

## ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЯ НА СМАЧИВАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ И КРАТНОСТЬ ПЕНЫ ПРИ ДОЗИРОВАНИИ В АВТОМАТИЧЕСКИХ СПРИНКЛЕРНЫХ УСТАНОВКАХ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Лихоманов А.О., Навроцкий О.Д., Жуковский С.А., Камлюк А.Н.

*Цель.* Определить зависимость смачивающей способности и кратности пены от концентрации пенообразователя (смачивателя) для тушения пожаров, а также установить концентрационные пределы пенообразователя, при которых огнетушащий раствор соответствует требованиям технических нормативных правовых актов и технической документации производителя по кратности пены и показателю смачивающей способности. На примере модельного помещения выполнить гидравлический расчет автоматической спринклерной установки пожаротушения и проанализировать возможность поддержания необходимой концентрации пенообразователя дозирующим устройством напорного типа с шайбой.

*Методы.* Общая методология работы предусматривала использование теоретических (анализ, синтез, сравнение) и экспериментальных методов исследования. Смачивающая способность пенообразующего раствора и кратность генерируемой пены определялись экспериментально с использованием метода испытаний, описанного в СТБ 2459-2016. Обработка экспериментальных данных выполнена с использованием статического регрессионного анализа, а также с установлением неопределенности измерений.

*Результаты.* По результатам экспериментальных исследований установлено, что концентрация пенообразователей (смачивателей) ОПС-0,4 более 0,67 % и СП-01 более 0,77 % в растворе может привести к повышению кратности пены, образующейся на выходе из оросителей автоматической спринклерной установки пожаротушения (УП), более 5 и, соответственно, ухудшению эффективности работы установки при тушении пожара. По этой причине в спринклерных УП дозирующее устройство должно обеспечивать некоторый минимальный (работа одного диктующего оросителя) и максимальный расход пенообразователя для поддержания достаточной для эффективного тушения концентрации. На примере модельного помещения размером 12,5×7,7 м показано, что при использовании дозирующего устройства напорного типа с шайбой, имеющей фиксированный диаметр отверстия для ввода пенообразователя в подводящий трубопровод УП, превышение рекомендуемой производителями концентрации пенообразователя марки СП-01 более чем в 7,7 раза происходит при вскрытии трех из двадцати четырех оросителей потолочной секции УП. На основании этого необходимо сделать вывод, что при проектировании спринклерных УП следует проводить детальный расчет дозирования пенообразователя при последовательном срабатывании оросителей в секции либо применять дозирующие устройства, способные в автоматическом режиме регулировать дозирование в зависимости от расхода воды в подводящем трубопроводе.

*Область применения исследований.* Проектирование автоматических установок пожаротушения с применением спринклерных оросителей.

*Ключевые слова:* пенообразователь, смачиватель, смачивающая способность, кратность пены, автоматическая установка пожаротушения, спринклер.

(Поступила в редакцию 12 апреля 2024 г.)

### Введение

Для противопожарной защиты производственных помещений, жилых, общественных и административных зданий применяют автоматические установки пожаротушения (далее – УП), наиболее распространенными среди которых являются УП водой и водой со смачивателем [1]. В качестве смачивателей могут использоваться пенообразователи типа S или WA

по СТБ 2459-2016<sup>1</sup>. Добавление пенообразователя к воде увеличивает ее огнетушащую способность и поэтому в соответствии с СН 2.02.03-2019<sup>2</sup> интенсивность орошения принимают в 1,5 раза меньше, чем для водяных, что позволяет сэкономить на насосном оборудовании и трубопроводной арматуре [2–6].

Для эффективного использования пенообразователей необходимо обеспечить их смешивание с водой в концентрации<sup>3</sup>, установленной в технической документации завода-производителя, с помощью специальных дозаторов. Дозаторы могут иметь различную конструкцию – от самой простой в виде шайбы с отверстием (дозирующая или дроссельная шайба) до сложных систем в виде дозаторов с балансировкой давления и баков дозаторов [2].

Основное техническое требование к дозаторам – обеспечение точного дозирования пенообразователя во всех режимах работы УП. И именно необходимость выполнения данного требования является причиной разработки и использования сложных и дорогостоящих дозаторов. В то же время для снижения стоимости УП на практике часто используются простые и дешевые, но менее точные дозаторы в виде дозирующих шайб с отверстием определенного диаметра, подобранных на основании теоретического расчета, и насосных агрегатов с заданными значениями давления и расхода, подающих пенообразователь через отверстие в дозирующей шайбе.

Использование дозирующих шайб целесообразно в УП с постоянным расходом воды, например в дренчерных системах. В то же время в спринклерных УП расход воды при тушении изменяется, и использование такого способа дозирования пенообразователя имеет существенный недостаток: дозирующая шайба не позволяет поддерживать постоянную рабочую концентрацию раствора в диапазоне изменения расхода для секции УП, состоящей из множества оросителей при их последовательном вскрытии по мере развития пожара.

Отклонение от рекомендуемой производителем концентрации пенообразователя в растворе может привести к изменению эффективности работы спринклерной УП при тушении пожара. Здесь целесообразно рассмотреть два варианта отклонения концентрации: первый в сторону уменьшения реальной концентрации пенообразователя в растворе от установленной производителем, второй – в сторону увеличения. В первом случае логично предположить, что при уменьшении концентрации пенообразователя в растворе смачивающая способность будет снижаться и огнетушащая эффективность тоже будет снижаться. Во втором случае, при значительном повышении концентрации пенообразователя в растворе, на розетке спринклера будет образовываться плотная пена, которая распыляется значительно хуже водного раствора, что может привести к уменьшению реальной площади орошения по отношению к расчетной [7]. Здесь также следует отметить, что увеличение кратности пены выше допустимой (для пенообразователей общего назначения, используемых в качестве смачивателей, кратность должна быть, как правило, не более 5) приводит к уменьшению растекаемости раствора по поверхности твердых горючих материалов, ухудшает его способность проникать в структуру материалов, что в совокупности может привести к снижению эффективности тушения пожара с помощью УП [7; 8].

В связи с изложенным целью наших исследований было экспериментально установить концентрационные пределы (минимальную и максимальную концентрацию) пенообразователя (смачивателя) типа WA, при которых он соответствует требованиям СТБ 2459-2016 и технической документации производителя по кратности пены и показателю смачивающей способности. Кроме того, на примере модельного помещения выполнить гидравлический расчет автоматической спринклерной УП и проанализировать возможность поддержания необходимой концентрации пенообразователя дозирующим устройством напорного типа с шайбой.

<sup>1</sup> Вещества огнетушащие. Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования. Методы испытаний: СТБ 2459-2016. – Взамен СТБ ГОСТ Р 50588-99; введ. 12.08.16. – Минск, Госстандарт, 2016. – 50 с.

<sup>2</sup> Строительные нормы Республики Беларусь. Пожарная автоматика зданий и сооружений СН 2.02.03-2019. – Введ. 29.11.19 (с отменой на территории Беларуси ТКП 45-2.02-317-2018 (33020)). – Минск, 2019. – 104 с.

<sup>3</sup> В данной работе рассматривается объемная концентрация в растворе.

## Основная часть

**Определение смачивающей способности.** Показатель смачивающей способности рабочего раствора пенообразователя определялся по методике, изложенной в СТБ 2459-2016, суть которой заключается в определении времени смачивания образца материала при его погружении в испытуемый раствор аналогично методу, описанному в SN NS-EN 1772<sup>4</sup>. Данная методика была использована нами для определения зависимости показателя смачивающей способности от концентрации пенообразователей ОПС-0,4 и СП-01 в огнетушащем растворе.

Для проведения исследований использовались аппаратура, материалы, растворы и посуда, характеристики которых соответствуют СТБ 2459-2016. Перед проведением эксперимента были подготовлены образцы круглой формы из неотбеленной хлопковой ткани диаметром  $(30 \pm 1)$  мм, выдержанные при относительной влажности воздуха около 65 % в течение 3 суток. При температуре воды  $(28 \pm 2)$  °С были приготовлены экспериментальные образцы растворов с концентрацией пенообразователя ОПС-0,4 в растворе 1,6; 0,8; 0,4; 0,2; 0,1; 0,05; 0,025 % и концентрацией пенообразователя СП-01 – 0,4; 0,2; 0,1; 0,05; 0,025 % (согласно паспорту производителя рабочая концентрация пенообразователя ОПС-0,4 находится в диапазоне от 0,4 до 1,0 %, а пенообразователя СП-01 – от 0,1 до 1,0 %). Далее экспериментальные образцы охлаждались и при достижении температуры раствора  $(20 \pm 1)$  °С проводились испытания. Образец из хлопчатобумажной ткани, помещенный в зажимное приспособление, вертикально погружался в стакан вместимостью 1000 мл и диаметром дна 95 мм, в который предварительно заливался раствор пенообразователя в количестве 700 мл. Одновременно измерялось время с момента погружения образца ткани до момента, когда образец свободно начинал тонуть (рис. 1). Полученное время принималось за показатель смачивающей способности. За результат испытания принималось среднеарифметическое значение десяти параллельных определений показателя смачивающей способности для одной концентрации. Минимально допустимая концентрация пенообразователя в растворе должна быть не менее концентрации, при которой значение показателя смачивающей способности составляет  $45 \text{ с}^5$ .

В результате проведения экспериментов получены зависимости показателя смачивающей способности от концентрации растворов пенообразователя, которые представлены на рисунке 2. На данном рисунке указано значение коэффициента детерминации  $R^2$ , характеризующего точность описания рассматриваемой зависимости подобранным уравнением регрессии.

Из рисунка 2 видно, что показатель смачивающей способности (время смачивания образца) уменьшается с увеличением концентрации пенообразователя в растворе (т.е. смачивающая способность повышается). Уравнения регрессии, описывающие зависимость показателя смачивающей способности  $\tau$  от концентрации пенообразователя  $C$  (рис. 2а и 2б), имеют следующий вид [9]:

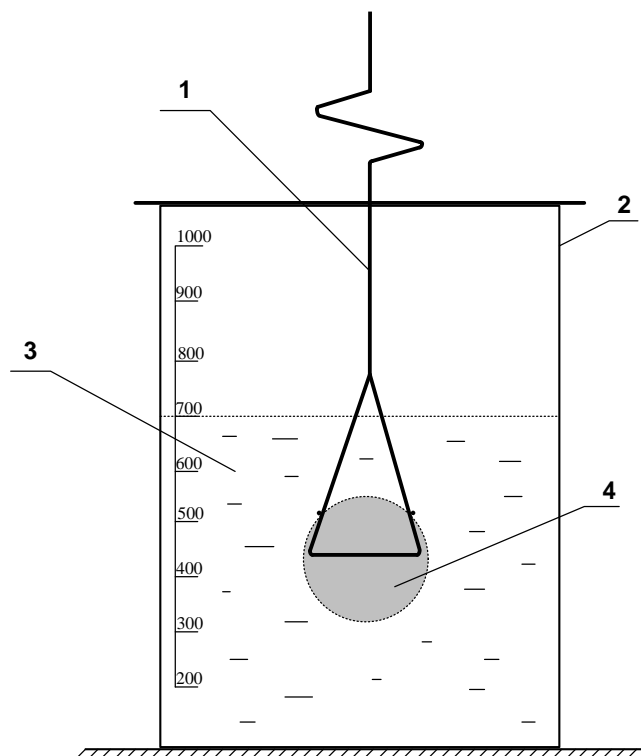
$$\tau = 1,31C^{-1,23} \text{ для ОПС-0,4;} \quad (1)$$

$$\tau = 0,65C^{-1,33} \text{ для СП-01.} \quad (2)$$

С учетом представленных выше выражений (1) и (2) минимальная концентрация пенообразователей ОПС-0,4 и СП-01 составляет  $\approx 0,06$  и  $\approx 0,05$  % соответственно. При этом при концентрации пенообразователя  $\approx 0,2$  (для ОПС-0,4) и  $\approx 0,1$  % (для СП-01) и более показатель смачивающей способности перестает существенно изменяться, т.е. дальнейшее повышение концентрации пенообразователя не увеличивает смачивающую способность раствора [9].

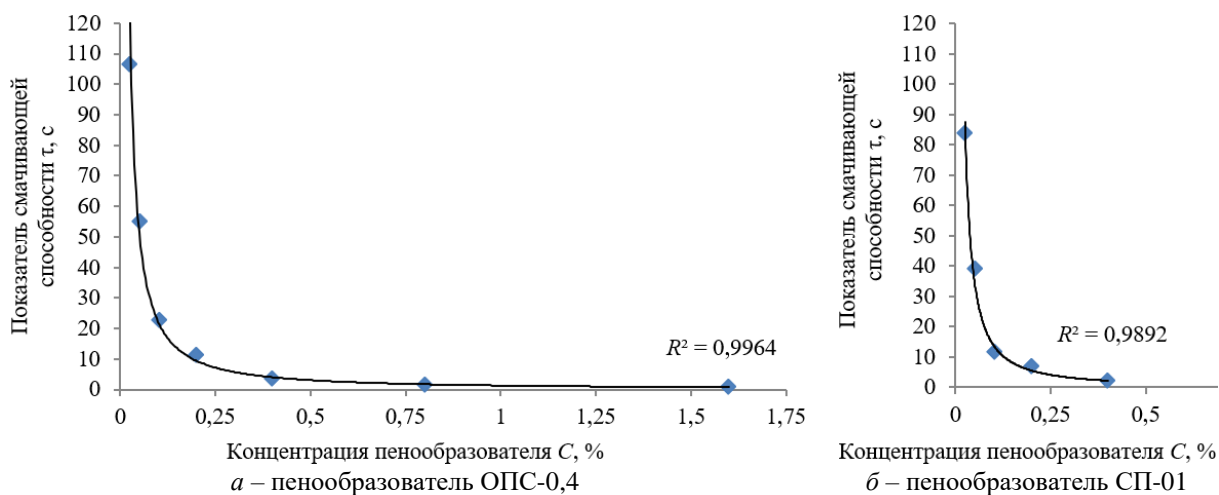
<sup>4</sup> SN NS-EN 1772:2000 Surface active agents – Determination of wetting power by immersion (ISO 8022:1990 modified) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://docs.cntd.ru/document/431948578>. – Date of access: 20.04.2024.

<sup>5</sup> См. сноску 1.



1 – зажимное приспособление для погружения образца из хлопковой ткани в раствор пенообразователя;  
 2 – стакан стеклянный цилиндрической формы; 3 – раствор пенообразователя;  
 4 – образец из хлопковой ткани круглой формы

**Рисунок 1. – Принципиальная схема для проведения эксперимента по определению смачивающей способности пенообразователя**

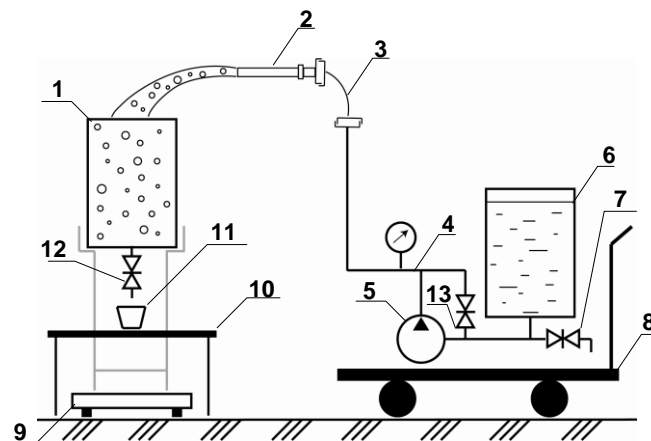


**Рисунок 2. – Зависимость показателя смачивающей способности от концентрации пенообразователя в растворе**

**Определение кратности пены.** Для проведения эксперимента по определению кратности применялась установка (рис. 3) и методика в соответствии с СТБ 2459-2016<sup>6</sup>.

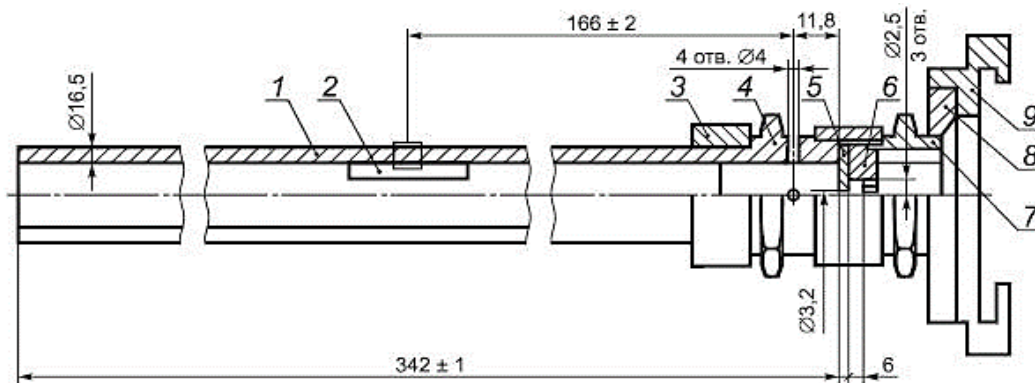
При проведении эксперимента применялся пожарный ствол для получения пены низкой кратности с распылителем (рис. 4) в соответствии с СТБ 2459-2016, позволяющий обеспечить объемный расход пенообразующего раствора  $0,166 \pm 0,001$  дм<sup>3</sup>/с при давлении во входном сечении ствола  $0,58 \pm 0,02$  МПа.

<sup>6</sup> См. сноску 1.



1 – емкость с подставкой для сбора пены; 2 – ствол низкой кратности; 3 – напорный рукав; 4 – патрубок с манометром; 5 – насос; 6 – емкость с рабочим раствором пенообразователя; 7, 12, 13 – запорный вентиль; 8 – каркас установки; 9 – весы; 10 – подставка для емкости; 11 – емкость для сбора раствора

Рисунок 3. – Схема установки для определения кратности пены



1 – труба; 2 – успокоитель; 3 – муфта; 4, 7 – штуцер; 5 – распылитель; 6 – смеситель; 8 – переходник; 9 – соединительная муфтовая головка

Рисунок 4. – Пожарный ствол пены низкой кратности<sup>7</sup>

Эксперименты проводились с использованием пенообразователей ОПС-0,4 и СП-01. Экспериментальные образцы растворов приготавливались при температуре  $20 \pm 2$  °С с концентрацией пенообразователя 0,10; 0,19; 0,38; 0,75 и 1,50 (согласно паспорту производителя рабочая концентрация пенообразователя ОПС-0,4 находится в диапазоне от 0,4 до 1,0 %, а пенообразователя СП-01 – от 0,1 до 1,0 %). Для получения пены низкой кратности рабочий раствор пенообразователя подавался на пожарный ствол под давлением  $0,60 \pm 0,01$  МПа (определялось по манометру 4, рис. 3). После получения устойчивой струи пены емкость для сбора пены наполнялась равномерным слоем в течение  $25 \pm 5$  с. Затем измерялась масса и объем полученной пены низкой кратности в емкости для сбора пены. Кратность пены вычислялась по формуле:

$$K = \frac{V_n}{V_p} = \frac{V_n \rho_p}{m_p},$$

где  $V_n$  – объем пены,  $\text{дм}^3$ ;

$V_p$  – объем раствора пенообразователя,  $\text{дм}^3$ ;

$\rho_p$  – плотность раствора пенообразователя,  $\text{кг}/\text{дм}^3$  (для пенообразователя плотность раствора принималась  $1 \text{ кг}/\text{дм}^3$ );

$m_p$  – масса раствора пенообразователя,  $\text{кг}$ .

За результат испытания принималось среднее арифметическое значение трех измерений кратности пены для одной концентрации пенообразователя.

<sup>7</sup> См. сноску 1.

В результате проведения экспериментов получены зависимости кратности пены от концентрации пенообразователя в рабочем растворе, приготовленном с использованием пенообразователей ОПС-0,4 и СП-01, графики которых представлены на рисунках 5а и 5б соответственно. На данных рисунках указано значение коэффициента детерминации  $R^2$ , характеризующего точность описания рассматриваемой зависимости подобранным уравнением регрессии.

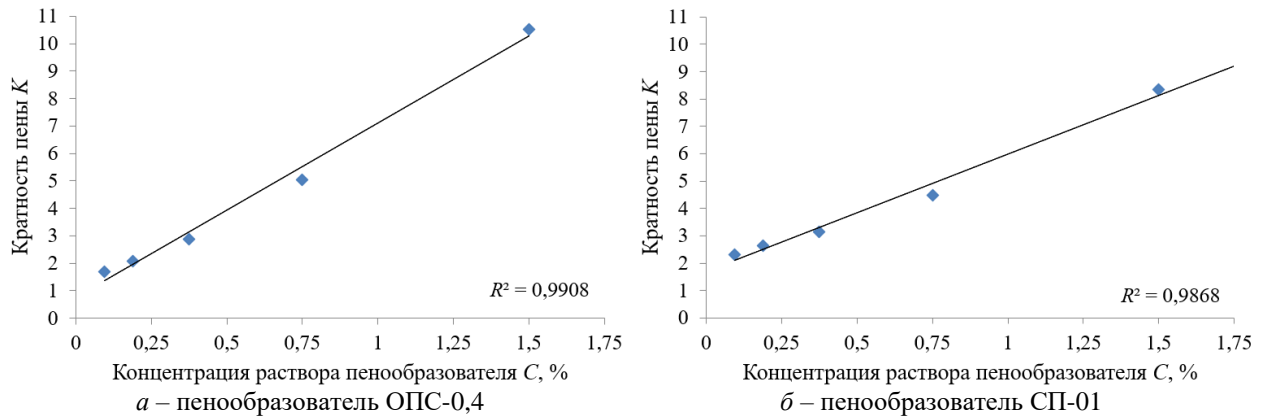


Рисунок 5. – Зависимость кратности пены от концентрации пенообразователя

Из рисунка 5 видно, что кратность увеличивается с ростом концентрации пенообразователя. Уравнения регрессии, описывающие зависимость кратности пены  $K$  от концентрации раствора пенообразователя  $C$  (рис. 5а и 5б) в рассматриваемом диапазоне изменения значений (от 0,1 до 1,5 %), имеют следующий вид:

$$K = 6,34C + 0,76 \text{ для ОПС-0,4;} \quad (3)$$

$$K = 4,29C + 1,69 \text{ для СП-01.} \quad (4)$$

С помощью выражений (3) и (4) можно определить предельную концентрацию пенообразователя, при которой кратность пены не превысит 5. Так, предельная концентрация для ОПС-0,4 составляет 0,67 %, а для СП-01 – 0,77 %.

Таким образом, при проектировании спринклерных УП с применением дозаторов напорного типа с шайбами для ввода пенообразователя в поток воды следует учитывать наличие предельной концентрации пенообразователя в растворе, при превышении которой может происходить повышение кратности пены выше нормы, а также существенный перерасход дорогостоящего пенообразователя. В результате может быть снижена эффективность работы спринклерной УП по сравнению с заложенными параметрами при проектировании, а также повышены расходы ввиду дополнительных трат на поддержание системы в работоспособном состоянии (перерасход пенообразователя приведет к дополнительным затратам на восстановление необходимого запаса огнетушащего вещества).

**Пример расчета автоматической спринклерной УП и системы дозирования.** Для наглядного примера приведем гидравлический расчет спринклерной УП и расчет дозирования пенообразователя в помещении производственно-складского комплекса. Гидравлический расчет УП производился по методике, изложенной в приложении В СН 2.02.03-2019<sup>8</sup>.

По степени опасности развития пожара помещение склада относится к группе помещений б (твердые горючие материалы) согласно таблице А.1<sup>9</sup>. Применяем ороситель спринклерный VK503<sup>10</sup> розеткой вниз с коэффициентом производительности  $K_p = 1,28 \text{ л/(с·МПа}^{0,5})$

<sup>8</sup> См. сноску 2.

<sup>9</sup> См. сноску 2.

<sup>10</sup> VK503 – ESFR Pendent Sprinkler (K17) [Электронный ресурс] / Viking Group Inc. – Режим доступа: <https://www.vikinggroupinc.com/vk503-esfr-pendent-sprinkler-k168>. – Дата доступа: 20.04.2024.

и площадью защищаемой зоны  $S = 9,6 \text{ м}^2$ . В качестве огнетушащего вещества потолочной секции принята вода со смачивателем. Для рассматриваемой группы помещений требуемая интенсивность орошения водой со смачивателем составляет  $I = 0,33 \text{ л/(с·м}^2)$  (при условии применения воды со смачивателем интенсивность тушения снижается в 1,5 раза<sup>11</sup>). Для обеспечения требуемой интенсивности орошения через диктующий ороситель необходимо предусмотреть давление перед ним  $p_d = 0,145 \text{ МПа}$  (согласно эпюре в эксплуатационной документации на ороситель). Расход раствора пенообразователя на пожаротушение потолочной секции с интенсивностью орошения  $0,33 \text{ л/(с·м}^2)$  и расчетной площадью  $90 \text{ м}^2$  определяется по фактическому расходу всех спринклеров, находящихся в пределах расчетной площади тушения. В пределах  $90 \text{ м}^2$  располагается 24 оросителя (рис. 6). Расход диктующего оросителя  $Q_d$  (л/с) определялся по формуле:

$$Q_d = 10K_{\text{п}}\sqrt{p_d}. \quad (5)$$

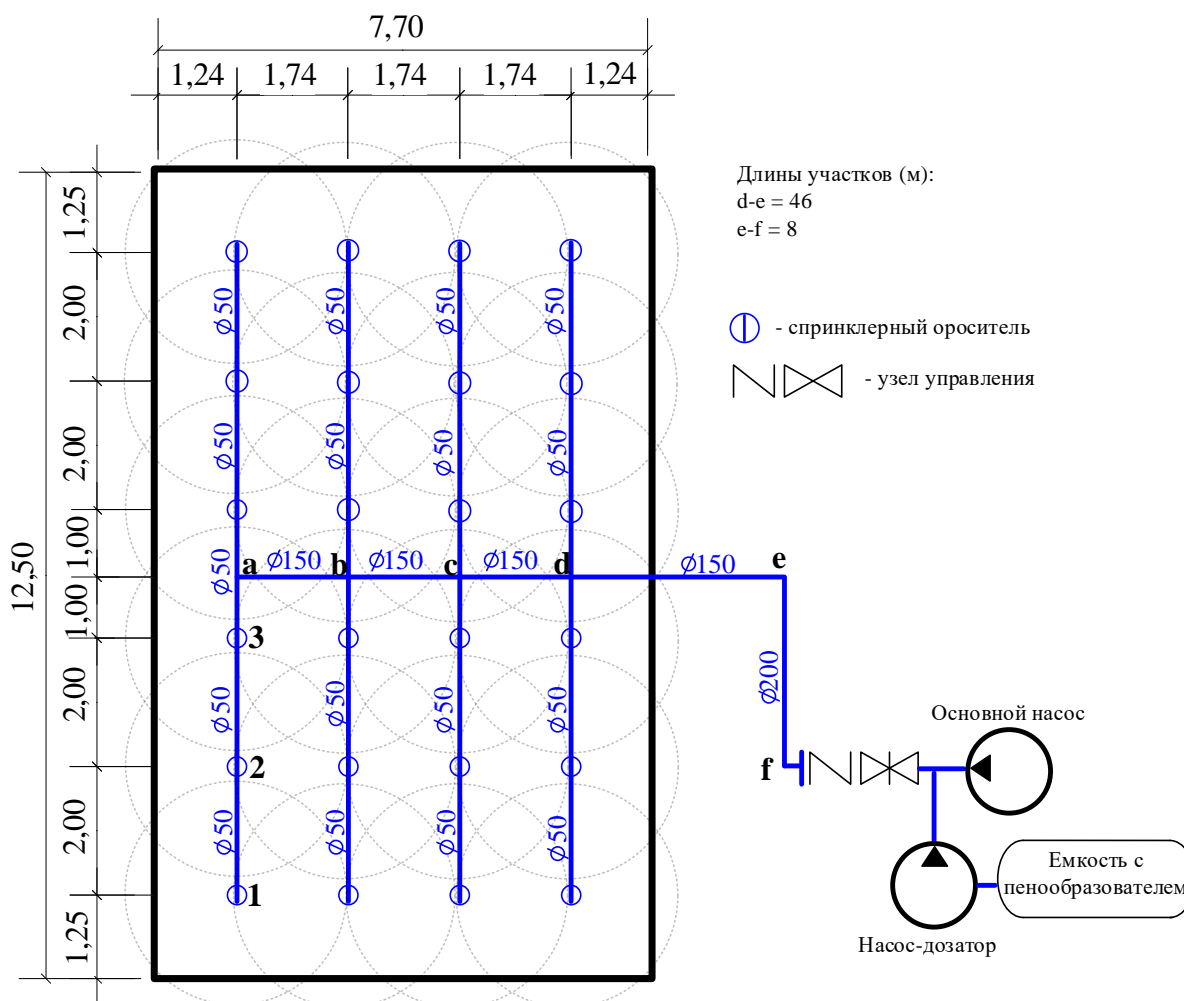


Рисунок 6. – Схема секции автоматической спринклерной УП

Таким образом, расход диктующего оросителя  $Q_d = 4,87 \text{ л/с}$ . Расход раствора пенообразователя из всех спринклерных оросителей на расчетной площади пожара составляет  $Q_{\text{общ}} = 121,12 \text{ л/с}$ . Требуемое давление на насосе составит  $P_n = 0,62 \text{ МПа}$ . В качестве основного подобран насос модели GS2 125-250L-233/B/110, обеспечивающий расход  $121,12 \text{ л/с}$  ( $436 \text{ м}^3/\text{час}$ ) при давлении  $0,62 \text{ МПа}$ .

<sup>11</sup> См. сноску 2.

Для тушения применяется пенообразователь СП-01, для которого рабочая концентрация составляет 0,1 %. Таким образом, для создания рабочей концентрации при работе всех оросителей на расчетной площади необходимо обеспечить расход пенообразователя 0,12 л/с. По данному расходу подобран дозирующий насос и дозирующая шайба в составе дозатора пожарного напорного ДПН «ДЭЗИ-100, 150, 200»<sup>12</sup>:

– дозирующий насос (2/12, 1,1 кВт), обеспечивающий расход 0,12 л/с (0,43 м<sup>3</sup>/час) при давлении 0,9 МПа;

– дозирующая шайба с диаметром отверстия 3 мм.

Фактическая создаваемая дозатором с шайбой концентрация пенообразователя в растворе рассчитывалась по формуле:

$$C = \frac{Q_{\text{по}}}{Q_{\text{в}}} \cdot 100 \%,$$

где  $Q_{\text{по}}$  – расход пенообразователя, л/с;

$Q_{\text{в}}$  – расход воды, л/с.

В таблице 1 приведены расчетные данные при последовательном вскрытии 12 наиболее удаленных от узла управления спринклерной УП оросителей.

**Таблица 1. – Расчетные данные при последовательном вскрытии 12 наиболее удаленных от узла управления УП оросителей**

Кол-во вскрытых оросителей	Расход воды, л/с	Расход пенообразователя, л/с	Давление основного насоса, МПа	Давление дозирующего насоса, МПа	Перепад давления, МПа	Фактическая концентрация пенообразователя, %	Превышение рабочей концентрации (во сколько раз)	Кратность пены по формуле (4)
1	4,87	0,12	0,68	0,9	0,22	2,46	24,6	<b>12,25</b>
2	9,82		0,68	0,9	0,22	1,22	12,2	<b>6,93</b>
3	15,05		0,68	0,9	0,22	0,80	8,0	<b>5,12</b>
4	20,28		0,68	0,9	0,22	0,59	5,9	4,22
5	25,23		0,68	0,9	0,22	0,48	4,8	3,75
6	30,10		0,68	0,9	0,22	0,40	4,0	3,41
7	34,97		0,68	0,9	0,22	0,34	3,4	3,15
8	39,92		0,68	0,9	0,22	0,31	3,1	3,02
9	45,15		0,68	0,9	0,22	0,27	2,7	2,85
10	50,38		0,67	0,9	0,23	0,24	2,4	2,72
11	55,33		0,67	0,9	0,23	0,22	2,2	2,64
12	60,20		0,67	0,9	0,23	0,20	2,0	2,55

### Заключение

В рамках настоящей работы определена зависимость смачивающей способности и кратности пены от концентрации пенообразователя. Экспериментально установлены минимальные и максимальные концентрационные пределы для пенообразователей ОПС-0,4 и СП-01, при которых их рабочие растворы соответствуют требованиям СТБ 2459-2016 и технической документации производителя по кратности пены и показателю смачивающей способности. Так, минимальная концентрация пенообразователей ОПС-0,4 и СП-01 составляет 0,06 и 0,05 % соответственно, а при достижении концентрации пенообразователя  $\approx 0,2$  и  $\approx 0,1$  % показатель смачивающей способности перестает существенно изменяться, т.е. дальнейшее повышение концентрации пенообразователя не увеличивает смачивающую способность раствора. В свою очередь, максимальная концентрация ОПС-0,4 составляет 0,67 %, а СП-01 – 0,77 %. При превышении указанных концентраций кратность генерируемой пены

<sup>12</sup> Дозатор пожарный напорный ДПН «ДЭЗИ-100, 150, 200» [Электронный ресурс] / ООО «Трест безопасности». – Режим доступа: <https://trest21vek.by/dozator-pozharnyj>. – Дата доступа: 20.04.2024.



превысит значение 5, что может привести к уменьшению растекаемости раствора по поверхности твердых горючих материалов, ухудшить его способность проникать в структуру материалов, что в совокупности может привести к снижению эффективности тушения пожара с помощью УП.

На примере расчета системы дозирования пенообразователя СП-01 в помещении производственно-складского комплекса установлено, что при использовании дозирующего устройства напорного типа с шайбой, имеющей фиксированный диаметр отверстия для ввода пенообразователя в подводящий трубопровод УП, превышение рекомендуемой производителями концентрации более чем в 7,7 раза происходит при вскрытии от одного до трех из двадцати четырех оросителей потолочной секции и, соответственно, на начальной стадии пожара может привести к снижению эффективности тушения пожара с помощью УП.

На основании сказанного необходимо сделать вывод, что при проектировании спринклерных УП необходимо проводить детальный расчет дозирования пенообразователя при последовательном срабатывании оросителей в секции либо применять дозирующие устройства, способные в автоматическом режиме регулировать дозирование в зависимости от расхода воды в подводящем трубопроводе.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ahrens, M. U.S. Experience with sprinklers / M. Ahrens. – Quincy: NFPA Research, 2017. – 35 p.
2. Шароварников, А.Ф. Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав, свойства, применение / А.Ф. Шароварников, С.А. Шароварников. – М.: Пожнаука, 2005. – 335 с. – EDN: UWCCSP.
3. Холмберг, К. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / К. Холмберг [и др.]; пер. с англ. – М.: Бином. Лаб. знаний, 2013. – 528 с. – ISBN 978-5-94774-363-0. – EDN: QKBQZV.
4. Корольченко, Д.А. Тушение пламени гидрофобных материалов водными растворами смачивателей / Д.А. Корольченко, А.Ф. Шароварников // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24, № 3. – С. 61–68. – EDN: TUBQAX.
5. Воевода, С.С. Закономерности смачивания горючих материалов водой и водными растворами смачивателей / С.С. Воевода [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20, № 5. – С. 36–40. – EDN: NWHDLN.
6. Воевода, С.С. Тушение пожаров твердых дисперсных материалов путем их пропитки водой со смачивателем / С.С. Воевода, С.А. Макаров, А.Ф. Шароварников // Пожаровзрывобезопасность. – 2005. – Т. 14, № 3. – С. 78–80. – EDN: KPTXQB.
7. Камлюк, А.Н. Пенные оросители для автоматических установок пожаротушения: монография / А.Н. Камлюк, А.О. Лихоманов, А.В. Грачулин. – Минск: УГЗ, 2023. – 244 с.
8. 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. – EDN: EPIYWF.
9. Лихоманов, А.О. Влияние объемной концентрации пенообразователя в растворе на показатель смачивающей способности / А.О. Лихоманов, С.А. Жуковский // Проблемы обеспечения безопасности людей при пожаре и взрыве: материалы X Междунар. заоч. науч.-практ. конф., Минск, 22 дек. 2023 г. – Минск: УГЗ, 2024. – С. 161–165.

**Влияние концентрации пенообразователя на смачивающую способность и кратность пены при дозировании в автоматических спринклерных установках пожаротушения**

**The influence of foaming agent concentration on the wetting ability and foam expansion rate when dosing in automatic sprinkler systems**

**Лихоманов Алексей Олегович**

кандидат технических наук, доцент  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра  
автоматических систем безопасности, доцент  
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
Email: alexlikh20@gmail.com  
SPIN-код: 1837-8150

**Aleksey O. Likhomanov**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Automatic System Security,  
Associate Professor  
Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
Email: alexlikh20@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-9374-1486  
ScopusID: 57210911673

**Навроцкий Олег Дмитриевич**

кандидат технических наук, доцент  
Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», кафедра  
автоматических систем безопасности, доцент  
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
Email: oleg.navrotsky@gmail.com  
SPIN-код: 4031-1141

**Oleg D. Navrotskiy**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Chair of Automatic Safety Systems,  
Associate Professor  
Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
Email: oleg.navrotsky@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-4137-2519

**Жуковский Сергей Александрович**

Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты  
Министерства по чрезвычайным ситуациям  
Республики Беларусь», факультет  
подготовки руководящих кадров, магистрант  
Адрес: ул. Машиностроителей, 25,  
220118, г. Минск, Беларусь  
Email: sergei.zhukovski@gmail.com

**Sergey A. Zhukovskiy**

State Educational Establishment «University  
of Civil Protection of the Ministry for Emergency  
Situations of the Republic of Belarus»,  
Administration Training Faculty,  
graduate student  
Address: Mashinostroiteley str., 25,  
220118, Minsk, Belarus  
Email: sergei.zhukovski@gmail.com  
ORCID: 0009-0008-0489-0019

**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  
Email: kan@ucp.by  
SPIN-код: 8858-0296

**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  
Email: kan@ucp.by  
ORCID: 0000-0002-9347-0778  
ScopusID: 57218325403

## THE INFLUENCE OF FOAMING AGENT CONCENTRATION ON THE WETTING ABILITY AND FOAM EXPANSION RATE WHEN DOSING IN AUTOMATIC SPRINKLER SYSTEMS

Likhomanov A.O., Navrotskiy O.D., Zhukovskiy S.A., Kamlyuk A.N.

*Purpose.* To determine the dependence of the wetting ability and expansion ratio of foam on the concentration of the foaming agent (wetting agent) for extinguishing fires, and also establish the concentration limits of the foaming agent at which the fire extinguishing solution meets the requirements of technical regulations and technical documentation of the manufacturer for the expansion ratio of foam and the wetting ability indicator. Using the example of a model room, to perform a hydraulic calculation of an automatic fire extinguishing sprinkler installation and analyze the possibility of maintaining the required concentration of foam concentrate using a pressure-type dosing device with a washer.

*Methods.* The general methodology of the work included the theoretical (analysis, synthesis, comparison) and experimental research methods. Wetting ability of the foaming solution and the expansion rate of generated foam were determined experimentally using the test method described in STB 2459-2016. Processing of experimental data was performed using regression analysis, as well as establishing the uncertainty of measurements.

*Findings.* In the result of experimental studies, it was found that the concentration of foaming agents (wetting agents) OPS-0,4 by more than 0.67 % and SP-01 by more than 0.77 % in the extinguishing solution can lead to an increase in the expansion rate of foam formed at the outlet of the automatic fire sprinkler system by more than 5, and consequently, cause the deterioration of the effectiveness of the fire extinguishing. For this reason, in sprinkler fire extinguishing system (FES), the dosing device must provide a certain minimum (operation of one dictating sprinkler) and maximum flow rate of the foam agent to maintain a concentration sufficient for effective extinguishing. Using the example of a model room measuring 12.5×7.7 m, it is shown that when using a pressure-type dosing device with a washer having a fixed hole diameter for introducing the foam agent into the supply pipeline of the unit, an excess of the concentration of foaming agent SP-01 brand recommended by manufacturers by more than 7.7 times occurs when opening three of the twenty-four sprinklers of the ceiling section of the FES. Based on this, it is necessary to conclude that when designing sprinkler FES, it is necessary to carry out a detailed calculation of the dosing of the foaming agent when the sprinklers are sequentially activated in the section, or to use dosing devices capable of automatically adjusting the dosing depending on the water flow in the supply pipeline.

*Application field of research.* Designing of automatic FES using sprinklers.

*Keywords:* foaming agent, wetting agent, wetting ability, foam expansion rate, automatic fire extinguishing system, sprinkler.

(The date of submitting: April 12, 2024)

### REFERENCES

1. Ahrens M. *U.S. Experience with sprinklers*. Quincy: NFPA Research, 2017. 35 p.
2. Sharovarnikov A.F., Sharovarnikov S.A. *Penoobrazovateli i peny dlya tusheniya pozharov. Sostav, svoystva, primeneniye* [Foam concentrates and fire extinguishing foam, Structure, properties, application]. Moscow: Pozhnauka, 2005. 335 p. (rus). EDN: UWCCSP.
3. Holmberg K., Jönsson B., Kronberg B., Lindman B. *Surfactants and polymers in aqueous solutions: translation from English*. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2013. 528 p. (rus). ISBN 978-5-94774-363-0. EDN: QKBQZV.
4. Korol'chenko D.A., Sharovarnikov A.F. Tushenie plameni gidrofobnykh materialov vodnymi rastvorami smachivateley [Extinguishing flames of hydrophobic materials by water solutions of wetting agent]. *Fire and Explosion Safety*, 2015. Vol. 24, No. 3. Pp. 61–68. (rus). EDN: TUBQAX.
5. Voevoda S.S., Makarov S.A., Molchanov V.P., Batrikov D.L., Krutov M.A. Zakonomernosti smachivaniya goryuchikh materialov vodoy i vodnymi rastvorami smachivateley [Laws of wetting combustible materials with water and aqueous solutions of wetting agents]. *Fire and Explosion Safety*, 2011. Vol. 20, No. 5. Pp. 36–40. (rus). EDN: NWHDLN.

6. Voevoda S.S., Makarov S.A., Sharovarnikov A.F. Tushenie pozharov tverdykh dispersnykh materialov putem ikh propitki vodoy so smachivatelem [Extinguishing fires of solid dispersed materials by impregnating them with water and a wetting agent]. *Fire and Explosion Safety*, 2005. Vol. 14, No. 3. Pp. 78–80. (rus). EDN: KPTXQB.
7. Kamlyuk A.N., Likhomanov A.O., Grachulin A.V. *Pennye orositeli dlya avtomaticheskikh ustanovok pozharotusheniya* [Foam sprinklers for automatic fire extinguishing installations]: monograph. Minsk: University of Civil Protection, 2023. 244 p. (rus)
8. Likhomanov A.O., Kamlyuk A.N., Grachulin A.V. Eksperimental'noe opredelenie effektivnosti tusheniya pozhara klassa B penoy nizkoy kratnosti, generiruemy 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. EDN: EPIYWF.
9. Likhomanov A.O., Zhukovskiy S.A. Vliyanie ob'emnoy kontsentratsii penoobrazovatelya v rastvore na pokazatel' smachivayushchey sposobnosti [Effect of volume concentration of foaming agent in solution on the wetting ability index]. *Proc. of X Intern. correspondence scientific-practical conf. «Problemy obespecheniya bezopasnosti lyudey pri pozhare i vzryve»*, Minsk, December 22, 2023. Minsk: University of Civil Protection, 2024. Pp. 161–165. (rus)