

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

УДК 614.843.8

ПАРМОН
Валерий Викторович

**КАВИТАЦИОННЫЙ ГЕНЕРАТОР ПЕНЫ НИЗКОЙ
КРАТНОСТИ ДЛЯ ПОДСЛОЙНОГО ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ
В РЕЗЕРВУАРАХ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ**

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

Минск, 2010

Работа выполнена в Государственном учреждении образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь

Научный руководитель: **Карпенчук Игорь Васильевич**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Пожарная аварийно-спасательная техника» Государственного учреждения образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь

Официальные оппоненты: **Баштовой Виктор Григорьевич**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии» Белорусского национального технического университета
Кравцов Александр Маратович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Гидравлика и гидравлические машины» учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Оппонирующая организация: ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова» НАН Беларуси

Защита состоится 24 декабря 2010 г. в 11.00 часов 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 23 ноября 2010 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

В.А. Кузьмицкий

ВВЕДЕНИЕ

Одну из наибольших опасностей в техногенной сфере Республики Беларусь представляют пожары нефти и нефтепродуктов в резервуарах. На территории республики функционируют два крупных нефтеперерабатывающих предприятия и более 600 мелких, в технологическом процессе которых хранятся и обращаются в большом количестве нефтепродукты.

Длительный опыт эксплуатации показал, что существующие системы противопожарной защиты резервуаров, в которых используется пена низкой или средней кратности с верхней подачей, не обеспечивают надежную защиту, поскольку часто выходят из строя в ходе пожара.

Решением данной проблемы является использование систем подслоного тушения пожаров. Эффективность этих систем была проверена при проведении экспериментов по тушению натуральных резервуаров, которые позволили установить, что эффективность и надежность работы системы в целом обеспечивается оптимальными гидравлическими характеристиками пеногенератора (эжектора-смесителя) для подслоного тушения пожаров в резервуарах (далее – пеногенератор), который должен обеспечивать пожаротушение при значительных притоках давления со стороны резервуара.

Перспективным методом повышения эффективности (увеличение коэффициента преобразования давления при обеспечении необходимого расхода огнетушащего вещества и оптимальной кратности воздушно-механической пены низкой кратности) пеногенераторов проточного типа является возбуждение гидродинамической кавитации в потоке движущейся жидкости.

Таким образом, изучение протекания рабочих процессов, разработка методик расчета эффективных пеногенераторов, работающих в кавитационном режиме, а также методик расчета систем пожаротушения, включающих данные элементы, является актуальной задачей.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Исследования, составившие основу диссертационной работы, выполнялись в рамках пунктов 2, 8 Постановления Совета Министров Республики Беларусь от 17 мая 2005 г. № 512 «Перечень приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006–2010 годы», задания 32 «Разработать высоконапорный пеногенератор проточного типа, предназначенный для тушения пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах подслоным способом» ГНТП «Защита от чрезвычайных ситуаций» (№ госрегистрации 20072227), задания 40 «Разработать тактику

тушения подслоным способом нефти и нефтепродуктов в резервуарах, не оборудованных стационарной системой пожаротушения» ГНТП «Защита от чрезвычайных ситуаций» (№ госрегистрации 20090141).

Цель и задачи исследования. Целью настоящей работы является разработка эффективных пеногенераторов, работающих в кавитационном режиме при противодавлении, для подслоного тушения пожаров в резервуарах нефти и нефтепродуктов.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- выполнить математическое моделирование движения газожидкостной смеси в диффузоре пеногенератора;
- исследовать возникновение и развитие кавитации в моделях пеногенераторов типа трубы Вентури при различных противодавлениях в гидравлической системе;
- определить и обосновать оптимальные параметры кавитации;
- разработать методику расчета оптимальных параметров пеногенераторов, работающих в кавитационном режиме;
- разработать методику расчета систем, включающих пеногенераторы, работающие в кавитационном режиме.

Объектом исследования являются генераторы пены низкой кратности для подслоного тушения пожаров в резервуарах нефти и нефтепродуктов, работающие в кавитационном режиме, **предметом исследования** – их гидродинамические параметры.

Положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель, отличающаяся тем, что в ней учитывается неравномерный характер движения газожидкостной смеси в диффузоре пеногенератора, позволяет рассчитывать распределение осредненного давления по длине и на границе кавитационной зоны, а также потери давления в диффузоре – параметры, необходимые при проектировании пеногенератора с гидродинамическим сопротивлением, обеспечивающим работу пеногенератора в режиме кавитации.

2. Расход огнетушащей жидкости и рабочие характеристики пеногенератора остаются постоянными при изменении величины противодавления вследствие сжимаемости газожидкостного потока и изменения длины кавитационной зоны в диффузоре пеногенератора и, соответственно, величины гидродинамического сопротивления пеногенератора, обратно пропорционального давлению на выходе.

3. Методика численного расчета оптимальных параметров пеногенераторов, основанная на минимизации гидродинамического сопротивления при возникновении кавитационного режима и использовании полученной эмпириче-

ской зависимости критического числа кавитации от коэффициента гидродинамического сопротивления при бескавитационной работе, учитывающей связь между значением критического числа кавитации и геометрическими характеристиками пеногенератора, позволяет рассчитывать геометрические характеристики пеногенераторов, обеспечивающие возникновение и развитие кавитации при минимальном гидродинамическом сопротивлении.

4. Методика расчета систем подслоного пожаротушения с изменяемым гидродинамическим сопротивлением позволяет рассчитать режим подачи необходимого объема воздушно-механической пены низкой кратности на пожаротушение.

Личный вклад соискателя. Основные результаты и положения, выносимые на защиту, получены лично автором. Научный руководитель принимал участие в постановке задач, определении возможных путей их решения, предварительном анализе и обсуждении результатов теоретических и экспериментальных исследований, проведенных автором самостоятельно. Соавторы публикаций участвовали в постановке задач, выборе и анализе методов их решения, а также в обсуждении полученных результатов.

Апробация результатов диссертации. Результаты проведенных исследований докладывались автором на III, IV и V Международных научно-практических конференциях «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» (Беларусь, Минск, 2005 г., 2007 г., 2009 г.), VIII Международной научно-практической конференции «Пожарная безопасность – 2007» (Украина, Черкассы, 2007 г.), III Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике» (Беларусь, Минск, 2005 г.), Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности» (Россия, Москва, 2009 г.), Международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации» (Беларусь, Гомель, 2008 г.), Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций» (Беларусь, Минск, 2008 г.), III и IV Международных научно-практических конференциях преподавателей и студентов «Использование компьютерных технологий и математических методов в задачах гражданской защиты» (Украина, Черкассы, 2008 г., 2009 г.), II и III Международных научно-практических конференциях «Природные науки и их использование в деятельности службы гражданской защиты» (Украина, Черкассы, 2008 г., 2009 г.), IX Международной научно-практической конференции «Пожарная безопасность – 2009» (Украина, Львов, 2009 г.).

Опубликованность результатов диссертации. По результатам диссертационной работы опубликована 21 печатная работа, в том числе 5 статей, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и при-

своении ученых званий в Республике Беларусь, общим объемом 2,6 авторского листа (из них без соавторов – 1 статья), 8 работ в сборниках материалов и докладов конференций, 8 тезисов докладов, получено 2 патента на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов, заключения и приложений. Работа изложена на 148 страницах, содержит 48 рисунков, 11 таблиц, 8 приложений на 28 страницах, библиографический список из 170 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Первая глава посвящена аналитическому обзору литературы по тушению пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах, исследованиям возникновения и развития кавитационных течений, а также анализу конструкций устройств для смешения (диспергирования) и генерирования воздушно-механической пены с использованием кавитации.

В результате анализа сведений о крупных пожарах, произошедших в резервуарах для хранения нефти и нефтепродуктов, показано, что стационарные системы пожаротушения, располагающиеся в верхнем поясе резервуаров, не выполняют свои функции из-за их разрушения при возникновении пожара. Также более чем в 60 % случаев пожары сопровождаются образованием «карманов» (т.е. объемов, в которых горение и прогрев жидкости, а также теплообмен при подаче воздушно-механической пены происходят независимо от остальной массы горючего в резервуаре), что значительно затрудняет тушение подачи пены в горящий резервуар сверху.

Решением этой проблемы является использование систем подслоного тушения пожаров. Экспериментами по тушению пожаров резервуаров подслоным способом в реальных условиях, проведенных в Японии, Российской Федерации и Республике Беларусь, а также исследованиями, проведенными А.Ф. Шароварниковым, В.П. Молчановым, С.С. Воеводой, А.А. Ефимовым, С.А. Шароварниковым, С.Г. Цариченко, Т.И. Сентишаком, В.В. Наумовым, С.Г. Котовым, Ю.В. Заневской и рядом других авторов, показана высокая эффективность данного способа тушения. Эффективность и надежность работы системы подслоного тушения в целом обеспечивается оптимальными гидравлическими характеристиками пеногенератора.

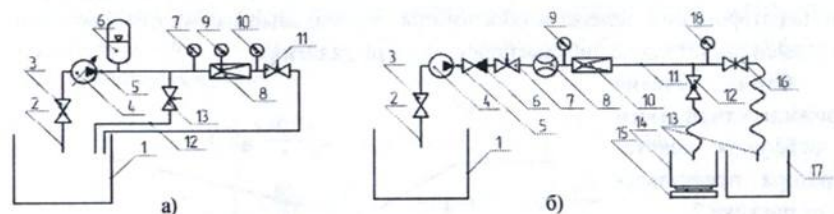
Одним из способов повышения эффективности (увеличение коэффициента преобразования давления при обеспечении необходимого расхода огнетушащего вещества и оптимальной кратности воздушно-механической пены низкой кратности) пеногенераторов проточного типа является возбуждение гидродинамической кавитации в потоке движущейся жидкости.

Однако до настоящего времени задача создания смесительных (диспергирующих) и пеногенерирующих устройств (выполненных по типу трубы Вентури), работающих в кавитационном режиме, для систем пожаротушения не реализована. В результате анализа исследований, проведенных Э.С. Арзумановым, Кристофером Е. Бренненем, А.Н. Ивановым, В.М. Червяковым, Ф.Р. Янгом, Я. Леккоффе, А.Д. Перником, Я.Т. Шаном, С. Мартыновым, Л.А. Галиком, Б.Н. Сиовым, Н.С. Ламекиным, Е.К. Спиридоновым, В.К. Темновым, Л.С. Прохасько, А.В. Игнатевым и рядом других авторов, показано, что кавитационные явления в таких устройствах до настоящего времени изучены не в полной мере, приводимые расчетные зависимости носят разрозненный характер и не могут быть положены в основу метода расчета пеногенераторов.

На основании проведенного анализа сформулированы цель диссертационных исследований и задачи для ее реализации.

Во второй главе приводится описание разработанных и изготовленных экспериментальной установки для исследования моделей и стенда для испытаний опытных образцов пеногенераторов, методик проведения экспериментальных исследований моделей и опытных образцов пеногенераторов, а также методики обработки результатов измерений.

Гидравлические схемы экспериментальной установки для исследования моделей и стенда для испытаний опытных образцов пеногенераторов представлены на рисунке 1.



- | | |
|--|---|
| 1 – емкость для огнетушащего вещества; | 1 – емкость для огнетушащего вещества; |
| 2 – всасывающая линия; | 2 – всасывающая линия; |
| 3 – запорный вентиль; | 3 – запорный вентиль; |
| 4 – насос; | 4 – насос; |
| 5 – напорная линия; | 5 – напорная линия для измерительного оборудования; |
| 6 – гидроаккумулятор; | 6 – обратный клапан; |
| 7, 10 – манометры; | 7 – вентиль; |
| 8 – модель пеногенератора; | 8 – расходомер; |
| 9 – вакуумметр; | 9, 18 – манометры; |
| 10 – пеногенератор; | 10 – пеногенератор; |
| 11 – основная напорная линия; | 11 – основная напорная линия; |
| 12 – шаровый кран; | 12 – шаровый кран; |
| 13 – гибкий трубопровод; | 13 – гибкий трубопровод; |
| 14 – мерная емкость; | 14 – мерная емкость; |
| 15 – весы; | 15 – весы; |
| 16 – задвижка; | 16 – задвижка; |
| 17 – емкость для сбора пены | 17 – емкость для сбора пены |

Рисунок 1 – Гидравлические схемы экспериментальной установки для исследования моделей (а) и стенда для испытаний опытных образцов пеногенераторов (б)

Установки позволяют проводить эксперименты при различных расходах, режимах кавитации, соотношениях между давлением на входе и противодавлением на выходе, а также определять основные рабочие характеристики пеногенераторов.

Описана методика проведения экспериментальных исследований моделей пеногенераторов. Сущность эксперимента заключается в следующем: при заданном расходе жидкости определяются потери давления в модели пеногенератора, изменяя сопротивление в выходной гидравлической линии, определяется критическое противодавление, при котором прекращается кавитация.

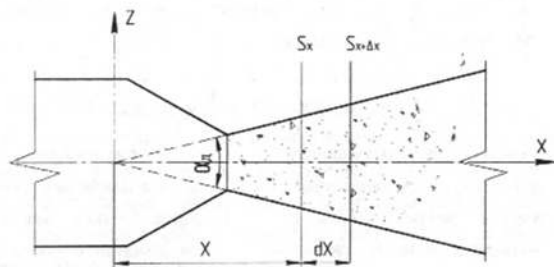
Описана методика проведения испытаний опытных образцов пеногенераторов, разработанная с учетом требований СТБ 11.13.05-2009 «Система стандартов пожарной безопасности. Генераторы пены низкой кратности для подслоного тушения резервуаров. Общие технические требования и методы испытаний». Предложенная методика позволяет определять основные рабочие характеристики пеногенераторов (расход огнетушащего вещества, кратность воздушно-механической пены и коэффициент преобразования давления).

Разработана методика обработки результатов измерений согласно РМГ 43-2001. ГСИ. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений», которая обеспечивает расчет неопределенности прямых и косвенных измерений.

В третьей главе разработана математическая модель движения газожидкостной смеси в диффузоре пеногенератора, приведены результаты экспериментальных исследований возникновения и развития кавитации в моделях пеногенераторов, определены и обоснованы оптимальные параметры кавитации, выполнен расчет пределов кавитации и потерь давления.

Схема течения газожидкостной смеси в диффузоре пеногенератора представлена на рисунке 2.

В рамках математической модели для элементарного участка диффузора, заключенного между сечениями S_x и $S_{x+\Delta x}$, записан закон сохранения импульса:



α_1 — угол конусности диффузора; $S_x, S_{x+\Delta x}$ — площади сечений элементарного участка диффузора

Рисунок 2 — Схема течения двухфазной жидкости в диффузоре

$$g_x \cdot [(\rho_r - \rho) \cdot \varphi + \rho] + \frac{2 \cdot \theta}{x} - \frac{2 \cdot \tau}{x \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{2}} - \frac{\partial p_{ox}}{\partial x} - \frac{2 \cdot p_{ox}}{x} = \varphi \cdot \rho_r \cdot \left(\frac{\partial v_r}{\partial t} + v_r \cdot \frac{\partial v_r}{\partial x} \right) + (1 - \varphi) \cdot \rho \cdot \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial x} \right) + (v - v_r) \cdot \left\{ -\frac{\partial(\varphi \rho)}{\partial t} + \frac{1}{x^2} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \left[(1 - \varphi) \cdot \rho \cdot x^2 \cdot v \right] \right\} \quad (1)$$

и уравнение неразрывности:

$$\pi \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha_1}{2} \cdot \left\{ x^2 \cdot \frac{\partial}{\partial t} \left[\rho_r \cdot \varphi + (1 - \varphi) \cdot \rho \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[x^2 \cdot \rho_r \cdot \varphi \cdot v_r + x^2 \cdot \rho \cdot (1 - \varphi) \cdot v \right] \right\} = 0, \quad (2)$$

где ρ, ρ_r — плотности жидкой и газообразной фаз соответственно; φ — газосодержание; θ — нормальные напряжения на стенке диффузора; τ — касательные напряжения на стенке диффузора; p_{ox} — давление в перпендикулярных оси Ox сечениях; v, v_r — скорости жидкой и газообразной фаз соответственно; t — время.

Сделаны следующие допущения: движение жидкости в диффузоре пеногенератора с углами конусности менее 15° установившееся; диффузор расположен горизонтально, т.е. проекция ускорения свободного падения g_x равна 0; рабочей жидкостью является вода, ее плотность принята постоянной и на много больше плотности газообразной фазы; величины скоростей жидкой v и газообразной v_r фаз и их приращения одного порядка.

С учетом принятых допущений после преобразований (1) и (2) получена система уравнений, позволяющая рассчитывать распределение осредненного давления по длине кавитационной зоны, а также определять давление на ее границе в конце диффузора:

$$\pi \cdot \operatorname{tg}^2 \frac{\alpha_1}{2} \cdot \left[\rho_r \cdot \varphi \cdot v_r + \rho \cdot (1 - \varphi) \cdot v \right] \cdot x^2 = \operatorname{const}, \quad (3)$$

$$\frac{dp_{ox}}{dx} + \frac{p_{ox}}{x} = -\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v \cdot (1 - \varphi) \cdot \frac{dv}{dx}. \quad (4)$$

Значение газосодержания задается исходя из необходимой кратности воздушно-механической пены. Определение давления на границе кавитационной зоны в конце диффузора дает возможность проектировать выходной участок системы с гидродинамическим сопротивлением, обеспечивающим в пеногенераторе режим кавитации.

При исследовании возникновения и развития кавитации проведены эксперименты с моделями пеногенераторов согласно таблице 1. Для определения необходимых геометрических характеристик моделей с использованием разработанной математической модели рассчитано распределение давления по длине и на границе кавитационной зоны, а также потери давления в пеногенераторе.

Получены оптимальные углы конусности диффузора, которые составили $\alpha_d = 6-12^\circ$. Конструкции моделей пеногенераторов с углами конусности диффузора менее 6° не рассматривались ввиду значительного увеличения их габаритов. Угол конусности конфузора α_k принят равным 20 и 25° , так как В.П. Бочаровым установлено, что в пределах $\alpha_k = 15-50^\circ$ коэффициент гидродинамического сопротивления конфузора практически не изменяется.

Таблица 1 – Характеристика моделей пеногенераторов

Параметр	Значение параметра для модели							
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8
Диаметр входного (выходного) сечения d , мм	20							
Диаметр узкой части d_c , мм	4	5	8	5	5	5	4,3	4,3
Длина узкой части l_c , мм	50	50	68	50	50	50	–	–
Угол конусности конфузора α_k , град	20	20	20	20	20	20	25	25
Угол конусности диффузора α_d , град	10	10	12	13	15	15	8,5	6
Размеры элемента в узкой части, мм	–	–	2 стержня $d_{ст.} = 3; l_{ст.} = 8$	стержень $d_{ст.} = 1; l_{ст.} = 5$	стержень $d_{ст.} = 1,5; l_{ст.} = 5$	пластина $d_{пл.} = 1,5; l_{пл.} = 5$	–	стержень $d_{ст.} = 0,5; l_{ст.} = 4$
Площадь сечения узкой части S_c , мм ²	12,56	19,63	11,2	14,62	9,63	12,13	14,5	12,5

В экспериментах коэффициент гидродинамического сопротивления моделей пеногенераторов ζ и значение критического числа кавитации σ_k определялись по формулам:

$$\zeta = \frac{2 \cdot (p_1 - p_2)}{\rho \cdot v_{тр}^2} = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot v_{тр}^2}, \quad (5)$$

$$\sigma_k = \frac{2 \cdot (p_1 - p_{н.п.})}{\rho \cdot v_c^2}, \quad (6)$$

где p_1, p_2 – давление на входе и на выходе соответственно; $p_{н.п.}$ – давление насыщенных паров; $v_{тр.} = Q/S$ – скорость во входном (выходном) сечении; $v_c = Q/S_c$ – скорость в узком (минимальном) сечении; Q – расход; S – площадь входного (выходного) сечения; S_c – площадь узкого (минимального) сечения.

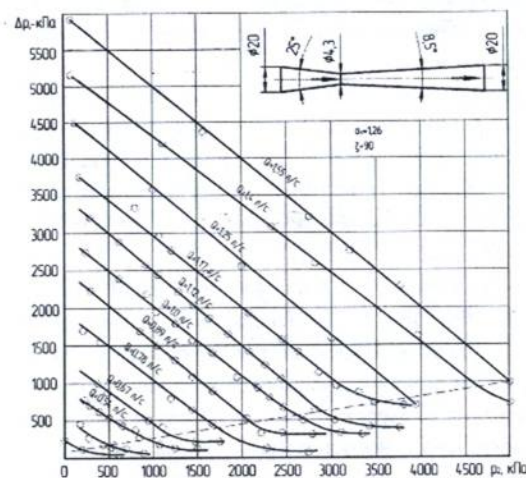


Рисунок 3 – Результаты гидравлических испытаний модели пеногенератора № 7

В результате анализа полученных экспериментальных данных (рисунок 3, таблица 2) показано, что в модели пеногенератора № 7 потери давления по сравнению с моделями пеногенераторов № 1–6 снижены в 5–9 раз.

Так, в диапазоне расходов до $(1,55 \pm 0,01)$ л/с потери давления при наступлении кавитации не превышали (1000 ± 44) кПа, при этом кавитационное течение имело место при противодавлениях до (5000 ± 52) кПа. Поэтому конструкция модели № 7 принята за основу при проектировании пеногенераторов.

Таблица 2 – Результаты экспериментов на моделях пеногенераторов

Номер образца	Максимальное давление на выходе p_2 , при котором получен кавитационный режим, кПа	Коэффициент гидродинамического сопротивления ζ	Критическое число кавитации σ_k
1	3700 ± 21	$440,00 \pm 8,28$	$1,70 \pm 0,15$
2	1000 ± 14	$190,00 \pm 4,65$	$1,44 \pm 0,13$
3	1250 ± 18	$443,00 \pm 5,60$	$0,78 \pm 0,07$
4	1450 ± 15	$351,00 \pm 4,96$	$1,26 \pm 0,12$
5	2700 ± 25	$438,00 \pm 8,43$	$1,21 \pm 0,12$
6	2500 ± 24	$607,00 \pm 15,50$	$1,70 \pm 0,17$
7	5000 ± 52	$90,00 \pm 3,76$	$1,26 \pm 0,12$
8	3800 ± 30	$400,00 \pm 6,87$	$1,60 \pm 0,13$

На основе анализа расчетных и экспериментальных данных определено значение оптимального угла конусности диффузора $\alpha_d = 6-9^\circ$ как обеспечивающее минимум потерь давления в пеногенераторе. Установлено, что при кавитационном течении расход Q остается постоянным независимо от величины противодавления p_2 . Это согласуется с экспериментальными данными, полученными Э.С. Арзумановым. Расхождение теоретических значений, рассчитанных с использованием разработанной математической модели, по сравнению с экспериментальными составило в среднем 10 %.

С целью исследования структуры кавитационной зоны в диффузорах исследуемых устройств проведены эксперименты по визуализации процесса кавитации с использованием скоростной киносъемки.

Установлено, что объем кавитационной зоны определяет степень развития кавитации и характеризует гидродинамическое сопротивление пеногенератора. Результаты скоростной киносъемки показали, что процесс схлопывания кавитационных пузырьков происходит по всему объему кавитационной зоны, заполняющей пространство диффузора, что и обеспечивает интенсивное генерирование воздушно-механической пены.

Предложенные Э.С. Арзумановым, Кристофером Е. Бренненем, А.Н. Ивановым, В.М. Червяковым, Ф.Р. Янгом, Я. Леккоффе и рядом других авторов числа кавитации, как и все другие известные критерии кавитации, не являются универсальными, так как их критические значения существенно меняются при изменении геометрических размеров устройств. В связи с этим возникла необходимость введения дополнительного критерия – числа кавитации.

В результате обработки результатов экспериментов получена эмпирическая зависимость для критического числа кавитации:

$$\sigma_k^{сж} = \frac{4,54 \cdot \sqrt{n_{сж}}}{m \cdot \zeta^{0,4}}, \quad (7)$$

где $n_{сж} = S/S_c$; $m = \alpha_k/\alpha_d$.

Эта зависимость (определенная по скорости в сжатом сечении) учитывает связь критического числа кавитации с геометрическими характеристиками пеногенератора и применима для устройств, выполненных по типу трубы Вентури, в области оптимальных углов диффузора, работающих при противодавлениях до 8,0 МПа.

Для определения влияния противодавления на развитие кавитации введен параметр $K_{кр}$:

$$K_{кр} = \frac{p_2^{кр}}{p_1} = 1 - \frac{0,22 \cdot m \cdot \zeta^{1,4}}{\sqrt{n_{сж}^5}}, \quad (8)$$

где $p_2^{кр}$ – критическое противодавление, при котором происходит срыв кавитационного течения.

В четвертой главе приводятся методика расчета оптимальных параметров пеногенераторов, работающих в кавитационном режиме, методика инженерного расчета оптимальных параметров пеногенераторов, методика расчета систем пожаротушения при наличии в них кавитирующих элементов, результаты испытаний опытных образцов пеногенераторов и натурных испытаний по

определению огнетушащей эффективности опытных образцов пеногенераторов.

Методика расчета оптимальных параметров пеногенераторов, работающих в кавитационном режиме, заключается в определении наряду с заданными гидродинамическими параметрами течения рабочей жидкости в системе, оптимальных геометрических характеристик кавитатора, определяющих возникновение и развитие в нем кавитационного режима.

Как известно, кавитация будет иметь место, если число кавитации σ меньше критического значения σ_k . Следовательно, оптимальными параметрами будут такие, которые обеспечивают возникновение кавитации в пеногенераторе при минимальных потерях давления, т.е. выполняется условие

$$\sigma = \sigma_k \text{ или } \zeta = \beta \cdot \sigma_k, \quad (9)$$

где $\beta = 1 - p_2/p_1$ – параметр, зависящий от противодавления и связывающий коэффициент гидродинамического сопротивления в момент возникновения кавитации с критическим числом кавитации.

Для нахождения искомого критического числа кавитации используется формула (7), определенная по скорости в выходном сечении устройства, которая в этом случае примет следующий вид:

$$\sigma_k^n = \frac{4,54}{m \cdot S_{отн}^{2,5} \cdot \zeta^{0,4}}, \quad (10)$$

где $S_{отн} = S_c / S$ – относительная площадь.

С учетом подходов, предложенных И.Е. Иделичиком, А.Д. Альтшулем и Е.З. Рабиновичем, коэффициент гидродинамического сопротивления в момент возникновения кавитации $\zeta^{кав}$ принимается равным коэффициенту сопротивления в квадратичной области $\zeta_{кв}$, который определен как сумма коэффициентов гидродинамического сопротивления конфузора и диффузора без учета интерференции местных сопротивлений:

$$\zeta_{кв} = k_k \frac{1}{S_{отн}^2} \left(1 - \frac{1}{\epsilon_k}\right)^2 + \sin \alpha_d \left(1 - \frac{1}{S_{отн}}\right)^2, \quad (11)$$

где $\zeta_{кв}$ – коэффициент гидродинамического сопротивления в квадратичной области; k_k – эмпирический коэффициент, предложенный А.Д. Альтшулем, определяемый в зависимости от углов конусности конфузора; $\epsilon_k = 0,57 + 0,043/(1,1 - S_{отн})$ – коэффициент сжатия потока.

Необходимо определить такие значения $S_{отн}$ и α_d при заданных парамет-

рах течения жидкости Q , p_1 , p_2 и геометрических характеристиках, зависящих от параметров гидравлической системы α_k и S , чтобы можно было гарантировать возникновение кавитации в пеногенераторе при минимальных потерях давления.

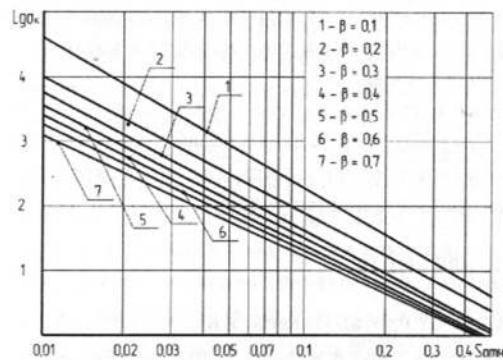


Рисунок 4 – Зависимость критического числа кавитации от относительной площади при $\alpha_k = 25^\circ$

$$\alpha_d = \frac{\alpha_k \cdot S_{отн}^{2.5} \cdot \beta^{0.4} \cdot \sigma_k^{1.4}}{4,54}, \quad (12)$$

где α_k – угол конусности конфузора.

Используя полученные зависимости, расчет оптимальных параметров производится следующим образом. Для заданных параметров Q , p_1 , p_2 , β вычисляется $\sigma_k = 2p_1 / \rho \cdot v^2$. По графикам (рисунок 5) определяется $S_{отн}$, которое соответствует значению $\sigma = \sigma_k$. Угол конусности диффузора определяется по формуле (12).

Найденные параметры $S_{отн}$ и α_d пеногенератора обеспечивают возникновение в нем кавитации при минимальных потерях давления.

Методика расчета систем пожаротушения, включающих элементы, работающие в кавитационном режиме, позволяет учесть изменения гидродинамического сопротивления всей системы, в том числе изменения давления на входе в пеногенератор, изменения гидродинамического сопротивления пеногенератора и рассчитать режим подачи необходимого объема воздушно-механической пены низкой кратности на пожаротушение.

На основании уравнения (9) для выполнения неравенства $\sigma \leq \sigma_k$ достаточно так определить $S_{отн}$ и α_d , чтобы $\zeta_{кв} = \beta \cdot \sigma_k$.

Анализ формул (9) и (10) показывает, что существует такая функция $\alpha_d = f(S_{отн})$, что при любом $S_{отн}$ в интервале от 0 до 1 равенство $\zeta_{кв} = \beta \cdot \sigma_k$ будет выполнено. После этого строятся графики зависимости критического числа кавитации от $S_{отн}$ (рисунок 4).

В результате совместного решения уравнений (9) и (10) установлена зависимость $\alpha_d = f(S_{отн})$:

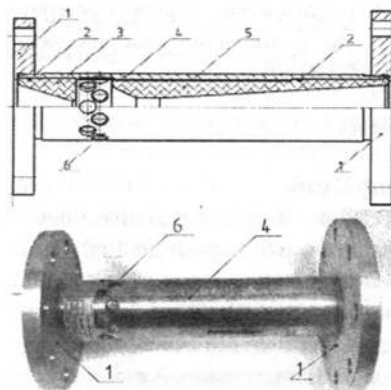
С учетом формулы (8) перепад давления, необходимый на преодоление сопротивления элементов, работающих в кавитационном режиме, определяется по формуле

$$\Delta p_{кав} = \frac{8 \cdot \rho \cdot Q^2}{\pi^2} \sum_{i=1}^k \frac{4,54(1-K_i) \sqrt{n_{ск,i}^5}}{m_i \cdot \zeta_i^{0.4} \cdot d_i^4}. \quad (13)$$

С учетом перепада давления, необходимого на преодоление сопротивления по длине, а также на преодоление сопротивления элементов, работающих в кавитационном и бескавитационном режимах, перепад, необходимый для транспортировки огнетушащего вещества, определяется следующим образом:

$$\Delta p_{сст.} = \frac{8 \cdot \rho \cdot Q^2}{\pi^2} \left\{ \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{l_i}{d_i^5} + \sum_{i=1}^m \frac{\zeta_i}{d_i^4} + 4,54 \sum_{i=1}^k \frac{(1-K_i) \sqrt{n_{ск,i}^5}}{m_i \cdot \zeta_i^{0.4} \cdot d_i^4} \right\}, \quad (14)$$

где λ_i – коэффициент гидравлического трения (выбирается соответствующий режим движения на участке системы с данным диаметром); l_i – длина отдельного участка системы; d_i – диаметр сечения отдельного участка системы.



1 – фланец; 2 – прокладка; 3 – конфузор; 4 – корпус; 5 – диффузор; 6 – отверстие для эжекции воздуха

Рисунок 5 – Принципиальная схема и общий вид пеногенератора

Проведены испытания опытных образцов пеногенераторов (рисунок 5), конструкция которых рассчитана с учетом разработанной методики по следующим исходным данным: расход огнетушащего вещества – 10, 20 и 30 л/с; давление на входе – $(0,9 \pm 0,1)$ МПа; кратность воздушно-механической пены – не менее 4; коэффициент преобразования давления – не менее 50 %.

В результате проведенных испытаний установлено, что опытные образцы работают в кавитационном режиме при этом потери давления не превышают расчетной величины (расхождение расчетных и экспериментальных данных не более 10 %), соответственно максимальное значение коэффициента преобразования давления составляет 50–53 %, а значение кратности воздушно-механической пены – 4–5.

Проведены натурные испытания по определению огнетушащей эффективности опытных образцов с использованием комплекта оборудования для оперативной врезки в продуктопровод и подключения системы подсейного

пожаротушения. На первом этапе произведены замеры параметров подаваемой воздушно-механической пены, кратность которой составила 4–5. На втором этапе апробирована методика расчета систем пожаротушения при наличии в них кавитирующих элементов. При этом расхождение расчетных и экспериментальных данных составило не более 10 %. На третьем этапе определено время тушения пожара в резервуаре. При этом в качестве нефтепродукта использовались жидкость дегазирующая РД-2 и масляная отработка. Для усложнения процесса тушения в резервуаре был симитирован «карман». Время свободного горения составляло 120 с, по истечении которого в пеногенератор ГПВ-10 подавался водный раствор пенообразователя. Прекращение горения в резервуаре наблюдалось по истечении 110 с с момента подачи воздушно-механической пены низкой кратности в слой горючего. Фактическая интенсивность подачи огнетушащего вещества на тушение составила $0,12 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$.

Результаты натурных испытаний опытных образцов пеногенераторов соответствуют требованиям «Инструкции по тушению пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах методом подачи пены в слой горючего» (постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 26.06.2007 № 61 и СТБ 11.13.05-2009 «Система стандартов пожарной безопасности. Генераторы пены низкой кратности для подслоного тушения резервуаров. Общие технические требования и методы испытаний» (постановление Госстандарта Республики Беларусь от 24.04.2009 № 19).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработаны экспериментальная установка для исследования моделей пеногенераторов в пределах расходов до $1,5 \text{ дм}^3/\text{с}$ и давлений до 10,0 МПа и стенд для испытаний опытных образцов пеногенераторов с подачей до $30 \text{ дм}^3/\text{с}$ при давлении до 0,9 МПа и противодействиях до 0,6 МПа. Разработаны методики проведения экспериментальных исследований моделей пеногенераторов и испытаний опытных образцов пеногенераторов. Испытательный стенд и методика испытаний опытных образцов пеногенераторов включены в СТБ 11.13.05-2009 «Система стандартов пожарной безопасности. Генераторы пены низкой кратности для подслоного тушения резервуаров. Общие технические требования и методы испытаний» [5].

2. Разработана математическая модель, отличающаяся тем, что в ней учитывается неравномерный характер движения газожидкостной смеси в диффузоре пеногенератора, которая позволяет рассчитывать распределение осредненного давления в диффузоре по длине и на границе кавитационной зоны, а также определять потери давления в диффузоре, что дает возможность проектировать

выходной участок гидравлической системы с гидродинамическим сопротивлением, обеспечивающим работу пеногенератора в режиме кавитации [1, 6, 14].

3. Определены значения параметров математической модели движения газожидкостной смеси в диффузоре пеногенератора: теоретически рассчитана и экспериментально подтверждена оптимальная величина угла конусности диффузора $\alpha_d = 6-9^\circ$, обеспечивающая минимум потерь давления в пеногенераторе; экспериментально определены значения критического числа кавитации σ_k и коэффициента гидродинамического сопротивления ζ при бескавитационной работе, которые позволяют рассчитать значение параметра, характеризующего степень развития кавитации, и предельное значение противодействия. В частотности, для модели пеногенератора с углами конусности конфузора $\alpha_k = 25^\circ$ и диффузора $\alpha_d = 8,5^\circ$ коэффициент гидродинамического сопротивления составил $\zeta = (90,00 \pm 3,76)$, а критическое число кавитации $\sigma_k = (1,26 \pm 0,12)$ [1, 5, 6, 14].

4. Экспериментально установлено, что при возникновении кавитационного течения расход огнетушащей жидкости Q через пеногенератор остается постоянным независимо от величины противодействия p_2 . Это является следствием сжимаемости газожидкостной кавитационной зоны, изменения длины кавитационной зоны в диффузоре пеногенератора и, соответственно, величины гидродинамического сопротивления пеногенератора, обратно пропорционального давлению на выходе p_2 . Это означает, что при режиме кавитационного течения изменение противодействия p_2 на выходе пеногенератора не влияет на основные рабочие характеристики (давление на входе p_1 , кратность воздушно-механической пены, коэффициент преобразования давления) [5].

5. С помощью скоростной киносъемки определена зависимость размеров кавитационной зоны от противодействия p_2 на выходе из пеногенератора. Установлено, что интенсивное генерирование воздушно-механической пены на выходе из пеногенератора обеспечивается процессом схлопывания кавитационных пузырьков по всему объему кавитационной зоны, заполняющей пространство диффузора [5].

6. На основе условий минимизации гидродинамического сопротивления и возникновения режима кавитации разработана методика численного расчета оптимальных параметров кавитационных пеногенераторов. Для противодействий до 8 МПа использована полученная эмпирическая зависимость критического числа кавитации σ_k от коэффициента гидродинамического сопротивления при бескавитационной работе ζ ; полученная зависимость учитывает связь между значением критического числа кавитации σ_k и геометрическими характеристиками пеногенератора. Разработанная методика позволяет рассчитать геометрические характеристики пеногенераторов, обеспечивающие возникновение и развитие кавитации при минимальном гидродинамическом сопротивлении [2, 5, 7, 8, 15].

7. Рассчитана и разработана конструкция эффективного пеногенератора кавитационного типа ГПВ, обеспечивающая основные рабочие характеристики: расход огнетушащего вещества – 10, 20 и 30 л/с; давление на входе – $(0,9 \pm 0,1)$ МПа; кратность воздушно-механической пены – не менее 4; коэффициент преобразования давления – не менее 50 %. Экспериментально подтверждено, что потери давления не превышают расчетной величины, соответственно, максимальное значение коэффициента преобразования давления составляет 50–53 % [4, 11–13, 17–20, 23].

8. Разработана методика расчета систем подслоного пожаротушения, которые представляют собой протяженную линию трубопроводов и оборудования, включая кавитационные пеногенераторы. Методика позволяет учесть изменения гидродинамического сопротивления всей системы, в том числе изменения давления на входе в пеногенератор, изменения гидродинамического сопротивления пеногенераторов и рассчитать режим подачи необходимого объема воздушно-механической пены низкой кратности на пожаротушение [3, 9, 10, 16, 21].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Методики расчета оптимальных параметров кавитационных пеногенераторов проточного типа и инженерного расчета оптимальных параметров высоконапорных пеногенераторов проточного типа, работающих в кавитационном режиме, использованы для разработки: конструкторской документации ЛЯВА.520310.000, ЛЯВА.520320.000, ЛЯВА.520330 и технических условий ТУ ВУ 101114857.064-2008 на генератор пены высоконапорный ГПВ [23]; конструкторской документации ЛЯВА.437132.003 и технических условий ТУ ВУ 101114857.056-2006 на смеситель растворов СР-70 [22].

2. Испытательный стенд и методика испытаний опытных образцов пеногенераторов, а также значение коэффициента преобразования давления включены в СТБ 11.13.05-2009 «Система стандартов пожарной безопасности. Генераторы пены низкой кратности для подслоного тушения резервуаров. Общие технические требования и методы испытаний» (постановление Госстандарта Республики Беларусь от 24.04.2009 № 19).

3. Методика расчета систем пожаротушения при наличии в них кавитирующих элементов и результаты натурных испытаний использованы при разработке «Инструкции по тушению пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах методом подачи пены в слой горючего», утвержденной постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 26.06.2007 № 61 (Зарегистрировано в Национальном реестре правовых актов Республики Беларусь 13.07.2007, № 8/16811), и подготовке изменений в данную инструкцию.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в журналах

1 Уравнения движения кавитационного двухфазного потока в диффузоре пеносмесителя ПС-5 / И.В. Карпенчук, И.Ю. Аушев, С.Г. Петуховский, В.В. Пармон // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2005. – № 7 (17). – С. 154–160.

2 Карпенчук, И.В. Методика расчета оптимальных параметров кавитационных эжекторов-смесителей / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2006. – № 20 (20). – С. 76–82.

3 Карпенчук, И.В. Особенности расчета гидравлических систем при подслоном тушении пожаров нефти и нефтепродуктов в резервуарах / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2007. – № 1 (21). – С. 94–103.

4 Карпенчук, И.В. Высоконапорный кавитационный пеногенератор проточного типа, предназначенный для тушения пожаров нефти и нефтепродуктов подслоным способом / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон, С.М. Палувец // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2009. – № 1 (25). – С. 90–99.

5 Пармон, В.В. Экспериментальные исследования моделей высоконапорных пеногенераторов (эжекторов-смесителей) проточного типа, работающих в кавитационном режиме. Выбор оптимального параметра кавитации, расчет пределов кавитации и потерь давления / В.В. Пармон // Вестник Командно-инженерного института. – 2010. – № 2 (12). – С. 59–69.

Материалы и доклады конференций

6 Пармон, В.В. Уравнения движения кавитационного двухфазного потока в диффузоре пеносмесителя ПС-5 / В.В. Пармон // Наука – образованию, производству, экономике: материалы Третьей междунар. науч.-техн. конф. В 2 т. Т. 1 / Ред. кол.: Б.М.Хрусталев [и др.]. – Мн., 2006. – С. 473.

7 Карпенчук, И.В. Расчет оптимальных параметров кавитационных эжекторов-смесителей, выполненных по типу трубы Вентури / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон // Пожежна безпека – 2007: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля. – 2007. – С. 460–461.

8 Карпенчук, И.В. Компьютерная технология и математические методы определения оптимальных параметров высоконапорных пеногенераторов, работающих в кавитационном режиме / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон // Застосування комп'ютерних технологій та математичних методів в задачах служби цивільного захисту: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. викладців та студентів. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2008. – С. 90–95.

9 Карпенчук, И.В. Методика расчета гидродинамических параметров течения рабочей жидкости в системах пожаротушения при наличии в них кавитирующих элементов / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон // Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2008. – С. 19–21.

10 Карпенчук, И.В. Расчет систем подслоного пожаротушения при работе высоконапорного пеногенератора в кавитационном режиме / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации: сб. материалов науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 2. – Гомель: ГИИ, 2008. – С. 20–22.

11 Карпенчук, И.В. Математические методы определения оптимальных рабочих параметров генератора пены низкой кратности для систем подслоного тушения пожаров «ГПВ», работающего в кавитационном режиме / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон // Застосування комп'ютерних технологій та математичних методів в задачах служби цивільного захисту: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. викладчів та студентів. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2009. – С. 17–19.

12 Карпенчук, И.В. Генератор пены низкой кратности для систем подслоного тушения пожаров «ГПВ» / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. докл. V Междунар. науч.-практ. конф. В 2 т. Т. 2 / Ред. кол.: Э.Р.Бариев [и др.] – Мн., 2009. – С. 139–144.

13 Карпенчук, И.В. Определение оптимальных рабочих параметров генераторов пены низкой кратности для систем подслоного тушения пожаров / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон // Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2009. – С. 68–70.

Тезисы докладов

14 Карпенчук, И.В. Уравнения движения кавитационного двухфазного потока в диффузоре переносителя ПС-5 / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. тез. докл. III Междунар. науч.-практ. конф. В 3 т. Т. 2 / Ред. кол.: Э.Р.Бариев [и др.] – Мн., 2005. – С. 61–62.

15 Карпенчук, И.В. Решение задачи минимизации гидравлических потерь эжекторов-смесителей, работающих в кавитационном режиме / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. тез. докл. IV Междунар. науч.-практ. конф. В 3 т. Т. 2 / Ред. кол.: Э.Р.Бариев [и др.] – Мн., 2007. – С. 109–111.

16 Карпенчук, И.В. Методика расчета систем пожаротушения при наличии в них кавитирующих элементов / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон // Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций : сб. тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 2-3 октября 2008 / редкол.: Э.Р. Бариев [и др.]. – Мн.: Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь, 2008. – С. 204–205.

17 Карпенчук, И.В. Методика расчета конструкции генератора пены низкой кратности для систем подслоного тушения пожаров «ГПВ» / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон // Актуальные проблемы пожарной безопасности: тез. докл. XXI Междунар. науч.-практ. конф. В 4 ч. Ч. 2. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – С. 99–101.

18 Карпенчук, И.В. Генератор пены низкой кратности для систем подслоного тушения пожаров «ГПВ» / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. тез. докл. V Междунар. науч.-практ. конф. В 3 т. Т. 2 / Ред. кол.: Э.Р.Бариев [и др.]. – Мн., 2009. – С. 35–38.

19 Палубец, С.М. Применение генератора пены низкой кратности для подслоного тушения резервуаров / С.М. Палубец, В.В. Пармон // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. тез. докл. V Междунар. науч.-практ. конф. В 3 т. Т. 2 / Ред. кол.: Э.Р.Бариев [и др.]. – Мн., 2009. – С. 302–304.

20 Карпенчук, И.В. Методика расчета основных рабочих параметров генератора пены низкой кратности для систем подслоного тушения пожаров «ГПВ» / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон // Пожежна безпека – 2009: зб. тез доповідей IX Міжнар. наук.-практ. конф. – Л.: ЛДУ БЖД, 2009. – С. 82–84.

21 Карпенчук, И.В. Методика расчета систем подслоного пожаротушения при использовании устройств работающих в кавитационном режиме / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон // Пожежна безпека – 2009: зб. тез доповідей IX Міжнар. наук.-практ. конф. – Л.: ЛДУ БЖД, 2009. С. 84–86.

Патенты

22 Смеситель растворов: пат. 4051 Респ. Беларусь, МПК (2006) А 62С 5/00 / И.В. Карпенчук, А.Н. Кудряшов, Д.А. Леоник, В.В. Пармон, С.М. Палубец, С.Г. Петуховский, С.И. Карпенчук; заявитель НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси. – № u 20070070; заявл. 01.02.2007; опубл. 30.12.2007 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 6. – С. 146.

23 Высоконапорный кавитационный пеногенератор: пат. 6311 Респ. Беларусь, МПК (2009) А 62С 31/00 / И.В. Карпенчук, В.В. Пармон, С.М. Палубец; заявитель НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси. – № u 20090593; заявл. 07.08.2009; опубл. 30.06.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 3. – С. 255.

РЕЗЮМЕ

Пармон Валерий Віктаравіч

Кавітацыйны генератар пены нізкай кратнасці для падслойнага тушэння пажараў у рэзервуарах нафты і нафтапрадуктаў

Ключавыя словы: пенагенератар, кавітацыя, крытычны лік кавітацыі, вугал конуснасці канфузара, вугал конуснасці дыфузара, каэфіцыент гідрадынамічнага супраціўлення.

Мэта працы – распрацоўка эфектыўных пенагенератараў, якія працуюць у кавітацыйным рэжыме пры процідавленні, для падслойнага тушэння рэзервуараў нафты і нафтапрадуктаў.

Метады даследавання і апаратура. Агульная метадалогія працы прадугледжвала спалучэнне тэарэтычных і поўнамаштабных эксперыментальных даследаванняў гідрадынамічных параметраў пенагенератараў. Для даследавання параметраў і апрацоўкі вынікаў выкарыстоўваліся: манометры МПТИ-УАЗ, дэфармацыйныя вакуумметры ВА, расхадамер РЭМ, хуткасная кіназдымачная камера СКС-1 М, персанальны камп'ютэр у спалучэнні з матэматычнымі метадамі апрацоўкі эксперыментальных дадзеных.

Атрыманьня вынікі і іх навізна. Распрацавана матэматычная мадэль руху газавадкаснай сумесі ў дыфузары пенагенератара, якая дазваляе разлічваць размеркаванне асярэднянага ціску па даўжыні і на мяжы кавітацыйнай зоны, а таксама вызначаць страты ціску ў дыфузары. Тэарэтычна разлічаны і эксперыментальна пацверджаны аптымальныя вуглы конуснасці дыфузара, якія забяспечваюць мінімум страт ціску ў пенагенератары. Эксперыментальна ўсталяваны характар залежнасці крытычнага числа кавітацыі пенагенератара ад каэфіцыента гідрадынамічнага супраціву пры бескавітацыйнай рабоце. Распрацавана метадыка разліку аптымальных параметраў кавітацыйных пенагенератараў. Разлічана і распрацавана канструкцыя эфектыўнага пенагенератара кавітацыйнага тыпу «ГПВ». Праведзены выпрабаванні доследных узораў, распрацаванага пенагенератара і натурныя выпрабаванні па вызначэнні вогнетушачай эфектыўнасці вопытных узораў пенагенератараў пры выкарыстанні камплекта абсталявання для правядзення аператыўнай урэзкі ў прадуктаправод і падключэння сістэмы падслойнага пажаратушэння.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Вынікі дысертацыйных даследаванняў могуць быць выкарыстаны пры распрацоўцы канструкцый пенагенеруючых і змешвальных прылад, якія працуюць у кавітацыйным рэжыме і ў практычных арганізацыях пры праектаванні сістэм падслойнага тушэння.

Галіна выкарыстання. Практычныя і навукова-даследчыя арганізацыі.

РЕЗЮМЕ

Пармон Валерий Викторович

Кавитационный генератор пены низкой кратности для подслоного тушения пожаров в резервуарах нефти и нефтепродуктов

Ключевые слова: пеногенератор, кавитация, критическое число кавитации, угол конусности конфузора, угол конусности диффузора, коэффициент гидродинамического сопротивления.

Цель работы – разработка эффективных пеногенераторов, работающих в кавитационном режиме при противодавлении, для подслоного тушения резервуаров нефти и нефтепродуктов.

Методы исследования и аппаратура. Общая методология работы предусматривала сочетание теоретических и полномасштабных экспериментальных исследований гидродинамических параметров пеногенераторов. Для исследования параметров и обработки результатов использовались: манометры МПТИ-УЗ, деформационный вакуумметр ВО, расходомер РЭМ, скоростная киносъёмочная камера СКС-1 М, персональный компьютер в сочетании с математическими методами обработки экспериментальных данных.

Полученные результаты и их новизна. Разработана математическая модель движения газожидкостной смеси в диффузоре пеногенератора, которая позволяет рассчитывать распределение осредненного давления по длине и на границе кавитационной зоны, а также определять потери давления в диффузоре. Теоретически рассчитаны и экспериментально подтверждены оптимальные углы конусности диффузора, обеспечивающие минимум потерь давления в пеногенераторе. Экспериментально установлен характер зависимости критического числа кавитации пеногенератора от коэффициента гидродинамического сопротивления при бескавитационной работе. Разработана методика расчета оптимальных параметров кавитационных пеногенераторов. Рассчитана и разработана конструкция эффективного пеногенератора кавитационного типа «ГПВ». Проведены испытания опытных образцов, разработанного пеногенератора и натурные испытания по определению огнетушачей эффективности опытных образцов пеногенераторов при использовании комплекта оборудования для проведения оперативной врезки в продуктопровод и подключения системы подслоного пожаротушения.

Рекомендации по использованию. Результаты диссертационных исследований могут быть использованы при разработке конструкций пеногенерирующих и смесительных устройств, работающих в кавитационном режиме, и в проектных организациях при проектировании систем подслоного тушения.

Область применения. Проектные и научно-исследовательские организации.

SUMMARY

Valery V. Parmon

Cavitation generator of low expansion foam for subsurface fire suppression in oil tanks

Keywords: foam generator, cavitation, critical cavitation number, confuser cone angle, diffuser cone angle, coefficient of hydrodynamic resistance.

The purposes of the research work are – development of effective foam generators working in cavitation mode at backpressure for subsurface fire suppression on oil tanks.

Methods of the research and equipment. The general methodology of work included the combination of theoretical and full-scale experimental research of hydrodynamic parameters of foam generators. To study the parameters and to process the obtained results the following equipment was used: pressure gauges MPTI-UZ, deformation vacuum-gauge VO, flowmeter REM, high-speed camera-recorder SKS-1 M, personal computer in combination with mathematical methods of experimental data processing.

Obtained data and novelty. The mathematical model of the motion for gas-liquid mixture in the foam generator diffuser was developed that allows to calculate distribution of the mean pressure along the length and on borders of the cavitation zone and to determine the pressure loss in the diffuser. The optimal diffuser cone angles which ensure minimal loss of pressure in the foam generator were theoretically calculated and confirmed experimentally. The dependence of the critical cavitation number in the foam generator on the coefficient of hydrodynamic resistance at non-cavitation work was experimentally established. The method for calculating of optimal parameters for cavitation foam generators was developed. The effective design of GPV cavitation type foam generator was calculated and developed. The pilot samples of the developed foam generator were tested, including full-scale testing for fire suppression efficacy of the pilot foam generators when used together with the equipment for emergency incision into the oil products pipelines and for connection of the subsurface fire suppression system.

Use recommendations. The results of the research work can be used for design development of foam generating and mixing devices that operate in cavitation mode, as well as in design bureaus at their work on design of subsurface fire suppression systems for oil tanks.

Field of application. Design, scientific and research organizations.

Научное издание

Пармон Валерий Викторович

КАВИТАЦИОННЫЙ ГЕНЕРАТОР ПЕНЫ НИЗКОЙ КРАТНОСТИ ДЛЯ ПОДСЛОЙНОГО ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ В РЕЗЕРВУАРАХ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Автореферат диссертации

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

Ответственный за выпуск В.В. Пармон

Подписано в печать 22.11.2010. Формат 60x84 ^{1/16} Бумага офсетная. Гарнитура Roman.
Печать цифровая. Усл.печ.л. 1,3. Уч.изд.л. 1,4. Тираж 60 экз. Заказ № 1120
ИООО «Право и экономика» Лицензия ЛИ № 02330/0494335 от 16.03.2009.
220072 Минск Сурганова 1, корп. 2. Тел. 284 18 66, 8 029 684 18 66.
Отпечатано на издательской системе XEROX в ИООО «Право и экономика».