

УДК 614.843.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОПЕННЫХ НАСАДКОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ПОДАЧИ ОГНЕТУШАЩЕГО СРЕДСТВА

Чан Дык Хоан, Риванс В.Ю., Камлюк А.Н.

Проведены экспериментальные исследования опытных образцов водопенного насадка. Приведена методика проведения экспериментальных исследований. Определены тактико-технические характеристики ствола СРК-50 с установленным на нем водопенным насадком при подаче воды. Определено влияние диаметра сопла насадка, наличия сетки, площади ячейки сетки, а также количества аэрационных отверстий на параметры формируемой насадком распыленной струи при подаче воды. Даны рекомендации по применению насадка при тушении пожара водой. Приведено сравнение тактико-технических характеристик ствола СРК-50 с установленным на нем водопенным насадком и с установленным на нем штатным насадком.

Ключевые слова: водопенный насадок; пожарный ствол; тактико-технические характеристики; экспериментальные исследования.

(Поступила в редакцию 30 марта 2016 г.)

Введение. В настоящее время широкое распространение получили насадки для пожарных стволов, позволяющие формировать струи различного вида. На мировом рынке также появились стволы нового поколения, способные подавать воду в широком диапазоне расходов и давлений, а также пену низкой либо средней кратности. Создание пожарных стволов и насадков, способных обеспечить подачу не только воды, но и пены является перспективным направлением в развитии средств тушения пожаров.

Значительный интерес представляет использование мелкодисперсной воды при тушении пожаров. В настоящее время мелкодисперсная вода активно применяется в автоматических установках пожаротушения, однако существует возможность использования ее в ручных пожарных стволах.

Особенность применения мелкодисперсной воды заключается в том, что уменьшение диаметра капель приводит к значительному увеличению суммарной площади поверхности капель и, соответственно, увеличению скорости испарения. Поскольку при тушении пожаров излишне пролитая вода может составлять до 90 % поданной, увеличение эффективности использования воды крайне важно при тушении пожаров в жилье и при работе в условиях нехватки воды. Увеличение скорости испарения приводит к тому, что повышается эффективность использования воды, соответственно сокращается количество излишне пролитой воды и расход воды на тушение пожара. Снижение количества излишне пролитой воды приводит к значительному уменьшению ущерба, так как ущерб от излишне пролитой воды в некоторых случаях может превышать ущерб, нанесенный воздействием опасных факторов пожара.

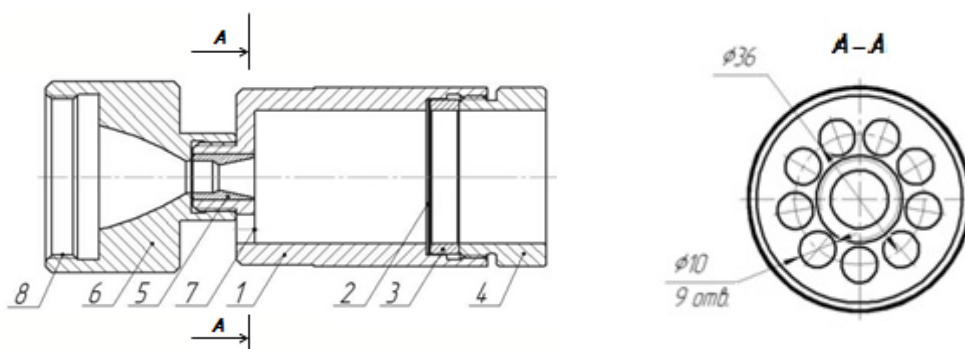
В Республике Беларусь на данный момент широко распространен пожарный ствол СРК-50, предназначенный для формирования компактной или распыленной с постоянным углом факела струи воды и направления ее в очаг пожара, а также для перекрытия потока воды. Указанным стволом комплектуются все пожарные автоцистерны.

СРК-50 не обладает универсальностью, так как не способен генерировать пену низкой кратности при подаче раствора пенообразователя. Для решения этой проблемы в Командно-инженерном институте разработан опытный образец водопенного насадка [1], устанавливаемый на данный ствол, который позволяет подавать пену низкой кратности и струи мелкодисперсной воды [2]. Следует отметить, что использование насадков на существующие стволы связано с меньшими материальными затратами, чем замена имеющихся стволов новыми, как при приобретении, так и при обслуживании и эксплуатации.

Как показывают результаты экспериментов, приведенные в [2], водопенный насадок способен генерировать пену низкой кратности с $K = 12$, однако не известно как изменяются тактико-технические характеристики СРК-50 при подаче воды. Изучению тактико-технических характеристик СРК-50 с установленным на нем водопенным насадком и посвящена эта работа.

Методика проведения экспериментальных исследований. Экспериментальные исследования были проведены на базе Командно-инженерного института. Схема опытного образца водопенного насадка приведена на рисунке 1.

В ходе эксперимента необходимо было определить влияние пропускного диаметра сопла, сетки и количества аэрационных отверстий на параметры распыленной струи, формируемой водопенным насадком. Методика экспериментальных исследований разработана в соответствии с требованиями [3].



1 – корпус; 2 – сетка; 3 – кольцо; 4 – втулка; 5 – сопло; 6 – основание; 7 – аэрационные отверстия; 8 – присоединительная резьба

Рисунок 1 – Схема опытного образца водопенного насадка

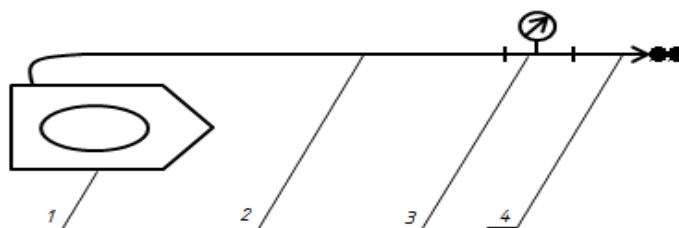
В ходе экспериментальных исследований на первом этапе определяли пропускную способность водопенного насадка при подаче воды, среднюю интенсивность орошения, дальность, эффективную дальность и угол факела формируемой им распыленной струи в зависимости от диаметра сопла (таблица 1).

Таблица 1 – Сопла (рисунок 1, п. 5) водопенных насадков

№ опытного образца	Вид и размеры насадка	Диаметр сопла d	Диаметр сопла d_1
1		9	13
2		11	16
3		13	19

На втором этапе для опытного образца с наилучшими характеристиками проводилось исследование характера влияния сетки и количества аэрационных отверстий на среднюю интенсивность орошения, дальность, эффективную дальность и угол факела распыленной струи.

Для проведения исследований к ручному пожарному стволу СРК-50 вместо штатного насадка присоединяли опытный образец водопенного насадка, ручной пожарный ствол присоединяли к рукавной линии и пожарной автоцистерне АЦ 5,0-40/4 (533702) согласно схеме (рисунок 2). Исследования проводились на открытой площадке при скорости ветра не более 5 м/с. Давление перед пожарным стволом составляло 400 ± 50 кПа.



1 – пожарная автоцистерна; 2 – напорный пожарный рукав ($d = 51$ мм, $l = 20$ м); 3 – вставка с манометром МП 160 МЧ–1.0 МПа;

4 – ручной пожарный ствол СРК-50 с водопенным насадком

Рисунок 2 – Схема подключения ствола к пожарной автоцистерне

Методика определения пропускной способности. Определение пропускной способности насадка проводилось объемным способом при помощи мерной емкости объемом 200 дм³. В рукавной линии создавали давление 400 ± 10 кПа. После установления стационарного режима истечения, струю направляли в мерную емкость, и начинали отсчет времени. По заполнении мерной емкости перекрывное устройство пожарного ствола переводили в положение «закрыто». По методике определения пропускной способности выполняли серию из 5 измерений. Пропускную способность насадка определяли по формуле

$$Q = \frac{V_M}{t}, \quad (1)$$

где V_M – объем мерной емкости, л;

t – время заполнения мерной емкости, с.

Методика определения дальности струи. Для определения дальности струи пожарный ствол устанавливали под углом 30 ± 1° к горизонтали на высоте 1,00 ± 0,01 м от выходного отверстия насадка до площадки. На площадке предварительно делали отметки на расстоянии 3, 6, 9, 12, 15 м от места установки ствола. После фиксации установившихся показаний манометра на месте падения крайних капель помещали метку. Измерения проводили рулеткой РЗУЗД. По методике определения дальности струи выполняли серию из 5 измерений.

Методика определения угла факела струи. Определение угла факела струи производили посредством его фотографирования. Фотоаппарат размещали так, чтобы направление объектива было перпендикулярно оси ствола. Выполняли 5 фотографий факела струи. Измерение угла производили электронным шаблоном транспортира с точностью до 1° следующим образом: проводили две касательные линии по крайним каплям при увеличении изображения до 500 %, затем размещали шаблон транспортира так, чтобы точка отсчета находилась на пересечении этих прямых, а основание транспортира – на одной из них (рисунок 3).



Рисунок 3 – Измерение угла факела струи



Рисунок 4 – Определение средней интенсивности орошения и эффективной дальности струи

Методика определения эффективной дальности струи и средней интенсивности орошения. Определение эффективной дальности струи и средней интенсивности орошения проводили одновременно (рисунок 4). Для этого ствол размещали под углом 30 ± 1° к горизонтали на высоте 1,00 ± 0,01 м от выходного отверстия насадка до площадки. На площадке устанавливали емкости, имеющие форму прямоугольного параллелепипеда с основанием (100 ± 5) × (100 ± 5) мм и высотой 200 ± 5 мм согласно схеме, приведенной на рисунке 5. Количество емкостей зависело от орошаемой площади, но не превышало 150 штук.

До фиксации установившихся показаний манометра и по окончании сбора осадков ствол направлялся в сторону от испытательной площадки. Время сбора осадков 5 минут фиксировали по секундомеру. Для определения эффективной дальности струи и средней интенсивности орошения использовали только емкости, уровень воды в которых достиг отметки 10 мм. Для указанных емкостей определяли локальную интенсивность орошения по формуле

$$i = \frac{V}{S \cdot t}, \quad (2)$$

где V – объем воды в емкости, л;
 S – площадь основания емкости, м²;
 t – время сбора капель, с.

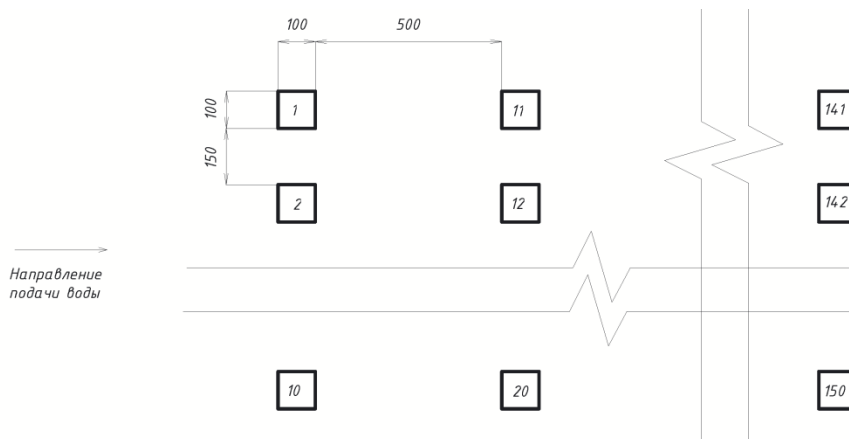


Рисунок 5 – Схема расстановки емкостей

Эффективную дальность струи определяли как расстояние от насадки ствола до места с наибольшей локальной интенсивностью орошения.

Среднюю интенсивность орошения определяли по формуле

$$i_{\text{ср}} = \frac{\sum i}{n}, \quad (3)$$

где n – количество мерных емкостей с уровнем воды не менее 10 мм.

По методике определения эффективной дальности струи и средней интенсивности орошения проводили серию из 3 измерений.

Измерения по описанным выше методикам проводились для образцов № 1, № 2 и № 3 (таблица 1) с установленной в водопенном насадке сеткой с площадью ячеек 1 мм² и 9 открытыми аэрационными отверстиями с площадью сечения 78,5 мм² каждое. Для каждого образца проводили одну серию измерений при положении перекрывного устройства пожарного ствола «компактная струя» и одну серию – при положении перекрывного устройства «распыленная струя».

Для проведения второго этапа исследований был выбран опытный образец № 2, так как по результатам первого этапа исследований было установлено, что он обладает наилучшими тактико-техническими характеристиками. Стоит отметить, что образец № 2 обладает лучшими характеристиками и при подаче пены [2].

Для определения влияния сетки на параметры распыленной струи использовали опытный образец № 2 при положении перекрывного устройства «компактная струя» с 9 открытыми аэрационными отверстиями общей площадью 706,5 мм². Проводили по одной серии измерений для водопенного насадка с установленной сеткой с площадью ячеек 1 мм², 4 мм² и без сетки.

Для определения влияния количества аэрационных отверстий на параметры распыленной струи использовали водопенный насадок с установленной сеткой с площадью ячеек 1 мм² при положении перекрывного устройства «компактная струя». Аэрационные отверстия герметично закрывали пластичной массой. Выполняли одну серию измерений для водопенного насадка без открытых аэрационных отверстий. Следующую серию измерений проводили с одним открытым аэрационным отверстием, для последующих серий измерений в произвольном порядке открывали оставшиеся аэрационные отверстия, тем самым последовательно увеличивали площадь аэрации.

Результаты экспериментальных исследований водопенного насадка. При обработке экспериментальных данных применяли методики, приведенные в [4]. При этом полагали, что распределение случайных ошибок измерений подчиняется нормальному закону распределения Гаусса. Оценка точности измерений при определении пропускной способ-

ности насадка и средней интенсивности орошения проводились по методике оценки погрешности косвенных измерений. При оценке точности измерений дальности, эффективной дальности и угла факела струи применялась методика обработки прямых измерений.

Относительная погрешность измерений при определении пропускной способности насадка, дальности, эффективной дальности и угла факела струи не превысила 10 %. При измерении средней интенсивности орошения относительная погрешность не превысила 20 %. Достаточно высокая погрешность объясняется воздействием порывов ветра на капли струи.

Результаты, полученные на первом этапе исследований, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты первого этапа исследований ($P = 400 \pm 10$ кПа, 9 аэрационных отверстий общей площадью 706,5 мм², площадь ячеек сетки 1 мм²)

Наименование показателя	Значение показателя для опытного образца №					
	1		2		3	
	К	Р	К	Р	К	Р
Пропускная способность, л/с	1,50	1,40	2,05	2,04	2,48	2,22
Дальность струи, м	14,48	14,61	14,82	14,96	15,20	15,38
Эффективная дальность струи, м	9,6	9,6	10,2	9,6	10,8	10,2
Средняя интенсивность орошения, л/с·м ²	0,059	0,067	0,092	0,123	0,113	0,185
Угол факела струи	34 °	25 °	32 °	22 °	23 °	12 °

Примечание. К – положение перекрывного устройства «компактная струя»; Р – положение перекрывного устройства «распыленная струя».

В ходе анализа полученных данных установлено, что увеличение диаметра сопла насадка позволяет значительно повысить среднюю интенсивность орошения (рисунок 6) за счет увеличения пропускной способности насадка (рисунок 7), а также за счет уменьшения угла факела струи (рисунок 8), и, следовательно, сокращения орошаемой площади. Также с увеличением диаметра сопла насадка отмечается рост дальности до 5 % и эффективной дальности до 10 %. Следует заметить, что переключение перекрывного устройства из положения «компактная струя» в положение «распыленная струя» позволяет добиться резкого уменьшения угла факела струи и, соответственно, увеличения средней интенсивности орошения на величину до 65 %.

Кроме того, установлено, что наиболее оптимальным по совокупности характеристик является образец № 2 с диаметром сопла 11 мм. Опытный образец № 1 имеет низкую среднюю интенсивность орошения, связанную с недостаточной пропускной способностью, что обусловлено малым диаметром сопла. Опытный образец № 3 формирует распыленную струю с углом факела не более 23°. Средняя интенсивность орошения, достигаемая при использовании данного образца, может быть получена при изменении положения перекрывного устройства при работе с образцом № 2. Изменение положения перекрывного устройства при использовании образца № 3 приводит к уменьшению угла факела струи на 50 %, что вызывает недостаточное распыление воды и, соответственно, нерациональное ее использование.

В ходе экспериментального исследования по определению влияния сетки на параметры формируемой распыленной струи в рамках второго этапа исследований было установлено, что наличие сетки с площадью ячеек 1 мм² негативно сказывается на дальности струи (таблица 3). При увеличении площади ячейки до 4 мм² дальность и эффективная дальность струи увеличиваются на 35–37 %, что обусловлено уменьшением сопротивления, оказываемого сеткой. Дальнейшее увеличение площади ячеек сетки не дает значительного эффекта, что подтверждается результатами испытаний образца с демонтированной сеткой: повышение дальности и эффективной дальности составило не более 7 % (таблица 3). Вместе с тем рост дальности сопровождается снижением средней интенсивности орошения, что связано с увеличением орошаемой площади. Также при увеличении площади ячеек сетки уменьшается угол факела струи, что подтверждает необходимость использования сетки с площадью ячеек 1 мм² в дополнение к кавитирующему тракту для увеличения качества распыливания.

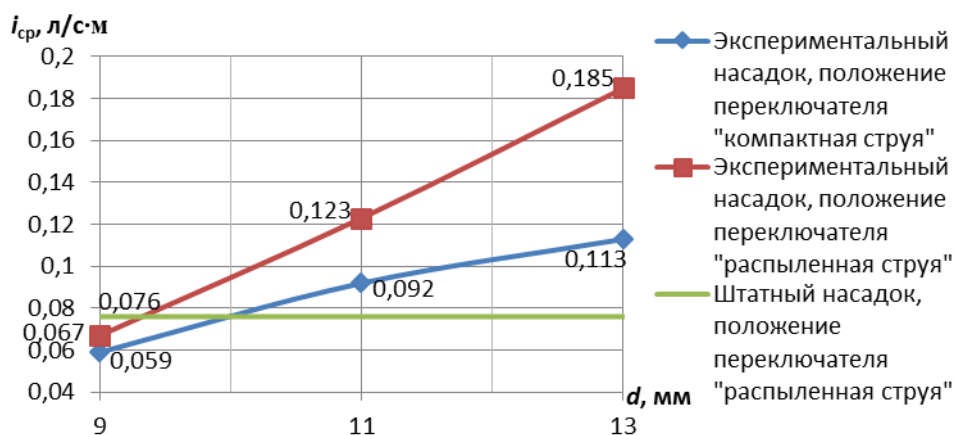


Рисунок 6 – Результаты измерения средней интенсивности орошения

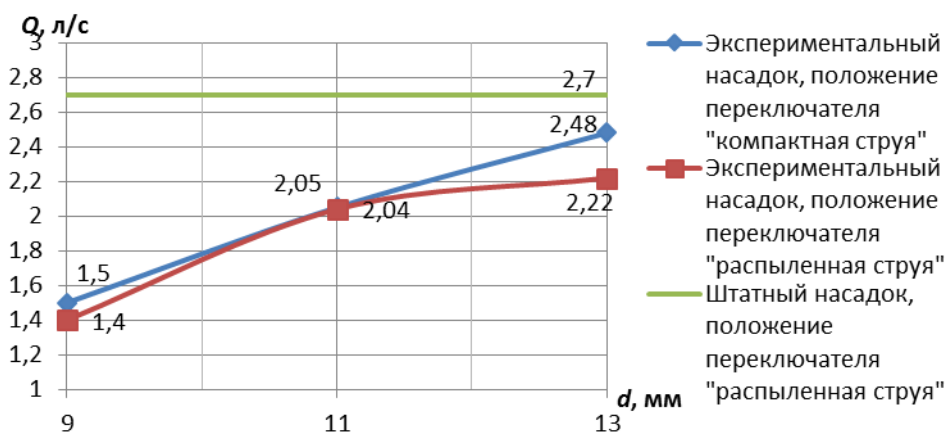


Рисунок 7 – Результаты измерения пропускной способности сопла

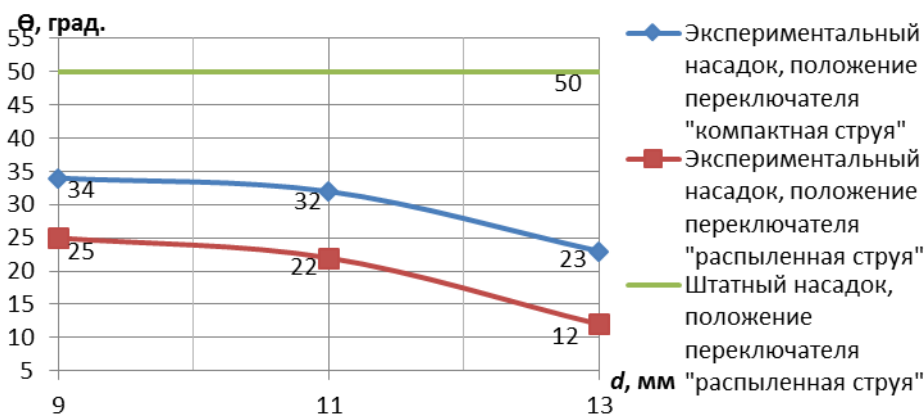


Рисунок 8 – Результаты измерения угла факела струи

Таблица 3 – Результаты исследования влияния сетки на параметры струи ($P = 400 \pm 10$ кПа, $d = 11$ мм, 9 аэрационных отверстий, положение перекрывного устройства «компактная струя»)

Наименование показателя	Площадь ячейки сетки		
	1 мм ²	4 мм ²	не установлена
Дальность струи, м	14,82	20,27	21,51
Эффективная дальность струи, м	10,2	13,8	14,4
Средняя интенсивность орошения, л/с·м ²	0,092	0,085	0,098
Угол факела струи	32 °	25 °	8 °

Также в ходе второго этапа проводили исследование влияния аэрационных отверстий на параметры распыленной струи. Результаты исследования представим в виде зависимости параметров струи от количества открытых аэрационных отверстий n . Показатели дальности (рисунок 9) и эффективной дальности (рисунок 10) резко возрастают при открытии первого аэрационного отверстия. С открытием последующих отверстий темп роста указанных параметров снижается.

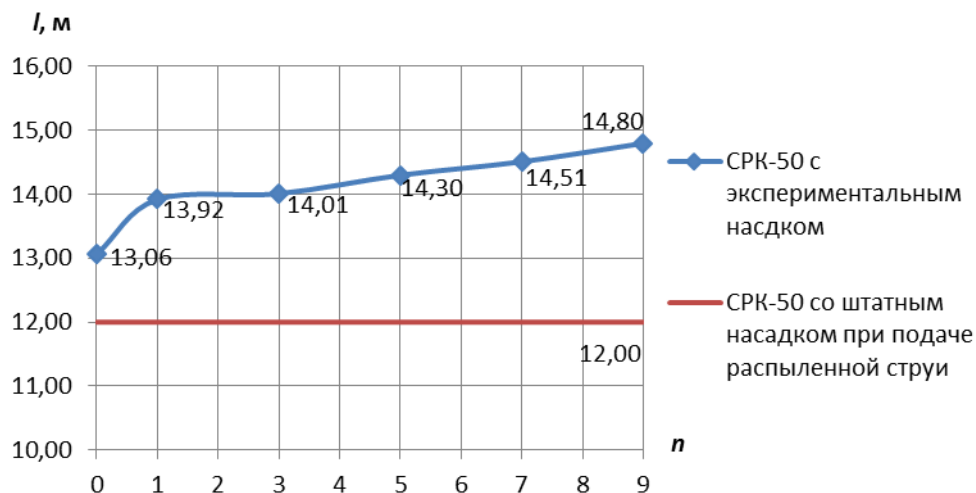


Рисунок 9 – Зависимость дальности струи от количества аэрационных отверстий

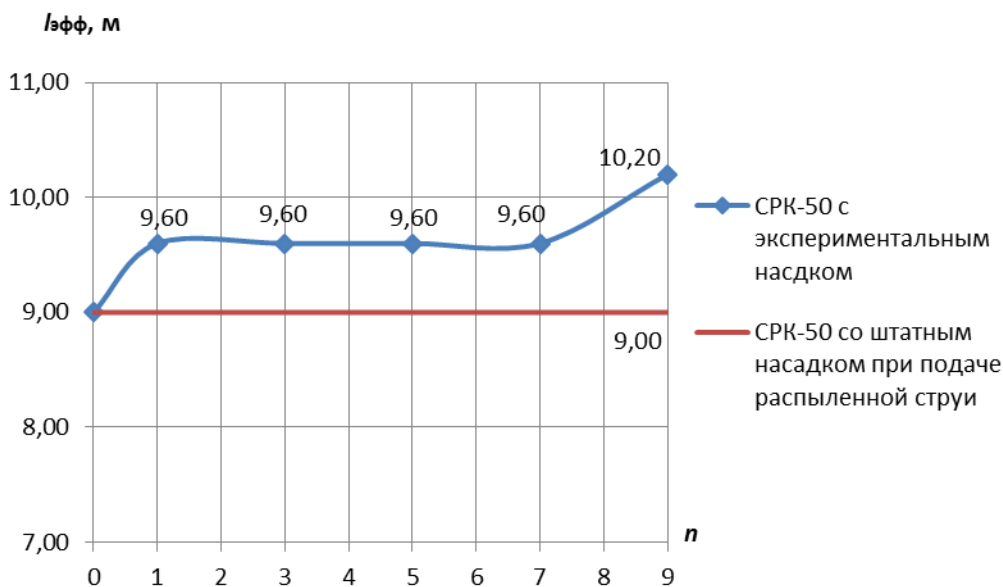


Рисунок 10 – Зависимость эффективной дальности струи от количества аэрационных отверстий

Угол факела распыленной струи после открытия первого отверстия снижается, однако, при открытии второго отверстия несколько повышается и в дальнейшем продолжает увеличиваться (рисунок 11). При этом средняя интенсивность орошения изменяется противоположным образом (рисунок 12). Подобное изменение средней интенсивности орошения может быть объяснено изменением орошаемой площади.

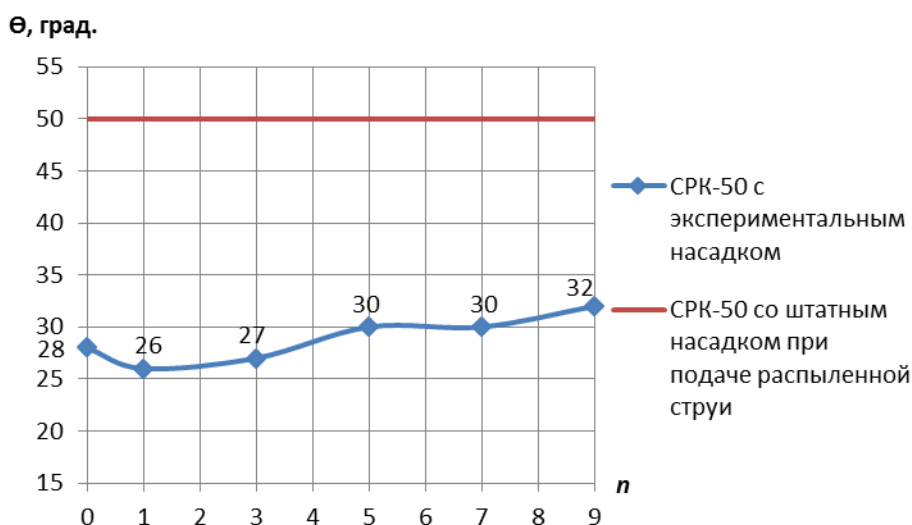


Рисунок 11 – Зависимость угла факела струи от количества аэрационных отверстий

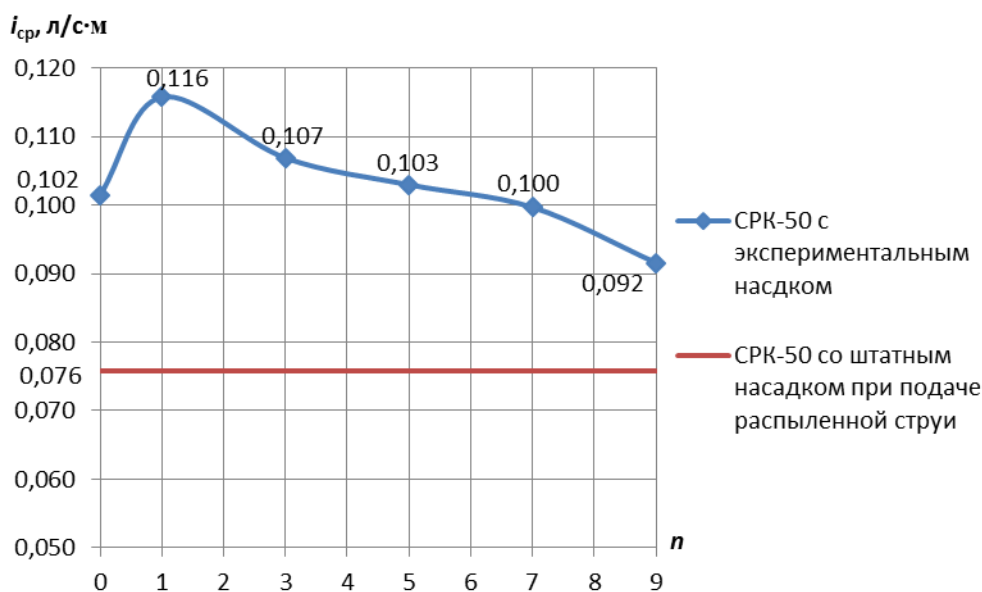


Рисунок 12 – Зависимость средней интенсивности орошения от количества аэрационных отверстий

Заключение. В ходе проведения первого этапа экспериментальных исследований опытных образцов водопенных насадков было установлено, что наиболее оптимальным по совокупности характеристик является образец № 2 с диаметром сопла 11 мм. Опытный образец № 1 имеет низкую среднюю интенсивность орошения, связанную с недостаточной пропускной способностью, уступает по дальности и эффективной дальности струи, имея при этом на 6 % больший угол факела струи. Опытный образец № 3, несмотря на большую дальность (на 3 %) и эффективную дальность (на 7 %), формирует распыленную струю с углом факела не более 23°. Средняя интенсивность орошения, достигаемая при использовании данного образца, может быть получена при изменении положения перекрывного устройства во время работы с образцом № 2. В то же время изменение положения перекрывного устройства при использовании образца № 3 приводит к уменьшению угла факела

струи до 12°, что вызывает недостаточное распыление воды и, соответственно, нерациональное ее использование.

При проведении второго этапа экспериментальных исследований было установлено, что наиболее оптимальным является использование сетки с площадью ячеек 1 мм². Увеличение площади ячейки сетки приводит к резкому увеличению дальности, что ведет к снижению средней интенсивности орошения и сопровождается уменьшением угла факела струи, что свидетельствует о снижении распыливания струи (таблица 3). При демонтаже сетки происходит повышение средней интенсивности орошения на 7 % за счет снижения угла факела струи до 8°, что на 75 % меньше, чем с сеткой с площадью ячейки 1 мм², что указывает на необходимость установки сетки для повышения распыливания.

Анализ зависимостей параметров распыленной струи от количества аэрационных отверстий указывает на увеличение их значений, за исключением средней интенсивности орошения, которая снижается. По совокупности характеристик наиболее оптимальным будет применение образцов с числом отверстий 5-7, что соответствует площади аэрации 392,5–549,5 мм². При меньшем количестве аэрационных отверстий дальнейший рост средней интенсивности будет достигаться за счет ухудшения прочих характеристик, что нецелесообразно, поскольку аналогичные изменения могут быть получены при изменении положения перекрывного устройства.

Тактико-технические характеристики опытного образца № 2 (P = 400 ± 10 кПа, d = 11 мм, площадь ячеек сетки 1 мм², 5 аэрационных отверстий общей площадью аэрации 392,5 мм², положение перекрывного устройства «компактная струя») и ствола СРК-50 со штатным насадком приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Тактико-технические характеристики водопенного насадка и ствола СРК-50 со штатным насадком

Наименование показателя	Установленный насадок	
	опытный образец № 2	штатный
Пропускная способность, л/с	2,05	2,70*
Дальность распыленной струи воды, м	14,30	12,00*
Эффективная дальность струи, м	9,6	9,0
Средняя интенсивность орошения, л/с·м ²	0,103	0,076
Угол факела струи, °	30	50
Кратность пены, максимальная	12	–

* – значение принято в соответствии с [5].

Из приведенной таблицы следует, что при установке на ствол СРК-50 опытного образца водопенного насадка средняя интенсивность орошения возрастает на 35 % при снижении расхода воды на 32 %. Следует отметить увеличение дальности струи на 19 % и эффективной дальности струи на 7 %. Важным преимуществом исследуемого водопенного насадка является возможность подачи пены низкой кратности, что при использовании штатного насадка невозможно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кавитационный водопенный насадок пожарного ствола: пат. 10841 Респ. Беларусь, МПК А 62 С 31/12 / А.Н. Камлюк, А.В. Грачулин, Чан Дык Хоан; заявитель ГУО «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь – № u 20150140; заявл. 2015.04.27; опубл. 2015.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал.уласнасці. – 2015. – № 5. – С. 107.
2. Камлюк А.Н. Экспериментальные исследования опытных образцов водопенного насадка / А.Н. Камлюк, Д.С. Максимович, Чан Дык Хоан // Вестник КИИ МЧС Республики Беларусь. – 2015. – № 2(22). – С. 61–67.
3. Система стандартов пожарной безопасности. Стволы пожарные ручные. Общие технические условия : СТБ 11.13.14-2009. – Введ. 01.01.10. – Минск : Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2009. – 8 с.
4. Учебно-методическое пособие по обработке экспериментальных данных / Н.И. Бохан [и др.] – Светлая Роша: ИППК МЧС Республики Беларусь, 2008. – 34 с.
5. Ствол пожарный ручной СРК-50: [паспорт] / ООО «Харьковский машиностроительный завод». – [Харьковский, 2007]. – 4 с.

RESEARCH OF WATER-FOAM NOZZLES CHARACTERISTICS IN VARIOUS MODES OF EXTINGUISHING AGENT DISCHARGING

Tran Duc Hoan

University of Fire Fighting & Prevention, Ministry of Public Security
of the Socialist Republic of Vietnam, Hanoi, Vietnam

Uladzislau Ryvans

The state educational establishment «Institute for Command Engineers»
of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

Andrej Kamlyuk, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

The state educational establishment «Institute for Command Engineers»
of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

Purpose. The objective of the research is to analyze the influence of nozzle diameter, grid presence, grid cells area and number of aeration holes on the parameters of sprayed water jet formed by water-foam nozzle and to define performance characteristics of the water-foam nozzle.

Methods. Prototypes of water-foam nozzle were tested on water flow, jet range, effective jet range, spray angle and average sprinkling intensity.

Findings. Influence of nozzle diameter on water flow and spray jet parameters is determined. The necessity of installation of grid with 1 mm² cells into tested water-foam nozzle is proved. The appropriate number of aeration holes for tested nozzle is defined.

Application field of the research. The obtained experimental study data could be used in fire nozzle design.

Conclusions. The prototype with 11 mm nozzle diameter, 1 mm² grid cells and 5-7 aeration holes is the most optimal version for discharging water. It has better performance characteristics than a regular nozzle.

Keywords: water-foam nozzle; fire nozzle; performance characteristics; experimental studies.

(The date of submitting: March 30, 2016)

REFERENCES

1. Kamlyuk A.N., Grachulin A.V., Chan Dyk Khoan Kavitatsionnyy vodopennyy nasadok pozharnogo stvola [Cavity water-foam nozzle for fire nozzle]. Pat. 10841 Resp. Belarus. (rus)
2. Kamlyuk A.N., Maksimovich D.S., Chan Dyk Eksperimental'nye issledovaniya opytnykh obraztsov vodopennogo nasadka [Experimental research of prototype of water-foam nozzle]. Vestnik KII MChS Respubliki Belarus'. 2015. No. 2(22). Pp. 61–67. (rus)
3. Sistema standartov pozharnoy bezopasnosti. Stvolyy pozharnyye ruchnyye. Obshchie tekhnicheskie usloviya : STB 11.13.14-2009. Vved. 01.01.10. Minsk : Belorus. gos. in-t standartizatsii i sertifikatsii, 2009. 8 p. (rus)
4. Bokhan N.I Uchebno-metodicheskoe posobie po obrabotke eksperimental'nykh dannykh [Guide on experimental data processing]. Svetlaya Roshcha: IPPK MChS Respubliki Belarus', 2008. – 34 s. (rus)
5. Stvol pozharnyy ruchnoy SRK-50: [passport] / OOO «Khartsyzskiy mashinostroitel'nyy zavod». – [Khartsyzsk, 2007]. 4 p. (rus)