

УДК 614.843.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ ВОДОПЕННОГО НАСАДКА

Камлюк А.Н., к.ф.-м.н., доцент, Максимович Д.С., Чан Дык Хоан, Грачулин А.В.

Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

e-mail: dimaks_1993@mail.ru

Разработан опытный образец водопенного насадка на ствол ручной комбинированный СРК-50. Представлено описание разработанного образца, определена методика проведения экспериментальных исследований. Проведены экспериментальные исследования, в ходе которых определено влияние диаметра сопла насадка и наличия сетки на кратность пены, получаемой на выходе из насадка.

Developed a prototype water-foam nozzle on the barrel manually combined IBS-50. The description of the developed sample defined methodology for conducting experimental studies. Experimental studies in which determine the effect of the diameter of the nozzle tip and the availability of the grid on the multiplicity of foam obtained at the outlet of the nozzle.

(Поступила в редакцию 10 июля 2015 г.)

Введение. Среди различных видов противопожарного оборудования значительный удельный вес занимают пожарные стволы со специальными насадками, предназначенными для создания огнетушащих струй различного вида и управления ими в процессе тушения пожаров.

Многообразие конструкций пожарных стволов обусловлено использованием различных огнетушащих веществ, а также условиями эксплуатации их в процессе тушения пожаров различных классов.

Обновление средств подачи огнетушащих веществ в соответствии с уровнем мировых стандартов и научно-технических достижений сопровождается появлением на мировом рынке стволов нового поколения. В отличие от ранее применяемых, данные стволы позволяют подавать воду и водные растворы огнетушащих веществ в широком диапазоне расходов и давлений, а также пену низкой и средней кратности.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности ручных пожарных стволов является использование в них твердофазных источников поверхностно-активных веществ и водопенных насадков, применяемых для подачи воды и пены низкой и средней кратности.

Известно, что эффективность тушения пожаров в значительной степени зависит от совершенства приемов и способов подачи огнетушащих веществ. В пожарной службе используются стволы, не обладающие универсальностью.

Так, в Республике Беларусь широкое распространение получил ствол ручной комбинированный СРК-50. Данный тип ствола предназначен для формирования и направления компактной или распыленной с постоянным углом факела струи воды или раствора смачивателя в очаг пожара, а также для перекрытия потока воды. Ствол пожарный ручной СРК-50 входит в комплект всех пожарных автомобилей, применяется в районах с умеренным, холодным и тропическим климатом. Одним из существенных недостатков данного типа стволов является неспособность образовывать устойчивую пену низкой кратности, что значительным образом уменьшает эффективность тушения возгораний ЛВЖ, ГЖ и т. д.

Для тушения подобных пожаров в нашей стране применяются воздушно-пенные стволы СВП и СВПЭ, которые предназначены для получения воздушно-механической пены низкой кратности из 6 %-го водного раствора пенообразователя и направления ее в очаг пожара. К недостатком данного типа стволов стоит отнести способность образовывать воздушно-механическую пену с кратностью лишь 7-8 при расходе пенообразователя 0,36 л/с.

Кроме того, переход от одного типа ствола к другому требует существенной затраты времени, что, в условиях развивающегося пожара, может привести к значительным людским потерям и высокому материальному ущербу. Также стоит отметить, что использование пожарным расчетом универсального ствола уменьшает материальные затраты на приобретение и дальнейшее обслуживание в ходе эксплуатации.

С целью создания универсального ствола, способного подавать струи воды и воздушно-механической пены, был разработан опытный образец водопенного насадка, устанавливаемого на ручной пожарный ствол СРК-50, который позволяет подавать в очаг пожара водную и пенную струи. Это значительно расширит тактико-технические возможности пожаротушения с использованием ручного пожарного ствола СРК-50.

Данная работа посвящена экспериментальным исследованиям опытных образцов разработанного водопенного насадка.

Описание опытного образца водопенного насадка. По результатам теоретических исследований был разработан опытный образец водопенного насадка, схема которого представлена на рисунке 1.

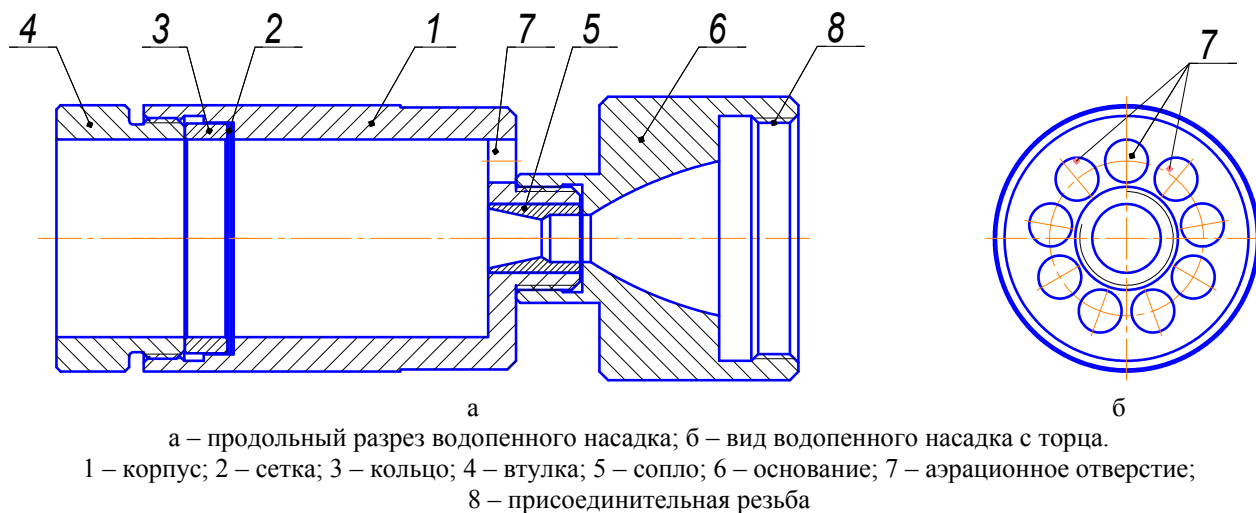


Рисунок 1 – Схема опытного образца водопенного насадка

Водопенный насадок содержит цилиндрический корпус 1, в одном торце которого вставлена сетка 2 (из проволоки толщиной 0,3–0,4 мм, размер ячейки 0,8–1 мм), зафиксированная кольцом 3 и зажатая втулкой 4, а в другом торце выполнены центральное и аэрационные отверстия 7, причем в центральное отверстие вставлено сопло 5. Со стороны этого же торца корпус 1 соединен с основанием 6, которое имеет резьбу 8 для присоединения к ручному пожарному стволу СРК-50. Все вышперечисленные элементы расположены по отношению друг к другу соосно, причем внутренние сечения корпуса 1, сопла 5 и основания 6 образуют проточный кавитирующий тракт. Кавитирующий тракт выполнен в виде последовательно расположенных участков различной конфигурации: участка конического линейного сужения, участка сферического сужения, цилиндрического участка и конически расширяющегося участка. Диаметр цилиндрического участка (сопла 5) является наиболее узкой частью кавитирующего тракта и определяет пропускную способность водопенного насадка.

Эффект распыления в системе пожаротушения [1] может быть достигнут путем обеспечения кавитационного режима истечения жидкости из насадка и распылителя, которые и служат основными кавитирующими элементами. При возникновении кавитации в потоке жидкости происходит образование, рост и схлопывание кавитационных микрокаверн. Их схлопывание происходит по типу микровзрывов, при этом в потоке жидкости возникают знакопеременные пульсации местных давлений и скоростей, образование кумулятивных микроструй. Все эти факторы способствуют улучшению качества распыливания, образованию мелкодисперсной распыляемой среды, что в свою очередь обеспечивает создание пены низкой кратности.

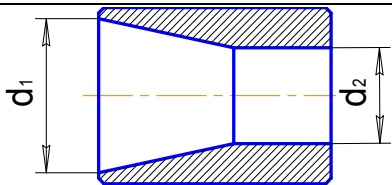
Принцип действия заключается в том, что водопенный насадок при помощи резьбы 8 крепится к ручному пожарному стволу СРК-50. Из пожарного ствола раствор воды и пенообразователя поступает во внутреннее сечение основания 6 и при последовательном прохождении через внутренние сечения основания 6, сопла 5 и корпуса 1 (проточный кавитирующий тракт) обеспечивается кавитационный режим течения раствора воды и пенообразователя. Через равномерно расположенные по окружности корпуса 1 аэрационные отвер-

ствия 7 осуществляется подсос воздуха из окружающей среды в поток раствора воды и пенообразователя. Дальнейшее прохождение насыщенного воздухом потока раствора воды и пенообразователя через сетку 2 обеспечивает генерирование однородной, мелкодисперсной пены низкой кратности, которая может быть использована для тушения пожара. Кольцо 3 и втулка 4 служат для крепления сетки 2 в торце корпуса 1.

Таким образом, водопенный насадок позволяет использовать ручной пожарный ствол СРК-50, конструкция которого не позволяет генерировать пену низкой кратности при использовании в качестве огнетушащего средства раствора воды и пенообразователя, для подачи пены низкой кратности на тушение пожара.

Методика проведения экспериментальных исследований. Экспериментальные исследования были подготовлены и проведены на базе ГУО «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь. В ходе проведения экспериментальных исследований были рассмотрены три опытных образца водопенного насадка, отличающиеся друг от друга пропускным диаметром сопла (таблица 1).

Таблица 1 – Сопла водопенных насадков

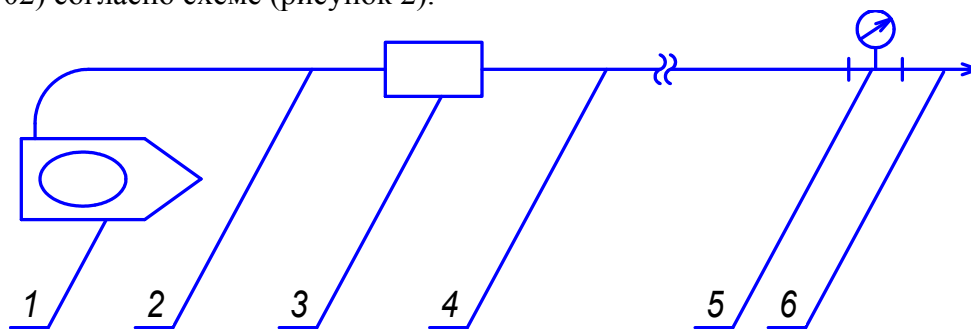
№ опытного образца водопенного насадка	Вид и размеры насадка	Диаметр сопла насадка d_1 , мм	Диаметр сопла насадка d_2 , мм
1		14	9
2		14	11
3		14	13

Основная цель экспериментальных исследований – оптимизация устройства и размеров водопенного насадка для получения на выходе из него пены низкой кратности более высокого качества.

Основной задачей экспериментальных исследований являлось получение исходных данных для определения характера влияния пропускного диаметра сопла водопенного насадка и наличия сетки на кратность генерируемой им пены.

В процессе экспериментальных исследований определяли пропускную способность водопенного насадка и кратность генерируемой им пены, в зависимости от пропускного диаметра сопла водопенного насадка, давления на стволе и наличия сетки в корпусе насадка.

Исследования пропускной способности проводили для каждого из опытных образцов водопенного насадка в зависимости от давления перед ручным пожарным стволом СРК-50. Были рассмотрены три контрольных значения давления: 200 ± 20 кПа, 400 ± 20 кПа и 600 ± 20 кПа. Для этого к ручному пожарному стволу СРК-50 вместо стандартной струеформирующей насадки присоединяли опытный образец водопенного насадка № 1. Далее ручной пожарный ствол присоединяли к рукавной линии и пожарной автоцистерне АЦ 5,0-40/4 (533702) согласно схеме (рисунок 2).



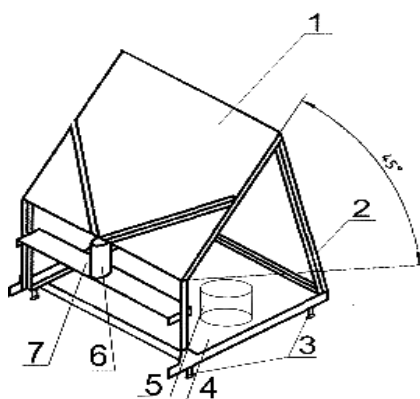
1 – пожарная автоцистерна; 2 – пожарный напорный рукав ($d = 77$ мм, $l = 4$ м); 3 – электромагнитный расходомер; 4 – пожарный напорный рукав ($d = 51$ мм, $l = 20$ м); 5 – вставка с манометром; 6 – ручной пожарный ствол СРК-50 с водопенным насадком

Рисунок 2 – Схема исследования пропускной способности водопенного насадка

Вставку с манометром МП 160 МЧ–1.0 МПа использовали для определения напора перед ручным пожарным стволом СРК-50. Для определения расхода использовали расходомер-счетчик электромагнитный «Взлет ЭМ».

В ходе исследований пропускной способности водопенного насадка автоцистерной АЦ 5,0-40/4 (533702) в рукавную линию подавали воду. Давление перед ручным пожарным стволом повышали до первого контрольного значения (200 ± 20 кПа). После установления давления показания расходомера росли, но по прошествии некоторого времени (около 30-60 сек) рост значения расхода прекращался. Установившееся значение расхода и показания манометра фиксировались в записях. Далее давление перед ручным пожарным стволом повышали поэтапно до второго (400 ± 20 кПа) и третьего (600 ± 20 кПа) контрольных значений, фиксируя показания манометра и расходомера в соответствии с таким же алгоритмом действий. Аналогично исследовали пропускную способность опытных образцов водопенного насадка № 2 и № 3.

Исследования кратности пены проводили для каждого из опытных образцов водопенного насадка по аналогичной исследованиям пропускной способности схеме. Были рассмотрены два контрольных значения давления: 400 ± 20 кПа и 600 ± 20 кПа. Для определения кратности пены использовали стенд для определения кратности и устойчивости пены низкой кратности (рисунок 3) [2].



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

Рисунок 3 – Стенд для определения кратности и устойчивости пены низкой кратности

Исследования кратности пены 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 пустого приемного бака 6 (m_1) и закрепляли его между приемником пены 1 и подставкой 7. К ручному пожарному стволу СРК-50 присоединили опытный образец водопенного насадка № 1 с сеткой. Ручной пожарный ствол удерживали в горизонтальном положении на высоте $1 \pm 0,2$ м от земли и на расстоянии 15 ± 1 м от стенда для определения кратности и устойчивости пены низкой кратности. Автоцистерной АЦ 5,0-40/4 (533702) в рукавную линию подавали 6 %-ый водный раствор пенообразователя. Давление перед ручным пожарным стволом повышали до первого контрольного значения (400 ± 20 кПа). Выжидали перехода 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 поверхности приемника пены пена стекала в приемный бак. Как только приемный бак наполнили, 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 заполненного пеной приемного бака (m_2). Далее пену из приемного бака выливали, а бак споласкивали водой от остатков пены и обратно закрепляли его на стенде между приемником пены 1 и подставкой 7. Выполнили се-

рию из пяти измерений. Далее давление перед ручным пожарным стволом повышали до второго (600 ± 20 кПа) контрольного значения. Зафиксировав установившиеся показания манометра и расходомера, выполнили еще одну серию из пяти измерений кратности пены в соответствии с таким же алгоритмом действий. После завершения 10 измерений, извлекли сетку из опытного образца водопенного насадка № 1 и провели 2 серии по 3 измерения кратности пены для каждого контрольного значения (400 ± 20 кПа и 600 ± 20 кПа). Аналогично исследовали кратность пены, генерируемой опытными образцами водопенного насадка № 2 и № 3 (рисунок 4).



Рисунок 4 – Исследование кратности пены водопенного насадка

Кратность пены K определяли как отношение объема пены к объему раствора пенообразователя, содержащегося в пене по формуле [2]:

$$K = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{р}}} = \frac{V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{р}}}{m_2 - m_1}, \quad (1)$$

где $V_{\text{п}}$ – объем мерной емкости, дм^3 ;

$\rho_{\text{р}}$ – плотность раствора пенообразователя, $\text{кг}/\text{дм}^3$;

m_1 – масса мерной емкости, кг ;

m_2 – масса мерной емкости, заполненной пеной, кг .

Результаты экспериментальных исследований опытных образцов водопенного насадка. Методика проведения экспериментальных исследований опытных образцов водопенного насадка на пропускную способность предусматривала собой однократное измерение величины напора перед ручным пожарным стволом СРК-50 с водопенным насадком H и величины расхода воды Q . Полученные результаты сведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследований опытных образцов водопенного насадка на пропускную способность

№ опытного образца водопенного насадка	Измеряемый параметр	Номер эксперимента		
		1	2	3
1	Напор на выходе из насадка H , кПа	205	390	610
	Пропускная способность Q , л/с	0,98	1,32	1,67
2	Напор на выходе из насадка H , кПа	200	380	590
	Пропускная способность Q , л/с	1,39	1,91	2,42
3	Напор на выходе из насадка H , кПа	205	410	580
	Пропускная способность Q , л/с	1,61	2,18	2,67

Анализом полученных данных (см. таблица 2) установлено, что величина пропускной способности увеличивается в пропорциональной зависимости с увеличением диаметра насадка и напора на выходе из него. Полагая, что распределение случайных ошибок измерений подчиняется нормальному закону распределения Гаусса, оценку точности измерений проводили по методике обработки прямых одиночных измерений [3].

При этом установлено, что относительная погрешность прямых одиночных измерений по выбранным частным сериям не превышает для напора на выходе из насадка 1 %, для измерений пропускной способности – 2,5 %.

При исследовании кратности пены для каждого опытного образца водопенного насадка проводили по 4 серии измерений: 2 серии с количеством измерений три (для опытного образца водопенного насадка без сетки) и 2 серии с количеством измерений пять (для опытного образца водопенного насадка с сеткой).

Предлагаемая выше методика исследований требует в процессе проведения эксперимента выполнения ряда измерений. При этом для определения кратности пены проводили однократные измерения массы m_1 и объема $V_{п}$ мерной емкости и многократные измерения массы, заполненной пенной мерной емкости m_2 .

Таким образом, объем мерной емкости $V_{п}$ при однократном измерении равен 2 дм^3 , масса мерной емкости $m_1 = 0,16 \text{ кг}$.

Результаты проведения исследований на кратность пены, генерируемой опытными образцами водопенного насадка, представлены в таблице 3.

Поскольку величина кратности пены находится по известной зависимости (1) от измеряемой величины m_2 , то в данном случае прибегаем к оценке погрешности косвенных измерений. При проведении оценки погрешности косвенных измерений установлено, что относительная погрешность косвенных измерений по выбранным частным сериям измерений не превышает 10 %.

Таблица 3 – Результаты исследований опытных образцов водопенного насадка на пропускную способность

№ опытного образца водопенного насадка	Наличие сетки	Значения напора Н и расхода Q	Значения массы заполненной пенной мерной емкости m_2 , кг (для каждого измерения)				
			1	2	3	4	5
1	С сеткой	H=400 кПа; Q=1,39 л/с	0,36	0,38	0,36	0,34	0,34
		H=620 кПа; Q=1,67 л/с	0,36	0,36	0,36	0,34	0,36
	Без сетки	H=400 кПа; Q=1,36 л/с	1,00	1,00	1,02	-	-
		H=610 кПа; Q=1,69 л/с	0,70	0,80	0,80	-	-
2	С сеткой	H=400 кПа; Q=1,94 л/с	0,34	0,34	0,32	0,32	0,32
		H=610 кПа; Q=2,33 л/с	0,30	0,32	0,38	0,36	0,40
	Без сетки	H=410 кПа; Q=2,08 л/с	0,90	0,88	0,90	-	-
		H=580 кПа; Q=2,5 л/с	0,64	0,52	0,58	-	-
3	С сеткой	H=400 кПа; Q=2,06 л/с	0,34	0,34	0,32	0,32	0,32
		H=600 кПа; Q=2,61 л/с	0,30	0,32	0,38	0,36	0,40
	Без сетки	H=400 кПа; Q=2,14 л/с	0,90	0,88	0,90	-	-
		H=590 кПа; Q=2,69 л/с	0,68	0,88	0,94	-	-

Результаты последующего определения кратности пены представим в виде зависимости кратности генерируемой пены от пропускного диаметра сопла водопенного насадка. Таким образом, результаты исследований при напоре перед ручным пожарным стволом $400 \pm 20 \text{ кПа}$ для водопенного насадка с сеткой и без нее представлены на рисунке 5.

Результаты исследований при напоре перед ручным пожарным стволом $600 \pm 20 \text{ кПа}$ для водопенного насадка с сеткой и без нее представлены на рисунке 6.

Анализом данных, полученных в ходе проведения двух типов исследований установлено, что кратность пены, генерируемой водопенным насадком с установленной сеткой, много больше, чем у насадка без сетки. При этом определено, что опытным образцом водопенного насадка № 2 при напоре перед ручным пожарным стволом $400 \pm 20 \text{ кПа}$ генерируется пена с наиболее высокой кратностью 11,9.

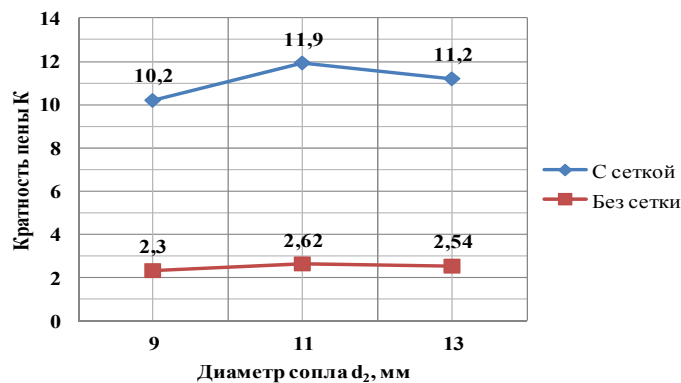


Рисунок 5 – Результаты определения кратности пены при давлении 400±20 кПа

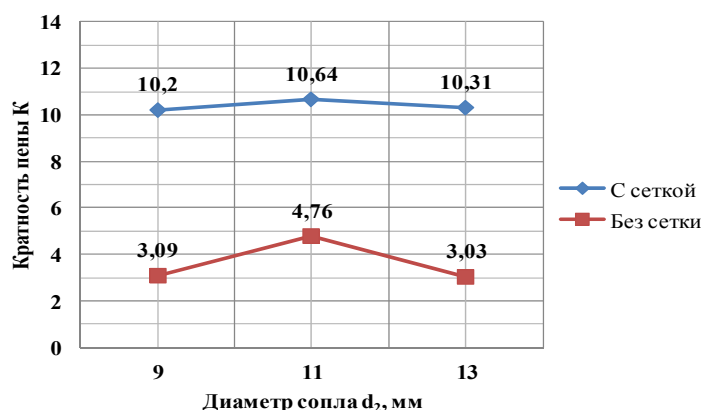


Рисунок 6 – Результаты определения кратности пены при давлении 600±20 кПа

Выводы. В ходе проведения экспериментальных исследований опытных образцов водопенных насадков установлено, что наиболее оптимальным является опытный образец водопенного насадка № 2 с пропускным диаметром сопла 11 мм. При проведении исследований установлена зависимость кратности пены, генерируемой водопенным насадком, от диаметра пропускного сопла водопенного насадка и наличия сетки на кратность пены. При этом установлено, что водопенный насадок с сеткой генерирует пену низкой кратности с кратностью примерно в 3 раза выше, чем без сетки. Опытный образец водопенного насадка № 2 позволяет подавать пену низкой кратности с кратностью 11,9 при давлении перед ручным пожарным стволом 400±20 кПа и расходе 1,94 л/с. В результате проведенных исследований получены исходные данные для оптимизации устройства и размеров водопенного насадка для получения на выходе из него пены низкой кратности.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках выполнения международного гранта Ф15В–003 совместно с Вьетнамской академией наук и технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кавитационный насадок пожарного ствола: евразийский пат. 018125, МПК7 А 62 С 31/02, В 05 В 1/00 / И.В. Карпенчук, С.Г. Петуховский, В.В. Пармон, О.В. Черневич; заявитель НИИ ПБиЧС Беларуси – № u 201001582; заявл. 2013.03.25; опубл. 2013.05.30 // Бюллетень Евразийского патентного ведомства (ЕАПВ). – 2013. – № 5. – С. 277-276.
2. Стенд для определения кратности и устойчивости пены низкой кратности: пат. 7605 Респ. Беларусь, МПК7 А 62 С 99/00, G 01F 3/00 / М.С. Малашенко, О.Д. Навроцкий; заявитель НИИ ПБиЧС Беларуси – № u 20101018; заявл. 2010.12.07; опубл. 2011.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2011. – № 5. – С. 216.
3. Учебно-методическое пособие по обработке экспериментальных данных/ Н.И. Бохан [и др.] – Светлая Рожа: ИППК МЧС Республики Беларусь, 2008. – 34 с.