ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«КОМАНДНО-ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ»
МЧС РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УДК 614.843.8

ПАВЛЮКОВ
Сергей Юрьевич

ОРОСИТЕЛЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ПЕННОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ АЭРАЦИЕЙ ОГНЕТУШАЩЕЙ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность

Минск, 2016

Научная работа выполнена в Государственном учреждении образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь.

Научные руководители: **Качанов Игорь Владимирович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Кораблестроение и гидравлика» Белорусского национального технического университета.

Карпенчук Игорь Васильевич, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры автоматических систем безопасности Государственного учреждения образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь.

Официальные оппоненты: **Байков Валентин Иванович,** доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории турбулентности Государственного научного учреждения «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси».

Кравцов Александр Маратович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Гидравлика и гидравлические машины» учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет».

Оппонирующая организация: учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет».

Защита состоится 12 февраля 2016 года в 14.30 на заседании совета по защите диссертаций К 11.01.01 при Государственном учреждении образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь (220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25, актовый зал, тел.: +375 (17) 345-33-54, e-mail: mail@kii.gov.by).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного учреждения образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь.

Автореферат разослан ___ января 2016 года.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент В.А. Кудряшов

ВВЕДЕНИЕ

Автоматические установки пожаротушения являются наиболее эффективными средствами противопожарной защиты зданий и сооружений, позволяющими не только обнаружить пожар, но и подать огнетушащее вещество в очаг его возникновения. Наибольшее распространение, как в Беларуси, так и за рубежом получили автоматические установки пожаротушения, в которых в качестве огнетушащей рабочей среды используются вода или пена. Проведенные ВНИИПО МВД России (И.Ф. Безродный, В.А. Меркулов, В.М. Кучер, В.Ч. Реутт и др.) многочисленные теоретические и экспериментальные исследования по изучению основных характеристик пены, влияющих на огнетушащую эффективность, позволили сделать вывод, что параметры, определяющие скорость ее разрушения на горящей поверхности, а, следовательно – эффективность тушения, это кратность пены, устойчивость и дисперсность. Для получения пены низкой кратности в автоматических установках пенного пожаротушения наиболее широко применяются (до 90 % от общего числа пенных оросителей) универсальные пенные оросители. Повышение кратности, устойчивости и дисперсности пены в оросителях такого рода, обеспечивающих локализацию пожара на ранней стадии, может быть достигнуто предварительной аэрацией (газонасыщением) огнетушащей рабочей среды (раствора пенообразователя).

До настоящего времени задача создания технологичной и удобной в практическом использовании конструкции оросителя с предварительной аэрацией не решена. В этой связи, теоретические и экспериментальные исследования, опытно-конструкторские разработки, направленные на разработку таких оросителей являются актуальными и имеют научный и практический интерес.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Основные результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований, полученные разработки и методики содействуют выполнению задач по реализации единой государственной научно-технической политики Министерства по чрезвычайным ситуациям и соответствуют пункту 10.11 «Перечня приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2011–2015 годы», утвержденного постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 г. № 585. Результаты диссертационных исследований были получены в ходе выполнения задания 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» (№ госрегистрации 20121161).

Целью работы является теоретическое и экспериментальное обоснование конструкции оросителя для автоматических установок пенного пожаротушения с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды, обеспечивающей повышение эксплуатационных характеристик.

Для достижения поставленной цели в процессе исследования решались следующие задачи:

– проанализировать современное состояние теории и практики по применению оросителей с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды в автоматических установках пенного пожаротушения;

– разработать оборудование, конструкцию и методики испытаний экспериментальных образцов оросителей с предварительной аэрацией;

– разработать математическую модель движения газожидкостного потока с получением зависимости для расчета перепада давления в проточной части диффузора оросителя с предварительной аэрацией;

– разработать методику расчета геометрических и гидродинамических параметров оросителя с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды;

– провести экспериментальные исследования по изучению влияния конструктивных элементов оросителя на его эксплуатационные характеристики и внедрить результаты работы в производство.

Объектом исследования является ороситель с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды, **предметом исследования** – его эксплуатационные характеристики.

Научная новизна: на основании разработанной математической модели движения газожидкостного потока в диффузоре эжектора оросителя с предварительной аэрацией получена зависимость, позволяющая рассчитывать перепад давления в диффузоре и скорость с учетом неравномерного характера движения газожидкостного потока;

теоретически установлена обратная пропорциональность между плотностью газожидкостного потока и кратностью пены в диффузоре эжектора оросителя и прямая пропорциональность между касательными напряжениями в потоке при равномерном и неравномерном движениях соответственно;

установлено влияние площади газонасыщения на эксплуатационные характеристики оросителя и показано, что по отношению к оросителю без предварительной аэрации в диапазоне оптимальных площадей газонасыщения расход огнетушащей рабочей среды и дисперсность пены снижаются, а кратность и устойчивость увеличиваются;

на основании полученной математической модели разработана и экспериментально подтверждена методика расчета оросителя с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды, устанавливающая взаимосвязь между плотностью двухфазного потока, кратностью пены, перепадом давления, расходом огнетушащей рабочей среды и площадью газонасыщения.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Математическая модель движения газожидкостного потока в диффузоре эжектора оросителя с предварительной аэрацией, отличающаяся учетом сжимаемости рабочей среды и неравномерным характером ее движения, позволяющая рассчитать параметры осредненного давления, включая перепад давления по длине диффузора, а также скорость газожидкостного потока на выходе из диффузора, что необходимо для проектирования оросителей с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды, обеспечивающих получение пены заданной кратности.

2. Результаты экспериментальных исследований по изучению влияния конструктивных элементов оросителя с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды на его эксплуатационные характеристики, согласно которым расход огнетушащей рабочей среды, кратность, устойчивость и дисперсность пены существенно зависят от площади газонасыщения, а перепад давления в эжекторе оросителя практически не зависит от типа раствора пенообразователя, но зависит от площади газонасыщения.

3. Методика расчета параметров оросителя, отличающаяся учетом предварительной аэрации огнетушащей рабочей среды, перепада давления газожидкостного потока в диффузоре эжектора оросителя, позволяющая рассчитать перепад давления в эжекторе оросителя с погрешностью, не превышающей 6-18%, расход воздуха и диаметры отверстий для газонасыщения, а также геометрические параметры эжектора (диаметр узкого сечения, длину диффузора и конфузора), что необходимо для разработки конструкторской документации, технических условий и постановки продукции на производство.

Личный вклад

Основные результаты и положения, выносимые на защиту, приведенные в диссертационной работе получены автором самостоятельно. Определение цели и постановка задач исследований проводились совместно с научными руководителями: доктором технических наук, профессором Качановым И.В. и кандидатом технических наук, доцентом Карпенчуком И.В. Кандидат физико-математических наук, доцент Веременюк В.В.принимал участие в обсуждении математической модели движения газожидкостной смеси в оросителе с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды. Кандидаты технических наук Кулебякин В.В., Арестович Д.Н. и Навроцкий О.Д. принимали участие в экспериментальных исследованиях оросителя. Кандидат

физико-математических наук Ляшенко Л.С. принимала участие в обсуждении методики расчета оросителя. Соавторы публикаций участвовали в обсуждении полученных результатов.

Апробация результатов диссертации

Результаты проведенных исследований представлялись автором на трех Международных научно-технических конференциях «Наука - образованию, производству, экономике» (Беларусь, Минск, 2012, 2013, 2014); Международной научно-практической конференции по проблемам пожарной безопасности, посвященной 75-летию создания ВНИИПО МЧС (Россия, Москва, 2012); Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций» (Беларусь, Минск, 2013); Международных научно-практических конференциях «Теория и практика тушения пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (Украина, Черкасы, 2012, 2013); VI Международной научно-практической конференции курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов аспирантов) (Беларусь, Минск, 2012).

Авторский проект диссертанта «Ороситель с предварительной аэрацией огнетушащего вещества» представлялся на выставке победителей проекта «100 идей для Беларуси» в 2014 году. Оргкомитетом инновационного форума «Наука и Бизнес – 2015», проводимого в рамках start-up тура Сколково – 2015, авторский проект диссертанта «Ороситель с предварительной аэрацией» признан лучшим в номинации «Новые промышленные технологии и материалы».

Решением Совета Республиканского конкурса инновационных проектов в номинации «Лучший инновационный проект – 2014» авторская разработка диссертанта «Ороситель с предварительной аэрацией огнетушащего вещества» удостоена специальной премии Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь.

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 13 печатных работах, в том числе 6 статей, соответствующих пункту 18. Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, общим объемом 2,54 авторского листа (из них без соавторов – 1 статья), 6 работ в сборниках научных трудов и материалах международных конференций. Получен патент на полезную модель (пат. 10277) «Ороситель с предварительной аэрацией огнетушащего раствора», а также подана заявка на получение патента на изобретение «Дренчер» (№ a20140373 от 08.07.2014).

Структура и объем диссертации

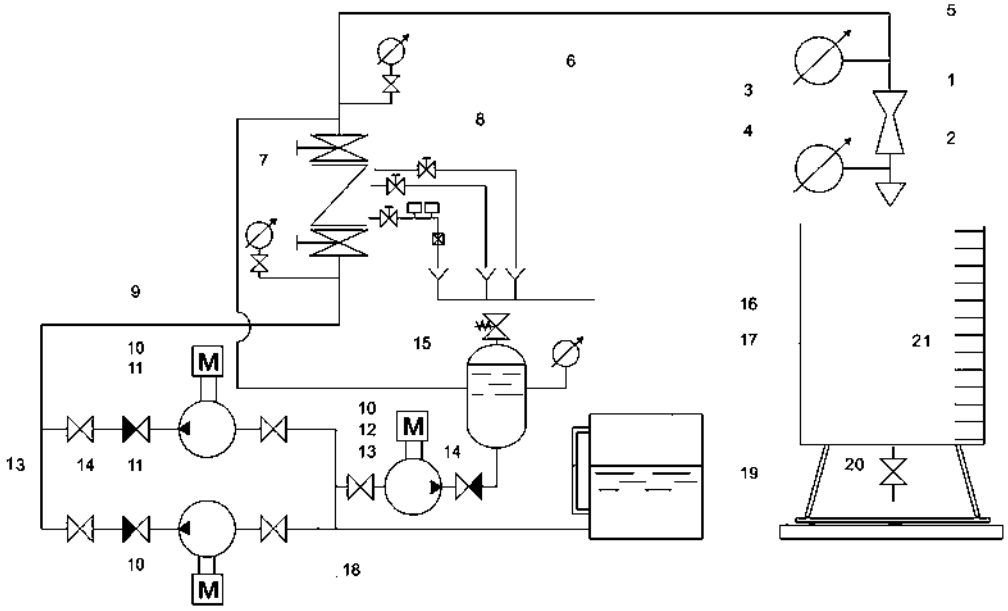
Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, заключения и приложений. Работа изложена на 160 страницах, содержит 50 рисунков, 3 таблицы, 7 приложений на 35 страницах, библиографический список из 161 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Первая глава посвящена литературному и патентному обзорам по тушению пожаров автоматическими установками пенного пожаротушения, рассмотрены известные конструкции устройств для образования пены в таких установках. Определены основные эксплуатационные параметры оросителей с указанием недостатков их конструкций, способов и методов получения пены.

Анализ существующих моделей течения двухфазных потоков, в том числе применяемых в современных средствах пожаротушения показал, что известные математические модели движения газожидкостных потоков описывают равномерное или неравномерное движение с разделением фаз без учета взаимодействия между ними. Следствием сказанного является отсутствие расчетных зависимостей для оросителей, в которых газожидкостной поток рассматривается как сжимаемая среда, плотность которой является функцией давления. На основании проведенного анализа сформулирована цель диссертационных исследований и задачи для ее реализации.

Во второй главе дается описание экспериментальной установки, оборудования и приборов, используемых для исследования эксплуатационных характеристик оросителя с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды. Гидравлическая схема установки представлена на рисунке 1.



1 – эжектор; 2 – ороситель стандартный; 3, 4 – манометры на входе и выходе из эжектора; 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 насосы; 12 – жокей-насос; 13, 18 – вентили; 14 – обратный клапан; 15 – пневмобак; 16 – мерная емкость; 17 – емкость для огнетушащего вещества; 19 – электронные весы; 20 – кран для слива, 21 – шкала.

Рисунок 1. – Схема лабораторной установки для исследования оросителей с предварительной аэрацией

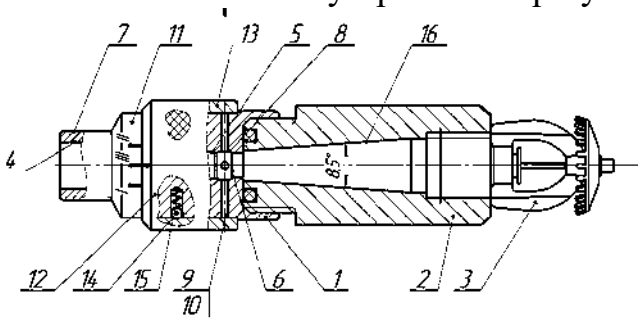
Расход из оросителя с предварительной аэрацией определялся объемным методом. В качестве огнетушащей рабочей среды использовался 6% водный раствор пенообразователя «Синтек». Перепад давления Δp в потоке определялся разностью давлений p_1 и p_2 на входе и выходе из эжектора соответственно.

Перепад давления Δp при различных режимах аэрации измерялся дифференциальным измерительным преобразователем «Сапфир -22» модели 2440 с верхним пределом измерений 0,063 МПа, допускаемой погрешностью ± 0,25%.

Для определения дисперсности пены $d_п$, получаемой в оросителе использовалась лабораторная установка, в состав которой входили: программный комплекс «AutoScan 2005»; стереоскопический микроскоп МБС-10, подключенная к компьютеру телекамера «Samsung Digital color camera SCC-B2005P, приемная кювета и штатив. Оптическое изображение пузырька, создаваемое головной частью стереоскопического микроскопа, фиксировалось с помощью телекамеры с последующим выведением его на экран монитора компьютера, после чего осуществлялась обработка данных.

Кратность K и устойчивость C пены определялась объемным методом в соответствии с методиками, изложенными в СТБ ГОСТ Р 50588-99.

Предварительными экспериментами было установлено, что параметры выходного газожидкостного потока зависят не только от давления p_1 на входе в ороситель и расхода Q огнетушащей рабочей среды, но и от объема воздуха, используемого для аэрации, а точнее от площади отверстий, через которые возможно проведение аэрации, поэтому конструкция экспериментального образца оросителя была выполнена с возможностью регулировки площади отверстий для подачи воздуха. Для этого на экспериментальный образец оросителя монтировалось специально изготовленное устройство – регулятор эжекции воздуха.



1 – конфузорная часть эжектора; 2 – диффузорная часть эжектора; 3 – ороситель стандартный; 4 – конфузор; 5 – камера смешения; 6 – кольцевая проточка; 7 – присоединительная резьба; 8 – кольцевая проточка с уплотнительным кольцом; 9, 10 – радиальные каналы для подачи воздуха; 11 – наружная цилиндрическая поверхность корпуса с метками; 12 – регулирующая муфта; 13 – выступы на муфте; 14, 15 – пружинный фиксатор; 16 – диффузор

Рисунок 2. – Схема оросителя с предварительной регулируемой аэрацией огнетушащей рабочей среды [13]

Конструкция экспериментального образца оросителя с предварительной аэрацией исследовалась в рамках выполнения задания 24 ГПНИ «Научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций» (№ госрегистрации 20122240). Результаты исследований показали эффективность и перспективность конструкции оросителя, проточная часть которого выполнена по принципу трубки Вентури [13] и приведена на рисунке 2.

Из рисунка 2 видно, что ороситель содержит эжектор, включающий конфузорную часть 1, диффузорную часть 2 и камеру смешения (узкое сечение) 5. Эжектор снабжен наружной присоединительной резьбой 6 и внутренней резьбой 7. В камере смешения 5 выполнена кольцевая проточка 8 и две группы радиальных каналов 9, 10, соединяющих кольцевую проточку 8 с наружной атмосферой. На наружной цилиндрической поверхности 11 корпуса эжектора с возможностью поворота и фиксации в положениях I, II, III (на рисунке не показано) установлена регулирующая муфта 12, снабженная четырьмя выступами 13. Фиксация муфты 12 осуществляется с помощью шарика 14 и пружины 15. Регулировка площади отверстий осуществляется ступенчато с жесткой установкой положения регулирующего кольца с помощью подпружиненного шарового фиксатора. При прокачке раствор поступает в конфузор 4, в камере смешения 5 абсолютное давление в потоке снижается и становится меньше атмосферного. В результате чего окружающий воздух под атмосферным давлением захватывается и поступает через отверстия 9, 10 в поток движущейся жидкости, что приводит к формированию газожидкостной смеси, направленной через диффузор 16 на розетку оросителя стандартного 3. Для установления оптимальных режимов работы и геометрических размеров данной конструкции оросителя с предварительной аэрацией были проведены ее теоретические и экспериментальные исследования.

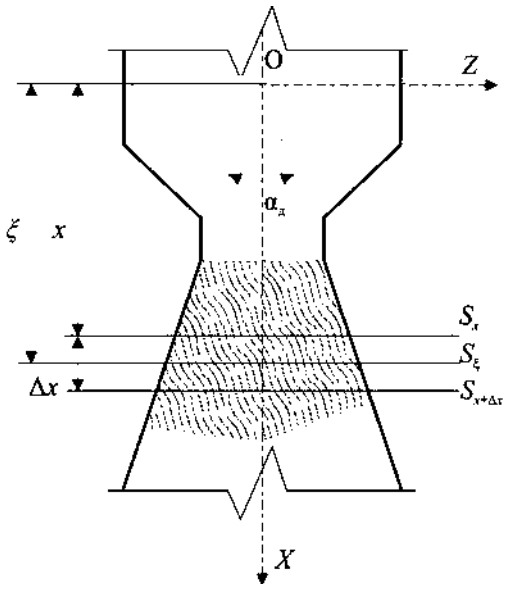


Рисунок 3 – Схема течения двухфазной смеси в диффузоре эжектора

Третья глава посвящена теоретическому обоснованию конструкции оросителя с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды.

На основе теоремы об изменении количества движения, определены и проанализированы силы, действующие на элементарный объем жидкости, заключенный между сечениями S_x и $S_{x+\Delta x}$, а также их проекции на ось *Ox*, как показано на рисунке 3.

При этом массовая сила *G* (сила тяжести), с учетом вертикально расположенного эжектора оросителя с предварительной аэрацией:

$$G = g\int_{x}^{x+\Delta x} \pi tg^2 \frac{\alpha_д}{2}\xi^2 \rho_{дф} d\xi, \qquad (1)$$

где g – проекция ускорения силы тяжести на ось Ox, м/с^2; $\alpha_д$ – угол конусности диффузора; $\rho_{дф}$ – плотность двухфазной (газожидкостной) огнетушащей рабочей среды, кг/м^3; ξ –координата расположения промежуточного живого сечения с площадью S_ξ, м; x и Δx – расстояния по вертикали (м) от начала координат до сечений диффузора с площадями S_x и $S_{x+\Delta x}$ (м^2) соответственно; d_ξ – приращение координаты ξ в направлении возрастания оси Ox, м.

Сила трения, действующая на боковой поверхности диффузора в проекции на ось Ox определяется из выражения:

$$T = -\int_{x}^{x+\Delta x} 2\cdot\pi\cdot \mathrm{tg}\frac{\alpha_д}{2}\cdot\xi\cdot\tau\, d\xi, \qquad (2)$$

где τ – касательные напряжения на боковой поверхности диффузора при неравномерном движении, Па.

При определении силы реакции стенок диффузора в проекции на ось Ox получим:

$$N = \int_{x}^{x+\Delta x} 2\cdot\pi\cdot \mathrm{tg}\frac{\alpha_д}{2}\cdot\xi\cdot\sigma d\xi, \qquad (3)$$

где σ – нормальные напряжения на боковой поверхности диффузора, Па.

Результирующая сила давления, действующая на газожидкостную смесь в сечениях S_x и $S_{x+\Delta x}$, ограничивающих участок потока длиной Δx, определяется из выражения:

$$F = -\pi\cdot \mathrm{tg}^2\frac{\alpha_д}{2}\cdot\left[\left(x+\Delta x\right)^2\cdot\int_{x}^{x+\Delta x}\frac{\partial p}{\partial x}d\xi + p\cdot\left(2x\cdot\Delta x+\Delta x^2\right)\right], \qquad (4)$$

где p – избыточное давление газожидкостной смеси в центре тяжести сечения площадью S_x, Па; $\frac{\partial p}{\partial x}d\xi$ – приращение давления в потоке в направлении оси Ox на бесконечно малом участке d_ξ, Па.

Массовый расход газожидкостной смеси $m_t^{дф}$ является величиной постоянной и применительно к сечению с площадью S_x определяется по зависимости

$$m_t^{дф} = \rho_{дф}\cdot\pi\cdot \mathrm{tg}^2\frac{\alpha_д}{2}\cdot v\cdot x^2 = \mathrm{const}, \qquad (5)$$

где v – скорость движения двухфазной смеси, м/с.

На основании закона сохранения импульса сил и уравнения неразрывности для участка диффузора, расположенного между сечениями S_x и $S_{x+\Delta x}$ получено уравнение (6), позволяющее рассчитывать изменение полного дифференциала давления dp по длине dx при движении двухфазной смеси

$$-\frac{dp}{dx}=\rho_{дф}\cdot v\frac{dv}{dx}+\frac{2\tau}{x\cdot \mathrm{tg}\frac{\alpha_д}{2}}-\rho_{дф}\cdot g, \qquad (6)$$

где $v\frac{dv}{dx}$ – конвективная составляющая ускорения, обусловленная неравномерным движением смеси в канале диффузора, м/с^2.

В результате интегрирования уравнения (6) и проведения преобразований было получено уравнение для расчета перепада давления в диффузоре эжектора оросителя с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды

$$\Delta p_{диф}=\frac{2\tau}{\mathrm{tg}\frac{\alpha_д}{2}}\ln\frac{D}{d_0}+\frac{8\rho_{дф}\cdot Q^2}{\pi^2}\left[\frac{\rho^2}{\rho_{дф}^2 D^4}-\frac{1}{d_0^4}\right], \qquad (7)$$

где ρ – исходная плотность раствора пенообразователя, кг/м^3; D и d_0 – диаметры выходного и узкого сечений диффузора соответственно, м; Q – расход огнетушащей рабочей среды, м^3/с; остальные величины в выражении (7) имеют тот же смысл и размерность, что и в вышеприведенных зависимостях (1-6).

Основываясь на законе Бойля-Мариотта и, учитывая, что плотность воздуха в диапазоне рабочих давлений оросителя (0,05-0,2 МПа) значительно меньше плотности рабочей жидкости, было получено уравнение для расчета плотности двухфазной смеси в диффузоре эжектора оросителя

$$\rho_{дф}=\rho\cdot\frac{\left(p+p_{ат}\right)}{p+K\cdot p_{ат}}, \qquad (8)$$

где K – заданная кратность пены; $p_{ат}$ – атмосферное давление ($p_{ат}$ = 101,33 кПа).

Из формулы (8) следует, что кратность пены K существенно влияет на плотность двухфазной смеси и между ними существует обратная пропорциональная зависимость, которую следует учитывать при проектировании оросителей с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды.

На основе допущения из полуэмпирической теории Прандтля о том, что касательные напряжения на поверхности пропорциональны радиусу канала и, исходя из условия, что силы трения пропорциональны площадям эпюр касательных напряжений, было получено уравнение связи между касательными напряжениями при равно- и неравномерном движениях

$$2\cdot\tau'\cdot\tau'=\left(\tau\cdot\sin\frac{\alpha_д}{2}+\tau'+\tau'\right)\tau, \qquad (9)$$

где τ' и τ – касательные напряжения на боковой поверхности диффузора при равно- и неравномерном движениях двухфазной смеси соответственно, Па.

Из выражения (9) было получено уравнение для расчета касательных напряжений τ при неравномерном движении:

$$\tau = k \cdot \tau', \tag{10}$$

где k – коэффициент, учитывающий неравномерность движения двухфазной среды в диффузоре и зависящий по уравнению (9) от угла конусности $\alpha_д$.

В уравнении (10) показана прямая пропорциональная зависимость между касательными напряжениями τ' и τ, регулируемая коэффициентом k, величина которого для углов $\alpha_д$ = 7–9° находится в диапазоне значений 0,964–0,971.

При расчете перепада давления $\Delta p_{диф}$ по (7) с учетом уравнений (8), (10) учитывается неравномерный характер движения двухфазной среды и ее сжимаемость. При известном значении $\Delta p_{диф}$ уравнение (7) позволяет рассчитать скорость v и расход Q в любом сечении диффузора, включая сечение на выходе.

Используя полученные зависимости (7-10) перепад давления в эжекторе оросителя с предварительной аэрацией рекомендуется определять по формуле:

$$\Delta p = \Delta p_{диф} + \Delta p_{конф}, \tag{11}$$

где $\Delta p_{конф}$ – перепад давления в конфузоре эжектора, определяемый по известной гидравлической формуле Вейсбаха.

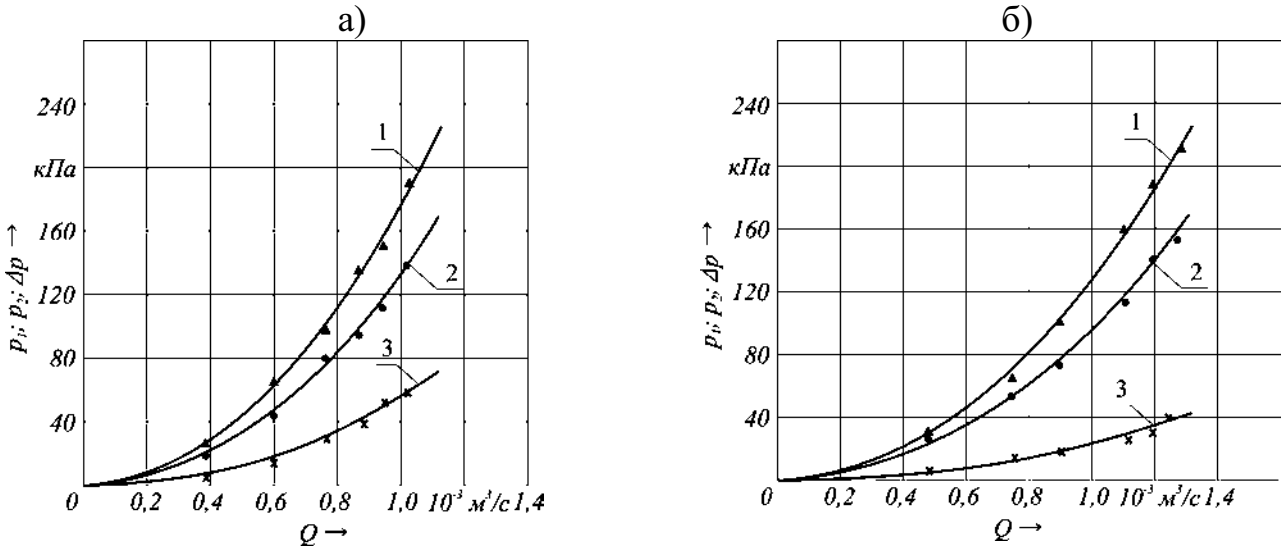
Для практического использования формул (7-11) рекомендуется диаметр узкого сечения эжектора d_0 выражать из уравнения Бернулли для потока реальной жидкости, а диаметр отверстий для подачи воздуха в узкое сечение эжектора рассчитывать по уравнению расхода для малого отверстия в тонкой стенке.

Разработанные теоретические основы расчета параметров конструкции и потока двухфазной рабочей среды были использованы для обоснования конструкции и изготовления экспериментальных образцов оросителей с предварительной аэрацией, смонтированных со стандартными оросителями TYCO.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований оросителей с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды, работающих в составе автоматических установок пенного пожаротушения. Приводятся результаты сравнительного анализа теоретических и экспериментальных данных, связанных с определением перепада давления двухфазной рабочей среды в проточной части диффузора эжектора оросителя.

Анализ полученных результатов (рисунок 4) показывает, что все зависимости, связывающие давления p_1 и p_2, на входе и выходе из эжектора соответственно, а также перепад давления Δp с расходом (производительностью) огнетушащей рабочей среды Q для различных конструкций оросителей стандартных (TYCO-3251, TYCO-4151) с диаметрами

d_0 узкого сечения эжектора (d_0 = 7,8 и 9,6 мм), площадями газонасыщения $S_{воз}$ ($S_{воз}$ = 9,24 и 14,4 мм^2) имеют четко выраженный параболический характер, подтверждающий турбулентный режим движения в проточной части оросителя.



1 – давление p_1 на входе в эжектор;
2 – давление p_2 на выходе из эжектора;
3 – перепад давления Δp в эжекторе

1 – давление p_1 на входе в эжектор;
2 – давление p_2 на выходе из эжектора;
3 – перепад давления Δp в эжекторе

а) эжектор с оросителем TYCO-3251 при диаметре узкого сечения d_0 = 7,8 мм и площади газонасыщения $S_{воз}$ = 9,24 мм^2; б) эжектор с оросителем TYCO-4151 при диаметре узкого сечения d_0 = 9,6мм и площади газонасыщения $S_{воз}$ = 14,4 мм^2;
а), б) Q – производительность оросителей, м^3/с

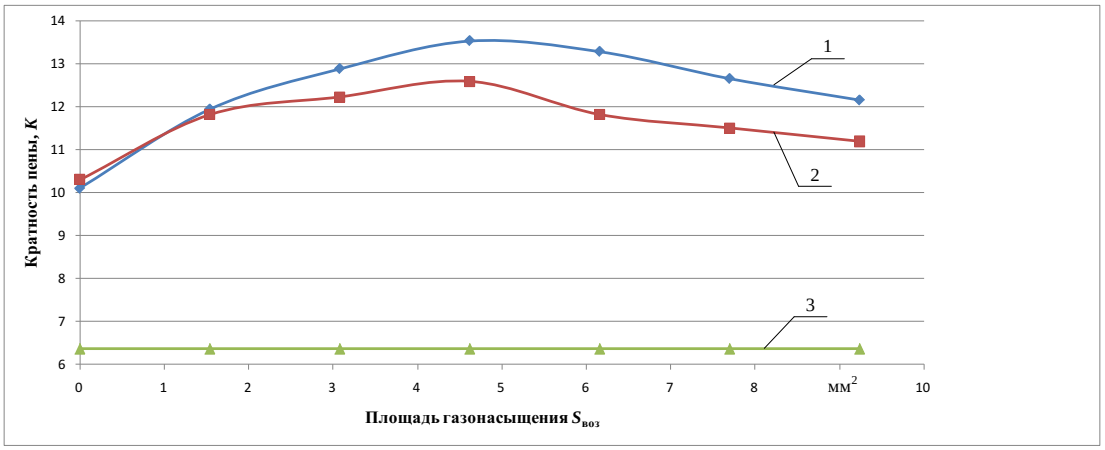
Рисунок 4. – Зависимости 1 – $p_1 = f(Q)$, 2 – $p_2 = f(Q)$, 3 –$\Delta p = f(Q)$

Из рассмотрения полученных данных (рисунок 4) видно, что перепад давления Δp в эжекторе с диаметром узкого сечения d_0 = 7,8 мм при максимальном входном давлении на 31% больше, чем в эжекторе с d_0 = 9,6 мм, что объясняется большим гидравлическим сопротивлением проточной части с меньшим диаметром d_0 узкого сечения. Следует отметить, что зависимости $\Delta p = f(Q)$ для движения двухфазной среды характеризуются незначительным (на 2-5%) увеличением перепада давления по сравнению с аналогичными данными, полученными для однофазных потоков (на рисунке 4 не показаны).

Анализ теоретических и экспериментальных зависимостей показал, что экспериментальные значения перепада давления Δp при изменении расхода Q огнетушащей рабочей среды несколько выше теоретических данных, которые рассчитывались с привлечением уравнений (7-11). Сопоставление результатов показало, что расхождение теории с экспериментом составляет в среднем 6-18%, что свидетельствует о корректности, разработанной, для анализа движения двухфазной рабочей смеси в диффузоре эжектора оросителя, математической модели и возможности использования, полученных на ее базе расчетных зависимостей в инженерной практике.

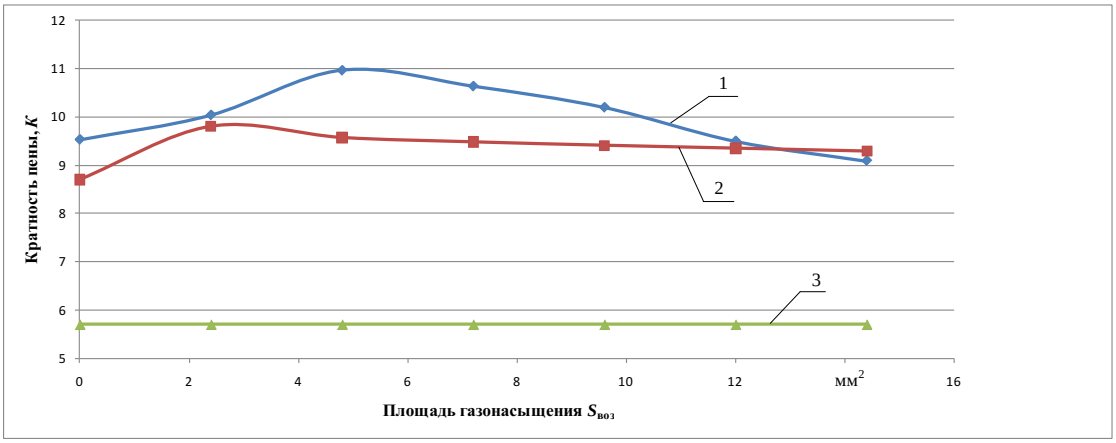
Исследования по влиянию площади газонасыщения $S_{воз}$ на эксплуатационные характеристики оросителя с предварительной аэрацией проводились с использованием 6% растворов пенообразователей «Синтек» и «ПО-6НСВ», при давлении на входе в ороситель p_1 = 0,2 МПа.

Экспериментами установлены максимальные значения кратности пены K_{max} (рисунки 5 и 6), достигающие значений K_{max} = 12,7 и 13,5 для оросителя с диаметром узкого сечения эжектора d_0 = 7,8 мм, при $S_{воз}$ = 4,62 мм^2 (для пенообразователей «ПО-6НСВ» и «Синтек» соответственно). Для оросителя с d_0 = 9,6 мм, $S_{воз}$ = 4,8 мм^2 значение K_{max} = 9,5 и 11 (для пенообразователей «ПО-6НСВ» и «Синтек» соответственно). Кратность пены в оросителе с предварительной аэрацией с d_0 = 7,8 мм, площадью газонасыщения $S_{воз}$ = 4,62 мм^2 больше по сравнению с аналогичным оросителем без аэрации в 2,1 раза, а в оросителе с d_0 = 9,6 мм, $S_{воз}$ = 4,8 мм^2 – в 1,8 раза. При площади газонасыщения $S_{воз}$ = 1,54 мм^2 в оросителе с d_0 = 7,8 мм и $S_{воз}$ = 2,4 мм^2 для d_0 = 9,6 мм кратность пены увеличивалась, а при $S_{воз}$ = 7,2 мм^2 для d_0 = 9,6 мм и $S_{воз}$ = 6,16 мм^2 для d_0 = 7,8 мм – уменьшалась.



1 – пенообразователь «Синтек»; 2 – пенообразователь «ПО-6НСВ»; 3 – без эжектора

Рисунок 5. – Зависимость кратности пены *K* от площади газонасыщения $S_{воз}$ в оросителе с d_0 = 7,8 мм, давлении на входе в эжектор p_1 = 0,2 МПа



1 – пенообразователь «Синтек»; 2 – пенообразователь «ПО-6НСВ»; 3 – без эжектора

Рисунок 6. – Зависимость кратности пены *K* от площади газонасыщения $S_{воз}$ в оросителе с d_0 = 9,6 мм, давлении на входе в эжектор p_1 = 0,2 МПа

Экспериментальные исследования по влиянию предварительной аэрации на расход огнетушащей рабочей среды показали, что при площади газонасыщения $S_{воз}$ = 1,54 мм^2 для оросителя с диаметром узкого сечения эжектора d_0 = 7,8 мм и $S_{воз}$ = 2,4 мм^2 для d_0 = 9,6 мм расход уменьшался, а при $S_{воз}$ = 7,2 мм^2 для d_0 = 9,6 мм и $S_{воз}$ = 6,16 мм^2 для d_0 = 7,8 мм – увеличивался. Установленное увеличение расхода и снижение кратности объясняется выравниванием абсолютного и атмосферного давлений в эжекторе оросителя с предварительной аэрацией и, как результат, уменьшением количества подсасываемого воздуха.

Устойчивость C пены изменялась аналогично кратности, имея оптимумы при одинаковых $S_{воз}$. Марка пенообразователя практически не влияет на перепад давления Δp при изменении $S_{воз}$, а расхождение зависимостей $\Delta p = f\left(S_{воз}\right)$ составляет в среднем 7% в оросителе с d_0 = 7,8 мм и 2% в оросителе с d_0 = 9,6 мм при использовании растворов пенообразователей «Синтек» и «ПО-6НСВ». Эти данные объясняются возможным проявлением известного эффекта снижения трения жидкостями, содержащими поверхностно-активные вещества.

Для получения пены с дисперсностью $d_п$ = 0,17-0,22 мм площадь газонасыщения находилась в диапазоне $S_{воз}$ = 2,8-6,2 мм^2 для оросителя с d_0 = 7,8 мм и $S_{воз}$ = 2,1-8,9 мм^2 для оросителя с d_0 = 9,6 мм. Наличие максимальных, минимальных пределов, а также диапазона оптимальных значений $S_{воз}$ позволяет оптимизировать конструкцию оросителя в части определения достаточной площади отверстий для аэрации.

В пятой главе на основании полученных теоретических и экспериментальных данных, предложена инженерная методика расчета оросителей с предварительной аэрацией. Расчет ведется методом последовательных приближений. Для расчета задаются следующие параметры: расход огнетушащей рабочей среды Q (принимается по паспорту на ороситель стандартный); кратность пены K; давление на выходе из эжектора p_2 (определяется по паспорту на ороситель стандартный); давление на входе в эжектор p_1 (принимаемое с учетом перепада равным 0,05 МПа). Давление на входе в ороситель с предварительной аэрацией определяется по формуле:

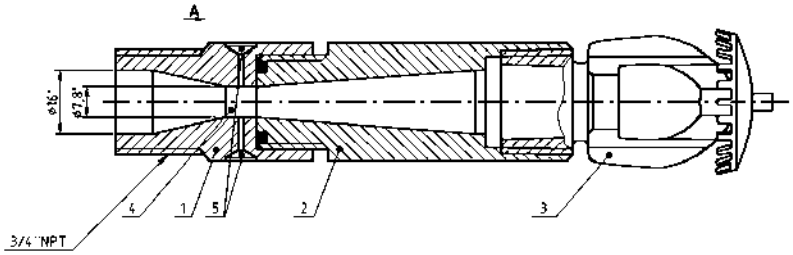
$$p_1 = \Delta p + p_2 . \qquad (12)$$

Угол конусности диффузора $\alpha_{диф}$ на основании рекомендаций А.Д. Альтшуля принимается равным 8,5^o, а конфузора $\alpha_{конф}$ = 25°. При этом значения плотности $\rho_{дф}$, перепада давления в диффузоре $\Delta p_{диф}$, касательных напряжений τ при неравномерном движении рассчитывались по уравнениям (7-10). При превышении расчетного перепада давления над заданными (0,05 МПа) следует изменить параметры конфузора, но в большей степени увеличить диаметр узкого сечения d_0. Достаточным считается разность между заданным и расчетным перепадом в эжекторе ~ 15% по абсолютной величине, т.е.:

$$\Delta p - \Delta p_{\text{конф}} - \Delta p_{\text{диф}} = \left|\Delta p_{\text{доп}}\right|. \qquad (13)$$

Экспериментальные исследования позволили уточнить конструкцию нового оросителя с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды, показанную на рисунке 7 [14] и внести соответствующие изменения в конструкторскую документацию.

По предложенной методике рассчитаны оптимальные параметры эжекторов, зарегистрированы технические условия. Филиалом «Оптрон-Цикло» РУП «Приборостроительный завод «Оптрон» разработана конструкторская документация с присвоением литеры O_1 на изготовление нового оросителя с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды, выполненного в двух вариантах (d_0 = 7,8 мм и d_0 = 9,6 мм) ДПО1-РН0,22-R½/В3-«ДПА-16/1» с оросителем стандартным TYCO-3251 и ДПО1-СН0,33-R¾/В3-«ДПА-19/2» с оросителем стандартным TYCO-4151 соответственно.



1 – конфузор; 2 – диффузор; 3 – ороситель стандартный TYCO 3251 (4151);
4 – сжатое (узкое) сечение; 5 – отверстия для эжекции воздуха

Рисунок 7. – Схема оросителя с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды [14]

Для получения пены кратностью K не менее 10 оросителем с предварительной аэрацией ДПО1-РН0,22-R½/В3-«ДПА-16/1» оптимальный диапазон $S_{\text{воз}}$ должен находится в интервале 2,8-6,2 мм^2, а для ДПО1-СН0,33-R¾/В3-«ДПА-19/2» – $S_{\text{воз}}$ = 2,1-8,9 мм^2. Наряду с отмеченной кратностью в указанных оросителях формируется пена с устойчивостью C не менее 127 с, дисперсностью $d_{\text{п}}$ не более 0,23 мм. Перепад давления в оросителях с предварительной аэрацией Δp составляет 0,038-0,056 МПа.

Кроме исследований гидродинамических параметров потока огнетушащей рабочей среды, качественных характеристик пены, влияющих на огнетушащую эффективность, проведены сертификационные испытания оросителя в аккредитованной лаборатории НИИ ПБ и ЧС МЧС Республики Беларусь на соответствие требованиям СТБ 11.16.06/ГОСТ Р 51043. Протоколы испытаний легли в основу сертификации серийно выпускаемой продукции («Оросители с предварительной аэрацией огнетушащего вещества дренчерные, пенные (водяные), общего назначения, неконцентричные односторонней направленности, розеточные») филиалом «Оптрон-Цикло» РУП «Приборостроительный завод «Оптрон», что позволило применить данные оросители при проектировании автоматических установок пенного пожаротушения на объектах г. Минска.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. На основании разработанной математической модели получена зависимость, позволяющая рассчитать перепад давления в диффузоре эжектора оросителя с предварительной аэрацией и скорость газожидкостного потока на выходе из диффузора, необходимые для проектирования оросителей с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды и получением пены заданной кратности. Для получения пены кратностью K = 10 перепад давления Δp в оросителе с предварительной аэрацией с диаметром d_0 узкого сечения 7,8 мм составляет 0,056 МПа, в оросителе с диаметром d_0 узкого сечения 9,6 мм, Δp = 0,038 МПа [1, 3, 7, 8].

2. В результате проведенного теоретического анализа параметров движения газожидкостного потока в диффузоре эжектора оросителя с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды установлена обратная пропорциональность между плотностью газожидкостного потока $\rho_{дф}$ и кратностью пены K в рассматриваемом сечении диффузора и прямая пропорциональность между касательными напряжениями τ' и τ в потоке при равномерном и неравномерном движениях соответственно с коэффициентом пропорциональности k, величина которого для углов диффузора $\alpha_д$ = 7–9° находится в диапазоне значений 0,964–0,971 [1, 3, 9].

3. На основании проведенного теоретического анализа разработана методика расчета оросителя с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды, учитывающая неравномерный характер движения и сжимаемость газожидкостной смеси [2, 4, 10].

4. В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что предварительная аэрация позволяет варьировать кратность K, устойчивость C, дисперсность $d_п$ пены и расход огнетушащей рабочей среды Q независимо от марки пенообразователя, используемого для приготовления 6% водного раствора. Кратность пены K при p_1 = 0,2 МПа в оросителе с предварительной аэрацией с d_0 = 7,8 мм, площадью газонасыщения $S_{воз}$ = 4,62 мм^2 больше по сравнению с аналогичным оросителем без аэрации в 2,1 раза, а в оросителе с d_0 = 9,6 мм, $S_{воз}$ = 4,8 мм^2 – в 1,8 раза; устойчивость C пены в оросителе с предварительной аэрацией с d_0 = 7,8 мм, $S_{воз}$ = 4,62 мм^2 больше по сравнению с аналогичным оросителем без аэрации на 21%, а в оросителе с d_0 = 9,6 мм, $S_{воз}$ = 4,8 мм^2 – на 19%; дисперсность пены $d_п$ в оросителе с предварительной аэрацией с d_0 = 7,8 мм, $S_{воз}$ = 4,62 мм^2 меньше по сравнению с аналогичным оросителем без аэрации на 30%, а в оросителе с d_0 = 9,6 мм, $S_{воз}$ = 4,8 мм^2 – на 29%. Оптимальная площадь газонасыщения $S_{воз}$ для оросителя с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды с диаметром узкого сечения эжектора d_0 = 9,6 мм находится в диапазоне 2,1-

8,9 мм^2, а для d_0 = 7,8 мм оптимальная площадь $S_{воз}$ = 2,8-6,2 мм^2. Гидравлическое сопротивление оросителя с диаметром узкого сечения эжектора d_0 = 7,8 мм изначально выше, чем у оросителя с d_0 = 9,6 мм, а перепад давления Δp не существенно зависит от типа раствора пенообразователя и в большей степени зависит от площади газонасыщения [5, 6, 11, 12].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Разработаны методики испытаний и изготовлена экспериментальная установка для исследования оросителей с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды. Характеристики установки позволяют проводить исследования при расходах до 5 л/с и давлении в системе до 0,25 МПа [5, 11].

2. На основании теоретических и экспериментальных исследований рассчитана и разработана новая конструкция оросителя с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды, обеспечивающая основные рабочие характеристики: площадь орошения S = 12 м^2; коэффициент производительности $k_р \approx$ 0,22-0,33; давление перед оросителем p_1 = 0,2 МПа; кратность воздушно-механической пены K = 8,7-13,5, устойчивость C = 127-147 с, дисперсность $d_п$ = 0,17-0,27 мм [5, 6, 10, 11, 12].

3. Методика расчета гидродинамических параметров оросителя применена при разработке конструкторской документации и технических условий ТУ BY 100918940.002-2013 «Ороситель с предварительной аэрацией огнетушащего вещества» (№ госрегистрации 039258).

4. Результаты работы внедрены в учебный процесс при преподавании дисциплин «Механика жидкости и газа» БНТУ и «Интегрированные системы безопасности» КИИ МЧС.

5. В НЦИС зарегистрирован лицензионный договор №2Л от 19.08.2014 (госрегистрация 6053), согласно которому филиалу «Оптрон-Цикло» РУП «Приборостроительный завод «Оптрон» переданы права на использование патента Республики Беларусь на полезную модель (№ 10277 «Ороситель с предварительной аэрацией огнетушащего раствора»), технические условия и конструкторская документация.

6. Практическая значимость полученных результатов подтверждается сертификатом соответствия требованиям СТБ 11.16.06-2011/ГОСТ Р 51043-2002 «Оросители. Общие технические требования. Методы испытаний» (№ BY/112 02.01.033 00355) на продукцию, выпускаемую серийно филиалом «Оптрон-Цикло» РУП «Приборостроительный завод «Оптрон».

7. Оросители с предварительной аэрацией применены при проектировании автоматических установок пенного пожаротушения на объектах: бизнес центр «Норд-сити» по адресу: г. Минск, ул. Логойский тракт, 35; торговый центр «Праздник» по адресу: г. Минск, ул. Сухаревская, 16.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах

1. Kachanau, I. Movement of Liquid Mixture in the Injector of Sprinkler at Automatic Fire Extinguishing Systems / I. Kachanau, I. Karpenchuk, S. Pauliukou // Scientific Journal of RTU, 15 series, Tehnogēnās vides drošība. – 2012. – 3. vol. – P. 33-38.

2. Павлюков, С.Ю. Теоретические основы расчета инжектора оросителя в автоматических установках пожаротушения / С.Ю. Павлюков, И.В. Качанов, И.В. Карпенчук, // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2012. – № 2(32). – С. 165 – 170.

3. Качанов, И.В. Повышение огнетушащей эффективности пены в автоматических установках пожаротушения / И.В. Качанов, В.В. Веременюк, И.В. Карпенчук, С.Ю. Павлюков // Инженерно-физический журнал. – 2013. – Том 86, № 3. – С. 495 – 502.

4. Siarhei Pauliukou / Calculation of sprinkler with gas saturation at automatic fire extinguishing foam systems / Ihar Kachanau, Ihar Karpenchuk, Siarhei Pauliukou, Liudmila Lyashenka // Scientific Journal of RTU, Safety of technogenic environment. – 2013. – 4. vol. – P. 18 – 23.

5. Павлюков С.Ю. Ороситель с предварительной аэрацией огнетушащего вещества в автоматических установках пенного пожаротушения / С.Ю. Павлюков // Вестник КИИ МЧС Республики Беларусь. – 2013. – № 2(18). – С. 81 – 90.

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, // Вестник Командно-инженерного института. – 2015 – № 2(22). – С. 52 – 61.

Материалы и тезисы докладов конференций

7. Карпенчук И.В. Уравнения движения жидкости в эжекторе пенного пожарного оросителя с предварительной аэрацией огнетушащего вещества / И.В. Карпенчук, С.Ю. Павлюков // XXIV Международная научно-практическая конференция по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института: тезисы докладов. Ч. 2. Ред. кол.: В.И. Климкин [и др.] – Москва: ВНИИПО, 2012. – С. 245 – 247.

8. Качанов, И.В. Решение уравнений движения газожидкостной смеси в инжекторе оросителя автоматических установок пенного пожаротушения / И.В. Качанов, И.В. Карпенчук, С.Ю. Павлюков // Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: Матеріали IV міжнародної

науково-практичної конференції / Ред. кол.: М.А. Кришталь [и др.] – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2012. – С. 117 – 119.

9. Павлюков, С.Ю. Повышение огнетушащей эффективности пены в автоматических установках пожаротушения / С.Ю. Павлюков, Д.С. Максимович // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы. Сборник материалов VII международной научно-практической конференции курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов). В 2 частях. Ч.1. – Минск: КИИ, 2013. – С.165.

10. Карпенчук, И.В. Методика расчета гидродинамических параметров оросителя с предварительной аэрацией огнетушащего вещества / И.В. Карпенчук, С.Ю. Павлюков // Наука – образованию, производству, экономике: Материалы XI международной научно-технической конференции. В 4 томах. Т. 2. / Ред. кол.: Б.М.Хрусталев [и др.] – Минск: БНТУ, 2013. – С. 104.

11. Качанов, И.В. О результатах испытания оросителя с предварительной аэрацией огнетушащего вещества в автоматических установках пенного пожаротушения / И.В. Качанов, И.В. Карпенчук, С.Ю. Павлюков // Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций: Материалы международной научно-практической конференции – Минск: КИИ, 2013. – с. 137 – 138.

12. Павлюков, С.Ю. Экспериментальные исследования оросителя с предварительной аэрацией огнетушащего вещества в автоматических установках пенного пожаротушения / С.Ю. Павлюков, Л.С. Ляшенко, А.И. Криваль // Наука – образованию, производству, экономике: Материалы XII международной научно-технической конференции. В 4 томах. Т. 2. / Ред. кол.: Б.М. Хрусталев [и др.] – Минск: БНТУ, 2014. – С. 95.

Патенты

13. Дренчер / И.В. Качанов, В.В. Кулебякин, А.А. Кособуцкий, И.М. Шаталов, А.С. Исаенко, С.Ю. Павлюков: заявитель БНТУ. – № а 20140373; заявл. 08.07.2014 Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.

14. Ороситель с предварительной аэрацией огнетушащего раствора: пат. 10277 Респ. Беларусь, МПК (2006.01) А 62С 31/00. / И.В. Карпенчук, И.И. Полевода, И.В. Качанов, С.Ю. Павлюков, Я.С. Волчек, С.М. Палубец; заявитель КИИ МЧС. – № u 20140830; заявл. 10.01.14; опубл. 02.06.14 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 5. – С. 175.

РЭЗЮМЭ

Паўлюкоў Сяргей Юр'евіч

Арашальнік аўтаматычнай устаноўкі пеннага пажаратушэння з папярэдняй аэрацыяй вогнетушыльнага рабочага асяроддзя

Ключавыя словы: аўтаматычная ўстаноўка пажаратушэння, газанасычэнне, пена, двухфазны струмень, дыфузар, арашальнік, эжэктар.

Мэта работы – тэарэтычнае і эксперыментальнае абгрунтаванне канструкцыі арашальніка для аўтаматычных установак пеннага пажаратушэння з папярэднім газанасычэннем вогнетушыльнага рабочага асяроддзя, якія забяспечваюць павышаныя эксплуатацыйныя характарыстыкі.

Метады даследавання і апаратура. Агульная метадалогія работы прадугледжвала спалучэнне тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў уплыву канструктыўных элементаў арашальніка на яго эксплуатацыйныя характарыстыкі. Для даследавання параметраў і апрацоўкі вынікаў выкарыстоўваліся: пераўтваральнік ціску «Сапфір-22», праграмны комплекс «AutoScan 2005», мікраскоп, электронны секундамер, лічбавая відэакамера і персанальны камп'ютар у спалучэнні з матэматычнымі метадамі апрацоўкі эксперыментальных даных.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. На падставе распрацаванай матэматычнай мадэлі руху газавадкаснага струменя ў дыфузары эжэктара арашальніка атрымана залежнасць, якая ўлічвае нераўнамерны характар руху струменя і дазваляе разлічваць перапад ціску ў дыфузары. Тэарэтычна ўстаноўлена зваротная прапарцыянальнасць паміж шчыльнасцю газавадкаснага струменя і кратнасцю пены ў дыфузары эжэктара арашальніка і прамая прапарцыянальнасць паміж датычнымі напружаннямі ў струмені пры раўнамерным і нераўнамерным рухах адпаведна. Устаноўлены ўплыў плошчы газанасычэння на эксплуатацыйныя характарыстыкі арашальніка і паказана, што ў дыяпазоне аптымальных плошчаў газанасычэння расход вогнетушыльнага рабочага асяроддзя і дысперснасць пены зніжаюцца, а кратнасць і ўстойлівасць павялічваюцца. На падставе атрыманай матэматычнай мадэлі распрацавана і эксперыментальна пацверджана методыка разліку арашальніка з папярэдняй аэрацыяй вогнетушыльнага рабочага асяроддзя.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Выкарыстанне арашальнікаў з папярэдняй аэрацыяй у складзе ўстановак пажаратушэння дазволіць генерыраваць пену з палепшанымі характарыстыкамі, што забяспечыць лакалізацыю пажару на ранняй стадыі яго развіцця.

Вобласць выкарыстання. Праектаванне, мантаж, наладка і тэхнічнае абслугоўванне аўтаматычных установак пеннага пажаратушэння.

РЕЗЮМЕ

Павлюков Сергей Юрьевич

Ороситель автоматической установки пенного пожаротушения с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды

Ключевые слова: автоматическая установка пожаротушения, аэрация, пена, двухфазный поток, диффузор, ороситель, эжектор.

Цель работы – теоретическое и экспериментальное обоснование конструкции оросителя для автоматических установок пенного пожаротушения с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды, обеспечивающей повышение эксплуатационных характеристик.

Методы исследования и аппаратура. Общая методология работы предусматривала сочетание теоретических экспериментальных исследований влияния конструктивных элементов оросителя на его эксплуатационные характеристики. Для исследования параметров и обработки результатов использовались: преобразователь давления «Сапфир-22», программный комплекс «AutoScan 2005», микроскоп, электронный секундомер, цифровая видеокамера и персональный компьютер в сочетании с математическими методами обработки экспериментальных данных.

Полученные результаты и их новизна. На основании разработанной математической модели движения газожидкостного потока в диффузоре эжектора оросителя получена зависимость, учитывающая неравномерный характер движения потока и позволяющая рассчитывать перепад давления в диффузоре. Теоретически установлена обратная пропорциональность между плотностью газожидкостного потока и кратностью пены в диффузоре эжектора оросителя и прямая пропорциональность между касательными напряжениями в потоке при равномерном и неравномерном движениях соответственно. Установлено влияние площади газонасыщения на эксплуатационные характеристики оросителя и показано, что в диапазоне оптимальных площадей газонасыщения расход огнетушащей рабочей среды и дисперсность пены снижаются, а кратность и устойчивость увеличиваются. На основании полученной математической модели разработана и экспериментально подтверждена методика расчета оросителя с предварительной аэрацией огнетушащей рабочей среды.

Рекомендации по использованию. Применение оросителей с предварительной аэрацией в составе установок пожаротушения позволит генерировать пену с улучшенными характеристиками, что обеспечит локализацию пожара на ранней стадии его развития.

Область применения. Проектирование, монтаж, наладка и техническое обслуживание автоматических установок пенного пожаротушения.

SUMMARY

Pauliukou Siarhei

The drencher with pre-aeration extinguishing fluid for automatic fire extinguishing foam system

Key words: automatic fire extinguishing system, aeration, foam, two-phase fluid, diffuser, drencher, ejector.

The purpose of the research work is theoretical and experimental substantiation of design drencher for automatic fire extinguishing foam systems having high performance which are provided by the pre-aeration extinguishing fluid.

Methods of the research and equipment. The general methodology of the work included a combination of theoretical and experimental studies of the influence of structural elements of the drencher on its performance. To study the parameters and data processing were used: pressure transducer "Sapphire-22", software complex «AutoScan 2005", microscope, electronic stopwatch, digital video camera and a personal computer combined with the mathematical methods of experimental data processing.

Obtained results and their novelty. On the basis of the developed mathematical model of movement of two-phase fluid in the diffuser ejector, the dependence is obtained that, takes into account uneven two-phase fluid and allows to calculate the pressure drop in the diffuser. In theory, an inverse proportionality between the density two-phase fluid and multiplicity of foam in the diffuser of the ejector and a direct proportionality between shear stresses in the two-phase fluid at a uniform and non-uniform motion, respectively. The influence of aeration area on performance of the drencher is defined. It is shawn that in a range of optimum areas for aeration extinguishing fluid consumption and dispersion of the foam increase, and the multiplicity and stability decrease. On the basis of the developed mathematical model is developed and experimentally confirmed the method of calculating of the the drencher with pre-aeration of extinguishing fluid.

Guidance for use. The use of drencher e s with pre-aeration of extinguishing fluid allows to generate foam with improved characteristics that will provide fire localization at an early stage.

Field of application. Design, installation and maintenance of automatic fire-extinguishing foam systems.

Научное издание

Павлюков Сергей Юрьевич

ОРОСИТЕЛЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ПЕННОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ АЭРАЦИЕЙ ОГНЕТУШАЩЕЙ РАБОЧЕЙ СРЕДЫ

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность

Подписано в печать 30.12.2015.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,22. Уч.-изд. л. 1,43.
Тираж 60. Заказ 359-2015.

Полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение образования
«Командно-инженерный институт»
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 2/85 от 19.03.2014.
Ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск.