

**А. Н. Камлюк, А. О. Лихоманов**

*Университет гражданской защиты МЧС Беларуси, Минск, Беларусь*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЕРЖАТЕЛЯ И РАЗБРЫЗГИВАТЕЛЯ ОРОСИТЕЛЯ ПО КРАТНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ПЕНЫ**

**Аннотация.** Приведены результаты экспериментальных исследований по определению влияния геометрических параметров розеточных оросителей на процесс образования воздушно-механической пены. Для проведения эксперимента разработан сборно-разборный ороситель. При помощи 3D-печати из полилактида (PLA-пластик) изготовлены элементы сборно-разборного оросителя, позволяющие создавать различные его конфигурации в достаточно широком диапазоне значений геометрических параметров. Установлены зависимости кратности и устойчивости воздушно-механической пены от длины держателя оросителя, а также внешнего диаметра, угла конусности и высоты выступов его разбрызгивателя. Определены диапазоны оптимальных значений по длине держателя  $L = 45\div 55$  мм и высоте выступов разбрызгивателя  $h = 1\div 3$  мм оросителя для генерирования пены с наибольшей кратностью и устойчивостью, а также диапазоны значений данных параметров, при которых изменение значений кратности и устойчивости не происходит ( $L = 90\div 150$  мм,  $h = 5\div 15$  мм). Установлено снижение качественных характеристик пены при увеличении угла конусности разбрызгивателя. Получены аппроксимационные зависимости кратности и устойчивости пены от угла конусности разбрызгивателя в диапазоне  $\alpha = 30\div 135^\circ$ . Кроме того, определено, что увеличение внешнего диаметра разбрызгивателя в диапазоне от 20 до 100 мм приводит к постепенному ухудшению качества пены. Результаты проведенных исследований позволят оптимизировать геометрические параметры существующих конструкций розеточных оросителей с целью повышения их эффективности при тушении пожара.

**Ключевые слова:** кратность пены, устойчивость пены, аддитивные технологии, розеточный ороситель, держатель, разбрызгиватель

**Для цитирования:** Камлюк, А. Н. Экспериментальное определение рациональных геометрических параметров держателя и разбрызгивателя оросителя по кратности и устойчивости пены / А. Н. Камлюк, А. О. Лихоманов // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2019. – Т. 64, № 1. – С. 60–68. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2019-64-1-60-68>

**A. N. Kamluk, A. O. Likhmanau**

*University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus*

## **EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE RATIONAL GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE SPRINKLER FRAME ARMS AND DEFLECTOR ON THE EXPANSION RATE AND STABILITY OF FOAM**

**Abstract.** The results of experimental studies on determination of the effect of the deflector-type sprinkler geometric parameters on the air-mechanical foam formation process are presented in the article. A collapsible sprinkler was developed for the experiment. The elements of the collapsible sprinkler which allow creating its various configurations in a fairly wide range of geometric parameters were made from polylactide (PLA-plastic) with the help of 3D printing. The dependencies of the air-mechanical foam expansion rate and stability on the sprinkler holder length, as well as the external diameter, the taper angle and the ledges height of the sprinkler sprayer were established. The ranges of optimal values along the holder length  $L = 45\div 55$  mm and the sprayer ledges height  $h = 1\div 3$  mm of the sprinkler for generation of foam with the greatest expansion rate and stability were determined, as well as the ranges of values of these parameters at which the change in the quality characteristics does not occur ( $L = 90\div 150$  mm,  $h = 5\div 15$  mm). A decrease in the foam quality characteristics with an increase in the sprayer taper angle of the sprinkler was established. Approximate dependencies of the foam expansion rate and stability on the sprayer taper angle of the sprinkler in the range  $\alpha = 30\div 135^\circ$  were obtained. In addition, it is determined that an increase in the sprayer external diameter in the range from 20 mm to 100 mm results in a gradual deterioration in the foam quality. The results of the conducted researches will allow optimizing geometrical parameters of existing designs of deflector-type sprinklers with the aim to increase their fire extinguishing efficiency.

**Keywords:** foam expansion rate, foam stability, additive technologies, deflector type sprinkler, holder, sprayer

**For citation:** Kamluk A. N., Likhmanau A. O. Experimental determination of the rational geometrical parameters of the sprinkler frame arms and deflector on the expansion rate and stability of foam. *Vestsi Natsyyanal' nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-technichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2019, vol. 64, no. 1, pp. 60–68 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2019-64-1-60-68>

**Введение.** В современном мире вопрос противопожарной защиты замкнутых объемов зданий и сооружений приобретает особую важность ввиду увеличения количества пожарной нагрузки и ее разнообразия в таких местах. Для обеспечения пожарной безопасности широко используются автоматические системы определения опасных факторов пожара, оповещения об их наличии, а также локализации и ликвидации непосредственно самого пожара. Связано это с тем, что такие системы позволяют автоматически и в кратчайшие сроки определить возникновение горения, предупредить об этом людей и начать ликвидировать пожар. Поэтому исследование элементов систем, которые предназначены для локализации и ликвидации неконтролируемого горения с целью последующего их совершенствования и оптимизации, весьма актуально.

В связи с широким распространением таких систем повышение эффективности их работы является важной задачей. Как показывает практика [1], автоматические установки пожаротушения не всегда справляются со своими функциями (около 7 % случаев) по причине недостаточной точности определения места очага пожара и инерционности систем, ошибок при их проектировании, а также из-за ненадлежащего качества огнетушащих веществ. Наибольшую популярность при тушении пожаров разных классов имеют вода и воздушно-механическая пена. Выбор типа огнетушащего вещества зависит от физико-химических свойств пожарной нагрузки. Например, воздушно-механическая пена в большинстве случаев применяется для тушения пожаров горючих жидкостей. При этом она может иметь различные физико-химические свойства и качественные характеристики (кратность  $K$ , устойчивость  $C$  и др.) в зависимости от химического состава пенообразователя, а также конструкции пеногенерирующего устройства [2].

Для получения пены низкой кратности (до 20) применяют механические пенообразующие устройства (оросители розеточные, центробежные (эвольвентные), диафрагменные (каскадные), винтовые, щелевые, струйные, лопаточные и др.). Под кратностью пены понимается величина, равная отношению объема пены к объему раствора пенообразователя, из которого она получена. Согласно статистике, в большинстве случаев (около 90 % от общего числа пенных оросителей) для генерирования пены низкой кратности применяют розеточные оросители. Однако представленные на рынке варианты таких оросителей не позволяют получать пену кратностью более 5 согласно сопроводительной документации на них. Вместе с тем известно, что путем повышения кратности пены можно повысить общую эффективность тушения, то есть снизить время тушения при использовании меньшего количества огнетушащего вещества [3].

В ходе исследований конструктивных элементов розеточных оросителей по степени их влияния на кратность получаемой пены установлено, что эффект от механической дезинтеграции потока раствора пенообразователя значительно выше, чем от его предварительной аэрации либо пропускания через проточный тракт в виде трубы Вентури [4]. Так, при наличии розетки в качестве элемента дезинтеграции потока кратность пены повышается не менее чем на 124 % по сравнению со значениями для оросителей без нее. Вместе с тем при добавлении эжекторов со специальными отверстиями для предварительной аэрации огнетушащего вещества и проточным трактом в виде трубы Вентури кратность повышается не более чем на 88 %. Поскольку розетка как пенообразующий фактор является ключевым элементом оросителя, теоретическое и практическое исследование влияния ее геометрических параметров, способа ее расположения и крепления на качественные характеристики пены вызывает научный и практический интерес.

С целью проведения такого рода исследований в [5] было принято решение о применении аддитивных технологий, позволяющих легко и быстро по сравнению с традиционными способами (например, путем отливки из металла) изготавливать прототипы оросителей с различными геометрическими параметрами, определены требования к физико-механическим свойствам материалов и выбраны технологические параметры 3D-печати для изготовления элементов розеточного оросителя. Вместе с тем в результате проведения лабораторных экспериментов по определению кратности и устойчивости пены установлено, что ороситель, синтезированный из PLA-пластика

(полилактида) и выполненный геометрически идентичным оригинальному металлическому оросителю, способен генерировать аналогичную по кратности и устойчивости пену (разница находится в рамках погрешности и составляет не более 2,1 %). Таким образом, результаты исследований [5] подтверждают возможность применения 3D-технологий для прототипирования розеточных оросителей с целью изучения процесса образования воздушно-механической пены в них.

**Сборно-разборная конструкция экспериментального оросителя.** Для определения влияния отдельных геометрических параметров розетки оросителя на кратность и устойчивость пены необходимо провести серию измерений, когда значение одного из параметров изменяется в определенном диапазоне, в то время как остальные остаются постоянными. Для данных целей применение стандартной монолитной конструкции розеточного оросителя (например, дренажного оросителя Кочетова, патент RU 2557500 С1 МПК А62С 37/12) не является целесообразным ввиду невозможности разборки на составные элементы и их замены.

Для осуществления свободной замены элементов можно использовать сборно-разборный ороситель (Сборно-разборный дренажный ороситель: пат. 11801 Респ. Беларусь, МПК А62С 31/00 (2006.01) / А. Н. Камлюк, А. В. Грачулин, А. О. Лихоманов, Э. Г. Говор), конструктивное исполнение которого позволяет производить его разборку на составные элементы, замену любого элемента и повторную сборку. Разработанный ороситель в собранном и разобранном виде представлен на рис. 1. Составные элементы изготавливаются с использованием 3D-печати из PLA-пластика по аналогии с [5].

Монтаж элементов осуществляется на штуцере 1 с конической дюймовой резьбой (1/2") и каналом для тока жидкости, аналогичном по геометрическим параметрам типовому оросителю. На держатель 2, состоящий из двух симметричных стоек, устанавливается разбрызгиватель 3 требуемой конфигурации и фиксируется стопорной шайбой 6. Посадочное место держателя и отверстие в раз-

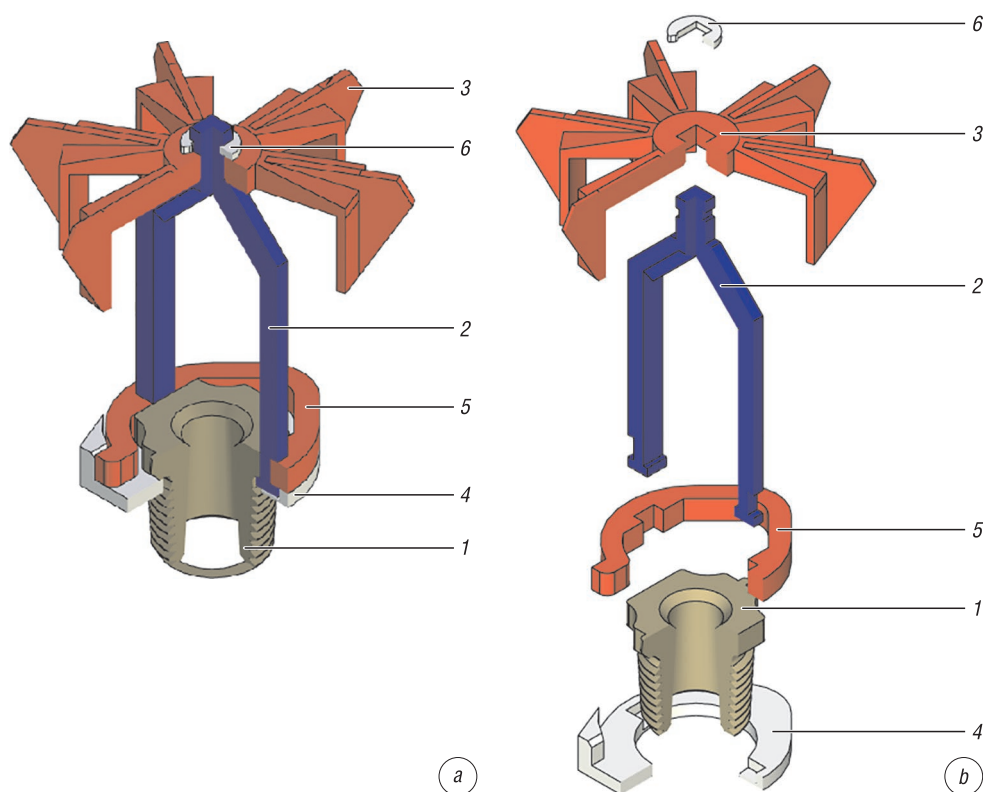


Рис. 1. Вид сборно-разборного экспериментального оросителя (с разрезом) в собранном (а) и разобранном (б) видах: 1 – штуцер, 2 – держатель, 3 – разбрызгиватель, 4 – кольцевой фиксатор, 5 – дугообразный прижим, 6 – стопорная шайба

Fig. 1. Appearance of assembled (a) and disassembled (b) collapsible experimental sprinkler (with a section): 1 – connecting pipe, 2 – holder, 3 – sprayer, 4 – ring clamp, 5 – arched clamp, 6 – retaining washer

брызгивателе выполнены с сечением в виде квадрата во избежание проворачивания в процессе испытаний. Держатель 2 устанавливается на штуцер 1 путем обхватывания свободными концами опорной поверхности штуцера (выступы под ключ с размером 22 мм). Силовое прижатие и центровка держателя на штуцере осуществляется дугообразным прижимом 5, который устанавливается в его нижних пазах. Во избежание углового отклонения держателя от продольной оси штуцера и для устранения разьема прижима под нагрузкой со стороны штуцера на прижим устанавливается кольцевой фиксатор 4.

Таким образом, предложенная конструкция позволяет создавать различные конфигурации конструкции розетки оросителя и удобна для проведения исследований.

**Геометрические параметры экспериментального оросителя.** Основными элементами, которые могут оказывать влияние на процесс дезинтеграции потока жидкости после выхода из проточного канала оросителя, являются держатель и разбрызгиватель. С целью определения зависимости качественных характеристик воздушно-механической пены от геометрических параметров данных элементов нами изготовлены держатели и разбрызгиватели различной конфигурации. Изменяемые геометрические параметры элементов розетки указаны на рис. 2. Для эксперимента использованы держатели с длинами  $L = 30, 50, 80, 100$  и  $150$  мм; разбрызгиватели с внутренним диаметром  $d = 16$  мм, угловым шагом лопастей  $\tau = 30^\circ$ , внешними диаметрами  $D = 20, 30, 50, 70, 80$  и  $100$  мм, высотами выступов  $h = 2, 5, 10, 15$  мм и без них, углами конусности  $\alpha = 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ, 105^\circ, 120^\circ$  и  $135^\circ$ . Конфигурации элементов были выбраны на основе анализа конструкций существующих розеточных оросителей с учетом целесообразности их применения в автоматических установках пожаротушения и ограничений при изготовлении доступными в настоящее время способами.

Путем комбинирования держателей и разбрызгивателей с различными геометрическими параметрами можно собирать оросители и определять для них качественные характеристики пены в установленных диапазонах изменения этих параметров. Для поиска оптимальных геометрических параметров розетки оросителя по кратности и устойчивости пены необходимо провести экспериментальные исследования.

**Методика проведения эксперимента.** Для проведения эксперимента нами использовалась лабораторная установка, которая в точности повторяла узлы и элементы современных автоматических установок пожаротушения как спринклерного, так и дренчерного типов. Схема установки представлена на рис. 3.

Используемые средства измерений, оборудование для обеспечения эксперимента, а также сама методика подробно описана в [5].

Сначала в емкости 1 приготавливался 6%-ный раствор пенообразователя. Для этого применялся синтетический углеводородный пенообразователь для тушения

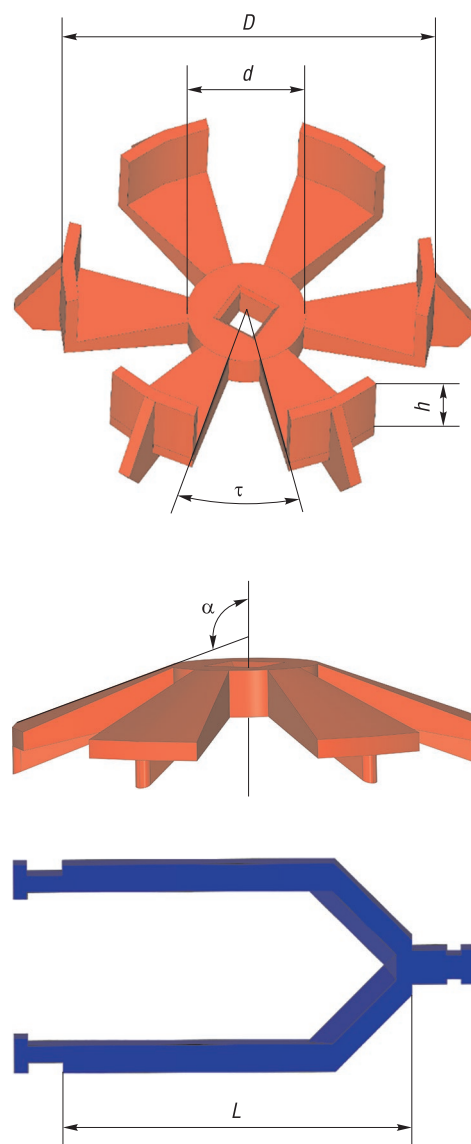


Рис. 2. Геометрические параметры держателя и разбрызгивателя розетки оросителя:  $D$  – внешний диаметр разбрызгивателя,  $d$  – внутренний диаметр разбрызгивателя,  $h$  – высота выступов разбрызгивателя,  $\tau$  – угловой шаг лопастей разбрызгивателя,  $\alpha$  – угол конусности разбрызгивателя,  $L$  – длина держателя

Fig. 2. Geometric parameters of the holder and sprinker's deflector sprayer:  $D$  – sprayer external diameter,  $d$  – sprayer internal diameter,  $h$  – sprayer ledges height,  $\tau$  – sprayer blade angular pitch,  $\alpha$  – sprayer taper angle,  $L$  – holder length

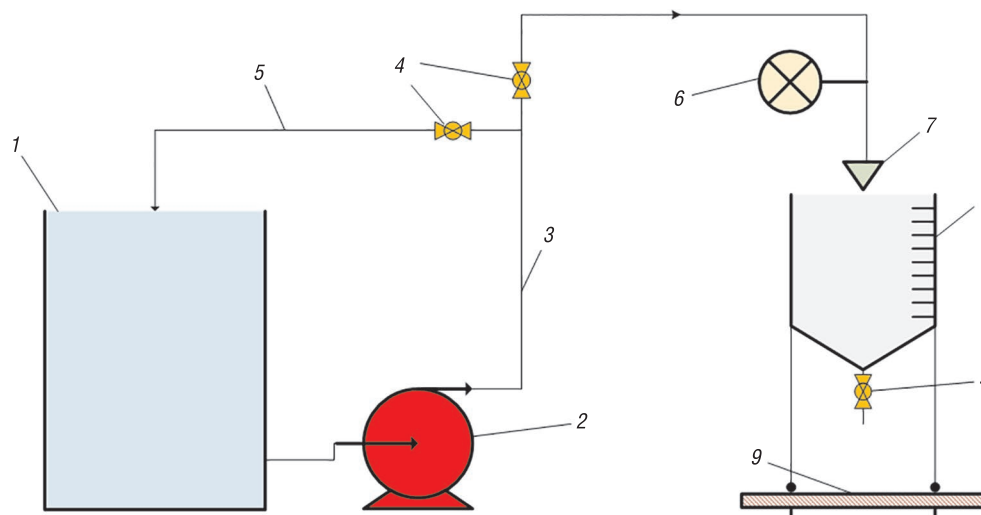


Рис. 3. Схема экспериментальной установки: 1 – емкость для хранения и приготовления раствора пенообразователя, 2 – насосное оборудование, 3 – основной трубопровод, 4 – шаровой кран, 5 – обводной трубопровод, 6 – манометр, 7 – экспериментальный ороситель, 8 – установка для измерения кратности и устойчивости пены, 9 – электронные весы

Fig. 3. Experimental installation scheme: 1 – container for storage and preparation of foam solution, 2 – pump installation, 3 – main pipeline, 4 – globe valve, 5 – bypass pipeline, 6 – manometer, 7 – experimental sprinkler; 8 – installation for foam expansion rate and stability measuring, 9 – electronic balance

пожаров ПО-6РЗ, так как он является одним из наиболее дешевых из представленных на рынке в своем сегменте, а также, как показали результаты экспериментов [5], позволяет получать более качественную в сравнении с аналогами пену. После приготовления раствора производилось его перемешивание в течение 0,5 ч путем пуска раствора по обводному трубопроводу 5 при помощи насосов 2. Затем приготовленный раствор подавался по основному трубопроводу 3 при помощи насосов 2 к экспериментальному оросителю 7, перед которым создавалось постоянное давление потока жидкости  $0,1 \pm 0,01$  МПа, определяемое по манометру 6. Далее в оросителе 7 из раствора образовывалась пена, которая попадала в установку 8. Подача раствора в систему останавливалась тогда, когда установка 8 полностью заполнялась пеной, при этом ороситель был установлен на  $5 \pm 1$  см от верхнего края установки 8 таким образом, чтобы вся сгенерированная пена попадала в полость установки. Затем проводилось определение кратности пены  $K$  объемным способом согласно действующему государственному стандарту Республики Беларусь (СТБ ГОСТ Р 50588-99 «Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний»). Устойчивость пены  $C$  определялась как время разрушения 25 % объема пены (по вертикальной шкале установки 8 между рисками 75 % и 100 %).

Данный порядок определения качественных характеристик пены осуществлялся для всех полученных конфигураций экспериментальных оросителей. За результат эксперимента было принято среднearифметическое пяти параллельных измерений. Допустимое расхождение между результатами наиболее отличающихся измерений с доверительной вероятностью 0,95 должно быть не более 10 % среднего значения (СТБ ГОСТ Р 50588-99).

**Результаты эксперимента и выводы.** По описанной методике проведен ряд экспериментов для определения влияния длины держателя  $L$  и внешнего диаметра  $D$ , угла конусности  $\alpha$  и высоты выступа  $h$  разбрызгивателя на кратность и устойчивость получаемой воздушно-механической пены для конфигураций, указанных в таблице. Значения внутреннего диаметра разбрызгивателя  $d$  и углового шага лопастей  $\tau$  были постоянными во всех конфигурациях ( $d = 16$  мм,  $\tau = 30^\circ$ ) и в таблице не отображены.

Зависимости кратности и устойчивости пены от  $L$  и  $D$  представлены на рис. 4.

На рис. 4 можно выделить зону оптимальных значений длины держателя для достижения максимальных значений кратности и устойчивости пены  $L = 45 \div 55$  мм. Кроме того, следует от-

**Конфигурации розеток оросителей  
для проведения эксперимента  
Sprinkler deflector configurations  
for the experiment**

Конфигурация	$L$ , мм	$D$ , мм	$h$ , мм	$\alpha$ , град
1	30	20	-	90
2		30		
3		50		
4		70		
5		80		
6		100		
7	50	20		
8		30		
9		50		
10		70		
11		80		
12		100		
13	80	20		
14		30		
15		50		
16		70		
17		80		
18		100		
19	100	20		
20		30		
21		50		
22		70		
23		80		
24		100		
25	150	20		
26		30		
27		50		
28		70		
29		80		
30		100		
31	50	50	105	
32			120	
33			135	
34			75	
35			60	
36			45	
37			2	90
38			5	
39			10	
40			15	

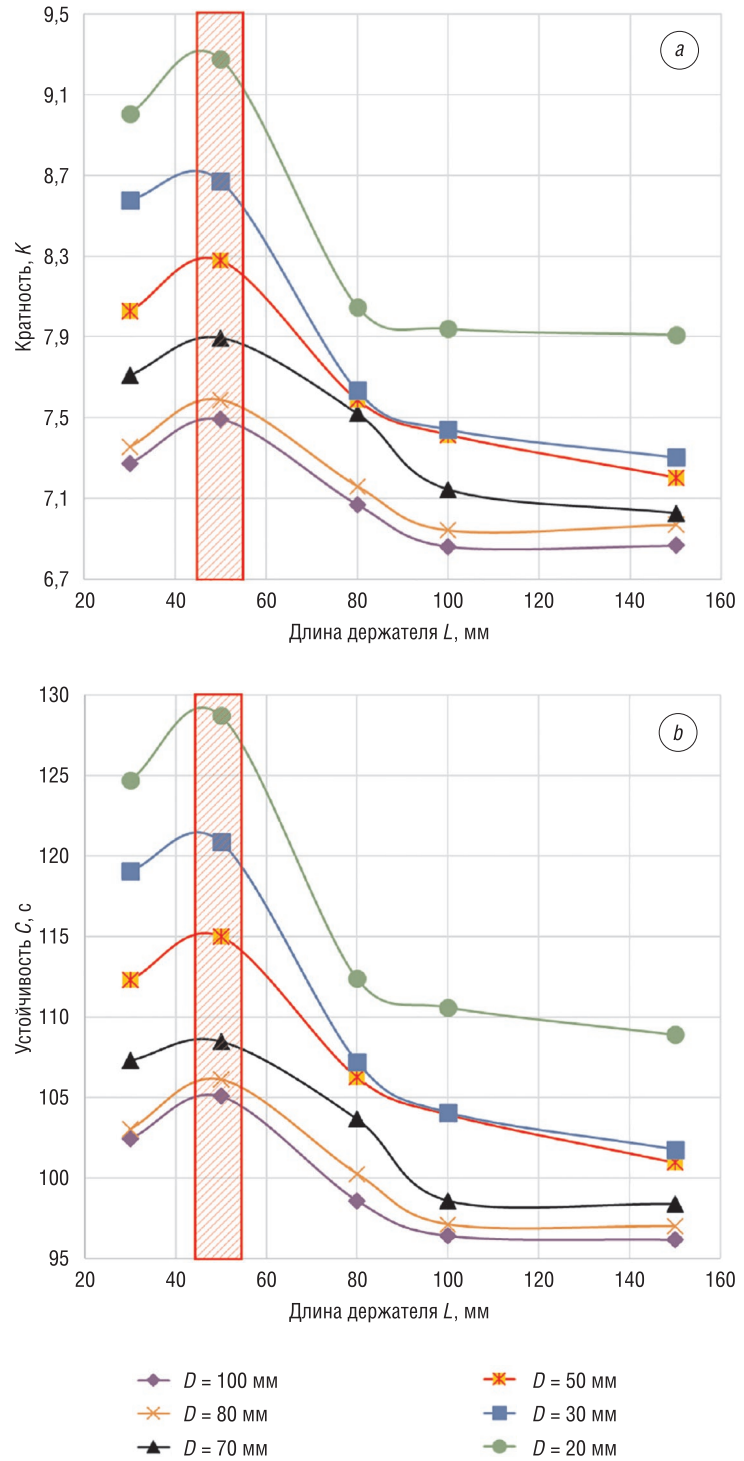


Рис. 4. Зависимость кратности (а) и устойчивости (б) воздушно-механической пены от длины держателя и внешнего диаметра разбрызгивателя

Fig. 4. Dependence of the air-mechanical foam expansion rate (a) and stability (b) on the holder length and the sprayer external diameter

метить, что при достижении длины держателя около 90 мм значения исследуемых параметров  $K$  и  $C$  колеблются в пределах 3,7%. На основании данного факта можно утверждать, что кратность и устойчивость становятся независимыми от длины держателя розетки оросителя в диапазоне  $L = 90 \div 150$  мм.

Также следует отметить тот факт, что при увеличении внешнего диаметра разбрызгивателя значения кратности и устойчивости пены постепенно падают. Так, пена имеет максимальные значения качественных характеристик в случае применения конфигураций с наименьшим внешним диаметром разбрызгивателя  $D = 20$  мм (конфигурации 1, 7, 13 и 25 в таблице), после чего при увеличении значения внешнего диаметра кратность и устойчивость пены уменьшаются и достигают минимальных значений при использовании конфигураций с наибольшим внешним диаметром разбрызгивателя  $D = 100$  мм (конфигурации 6, 12, 18 и 24 в таблице).

Изменение качественных характеристик пены при увеличении высоты выступов разбрызгивателя  $h$  изображено на рис. 5.

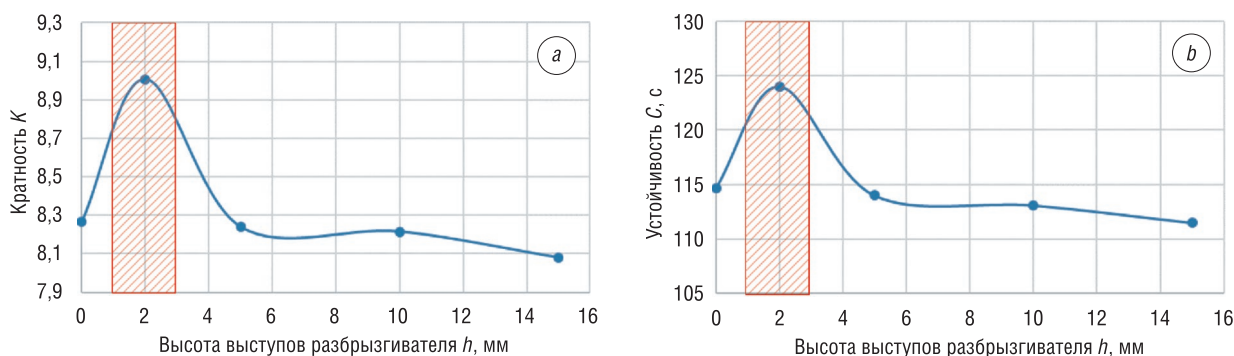


Рис. 5. Зависимость кратности (а) и устойчивости (б) воздушно-механической пены от высоты выступов разбрызгивателя

Fig. 5. Dependence of the air-mechanical foam expansion rate (a) and stability (b) on the sprayer ledges height

Из рис. 5 видно, что для обеих зависимостей характерно увеличение значений функций (на 8,9 % и 7,8 % соответственно) до максимума при  $h = 2$  мм ( $K = 9,01$  и  $C = 124$  с), после чего значения качественных характеристик падают на 9,3 % и 8,8 % при  $h = 5$  мм и с дальнейшим увеличением высоты выступов в диапазоне  $h = 5 \div 15$  мм происходит постепенное незначительное снижение кратности и устойчивости пены. Отсюда следует, что оптимальное значение высоты выступов разбрызгивателя для получения наиболее качественной пены находится в диапазоне  $h = 1 \div 3$  мм.

Зависимости кратности и устойчивости пены от угла конусности разбрызгивателя  $\alpha$  представлены на рис. 6. В ходе эксперимента применялись держатели с длиной  $L = 50$  мм, так как ранее было установлено, что использование держателей длиной в диапазоне  $L = 45 \div 55$  мм позволяет получать пену с наилучшими качественными характеристиками.

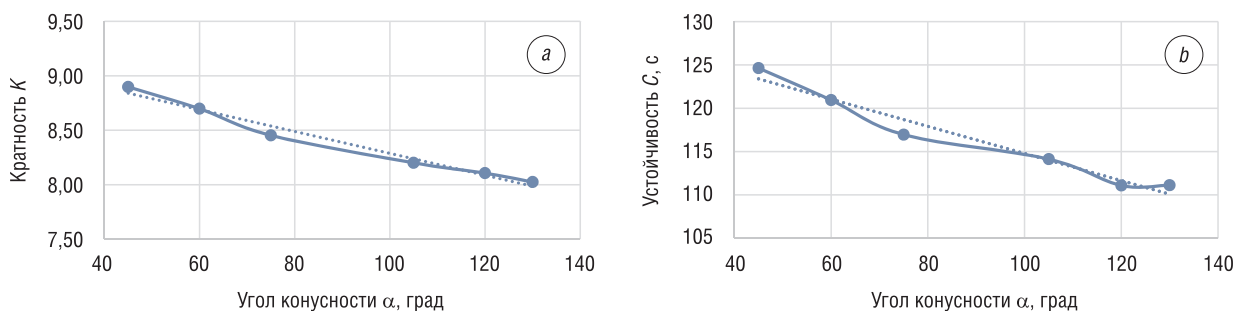


Рис. 6. Зависимость кратности (а) и устойчивости (б) воздушно-механической пены от угла конусности разбрызгивателя

Fig. 6. Dependence of the air-mechanical foam expansion rate (a) and stability (b) on the sprayer taper angle

Из рис. 6 следует, что зависимость кратности и устойчивости пены от угла конусности разбрызгивателя имеет вид, близкий к линейному (отклонение от линии тренда линейной зависимости составляет не более 1,1 % (рис. 6, а) и 1,5 % (рис. 6, б)). Аппроксимационные зависимости для кратности и устойчивости пены от угла конусности в диапазоне  $\alpha = 30^\circ \div 135^\circ$  имеют вид:

$$K = 9,27 - 0,55\alpha, \quad (1)$$

$$C = 130 - 8,6\alpha. \quad (2)$$

В (1) и (2) угол конусности подставляется в радианах.

Результаты экспериментов указывают на то, что при уменьшении угла конусности разбрызгивателя качество пены повышается. В установленном диапазоне изменения данного параметра значения кратности и устойчивости при наименьшем значении  $\alpha = 30^\circ$  (конфигурация 36 в таблице) больше на 10,9 % и 12,6 % соответственно, чем при наибольшем значении угла конусности  $\alpha = 135^\circ$  (конфигурация 33 в таблице).

**Заключение.** Определены оптимальные значения геометрических параметров держателя и разбрызгивателя для получения воздушно-механической пены наивысшего качества: длина держателя  $L = 45 \div 55$  мм, высота выступов разбрызгивателя  $h = 1 \div 3$  мм.

Выяснено, что уменьшение угла конусности разбрызгивателя приводит к увеличению кратности и устойчивости генерируемой пены. Получены аппроксимационные зависимости  $K(\alpha)$  и  $C(\alpha)$  в диапазоне  $\alpha = 30^\circ \div 135^\circ$ .

Для разбрызгивателей с постоянным внутренним диаметром  $d = 16$  мм и шагом лопастей  $\tau = 30^\circ$  получено, что значения кратности и устойчивости пены выше в случае применения наименьшего внешнего диаметра, используемого в экспериментах ( $D = 20$  мм).

Установлено, что увеличение длины держателя  $L$  более 90 мм и высоты выступа  $h$  более 5 мм не влияют на кратность и устойчивость пены.

Следует отметить, что полученные зависимости кратности и устойчивости пены от геометрических параметров розетки оросителя имеют схожий вид. Данный факт сопоставим с выводами авторов в [6], согласно которым изменения устойчивости пены пропорциональны изменениям кратности пены при одинаковых условиях пеногенерирования.

Полученные в результате проведенных в Университете гражданской защиты МЧС Беларуси исследований экспериментальные данные позволят оптимизировать конструкцию существующих оросителей с целью генерирования пены с повышенными качественными характеристиками, что повысит эффективность оборудования, используемого при пожаротушении.

### Список использованных источников

1. John, R. Hall. U.S. Experience with sprinklers and other automatic fire extinguishing equipment [Electronic resource]. – USA, JR. NFPA USA, 2017. – 35 p. – Mode of access: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Suppression/ossprinklers.pdf> – Date of access : 02.07.2018.
2. Кирюхина, Т.Г. Установки пожаротушения. Основные понятия, проектирование, монтаж, техническая эксплуатация: учеб. пособие / Т.Г. Кирюхина, Н.В. Смирнов. – М.: НОУ «ТАКИР», 2006. – 302 с.
3. Котов, А. А. Применение высокократной пены при тушении пожаров / А. А. Котов, И. И. Петров, В. Ч. Реутт. – М.: Изд-во лит-ры по строительству, 1972. – 112 с.
4. Камлюк, А. Н. Экспериментальные исследования влияния конструктивных элементов оросителей на кратность воздушно-механической пены / А. Н. Камлюк, А. О. Лихоманов // Вестн. Ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2017. – № 1. – С. 167–177.
5. Лихоманов, А. О. Обоснование применения розеточных оросителей, изготавливаемых при помощи аддитивных технологий, в экспериментальных исследованиях качественных характеристик воздушно-механической пены низкой кратности / А. О. Лихоманов, Э. Г. Говор, А. Н. Камлюк // Вестн. Ун-та гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2018. – № 1. – С. 25–39.
6. 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 // Вестн. Командно-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2015. – № 2 (22). – С. 52–61.

### References

1. John R. Hall. U.S. Experience with sprinklers and other automatic fire extinguishing equipment. USA, JR. NFPA USA, 2017, 35 p. Available at: <https://www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Suppression/ossprinklers.pdf> (accessed 2 July 2018).
2. Kiryukhina T. G. *Fire Extinguishing Systems. Basic Concepts, Design, Installation, Technical Operation*. Moscow, NOU “TAKIR”, 2006. 302 p. (in Russian).
3. Kotov A. A., Petrov I. I., Reutt V. Ch. *High-Expansion Foam Implementation for Fire Extinguishing*. Moscow, Publishing House of literature on construction, 1972. 112 p. (in Russian).



4. Kamlyuk A. N., Likhomanov A. O. Experimental investigations of the influence of the structural elements of sprinklers on the expansion rate of air-mechanical foam. *Vestnik Universiteta grazhdanskoy zashchityi MChS Belarusi = Vestnik of the University of Civil Protection of the MES of Belarus*, 2017, no. 1, pp. 167–177 (in Russian).

5. Likhomanov A. O., Govor E. G., Kamlyuk A. N. The substantiation of the application of deflector sprinklers manufactured by additive technologies in experimental studies of qualitative characteristics of the low-expansion air-mechanical foam. *Vestnik Universiteta grazhdanskoy zashchityi MChS Belarusi = Vestnik of the University of Civil Protection of the MES of Belarus*, 2018, no. 1, pp. 25–39 (in Russian).

6. Kachanov I. V., Kulebyakin V. V., Pavlyukov S. Yu. On the effect of the preliminary gas saturation of the foaming solution on the characteristics of the foam generated in automatic firefighting installations. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus' = Vestnik of the Institute for Command Engineers of the MES of the Republic of Belarus*, 2015, no. 2, pp. 52–61 (in Russian).

### Информация об авторах

*Камлюк Андрей Николаевич* – кандидат физико-математических наук, доцент, заместитель начальника университета по научной и инновационной деятельности, Университет гражданской защиты МЧС Беларуси (ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск, Республика Беларусь).

*Лихоманов Алексей Олегович* – адъюнкт (аспирант), кафедра автоматических систем безопасности, Университет гражданской защиты МЧС Беларуси (ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск, Республика Беларусь). E-mail: alexlikh20@gmail.com

### Information about the authors

*Andrei N. Kamlyuk* – Ph. D. (Physics and Mathematics), Assistant Professor, Deputy Head of the University for Scientific and Innovation Activities, University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus (25, Mashinostroiteley Str., 220118, Minsk, Republic of Belarus).

*Aliaksei O. Likhomanau* – Postgraduate Student, Chair of Automatic Safety Systems, University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus (25, Mashinostroiteley Str., 220118, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alexlikh20@gmail.com