

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.174>

УДК 614.844.5:614.844.2

## О ВЗАИМОСВЯЗЯХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОРОСИТЕЛЯ, УСТОЙЧИВОСТИ И КРАТНОСТИ ПОЛУЧАЕМОЙ ПЕНЫ

Лихоманов А.О., Говор Э.Г., Камлюк А.Н.

*Цель.* Проанализировать влияние геометрических параметров розеточного оросителя на кратность и устойчивость получаемой воздушно-механической пены. Исследовать взаимосвязь между кратностью и устойчивостью пены низкой кратности, генерируемой в розеточных оросителях, при использовании пенообразователей общего назначения и пенообразователей-смачивателей.

*Методы.* Общие научные методы исследования (анализ, синтез, систематизация). Исследование взаимосвязи между кратностью и устойчивостью пены выполнялось при проведении экспериментов, а для математического описания установленной зависимости применены методы регрессионного и статистического анализов.

*Результаты.* Установлены геометрические параметры дужек и розетки оросителя, значения которых влияют на кратность и устойчивость получаемой пены, а также проанализированы оптимальные по кратности и устойчивости пены значения данных параметров. Получено выражение для определения коэффициента рабочей поверхности розетки оросителя, имеющей конусообразную форму. Установлено, что ранее выявленный линейный характер зависимости устойчивости пены от ее кратности для пенообразователя ПО-6РЗ (6 %) характерен и для других пенообразователей: пенообразователя общего назначения Синтек-6НС (6 %) и пенообразователя-смачивателя ОПС-0,4 (1 %).

*Область применения исследований.* Выражение для определения коэффициента рабочей поверхности розетки  $K_s$  может широко использоваться при разработке новых розеточных оросителей для автоматических установок пожаротушения, а также для модернизации их конструкции. Кроме того, с помощью полученного выражения зависимости устойчивости пены от ее кратности и эмпирических коэффициентов пропорциональности данной зависимости для пенообразователей ОПС-0,4 (1 %) и Синтек-6НС (6 %) можно рассчитать значение устойчивости пены, зная ее кратность, или значение кратности, зная устойчивость.

*Ключевые слова:* автоматическая установка пожаротушения, ороситель, пена, кратность пены, устойчивость пены, геометрические параметры оросителя, коэффициент рабочей поверхности розетки оросителя.

(Поступила в редакцию 26 апреля 2021 г.)

### Введение

Автоматические установки пожаротушения являются одним из наиболее эффективных элементов системы противопожарной защиты зданий и сооружений [1]. Такие установки позволяют на начальной стадии пожара без участия человека определить факт возникновения горения и произвести его локализацию и дальнейшую ликвидацию. Важным этапом при проектировании данных систем является выбор типа огнетушащего вещества в зависимости от вида пожарной нагрузки, находящейся на защищаемой площади. Наиболее широко применяемыми огнетушащими веществами являются вода и воздушно-механическая пена [2]. Важными качественными характеристиками воздушно-механической пены, с позиции эффективности пожаротушения, считаются устойчивость  $C$  и кратность  $K$ . Под кратностью пены понимается величина, равная отношению объема пены к объему раствора пенообразователя, содержащегося в ней [3]. Для тушения пожаров в зданиях и сооружениях химических, нефтехимических, нефтегазовых и металлургических предприятий, на объектах энергетической промышленности и других наиболее часто применяют воздушно-механическую пену низкой кратности ( $3 < K < 20$ ) [3]. Под устойчивостью пены  $C$  понимается время, в течение которого пена способна сохранять свои исходные свойства. Устойчивость пены

позволяет судить о необходимом количестве пены для эффективного пожаротушения, а также о возможности повторного возгорания очага пожара. Чем выше устойчивость пены при заданном значении кратности, тем меньшее количество раствора пенообразователя будет израсходовано для ликвидации горения и тем меньше вероятность повторного возгорания.

В большинстве случаев для генерирования пены низкой кратности применяют оросители розеточного типа. Это обусловлено простотой их конструкции, что удешевляет процесс производства, монтажа и обслуживания по сравнению с иными видами оросителей и пеногенераторов. Однако кратность пены, генерируемой при использовании серийно выпускаемых розеточных оросителей, не превышает 8, чего бывает недостаточно для обеспечения пожарной безопасности [1]. Повысить кратность и устойчивость генерируемой розеточным оросителем пены можно путем изменения геометрических параметров его основных элементов (дужек и розетки) [4; 5].

В связи с тем что процесс генерирования пены не поддается моделированию ввиду достаточной сложности протекающих при этом физико-химических, физико-технических и других процессов, исследовать влияние геометрических параметров розеточных оросителей на качественные характеристики пены можно исключительно экспериментальным путем [6]. Так, на основании полученных экспериментальных значений была построена математическая модель, описывающая изменение кратности пены в зависимости от геометрических параметров оросителя (длины дужек, внешнего диаметра, угла конусности лопастей и коэффициента рабочей поверхности розетки), что позволило получить оптимальные значения данных параметров с точки зрения повышения кратности получаемой пены [7].

В качестве одного из основных геометрических параметров оросителя был введен коэффициент рабочей поверхности розетки  $K_s$ , значение которого зависит от нескольких геометрических параметров (внутреннего диаметра и суммарного угла лопастей розетки) [8]. При этом в указанной работе [8] представлена формула для определения коэффициента  $K_s$ , которая позволяет рассчитывать данный коэффициент для розеточных оросителей с плоской розеткой (когда угол конусности лопастей розетки  $\alpha = 90^\circ$ ), однако в случае конусообразных розеток ( $\alpha \neq 90^\circ$ ) методика по определению коэффициента  $K_s$  не была описана. По этой причине целесообразно получить выражение для определения коэффициента  $K_s$  для оросителей с конусообразной розеткой, а также проанализировать влияние геометрических параметров оросителя на кратность и устойчивость получаемой пены.

Кроме того, на кратность и устойчивость пены влияет тип используемого пенообразователя. В работах [8; 9] впервые установлена зависимость устойчивости пены от ее кратности. При этом все эксперименты проводились с одним пенообразователем общего назначения марки ПО-6РЗ (6 %), что не позволяет распространить полученную зависимость для случаев, когда применяются другие пенообразователи.

Таким образом, данная работа направлена на изучение влияния геометрических параметров дужек и розетки оросителя на кратность и устойчивость получаемой пены, а также на исследование зависимости указанных характеристик друг от друга при использовании нескольких типов пенообразователей.

## Основная часть

**Определение коэффициента рабочей поверхности розетки оросителя  $K_s$ .** Розеточные оросители от разных производителей могут существенно отличаться размерами и формой, однако каждый из них всегда имеет в конструкции неотъемлемые элементы в виде штуцера, дужек и розетки (рис. 1). Штуцер влияет на параметры выходящей струи, дужки и розетка – на процесс дезинтеграции данной струи и образование пены. Дужки и розетку оросителя можно охарактеризовать следующим набором параметров: длина дужек  $L$ , угол лопасти розетки  $\tau$  и их количество  $n$  ( $n\tau = \sum \tau$  – суммарный угол в градусах), внутренний  $d$  и внешний  $D$  диаметры розетки и угол конусности лопастей розетки  $\alpha$  (рис. 1а). Как видно

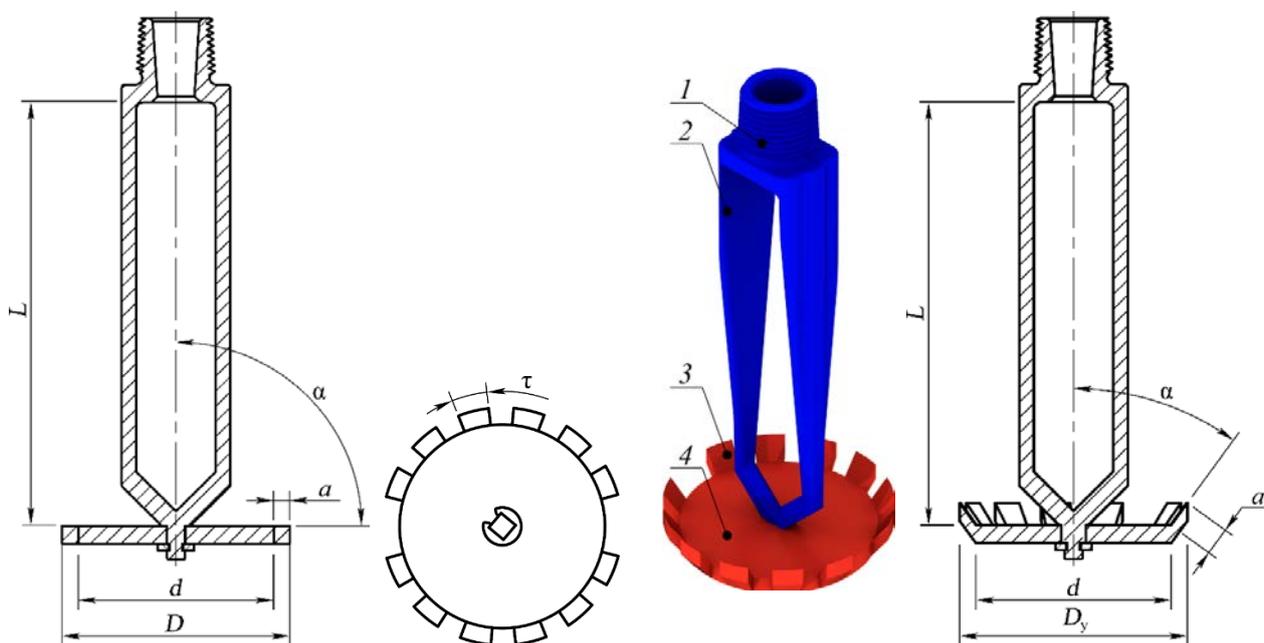
из рисунка 1, внешний диаметр плоской розетки  $D$  можно выразить через внутренний диаметр розетки  $d$  и длины двух ее лопастей  $a$ , расположенных друг напротив друга, т.е.:

$$D = d + 2a. \quad (1)$$

Диаметр  $D$  конусообразной розетки определяется (для готового оросителя) либо задается (для разрабатываемого оросителя) аналогично случаю с плоской розеткой по формуле (1). В связи с тем что лопасти оросителя имеют форму сектора круга, при изменении угла их конусности  $\alpha$  в конусообразной розетке угол лопасти  $\tau$  постепенно уменьшается при  $\alpha \rightarrow 0$  либо  $\alpha \rightarrow 180^\circ$ . Поэтому при определении формы конусообразной розетки дополнительно следует учитывать диаметр ее проекции на горизонтальную плоскость  $D_y$  (рис. 1б), который выражается через основные параметры оросителя следующим образом:

$$D_y = d + 2a \sin \alpha = d + (D - d) \sin \alpha. \quad (2)$$

Очевидно, что для плоских розеток справедливо тождество  $D_y = D$ .



$a$  – с плоской розеткой  
 $b$  – с конусообразной розеткой  
 1 – штуцер; 2 – дужки; 3 – лопасть розетки; 4 – розетка;  $D$  – внешний диаметр розетки;  $D_y$  – проекция внешнего диаметра розетки на горизонтальную плоскость;  $a$  – длина лопасти розетки;  $d$  – внутренний диаметр розетки;  $\tau$  – угол лопасти розетки;  $\alpha$  – угол конусности лопастей розетки;  $L$  – длина дужек

**Рисунок 1. – Конструктивные элементы и геометрические параметры элементов розеточного оросителя**

В работах [8; 10] при исследовании влияния геометрических параметров оросителя на кратность и устойчивость получаемой пены установлено, что ключевым является соотношение площади поверхности розетки  $S_{\text{зап}}$ , взаимодействующей с потоком жидкости в процессе разбрызгивания, и площади мнимой окружности  $S_{\text{полн}}$ , которая представляет собой совокупность площадей  $S_{\text{зап}}$  и  $S_{\text{незап}}$  (площадь пустых промежутков между лопастями розетки). Для выражения данного соотношения введен коэффициент рабочей поверхности розетки  $K_s$ , который изменяется путем варьирования внутренним диаметром розетки  $d$  (рис. 2а) либо суммой углов лопастей розетки  $\sum \tau$  (рис. 2б).

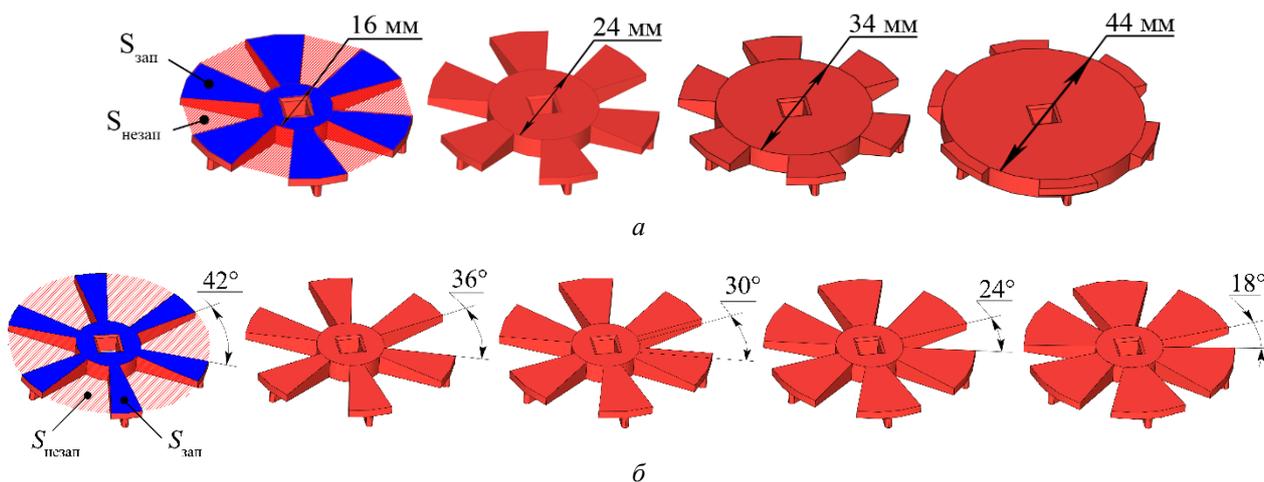


Рисунок 2. – Внешний вид розеток с различными значениями внутреннего диаметра и угла лопасти

Для расчета коэффициента  $K_s$  оросителя с плоской розеткой можно использовать следующее выражение:

$$K_s = \frac{360^\circ d^2 + (D^2 - d^2) \sum \tau}{360^\circ D^2} \cdot 100 \% \quad (3)$$

Выражение (3) не подходит для определения коэффициента  $K_s$  конусообразных розеток, т.к.  $S_{\text{полн}}$  в данном случае будет площадью не окружности (как в случае с плоской розеткой), а боковой поверхности усеченного конуса (рис. 3).

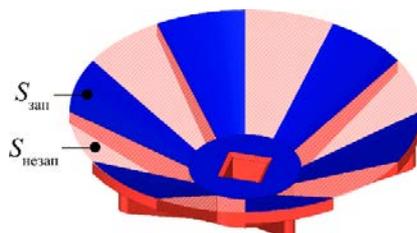


Рисунок 3. – Внешний вид конусообразной розетки оросителя

Для оросителя с конусообразной розеткой получена следующая зависимость коэффициента  $K_s$  от основных геометрических параметров розетки:

$$K_s = \frac{360d^2 \sin \alpha + (D_y^2 - d^2) \sum \tau}{360(d^2 \sin \alpha + D_y^2 - d^2)} \cdot 100 \% = \frac{360d^2 \sin \alpha + ([d + (D - d) \sin \alpha]^2 - d^2) \sum \tau}{360(d^2 \sin \alpha + [d + (D - d) \sin \alpha]^2 - d^2)} \cdot 100 \% \quad (4)$$

Выражение (4) справедливо и для оросителей с плоской розеткой (при  $\alpha = 90^\circ$  выражения (3) и (4) идентичны).

**Влияние геометрических параметров оросителя на кратность и устойчивость получаемой пены.** Экспериментально доказано, что изменение количества лопастей розетки  $n$  при неизменной сумме углов лопастей  $\sum \tau$ , а также изменение значений параметров  $d$  и  $\sum \tau$  при неизменном  $K_s$  не оказывает влияния на качественные характеристики получаемой пены [8; 10]. В связи с этим при проведении анализа влияния геометрических параметров оросителя на кратность и устойчивость пены целесообразно вместо параметров  $n$ ,  $\tau$  и  $d$  использовать коэффициент  $K_s$ , что снизит количество комбинаций геометрических параметров оросителя, влияющих на указанные характеристики пены. Таким образом установлено,

что розеточный ороситель для автоматических установок пенного пожаротушения имеет четыре геометрических параметра, значение которых оказывает влияние на кратность и устойчивость получаемой воздушно-механической пены: длина дужек  $L$ , коэффициент рабочей поверхности розетки оросителя  $K_s$ , внешний диаметр розетки  $D$  и угол конусности лопастей розетки  $\alpha$ .

Также в работе [10] исследовано влияние геометрических параметров на кратность получаемой пены, а также определены оптимальные значения данных параметров с точки зрения повышения кратности пены:  $L = 114$  мм,  $K_s = 87\%$ ,  $D = 63$  мм,  $\alpha = 36^\circ$ .

Следует отметить, что при заданных значениях параметров  $D$  и  $\alpha$  каждому значению  $K_s$  соответствует множество вариаций значений  $\sum\tau$  и  $d$ . При создании конструкции розеточного оросителя, задавшись некоторыми необходимыми разработчику значениями внешнего диаметра розетки  $D$ , угла конусности лопастей розетки  $\alpha$  и коэффициента  $K_s$ , полученными, например, по математической модели для прогнозирования кратности пены в зависимости от геометрических параметров розеточного оросителя [11], подобрать подходящие значения  $\sum\tau$  и  $d$  можно с помощью номограмм, которые строятся с использованием выражения (4). Например, на рисунке 4 представлена номограмма для определения значений  $\sum\tau$  и  $d$  при полученных оптимальных параметрах ( $K_s = 87\%$ ,  $D = 63$  мм,  $\alpha = 36^\circ$ ), а также для нескольких других значений  $K_s$  при неизменных  $D$  и  $\alpha$ . Аналогичные номограммы могут быть построены для оросителей с любыми геометрическими параметрами.

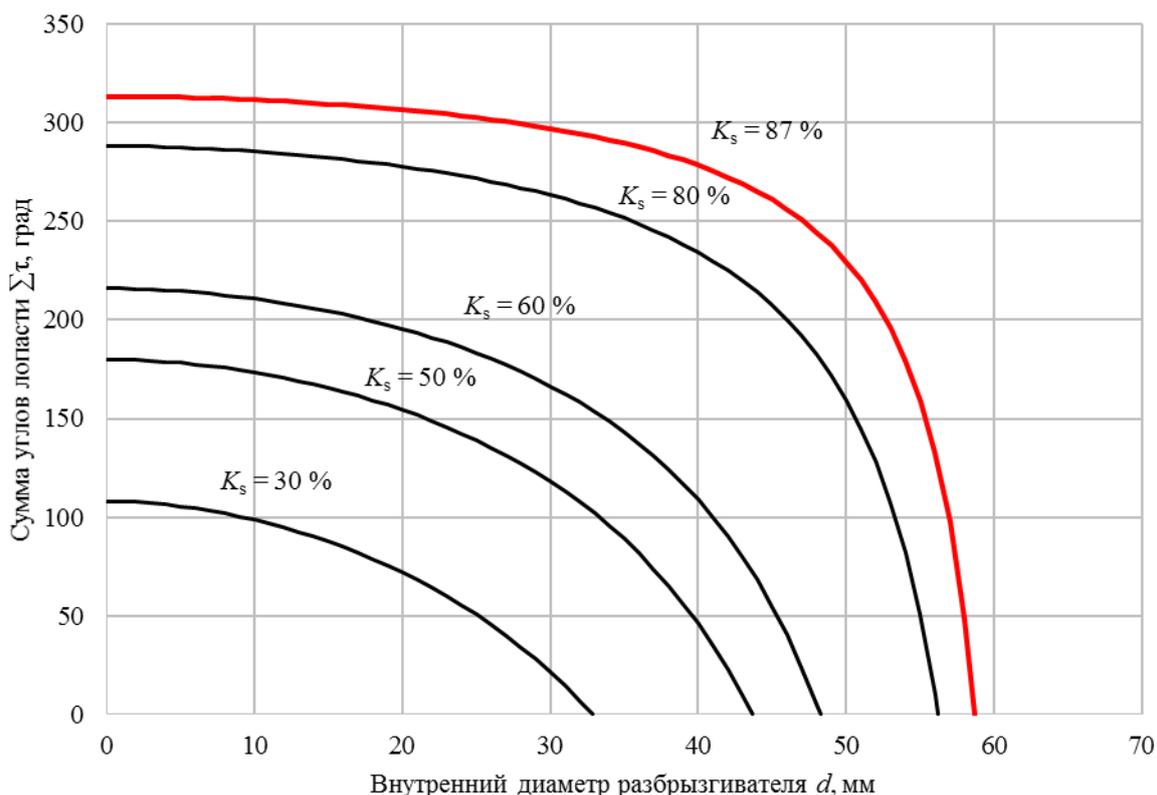


Рисунок 4. – Номограмма для определения значений  $\sum\tau$  и  $d$  для различных значений коэффициента  $K_s$

**Влияние типа пенообразователя на зависимость устойчивости пены от ее кратности.** При определении оптимальных значений геометрических параметров оросителя с точки зрения улучшения кратности  $K$  и устойчивости  $C$  получаемой пены выявлена закономерность – полученные экспериментальные зависимости кратности и устойчивости пены от геометрических параметров розеточного оросителя имеют схожий вид и пропорциональны друг другу [9; 10]. В результате анализа полученных экспериментальных значений кратности и соответствующих им значений устойчивости установлен линейный характер зависимости данных характеристик, которая выражается следующим образом [9; 10]:

$$C = \gamma K, \quad (5)$$

где  $\gamma$  – эмпирический коэффициент, зависящий от типа и физико-химических свойств пенообразователя, с.

Следовательно, при исследовании влияния геометрических параметров оросителя на кратность и устойчивость получаемой пены можно ограничиваться изучением только кратности пены, а устойчивость рассчитывать с помощью выражения (5) при известном коэффициенте  $\gamma$ . В связи с этим целесообразно проведение экспериментов с целью определения зависимости устойчивости получаемой пены от ее кратности.

Для пенообразователя общего назначения ПО-6РЗ (6 %) при условии, что устойчивость пены определяется как время разрушения 25 % ее объема, коэффициент  $\gamma$  оказался равен 13,84 с [9]. Данный пенообразователь является синтетическим и не содержит фторированных поверхностно-активных веществ (тип S<sup>1</sup>).

Для подтверждения справедливости выражения (5) для пенообразователей типа S были запланированы дополнительные исследования с использованием другого пенообразователя того же типа: Синтек-6НС с рабочей концентрацией в водном растворе 6 %. Также целесообразно проверить справедливость выражения (5) и для других типов пенообразователей. Так, для проведения эксперимента был выбран синтетический пенообразователь, не содержащий фторированных поверхностно-активных веществ и использующийся в качестве смачивателя (тип WA<sup>2</sup>): ОПС-0,4 с рабочей концентрацией в водном растворе 1 %. Так как точный химический состав пенообразователя является коммерческой тайной производителя, более подробное изучение влияния физико-химических свойств определенных пенообразователей на значение эмпирического коэффициента  $\gamma$  не проводилось.

Экспериментальные исследования кратности и устойчивости пены проводились на установке, схема которой представлена на рисунке 5. Раствор подавался из емкости 1 с помощью насоса 2 по трубопроводу 3 к оросителю 7, где генерировалась пена и попадала в емкость 8. Давление перед оросителем определялось по манометру 6 и устанавливалось на уровне 0,1 МПа. Опыт прекращался при заполнении емкости 8 на 100 %. Далее с помощью весов 9 определялась масса пены в емкости 8, после чего рассчитывалась ее кратность по формуле:

$$K = V\rho / (m_2 - m_1), \quad (6)$$

где  $V$  – объем емкости 8 (0,05 м<sup>3</sup>);  $\rho$  – плотность раствора пенообразователя (Синтек-6НС – 1002 кг/м<sup>3</sup>, ОПС-0,4 – 1001 кг/м<sup>3</sup>);  $m_1$  – масса емкости 8 (12 кг);  $m_2$  – масса емкости 8 с пеной, кг.

Для определения устойчивости пены открывался кран 4 на емкости 8 и замерялось время разрушения 25 % объема пены по мерной шкале емкости 8. Эксперименты проводились при нормальных условиях окружающей среды.

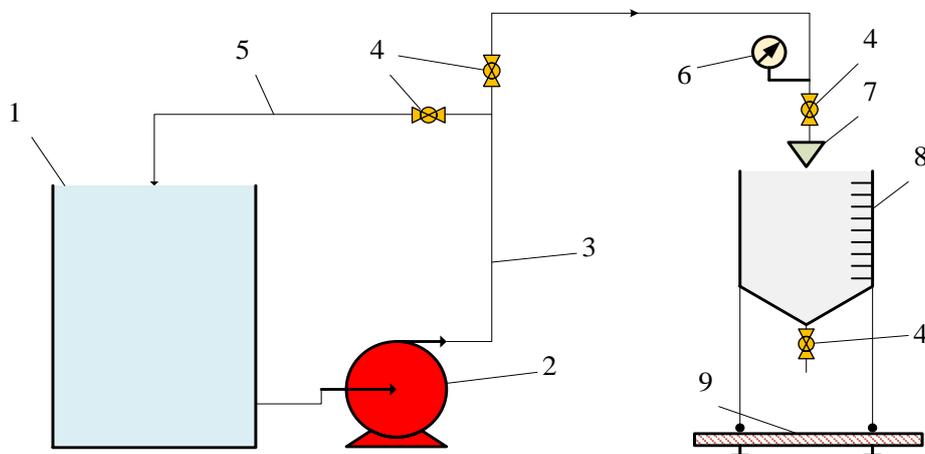
Определение качественных характеристик пены осуществлялось для различных конфигураций сборно-разборного оросителя [12], имеющих различные геометрические параметры основных элементов (дужек и розетки). Для более точного изучения зависимости устойчивости от кратности получаемой пены было необходимо получить значения кратности пены, наиболее отличающиеся друг от друга. Исходя из этого на основании ранее полученных значений кратности [4–6] были выбраны 13 соответствующих конфигураций сборно-разборного оросителя. Применялись комбинации следующих основных геометрических параметров: длина дужек  $L$  (30, 50 и 150 мм), коэффициент рабочей поверхности розетки  $K_s$  (54,6; 61,0; 81,7 и 84,4 %), внешний диаметр розетки  $D$  (30, 50 и 63 мм) и угол конусности

<sup>1</sup> Система стандартов пожарной безопасности. Вещества огнетушащие. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 2459-2016 (ГОСТ Р 50588-2012). – Взамен СТБ ГОСТ Р 50588-99; введ. 12.08.16. – Минск: Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации», 2016. – 43 с.

<sup>2</sup> См. сноску 1.

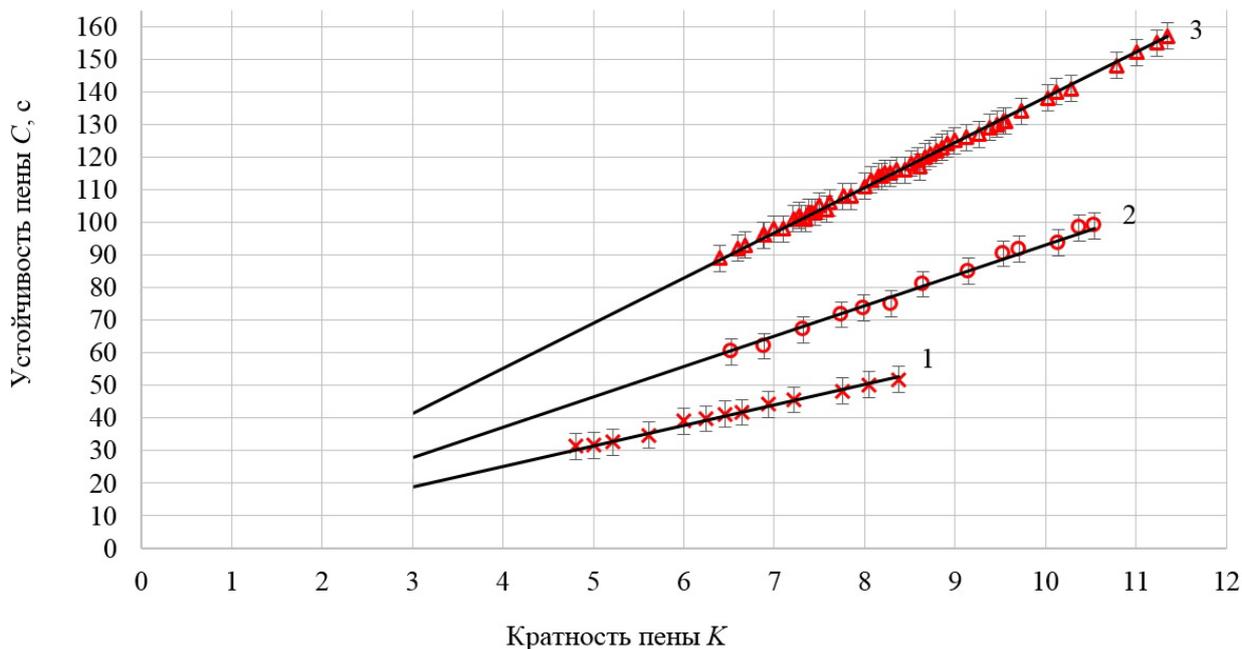
розетки  $\alpha$  (45, 65, 75, 90 и 120°). За результат эксперимента принималось среднеарифметическое пяти параллельных измерений. Расхождение между результатами наиболее отличающихся измерений с доверительной вероятностью 0,95 было не более 10 % среднего значения.

Экспериментальные зависимости качественных характеристик пены друг от друга с применением различных марок пенообразователей приведены на рисунке 6.



1 – емкость для приготовления раствора пенообразователя; 2 – насос; 3 – основной трубопровод; 4 – кран; 5 – обводной трубопровод; 6 – манометр; 7 – сборно-разборный ороситель; 8 – емкость для сбора пены; 9 – электронные весы

**Рисунок 5. – Схема экспериментальной установки**



1 – ОПС-0,4 (1 %); 2 – Синтек-6НС (6 %); 3 – ПО-6РЗ (6 %) согласно [9]

**Рисунок 6. – Зависимость устойчивости пены от ее кратности для различных марок пенообразователей**

Из рисунка 6 видно, что зависимость  $C$  от  $K$  имеет линейный вид для всех исследуемых пенообразователей, при этом формулам линий тренда (прямые линии) соответствуют коэффициенты детерминации  $R^2 \geq 0,99$ , что свидетельствует о высокой степени соответствия экспериментальным значениям. Эмпирический коэффициент  $\gamma$  для исследованных пенообразователей равен: для ОПС-0,4 (1 %) – 6,30 с; для Синтек-6НС (6 %) – 9,31 с.

### Заключение

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований получено выражение (4) для определения коэффициента площади рабочей поверхности розетки  $K_s$  для оросителей с конусообразной розеткой. Установлены геометрические параметры, значения которых влияют на кратность и устойчивость получаемой пены, а также проанализированы оптимальные значения данных параметров с точки зрения повышения кратности и устойчивости пены. При разработке конструкции новых розеточных оросителей для подбора значения  $\sum \tau$  и  $d$  в рамках обеспечения заданного коэффициента  $K_s$  предложено использование номограмм, которые строятся с использованием выражения (4).

Установлено, что ранее выявленный линейный характер зависимости устойчивости пены  $C$  от ее кратности  $K$  (выражение (5)) для пенообразователя ПО-6РЗ (6 %) характерен и для другого пенообразователя типа S – Синтек-6НС (6 %), при коэффициенте пропорциональности  $\gamma = 9,31$  с. Также данная зависимость наблюдается и при использовании пенообразователя типа WA ОПС-0,4 (1 %) при коэффициенте  $\gamma = 6,30$  с. При исследовании влияния коэффициента площади рабочей поверхности розетки  $K_s$  на качественные характеристики получаемой пены полученные коэффициенты пропорциональности  $\gamma$  позволяют ограничиться экспериментальным определением только одной качественной характеристики пены, определив вторую с помощью выражения (5).

Актуально проведение дополнительных экспериментальных исследований с целью определения коэффициентов пропорциональности для более широкого ряда пенообразователей типа S и WA, а также для проверки линейного характера зависимости устойчивости от кратности получаемой пены при использовании других типов пенообразователей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ahrens, M. U.S. Experience with sprinklers: report / M. Ahrens. – Quincy: NFPA Research, 2017. – 35 p.
2. Романцов, И.И. Эффективность использования жидкофазных огнетушащих составов на объектах энергетики / И.И. Романцов, Е.И. Чалдаева // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: материалы XXI Всероссийской научно-технической конференции, 2–4 декабря 2015 г., Томск: в 2 т. – Томск: СКАН, 2015. – Т. 2. – С. 160–164.
3. Камлюк, А.Н. Компрессионная пена для нужд пожарных подразделений: монография / А.Н. Камлюк, А.В. Грачулин. – Минск: УГЗ, 2019. – 224 с.
4. Камлюк, А.Н. Экспериментальные исследования влияния конструктивных элементов оросителей на кратность воздушно-механической пены / А.Н. Камлюк, А.О. Лихоманов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2017. – Т. 1, № 2. – С. 167–177. DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-2.167.
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 // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 1. – С. 25–39. DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-1.25.
6. 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. DOI: 10.29235/1561-8358-2019-64-1-60-68.
7. Лихоманов, А.О. Математическая модель прогнозирования кратности пены в зависимости от геометрических параметров розеточных оросителей / А.О. Лихоманов, А.Н. Камлюк // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2019. – Т. 41, № 2. – С. 27–38.
8. Камлюк, А.Н. Инновационные подходы при оптимизации конструкции пенных пожарных оросителей с помощью аддитивных технологий / А.Н. Камлюк, А.О. Лихоманов // Новости науки и технологий. – 2018. – № 3. – С. 53–59.
9. Лихоманов, А.О. Экспериментальное определение эффективности тушения пожара класса В пеной низкой кратности, генерируемой розеточными оросителями / А.О. Лихоманов, А.Н. Камлюк,

- А.В. Грачулин // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2020. – Т. 4, № 3. – С. 251–264. DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-3.251.
10. Kamluk, A.N. Increasing foam expansion rate by means of changing the sprinkler geometry / A.N. Kamluk, A.O. Likhomanov // *Fire Safety Journal*. – 2019. – Vol. 109. – P. 102862-1–102862-8. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102862.
  11. Kamluk, A.N. Field testing and extinguishing efficiency comparison of the optimized for higher expansion rates deflector type sprinkler with other foam and foam-water sprinklers / A.N. Kamluk, A.O. Likhomanov, A.V. Grachulin // *Fire Safety Journal*. – 2020. – Vol. 116. – P. 103177-1–103177-10. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103177
  12. Сборно-разборный дренчерный ороситель: полез. модель ВУ 11801 / А.Н. Камлюк, А.В. Грачулин, А.О. Лихоманов, Э.Г. Говор. – Оpubл. 30.10.2018.

**О взаимосвязях геометрических параметров оросителя,  
устойчивости и кратности получаемой пены**  
**On the relationship between the sprinkler geometric parameters,  
stability and expansion rate of the generated foam**

***Лихоманов Алексей Олегович***

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

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
e-mail: alexlikh20@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-9374-1486

***Aleksey O. Likhomanov***

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

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
e-mail: alexlikh20@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-9374-1486

***Говор Эдуард Геннадьевич***

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», отдел научной  
и инновационной деятельности,  
научный сотрудник

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
e-mail: govor-098@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-4040-3264

***Eduard G. Govor***

State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Department of Scientific and Innovation Activity,  
Researcher

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
e-mail: govor-098@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-4040-3264

***Камлюк Андрей Николаевич***

кандидат физико-математических наук,  
доцент

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», заместитель  
начальника университета по научной  
и инновационной деятельности

Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
e-mail: kan@ucp.by  
ORCID: 0000-0002-9347-0778

***Andrey N. Kamlyuk***

PhD in Physics and Mathematics Sciences,  
Associate Professor

State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry  
for Emergency Situations of the Republic  
of Belarus», Deputy Chief of the University  
on Scientific and Innovative Activity

Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
e-mail: kan@ucp.by  
ORCID: 0000-0002-9347-0778

DOI: <https://doi.org/10.33408/2519-237X.2021.5-2.174>

## ON THE RELATIONSHIP BETWEEN THE SPRINKLER GEOMETRIC PARAMETERS, STABILITY AND EXPANSION RATE OF THE GENERATED FOAM

Likhomanov A.O., Govor E.G., Kamlyuk A.N.

*Purpose.* To analyze the influence of geometric parameters of the deflector type sprinkler on the expansion rate and stability of generated air-mechanical foam and to study the relationship between the expansion rate and the stability of low expansion foam generated in deflector type sprinklers for synthetic general-purpose foaming agents and wetting agents.

*Methods.* Theoretical research methods (analysis, synthesis and systematization) were used. To study the relationship between the expansion rate and the stability of low expansion foam the experiments were carried out, and the methods of regression and statistical analyzes for the mathematical description of the established relationship were used.

*Findings.* The geometric parameters of the frame arms and deflector of the sprinkler that affect the expansion rate and stability of generated foam were defined. The optimal values of these geometric parameters to obtain foam with increased expansion rate and stability were analyzed. The expression for determining the working surface coefficient  $K_s$  of the cone-shape deflector of the sprinkler was obtained. It was found that the previously revealed linear nature of the dependence of foam stability on foam expansion rate for the PO-6RZ (6 %) foaming agent is also typical for other foaming agents, in particular for the synthetic general-purpose foaming agent Sintek-6NS (6 %) and the wetting agent OPS-0.4 (1 %).

*Application field of research.* The expression for determining the working surface coefficient  $K_s$  of the cone-shape deflector of the sprinkler can be widely used in the development of new deflector type sprinklers for automatic extinguishing systems, as well as for the modernization of their design. In addition, the obtained expression for the dependence of foam stability on its expansion rate can be used to calculate the unknown value of these qualitative characteristics of foam, knowing the value of one of them (for the synthetic general-purpose foaming agent Sintek-6NS (6 %) and the wetting agent OPS-0.4 (1 %)).

*Keywords:* automatic extinguishing system, sprinkler, foam, foam expansion rate, foam stability, geometric parameters of sprinkler, deflector working surface coefficient of sprinkler.

(The date of submitting: April 26, 2021)

### REFERENCES

1. Ahrens M. U.S. *Experience with sprinklers*. Quincy: NFPA Research, 2017. 35 p.
2. Romantsov I.I., Chaldaeve E.I. Effektivnost' ispol'zovaniya zhidkofaznykh ognetushashchikh sostavov na ob'ektakh energetiki [Efficiency of using liquid-phase fire-extinguishing compositions at power engineering facilities]. *Proc. XXI All-Russian scientific-technical conf. «Energy: efficiency, reliability, safety»*, Tomsk, December 2–4, 2015. Tomsk: SKAN, 2015. Vol. 2. Pp. 160–164. (rus)
3. Kamlyuk A.N., Grachulin A.V. *Kompressionnaya pena dlya nuzhd pozharnykh podrazdeleniy* [Compression foam for the needs of fire departments]: monograph. Minsk: University of Civil Protection, 2019. 224 p. (rus)
4. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O. Eksperimental'nye issledovaniya vliyaniya konstruktivnykh elementov orositeley na kratnost' vozdušno-mekhanicheskoy peny [Experimental investigations of the influence of the structural elements of sprinklers on the expansion rate of air-mechanical foam]. *Journal of Civil Protection*, 2017. Vol. 1, No. 2. Pp. 167–177. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2017.1-2.167.
5. Likhomanov A.O., Govor E.G., Kamlyuk A.N. Obosnovanie primeneniya rozetchnykh orositeley, izgotavlivaemykh pri pomoshchi additivnykh tekhnologiy, v eksperimental'nykh issledovaniyakh kachestvennykh kharakteristik vozdušno-mekhanicheskoy peny nizkoy kratnosti [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]. *Journal of Civil Protection*, 2018. Vol. 2, No. 1. Pp. 25–39. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2018.2-1.25.
6. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O. Eksperimental'noe opredelenie ratsional'nykh geometricheskikh parametrov derzhatelya i razbryzgivatelya orositeley po kratnosti i ustoychivosti peny [Experimental determination of the rational geometrical parameters of the sprinkler frame arms and deflector on the expansion rate and stability of foam]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2019. Vol. 64, No. 1. Pp. 60–68. (rus). DOI: 10.29235/1561-8358-2019-64-1-60-68.

7. Likhomanov A.O., Kamlyuk A.N. Matematicheskaya model' prognozirovaniya kratnosti peny v zavisimosti ot geometricheskikh parametrov rozetochnykh orositeley [Mathematical model for predicting foam expansion rate depending on the geometrical parameters of deflector type sprinkler]. *Nauchnye i obrazovatel'nye problemy grazhdanskoy zashchity*, 2019. Vol. 41, No. 2. Pp. 27–38. (rus)
8. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O. Innovatsionnye podkhody pri optimizatsii konstruksii pennykh pozharnykh orositeley s pomoshch'yu additivnykh tekhnologiy [Innovative way to optimize the design of foam fire sprinklers with the help of additive technologies]. *News of Science and Technologies*, 2018. Vol. 46, No. 3. Pp. 53–59. (rus)
9. Likhomanov A.O., Kamlyuk A.N., Grachulin A.V. Eksperimental'noe opredelenie effektivnosti tusheniya pozhara klassa B peny nizkoy kratnosti, generiruemoy rozetochnymi orositelyami [Experimental determination of the Class B fire extinguishing efficiency using low-expansion foam generated by deflector type sprinklers]. *Journal of Civil Protection*, 2020. Vol. 4, No. 3. Pp. 251–264. (rus). DOI: 10.33408/2519-237X.2020.4-3.251.
10. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O. Increasing foam expansion rate by means of changing the sprinkler geometry. *Fire Safety Journal*, 2019. Vol. 109. Pp. 102862-1–102862-8. DOI: 10.1016/j.firesaf.2019.102862.
11. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O., Grachulin A.V. Field testing and extinguishing efficiency comparison of the optimized for higher expansion rates deflector type sprinkler with other foam and foam-water sprinklers. *Fire Safety Journal*, 2020. Vol. 116. Pp. 103177-1–103177-10. DOI: 10.1016/j.firesaf.2020.103177.
12. Kamlyuk A.N., Grachulin A.V., Likhomanov A.O., Govor E.G. *Sborno-razbornyy drenchernyy orositel'* [Collapsible deluge sprinkler]: utility model BY 11801. Published October 30, 2018. (rus)