

УДК 614.843.8

ОРОСИТЕЛЬ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ АЭРАЦИЕЙ ОГNETУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА В АВТОМАТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ ПЕННОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ

Павлюков С.Ю.

Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

e-mail: Pavlukov79@mail.ru

В статье приведены результаты экспериментальных исследований оросителя с предварительной аэрацией огнетушащего вещества. Представлена испытательная установка, ее характеристики, условия проведения экспериментов. По результатам дано заключение и подготовлены изменения в конструкторскую документацию.

The article contains the results of investigation of the test pilot sample sprinkler with pre-aeration of fire extinguishing agent. Description of the device test stand, its characteristics and test conditions has been presented. According to the results of tests, the conclusion has been given and changes have been made in the design documentation.

(Поступила в редакцию 11 июля 2013 г.)

ВВЕДЕНИЕ

К числу основных свойств пен, связанных с их огнетушащей способностью, относятся: кратность, стойкость и дисперсность.

Кратностью пены называют отношение объема пены к объему раствора, из которого она получена. Кратность показывает, сколько газа содержится в пене, полученной из определенного объема жидкости. Чем больше кратность, тем легче пена и тем больше заключено в ней газа. Пены бывают низкой (менее 10), средней (10-100) и высокой (более 100) кратности.

Средняя интенсивность разрушения пены показывает, насколько уменьшается единица объема пены за единицу времени. Для оценки качества пены используется обычно не средняя интенсивность разрушения, а величина, обратная ей, которая называется стойкостью пены.

Дисперсность пены дает представление о степени измельченности пузырьков пены и определяется их размером. Пена полидисперсна, т. е. состоит из пузырьков различных размеров. При разрушении пены дисперсность ее меняется. Изменение размеров пузырьков протекает неодинаково в разных местах слоя пены. На поверхности пены происходит более быстрое укрупнение пузырьков, чем в глубинных слоях.

Проведенные ВНИИПО МВД России исследования по изучению основных характеристик пены, влияющих на огнетушащую эффективность, позволяют сделать вывод, что одной из важных характеристик пены, определяющей скорость ее разрушения на поверхности горючего, является дисперсность. По результатам проведенных опытов установлено, что при малой плотности теплового потока скорость разрушения пены прямо пропорциональна размеру пузырьков в пене, а при большой – не зависит от их размера. Принимая во внимание то обстоятельство, что скорость разрушения пены зависит от плотности теплового потока, можно утверждать, что огнетушащая эффективность пены при неразвившихся пожарах (пожарах с тепловым потоком малой плотности) будет напрямую зависеть от дисперсности пены. Учитывая, что автоматические установки пожаротушения предназначены для обнаружения и локализации пожара на ранней стадии, т. е. на той стадии, когда плотность теплового потока будет невелика, увеличение дисперсности пены в данных установках повысит их эффективность. Дисперсность определяется типом

пеногенерирующей аппаратуры. В этой связи в работе [1] авторами проведены исследования механики движения жидкости в оросителях. Записаны уравнения осредненного одномерного движения газожидкостной смеси в диффузоре инжектора для газонасыщения огнетушащего вещества. Решение этих уравнений позволяет определять потери давления в инжекторе, его геометрические характеристики и гидродинамические параметры. Для элементарного участка диффузора, заключенного между сечениями, записан закон сохранения импульса и уравнение неразрывности. При выводе уравнений движения были применены методы, использовавшиеся в [2, 3] для вывода уравнений движения газожидкостной смеси в круглой трубе. В работах [4,5] проведены теоретические расчеты инжектора оросителя.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На рис. 1 представлен ороситель с предварительной аэрацией огнетушащего вещества, разработанный в рамках выполнения задания 2.2.24 «Обоснование оптимальных технических решений и разработка оросителей с предварительной аэрацией огнетушащего вещества для автоматических установок пенного пожаротушения» ГПНИ «Научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций». Предварительная аэрация огнетушащего вещества осуществляется инжектором, установленным перед оросителем пожарным.

Расчетные параметры оросителя и инжектора приведены в таблице 1.

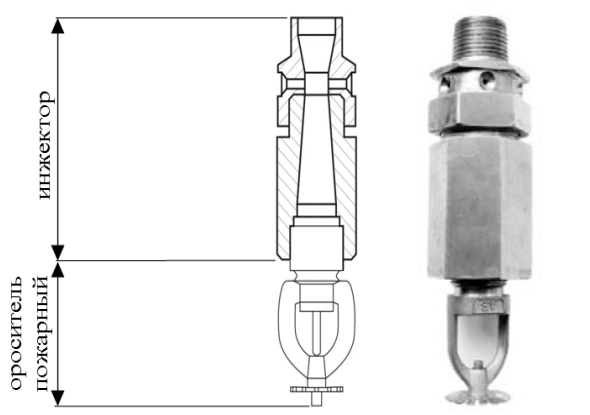


Рисунок 1 – Принципиальная схема и внешний вид оросителя с предварительной аэрацией огнетушащего вещества

Таблица 1 – Расчетные параметры инжектора

Оросители и их параметры				Инжектор и его параметры									
тип	рабочий расход, Q , л/с	диаметр на входе в ороситель, $D_{вх}$, мм	давление перед оросителем, $p_{ор}$, МПа	давление перед инжектором, $p_{вх}$, МПа	угол конусности конфузора, $\alpha_{конф}$, град	диаметр входного сечения, $D_{конф}$, мм	диаметр узкого сечения, d_0 , мм	количество и диаметр отверстий диффузора, $m / \alpha_{вход}$	угол конусности диффузора, $\alpha_{возл}$, град	диаметр выходного сечения, D , мм	длина конфузора, $l_{конф}$, мм	длина диффузора, $l_{диф}$, мм	длина инжектора, $l_{инж}$, мм
Типо-размер 1	1,06	16	0,15	0,19	25	16	7,8	6 / 1,4	8,5	16	18,5	55,2	74
Типо-размер 2	1,6	19	0,15	0,2	25	19	9,6	6 / 1,75	8,5	19	23,7	70,6	94,3

Описание испытательного оборудования

Эксперименты проводились по ранее разработанной методике [6] на 1 образце каждого типоразмера согласно таблице 1.

Условия проведения испытаний:

температура, °С	20–23
атмосферное давление, кПа	98,7–100,6
относительная влажность, %	65–70

Испытательное оборудование и средства измерений, применяемые при проведении испытаний, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Испытательное оборудование и средства измерений

Наименование испытательного оборудования, средств измерений	Дата прохождения метрологической аттестации, № свидетельства (аттестата), срок действия
Цилиндр 1 – 100 мл	Поверке не подлежит
Цилиндр 1 – 500 мл	Поверке не подлежит
Секундомер электронный «Интеграл С-01»	Свидетельство № 2737/4-43 до 21.05.2013 г.
Термометр ртутный ТЛ-2М, (-30 – +70) °С, ц.д. 1 °С	Клеймо до 01.02.2015 г.
Установка для определения кратности и устойчивости пены в лабораторных условиях	Свидетельство № 116 до 22.03.2014 г.
Весы ВТН-15	Клеймо до 27.09.2013 г.
Манометр показывающий для точных измерений МПТИ-УЗ (0–1,0) МПа	Клеймо до 01.10.2013 г.

Для определения основных рабочих параметров использовалась лабораторная установка, гидравлическая схема которой представлена на рис. 2.

Дисперсность пузырьков воздушно-механической пены определялась на установке представленной на рис. 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

3.1. Определение производительности оросителя по раствору пенообразователя

Определение производительности оросителя по раствору пенообразователя проводили объемным методом.

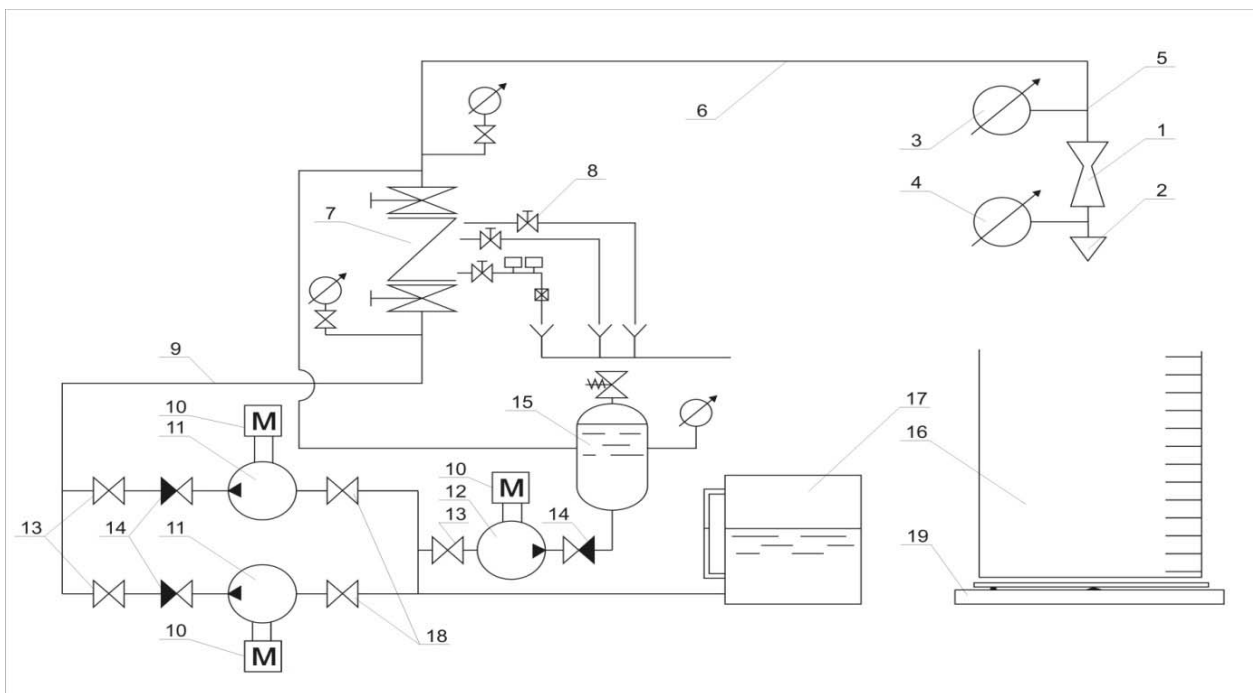
Производительность экспериментальных образцов оросителей по раствору пенообразователя определяется в следующем порядке: открывается вентиль 18, закрывается вентиль 13, включается насос 11. Огнетушащее вещество из емкости 16 подается насосом 11. Открывается кран ручного пуска 8. Плавным открыванием вентиля 13 устанавливается рабочее давление в трубопроводах 5, 6 и 9. Затем определяется время заполнения мерной емкости 17, с последующим пересчетом на расход жидкости по формуле:

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

где Q – расход жидкости;

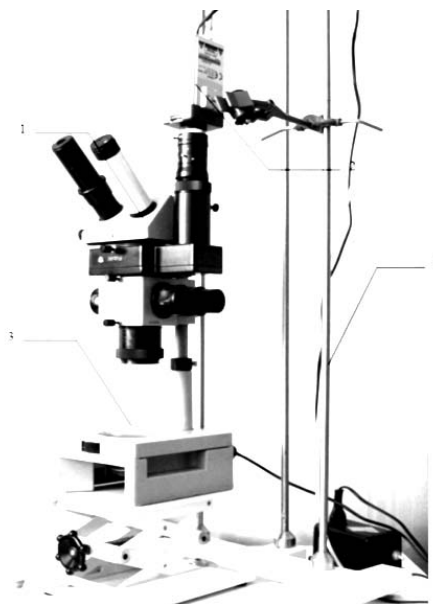
V – объем жидкости;

t – время заполнения емкости.



1 – инжектор; 2 – ороситель пожарный; 3, 4 – манометр; 5 – распределительный трубопровод;
 6 – питающий трубопровод; 7 – клапан запорный универсальный; 8 – кран ручного пуска;
 9 – подводящий трубопровод; 10 – электрические приводы насосов; 11 – основной и резервный насос;
 12 – насос для поддержания давления в системе; 13, 18 – вентили; 14 – обратный клапан; 15 – пневмобак;
 16 – емкость для огнетушащего вещества; 17 – мерная емкость; 19 – весы

Рисунок 2 – Гидравлическая схема установки для определения основных рабочих параметров оросителя



1 – стереоскопический микроскоп МБС-10; 2 – телекамера «Digital color camera SCC-B2005P» подключенная к компьютеру; 3 – приемная кювета; 4 – штатив

Рисунок 3 – Установка для определения размеров пузырьков методом оптической микроскопии в сочетании с получением изображения с помощью камеры и ЭВМ

3.2. Определение потерь давления в инжекторе оросителя

Определение потерь давления в инжекторе оросителя на установке согласно рис. 2. При определении потери давления в инжекторе оросителя подача огнетушащего вещества осуществляется в последовательности, указанной в разделе 3.1. После установления рабочего режима по манометру 3 измеряется давление на входе в инжектор p_1 , а по манометру 4 – давление на выходе из инжектора p_2 . Потери давления определяются как разница давления на входе и давления на выходе из инжектора:

$$\Delta p = p_1 - p_2, \quad (2)$$

где p_1 – давление на входе в инжектор;
 p_2 – давление на выходе из инжектора.

Неопределенность результатов измерений определяли согласно [7] и разделу 8 [6]. По результатам измерений построены зависимости потерь давления в инжекторе от расхода, представленные на рис. 5-8.

Результаты экспериментов обработаны методом наименьших квадратов и получены эмпирические зависимости, определяющие потери давления (напора) в оросителе с предварительной аэрацией огнетушащего вещества.

Данные зависимости могут быть использованы при гидравлическом расчете автоматических установок (дренчерных) пенного пожаротушения.

Таблица 3 – Результаты определения потерь давления и напора

Тип оросителя	Типоразмер инжектора	Расчетная формула	
		Потери давления, МПа	Потери напора, м
ДВВ-1157	1	$\Delta p = 0,215Q^2$	$\Delta h = 22Q^2$
ДВВ-1157	2	$\Delta p = 0,083Q^2$	$\Delta h = 8,46Q^2$
ГУСО-3151	1	$\Delta p = 0,22Q^2$	$\Delta h = 22,4Q^2$
ГУСО-4151	2	$\Delta p = 0,095Q^2$	$\Delta h = 9,7Q^2$

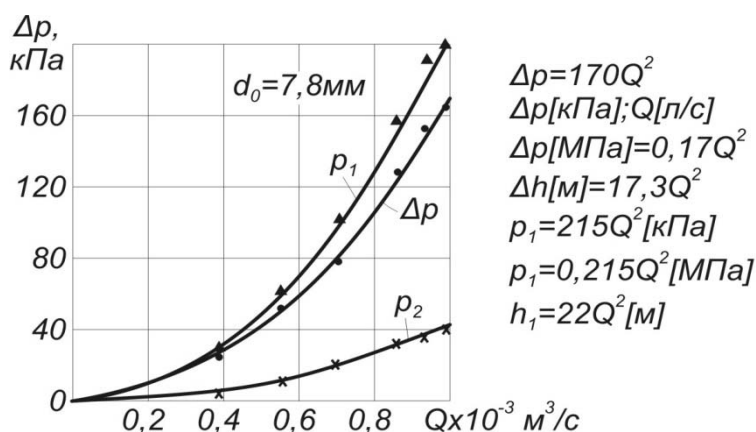


Рисунок 5 – Зависимость расхода от потерь давления на входе в инжектор и потерь давления в инжекторе 1 типоразмера с оросителем ДВВ-1157

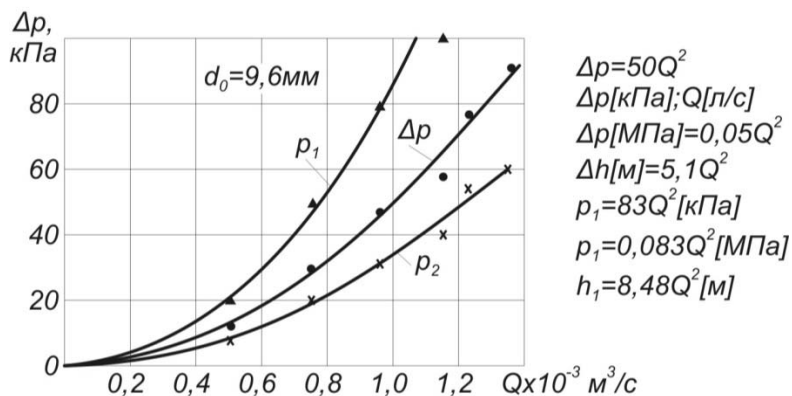


Рисунок 6 – Зависимость расхода от потерь давления на входе в инжектор и потерь давления в инжекторе 2 типоразмера с оросителем СВВ-1157

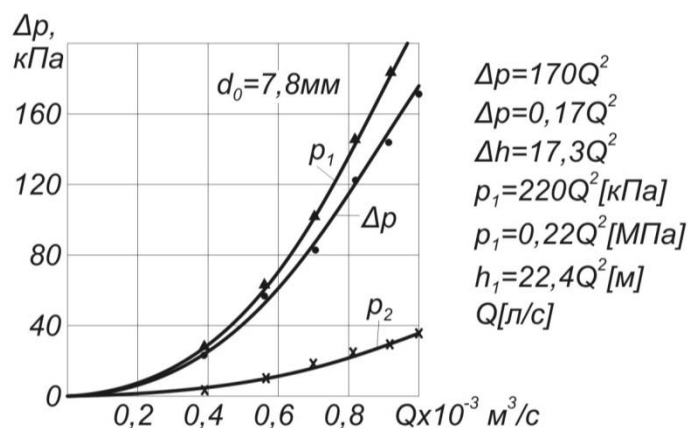


Рисунок 7 – Зависимость потерь давления от расхода в инжекторе и потерь давления в инжекторе 1 типоразмера с оросителем ТУСО-3151

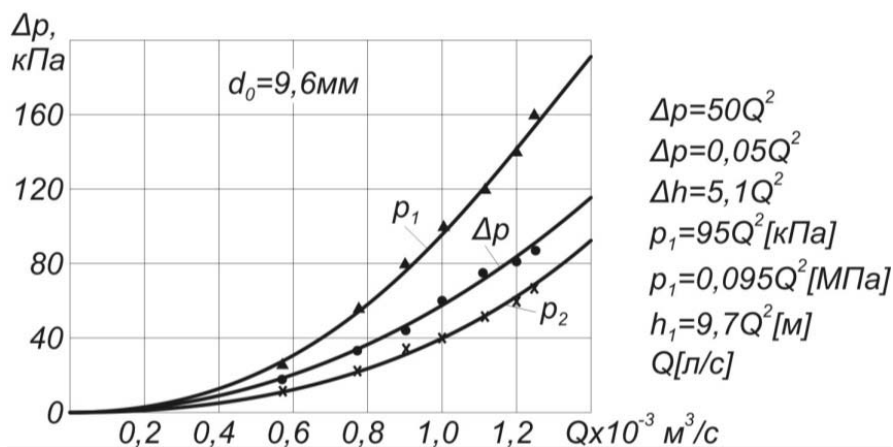


Рисунок 8 – Зависимость потерь давления от расхода в инжекторе и потерь давления в инжекторе 2 типоразмера с оросителем ТУСО-4151

3.3. Определение кратности и устойчивости воздушно-механической пены

Кратность и устойчивость пены определяли на установке согласно рис. 3. В качестве огнетушащего вещества использовали 6 %-й раствор пенообразователя общего назначения «Синтек». Подачу огнетушащего вещества осуществляли в последовательности, указанной в разделе 2.1. После установившегося давления перед оросителем пеной заполняли мерную емкость 16. Затем на весах 19 определяли ее массу.

Кратность воздушно-механической пены $K_{\text{п}}$ определяли как отношение объема мерной емкости к массе пены в ее объеме с учетом плотности раствора пенообразователя по формуле

$$K_{\text{п}} = \frac{V_{\text{емк.}}}{m_2 - m_1} \cdot \rho_{\text{п}}, \quad (3)$$

где $V_{\text{емк.}}$ – объем мерной емкости, м³;

m_2 – масса мерной емкости, заполненной пеной, кг;

m_1 – масса мерной емкости, кг;

$\rho_{\text{п}}$ – плотность раствора пенообразователя, кг/м³ (принята равной 1 000 кг/м³).

Под устойчивостью пены принимали ее способность к сохранению первоначальных свойств. Сущность метода определения устойчивости пены заключалась в установлении времени разрушения 50 % объема пены или времени выделения 50 % жидкой фазы.

Для определения устойчивости пены использовали мерную емкость для сбора пены. После равномерного заполнения емкости пеной фиксировали время разрушения 50 % объема пены. Результаты измерений приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты определения кратности и стойкости воздушно-механической пены

Параметр	Инжектор 1 типоразмера		Инжектор 2 типоразмера	
	ДВВ 1157	ТУ 4151	ДВВ 1157	ТУ 4151
Кратность пены	8,5	8,2	7,9	7,4
Стойкость пены, с	122	125	130	137

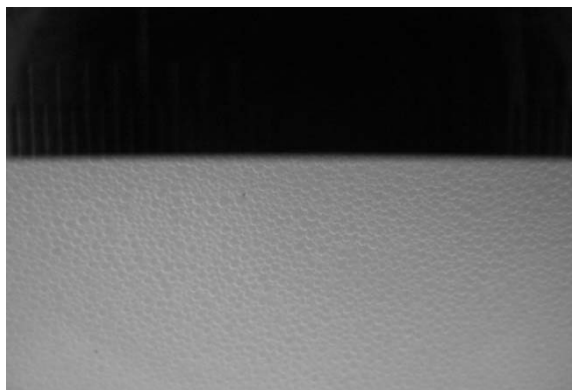
3.4. Определение дисперсности воздушно-механической пены

Дисперсность воздушно-механической пены определяется на установках, приведенных на рис. 2 и 3. В качестве огнетушащего вещества используется 6 %-й раствор пенообразователя общего назначения «Синтек». Подача огнетушащего вещества осуществляется в последовательности, указанной в разделе 3.1.

Дисперсность пены определяется методом оптической микроскопии в сочетании с получением изображения пузырьков пены с помощью телекамеры и ЭВМ на установке, приведенной на рис. 3.

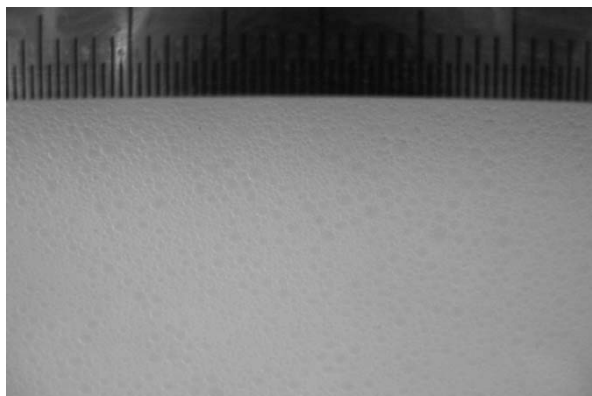
Пена улавливается кюветой 3. После улавливания кювета 3 размещается на предметном столике, предназначенном для работы в проходящем свете. Поворотом механизма фокусировки объектива телекамеры 2 получается резкое изображение пузырьков на экране монитора компьютера. Для определения диаметра пузырька используется программный комплекс «AutoScan 2005».

Результаты испытаний представлены на рис. 9–12.



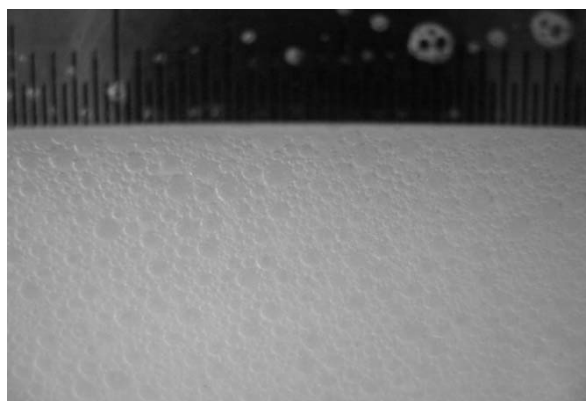
Средний диаметр пузырьков – 0,13 мм

Рисунок 9 – Дисперсность пены при испытании инжектора 1 типоразмера с оросителем ДВВ 1157



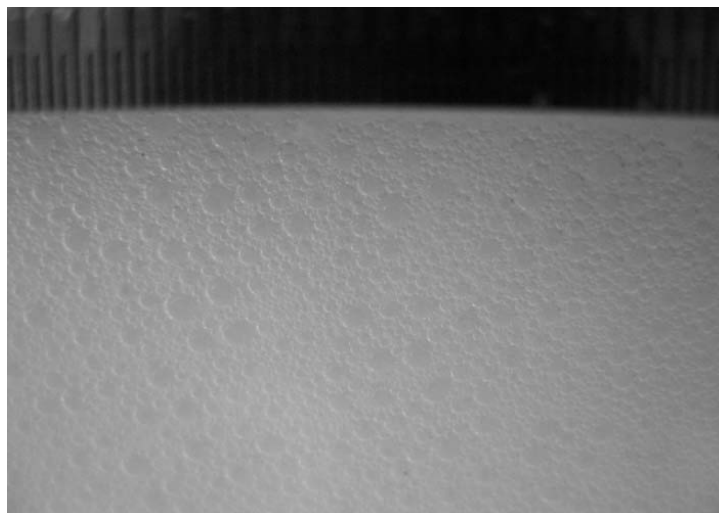
Средний диаметр пузырьков – 0,19 мм

Рисунок 10 – Дисперсность пены при испытании инжектора 1 типоразмера с оросителем ТУ 3151



Средний диаметр пузырьков – 0,28 мм

Рисунок 11 – Дисперсность пены при испытании инжектора 2 типоразмера с оросителем ДВВ 1157



Средний диаметр пузырьков – 0,2 мм

Рисунок 12 – Дисперсность пены при испытании инжектора 1 типоразмера с оросителем ТУ 3151

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате испытаний установлено:

1. Экспериментально подтверждена разработанная методика расчета гидродинамических параметров оросителя с предварительной аэрацией огнетушащего вещества. Отклонение экспериментальных значений потерь давления от теоретических составило 10 %, отклонение экспериментальных значений кратности полученной пены от заданной при теоретическом расчете составило не более 20 %.
2. Средний диаметр пузырьков воздушно-механической пены находится в интервале от 0,13 до 0,28 мм.
3. Стойкость воздушно-механической пены находится в интервале от 122 до 137 с., а ее кратность – от 7,4 до 8,5.

Получены эмпирические зависимости потерь давления в оросителях с предварительной аэрацией от расхода огнетушащего вещества. Полученные зависимости могут быть использованы для расчета автоматических установок пенного пожаротушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Качанов, И.В. Повышение огнетушащей эффективности пены в автоматических установках пожаротушения / И.В. Качанов, В.В. Веремеенюк, И.В. Карпенчук, С.Ю. Павлюков // Инженерно-физический журнал. – 2013. – Том 86, №3. – С. 495-502.
2. Кутателадзе, С.С. Гидродинамика газожидкостных систем / С.С. Кутателадзе, М.М. Стырикович. – М.: Энергия, 1976. – 296с.
3. Карпенчук, И.В. Уравнения движения кавитационного двухфазного потока в диффузоре пеносмесителя ПС-5 / И.В. Карпенчук [и др.] // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2005. – № 7(17). – С. 154-160.
4. Качанов, И.В. Теоретические основы расчета инжектора оросителя в автоматических установках пожаротушения / И.В. Качанов, И.В. Карпенчук, С.Ю. Павлюков // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2012. – № 2(32). – С. 165-170.
5. Карпенчук, И.В. Методика расчета гидродинамических параметров оросителя с предварительной аэрацией огнетушащего вещества [текст]: отчет о НИР/ КИИ МЧС Республики Беларусь; рук. И.В. Карпенчук, исполн.: С.Ю. Павлюков [и др.]. – Мн., 2012. – 22 с. – ГР 20121161.

6. Карпенчук, И.В. Методика выполнения измерений при проведении испытаний экспериментального образца оросителя с предварительной аэрацией огнетушащего вещества [текст]: отчет о НИР/ КИИ МЧС Республики Беларусь; рук. И.В. Карпенчук, исполн.: С.Ю. Павлюков [и др.]. – Мн., 2012. – 21 с. – ГР 20121161.
7. РМГ 43-2001. ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений» – Мн.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 20 с.