Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»

УДК 614.844.5

ГРАЧУЛИН
Александр Владимирович

МЕТОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕНОГЕНЕРИРУЮЩИХ СИСТЕМ СО СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность (по отраслям)

Минск, 2017

Научная работа выполнена в государственном учреждении образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».

Научный руководитель:	**Камлюк Андрей Николаевич**, кандидат физико-математических наук, доцент, заместитель начальника государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».
Официальные оппоненты:	**Добрего Кирилл Викторович,** доктор физико-математических наук, доцент, декан энергетического факультета Белорусского национального технического университета.
	Шимановский Александр Олегович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническая физика и теоретическая механика» учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта».
Оппонирующая организация:	Государственное научное учреждение «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси».

Защита состоится 23 июня 2017 года в 16.00 на заседании совета по защите диссертаций К 11.01.01 при государственном учреждении образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь» (220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25, конференц-зал). Ученый секретарь: +375 (17) 341-32-99, K11.01.01@ucp.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».

Автореферат разослан 10 мая 2017 года.

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

ВВЕДЕНИЕ

Вода – основное огнетушащее вещество, используемое при ликвидации пожаров. Наряду с такими преимуществами ее применения в целях пожаротушения, как низкая стоимость и экологическая безвредность, существует и ряд недостатков. Из-за высокого поверхностного натяжения вода обладает низкой смачивающей способностью, вследствие чего быстро стекает с горящих объектов, и значительная ее часть не участвует в процессе тушения.

Одним из способов повышения огнетушащей эффективности воды является использование пенообразователей (ПО) на основе поверхностно-активных веществ. В результате механического перемешивания раствора воды и ПО с воздухом получаются воздушно-механические пены, которые представляют собой дисперсные системы, состоящие из пузырьков воздуха, окруженных пленками жидкости. Различают воздушно-механические пены низкой кратности (до 20), средней кратности (20 – 200) и высокой кратности (более 200), причем под кратностью понимается отношение объема пены к объему раствора воды и ПО, содержащегося в ней.

Одним из современных способов получения пены низкой кратности является введение в поток раствора воды и ПО сжатого воздуха. Это приводит к тому, что вода, воздух и ПО смешиваются непосредственно в рукавной линии, и по ней к очагу пожара подается не жидкий раствор воды и ПО, как в традиционных способах подачи воздушно-механической пены, а компрессионная пена (газожидкостная смесь). Для реализации описанного способа применяются пеногенерирующие системы со сжатым воздухом (ПССВ), которые имеют существенные преимущества перед традиционными технологиями пенного пожаротушения: экономичность, многофункциональность, высокая эффективность.

На вооружении пожарных подразделений МЧС Республики Беларусь имеется ряд импортных ПССВ, которые из-за отсутствия обоснованных тактико-технических характеристик и методов применения ПССВ для тушения пожаров используются по аналогии с традиционной технологией тушения пожаров воздушно-механической пеной низкой кратности с применением воздушно-пенных пожарных стволов. Помимо того, очевидно, что существующая методика гидравлического расчета рукавных линий неприменима в случае движения компрессионной пены.

Очевидные преимущества ПССВ перед традиционными технологиями пенного пожаротушения делают задачи по определению тактико-технических характеристик ПССВ и разработке методов применения систем для тушения пожаров весьма актуальными. В свою очередь высокая стоимость импортных ПССВ в условиях реализации политики импортозамещения определяет необходимость разработки отечественной ПССВ и рекомендаций по ее эффективному использованию пожарными подразделениями.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), 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 Республики Беларусь 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 «Обоснование оптимальных технических решений и разработка пеногенерирующей системы со сжатым воздухом для тушения пожаров» ГПНИ «Научное обеспечение безопасности и защиты от ЧС» (№ госрегистрации 20121927) и гранта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований «Теория движения пены как двухфазного потока в цилиндрическом канале с учетом реологических свойств пенообразователя» (№ госрегистрации 20131649).

Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка методов применения пеногенерирующих систем со сжатым воздухом для тушения пожаров, учитывающих отличие тактико-технических характеристик этих систем от традиционных технологий пенного пожаротушения.

Для достижения поставленной цели в процессе исследований потребовалось решить следующие задачи:

– проанализировать конструктивные особенности пеногенерирующих систем со сжатым воздухом и существующие подходы к описанию движения газожидкостных потоков в цилиндрических каналах;

– провести экспериментальные исследования движения компрессионной пены по рукавным линиям;

– проанализировать экспериментальные данные и определить возможность использования существующих моделей описания движения газожидкостных потоков для гидравлического расчета рукавных линий пеногенерирующих систем со сжатым воздухом;

– разработать инженерную методику гидравлического расчета рукавных линий пеногенерирующих систем со сжатым воздухом и сопоставить расчетные данные с результатами экспериментальных исследований;

– провести натурные испытания пеногенерирующих систем со сжатым воздухом;

– определить оптимальные технические решения и разработать образец отечественной пеногенерирующей системы со сжатым воздухом и рекомендации по применению этих систем для тушения пожаров.

Объектом исследования являются пеногенерирующие системы со сжатым воздухом, предметом исследования – их тактико-технические характеристики.

Научная новизна

Экспериментально установлены закономерности влияния значений объемных расходов воздуха, воды и пенообразователя, диаметра насадка пожарного ствола, а также вида пенообразователя на характер изменения давления по длине рукавной линии при движении по ней компрессионной пены.

В результате анализа экспериментальных данных и диаграмм структур газожидкостных потоков определено, что поток компрессионной пены в рукавной линии имеет вспененную структуру, экспериментально определены минимально допустимые концентрации содержания пенообразователей в растворе воды для получения компрессионной пены, установлено, что увеличение концентрации пенообразователей выше минимально допустимого значения не оказывает влияния на эффективность тушения пожаров.

Получена эмпирическая зависимость для определения приведенного коэффициента гидравлического трения от истинного газосодержания в практически значимом диапазоне значений последнего от 0 до 0,9.

На основании квазигомогенной модели движения газожидкостных смесей и с использованием полученной эмпирической зависимости для определения приведенного коэффициента гидравлического трения от значения истинного газосодержания разработана и экспериментально подтверждена инженерная методика гидравлического расчета рукавных линий пеногенерирующих систем со сжатым воздухом.

В ходе натурных испытаний пеногенерирующих систем со сжатым воздухом определено, что эффективность тушения очага пожара класса А компрессионной пеной по времени тушения пожара (в 2 раза), расходу воды (в 2 раза) и пенообразователя (в 5 раз) превосходит традиционные технологии тушения воздушно-пенными пожарными стволами, установлена возможность подачи мокрой компрессионной пены на высоту до 75 м, а сухой – до 100 м, а также возможность использования пеногенерирующих систем со сжатым воздухом в условиях низких температур (до -20 ºС).

Положения, выносимые на защиту

1. Экспериментально установленные закономерности падения давления по длине рукавной линии при движении по ней компрессионной пены от пеногенерирующей системы со сжатым воздухом и определенные на их основе величины удельных потерь давления для различных значений объемного расхода

раствора воды и пенообразователя, диаметра насадка пожарного ствола и видов используемых пенообразователей.

2. Инженерная методика гидравлического расчета рукавных линий пеногенерирующих систем со сжатым воздухом, учитывающая сжимаемость компрессионной пены и изменение газосодержания в практически значимом диапазоне от 0 до 0,9 и позволяющая определять потери давления в рукавной линии при движении по ней компрессионной пены при заданных объемных расходах воды, воздуха и пенообразователя, величинах давления в начале рассматриваемого участка рукавной линии и его длины.

3. Результаты натурных испытаний пеногенерирующих систем со сжатым воздухом, показавшие превосходящую эффективность тушения очага пожара класса А (твердые горючие вещества) компрессионной пеной по времени тушения пожара и расходу воды и пенообразователя над традиционной технологией тушения воздушно-пенными пожарными стволами, возможность подачи компрессионной пены на высоту до 100 м и использования этих систем в условиях низких температур, а также позволившие определить оптимальные технические решения при разработке отечественной пеногенерирующей системы со сжатым воздухом 4/7-50 и разработать рекомендации по применению пеногенерирующих систем со сжатым воздухом для тушения пожаров.

Личный вклад соискателя ученой степени

Основные результаты и положения, выносимые на защиту, приведенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. Определение цели и постановка задач исследований проводились совместно с научным руководителем кандидатом физико-математических наук, доцентом Камлюком А.Н. при консультировании кандидата технических наук, доцента Карпенчука И.В. Кандидат технических наук, доцент Пармон В.В. и кандидат физико-математических наук Ширко А.В. принимали участие в обсуждении инженерной методики гидравлического расчета рукавных линий пеногенерирующих систем со сжатым воздухом. Кандидат технических наук Навроцкий О.Д., кандидат сельскохозяйственных наук Романенко Я.А. и Корсаков М.С. принимали участие в проведении экспериментальных исследований движения компрессионной пены в рукавной линии и натурных испытаний пеногенерирующих систем со сжатым воздухом. Помимо того, кандидат технических наук Навроцкий О.Д. принимал участие в разработке образца отечественной пеногенерирующей системы со сжатым воздухом 4/7-50 и рекомендаций по тушению пожаров с его использованием. Соавторы публикаций участвовали в обсуждении полученных результатов.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты проведенных исследований представлялись автором на Международной научно-практической конференции курсантов, студентов,

магистрантов, адъюнктов и аспирантов «Чрезвычайные ситуации: теория и практика» (Беларусь, Гомель, 2011); Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций» (Беларусь, Минск, 2013); Международной научно-практической конференции «Подготовка кадров в системе предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций» (Россия, Санкт-Петербург, 2013); Международной конференции молодых ученых «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций» (Беларусь, Минск, 2013); V международной научно-практической конференции «Теория и практика тушения пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (Украина, Черкассы, 2013); II международной научно-методической конференции «Безопасность в строительстве» (Россия, Санкт-Петербург, 2014); VIII и IX международных научно-практических конференциях курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы» (Беларусь, Минск, 2014, 2015); Международных научно-практических конференциях «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации» (Беларусь, Гомель, 2014, 2016); VII международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» (Беларусь, Минск, 2016).

За разработку технологии тушения пожаров с применением пеногенерирующих систем со сжатым воздухом, позволившей создать первую отечественную пеногенерирующую систему со сжатым воздухом на прицепном шасси, стоимость которой в 2 раза ниже зарубежных аналогов, соискателю назначена стипендия Президента Республики Беларусь талантливым молодым ученым на 2017 год (распоряжение Президента Республики Беларусь от 19.12.2016 г. № 210рп).

Опубликование результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 36 печатных работах, в том числе 12 статьях, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, общим объемом 5,41 авторского листа (из них без соавторов – 1 статья), 24 работах в сборниках материалов международных конференций. Получен патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов, заключения и приложений. Работа изложена на 182 страницах, содержит 50 рисунков, 25 таблиц, 5 приложений на 58 страницах, библиографический список из 144 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первой главе проведен анализ технологий тушения пожаров воздушно-механической пеной низкой кратности и особенностей движения газожидкостных смесей в цилиндрических каналах. Рассмотрены традиционные технологии пенного пожаротушения с использованием ствольной техники, автоматические установки пенного пожаротушения и системы подслойного тушения, а также альтернативные – системы подачи компрессионной пены (ПССВ, рисунок 1). В ходе анализа определено, что применение ПССВ имеет существенные преимущества над традиционными технологиями пенного пожаротушения. Однако из-за высокой стоимости, отсутствия обоснованных тактико-технических характеристик ПССВ и методов применения систем для тушения пожаров имеющиеся на вооружении пожарных подразделений МЧС Республики Беларусь импортные ПССВ не получили широкого распространения и используются по аналогии с традиционной технологией тушения пожаров с применением воздушно-пенных пожарных стволов, что не позволяет в полной мере раскрыть преимущества ПССВ и использовать их максимально эффективно. Помимо того, установлено, что для расчета рукавных линий ПССВ не может быть использована классическая методика гидравлического расчета, так как в рукавной линии ПССВ движется не вода, а компрессионная пена (газожидкостная смесь). Параметры газожидкостного потока зависят, главным образом, от его структуры, которая определяется визуально и (или) с использованием карт режимов (диаграмм структур) газожидкостных потоков.

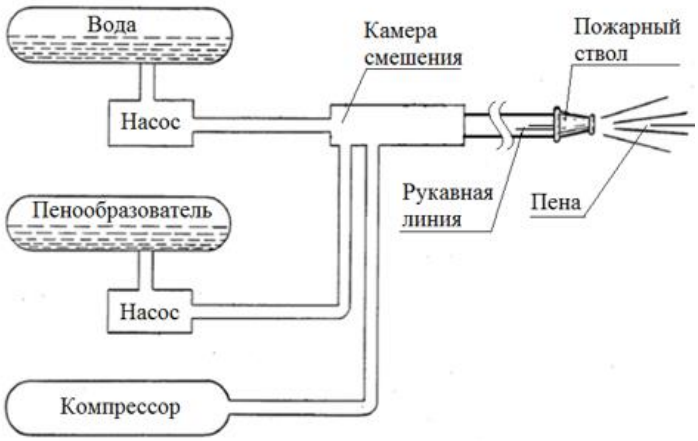
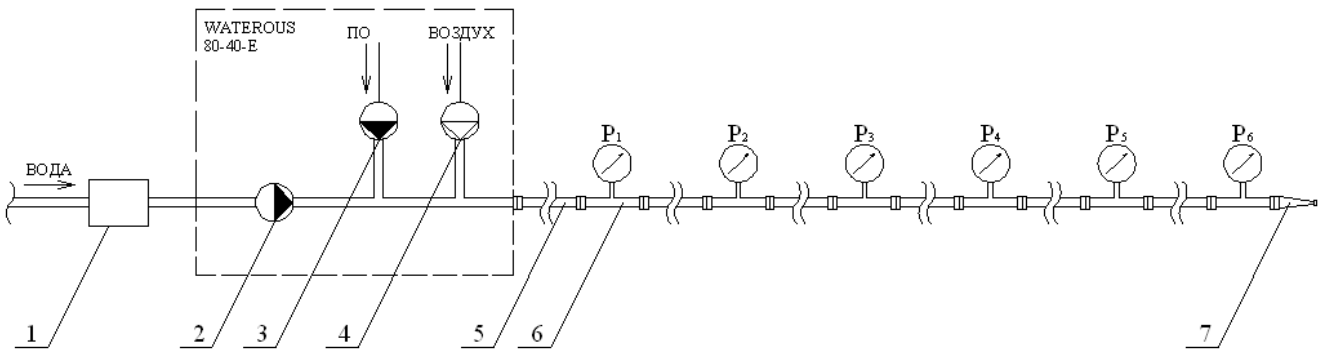


Рисунок 1. – Принципиальна схема ПССВ

Вторая глава посвящена экспериментальным исследованиям движения компрессионной пены в рукавной линии. С этой целью разработана экспериментальная установка, принципиальная схема которой представлена на рисунке 2. Для подачи в рукавную линию компрессионной пены использовалась портативная ПССВ Waterous 80-40-E, которая оборудована системой дозирования ПО Aquis™ 1.5. Рукавная линия состояла из 6 прорезиненных пожарных напорных рукавов с внутренним диаметром 51 мм. К выпускному патрубку ПССВ был присоединен пожарный рукав, который служил для окончательного перемешивания компонентов компрессионной пены и обеспечивал расположение остальных пяти рукавов (общая длина около 100 м) на горизонтальной поверхности.



1 – расходомер; 2 – водяной насос; 3 – насос ПО; 4 – компрессор; 5 – рукавная линия; 6 – рукавная вставка с датчиком давления; 7 – ручной пожарный ствол

Рисунок 2. – Схема экспериментальной установки

В рукавную линию для фиксации характера изменения давления были установлены последовательно между рукавами 6 рукавных вставок с датчиками давления, каждый из которых состоит из пьезоэлектрического преобразователя давления и технологического измерителя (рисунок 2). Такое количество рукавных вставок связано с предположением, что падение давления по длине рукавной линии не будет линейным, как при движении воды, в меру изменения плотности и скорости потока. Стоит отметить, что значение длины рукавной линии соответствует применяемым в практике пожаротушения рабочим и магистральным линиям. На конце рукавной линии в различных сериях измерений использовались ручные пожарные стволы Elkhart Brass ST-185A и PC-70.

Для проведения экспериментальных исследований движения компрессионной пены в рукавной линии была разработана методика, сущность которой заключается в определении потерь давления по длине участка рукавной линии путем установления разницы показаний измерительных приборов давления, расположенных на концах рассматриваемого участка рукавной линии. Делением полученного значения потерь давления на длину соответствующего участка рукавной линии определялись удельные потери давления.

Методикой проведения экспериментальных исследований в каждой серии предусматривались прямые измерения объемного расхода воды и избыточного давления в рукавной линии, косвенные измерения потерь давления по длине измеряемого участка рукавной линии и удельных потерь давления. Помимо того, исходя из положения регулятора системы дозирования ПО, определялся объемный расход ПО. Неизменными принимались диаметр рукавной линии, расстояние между датчиками давления, расход компрессора.

Эксперименты проводились при различных расходах раствора воды и ПО (в диапазоне 1 – 4 л/с), диаметрах насадка пожарного ствола (13, 19, 24 мм) и с использованием различных видов ПО (углеводородные ОПС-0.4 и Синтек, фторсодержащий Барьер-пленкообразующий), причем в рамках отдельно взятой серии эксперимента изменяли только один параметр из вышеперечисленных.

Во время проведения экспериментальных исследований визуально обнаружено, что поток компрессионной пены при достижении некоторого минимального значения концентрации ПО в воде при постоянных расходных и геометрических параметрах приобретал пробковую структуру. В следствие этого из ручного пожарного ствола вместо компрессионной пены попеременно осуществлялась подача отдельно раствора воды и ПО и отдельно воздуха. Как следствие, прекращалась подача компрессионной пены от ПССВ, что в условиях тушения пожара недопустимо. В связи с этим были определены минимально допустимые концентрации содержания ПО в растворе воды и ПО для получения компрессионной пены: ОПС-0.4 – 0,4 %, Синтек и Барьер-пленкообразующий – 2 %.

В результате экспериментальных исследований движения компрессионной пены по рукавной линии при одинаковых значениях расходных и геометрических параметров с использованием различных марок ПО в минимально допустимых концентрациях получено, что значения избыточного давления по длине рукавной линии отличаются не более чем на 10 %. Это позволяет утверждать об отсутствии влияния вида ПО на потери давления при движении компрессионной пены в рукавной линии ПССВ, в связи с чем при проведении дальнейших экспериментальных исследований в качестве ПО использовался ОПС-0.4.

На рисунке 3 приведены графики изменения избыточного давления по длине рукавной линии для различных расходов раствора воды и ПО и диаметре насадка 24 мм, а на рисунке 4 показаны зависимости удельных потерь давления от объемного расхода раствора воды и ПО для разных диаметров насадка пожарного ствола (13, 19 и 24 мм), а также зависимость, соответствующая потоку воды.

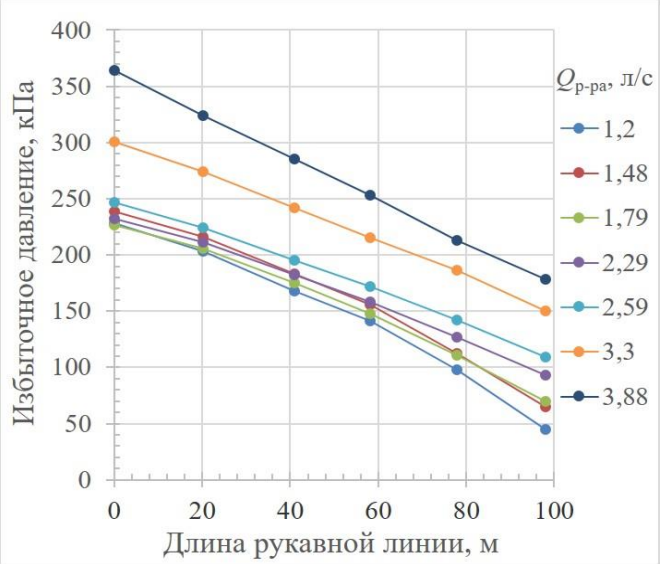
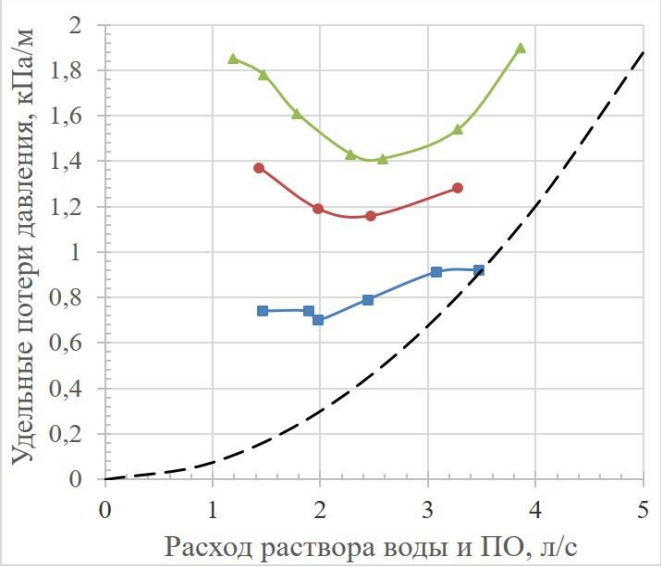


Рисунок 3. – Изменение давления по длине рукавной линии при диаметре насадка пожарного ствола 24 мм



■ – 13 мм; ● – 19 мм; ▲ – 24 мм

– – – – – соответствует потоку воды

Рисунок 4. – Зависимость удельных потерь давления от расхода раствора воды и ПО

Как видно из рисунка 3, зависимость избыточного давления от длины рукавной линии при расходе раствора воды и ПО более 2 л/с имеет линейный вид, а при расходе менее 2 л/с – нелинейный (квадратичный). Также стоит отметить, что при постоянном диаметре насадка увеличение значения расхода раствора воды и ПО приводит к росту значения избыточного давления в рукавной линии.

Вид зависимости удельных потерь давления от объемного расхода воды и ПО (рисунок 4) существенно отличается от аналогичной зависимости при движении воды, что подтверждает некорректность использования существующей методики гидравлического расчета рукавных линий в случае применения ПССВ.

Третья глава направлена на разработку инженерной методики гидравлического расчета рукавных линий ПССВ. Для описания движения компрессионной пены принята квазигомогенная модель. Ее сущность заключается в том, что смесь компонентов считается гомогенной средой и скорости фаз равны. Модель включает в себя уравнения неразрывности и движения в одномерном виде, осредненные во времени и по сечению потока, а также уравнение состояния для воздуха.

По рассчитанным значениям избыточного давления в рукавной линии, а также известным значениям расходов компонентов компрессионной пены, посредством уравнений квазигомогенной модели были определены основные характеристики потока компрессионной пены в местах установки датчиков давления для каждой серии измерений: массовый и объемный расход, средняя скорость, газосодержание, плотность, вязкость, числа Рейнольдса и Фруда, приведенная плотность. Полученные значения позволили определить по диаграммам структур газожидкостных потоков, что поток компрессионной пены в горизонтальной рукавной линии имеет вспененную структуру. Помимо того установлено, что в проведенных экспериментах значению расхода раствора воды и ПО более 2 л/с соответствует значение газосодержания менее 0,75, а менее 2 л/с – более 0,75.

Для определения значений коэффициента гидравлического трения было использовано уравнение Альтшуля, так как для всех серий измерений значения числа Рейнольдса находились в диапазоне 120000 – 275000. Однако существенные различия (до 359 %) между значениями коэффициента гидравлического трения, рассчитанными по Альтшулю и соответствующими результатам экспериментальных исследований, еще раз подтвердили несостоятельность классических зависимостей для описания движения компрессионной пены. В этой связи квазигомогенная модель движения газожидкостной смеси была преобразована по аналогии с классической методикой гидравлического расчета рукавных линий путем введения приведенного коэффициента гидравлического трения, равного отношению коэффициента гидравлического трения к газосодержанию. Исследование его зависимости от определяющих факторов газожидкостного потока (число Рейнольдса, число Фруда, приведенная плотность и газосодержание) позволило

выявить явную зависимость приведенного коэффициента гидравлического трения от газосодержания, которую аппроксимировали в практически значимом диапазоне значений газосодержания 0 – 0,9 (рисунок 5). В результате аппроксимации получено выражение для определения приведенного коэффициента гидравлического трения от газосодержания, которое легло в основу инженерной методики гидравлического расчета рукавных линий ПССВ, предназначенной для оценки избыточного давления в рукавной линии по ее длине.

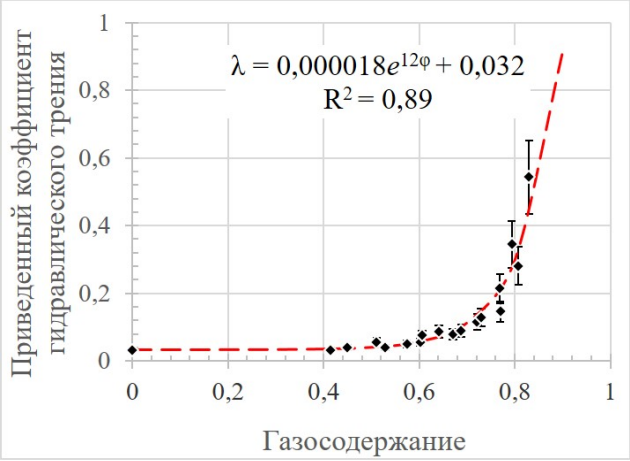


Рисунок 5. – Зависимость приведенного коэффициента гидравлического трения от газосодержания

Исходными данными по методике являются: объемный расход воздуха при атмосферном давлении – $Q_{возд}$, м^3/с; объемный расход раствора воды и ПО – Q_2, м^3/с; диаметр рукавной линии – D, м; длина рукавной линии – l, м; плотность раствора воды и ПО – ρ_2, кг/м^3; избыточное давление на входе в рукавную линию – $p_{изб}$, Па; атмосферное давление – $p_{атм}$, Па.

Для определения избыточного давления в противоположном сечении рассматриваемого участка рукавной линии длиной l необходимо:

1. Определить газосодержание компрессионной пены в начале рукавной линии по формуле

$$\varphi = \frac{Q_{возд} \cdot p_{атм}}{Q_{возд} \cdot p_{атм} + Q_2 \cdot \left(p_{атм} + p_{изб}\right)}. \quad (1)$$

2. Рассчитать приведенный коэффициент гидравлического трения, используя выражение

$$\lambda_{прив} = 18 \cdot 10^{-6} e^{12\varphi} + 0{,}032. \quad (2)$$

3. Оценить удельные потери давления в рукавной линии как

$$\Delta p_{уд} = \frac{8\rho_2}{\pi^2 D^5} \lambda_{прив} Q_2^2. \quad (3)$$

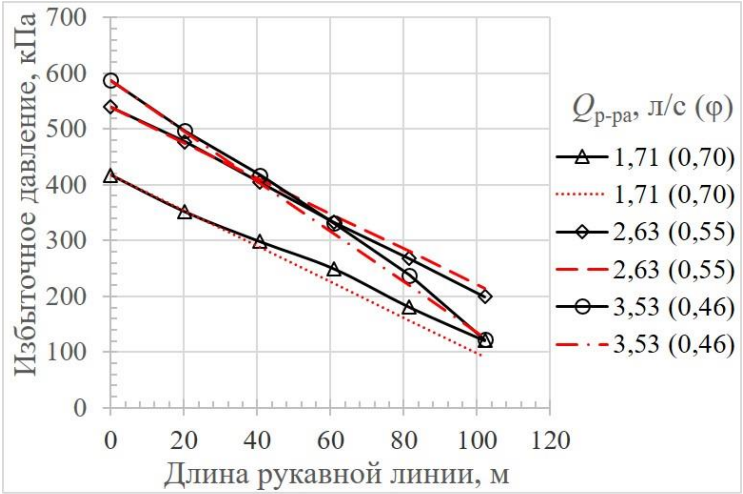
4. Перейти к потерям давления на рассматриваемом участке рукавной линии по выражению

$$\Delta p = \Delta p_{уд} l. \quad (4)$$

5. Определить избыточное давление в противоположном сечении рассматриваемого участка рукавной линии по формуле

$$p_{изб}^{l} = p_{изб} - \Delta p. \quad (5)$$

Для проверки корректности разработанной инженерной методики гидравлического расчета рукавных линий ПССВ проведены экспериментальные исследования движения компрессионной пены в рукавной линии с внутренним диаметром 38 мм с использованием ПО Синтек (рисунок 6). Сравнение значений удельных потерь давления в рукавных линиях, полученных по результатам экспериментальных исследований и результатам расчета с использованием разработанной инженерной методики (отличие составило не более 19 %), позволило рекомендовать инженерную методику для гидравлического расчета рукавных линий ПССВ при движении по ним компрессионной пены с целью определения тактико-технических характеристик ПССВ.



Δ, ◊, ○, – экспериментальные данные;
– – – –, ····· , – · – · – расчетные данные

Рисунок 6. – Проверка корректности разработанной инженерной методики

Четвертая глава посвящена определению тактико-технических характеристик ПССВ, обоснованию конструкции и разработке экспериментального образца отечественной ПССВ с рекомендациями по тушению пожаров с ее применением.

Для определения эффективности тушения пожаров ПССВ проведены сравнительные исследования тушения условных очагов пожара класса А компрессионной пеной и воздушно-механической пеной низкой кратности, полученной с использованием ручного воздушно-пенного ствола СВП-2 (рисунок 7).

Рисунок 7. – Тушение условного очага пожара класса А

В качестве условных очагов пожара класса А использованы три штабеля из 15 автомобильных покрышек. Общая масса горючего материала одного штабеля составила около 100 кг. Помимо того, на штабель было нанесено 10 л горючей жидкости (смесь из 8 л отработанного моторного масла и 2 л бензина).

Таблица – Результаты сравнительных исследований эффективности тушения условного очага пожара класса А пеной низкой кратности

Наименование параметра	Значение для ствола		
	СПРУ 50/0,7	Elkhart Brass ST-185A	СВП-2
Время тушения, с	23	20	55
Количество использованного на тушение ОПС-0.4, л	0,3	0,7	1,5
Количество использованной на тушение воды, л	76	70	150

Как видно из таблицы, на тушение условного очага пожара класса А компрессионной пеной потребовалось в 2 раза меньше времени и израсходовано в 2 раза меньше воды и до 5 раз меньше ПО, чем при использовании ствола СВП-2, что позволило говорить о превосходящей огнетушащей эффективности ПССВ над традиционными технологиями тушения пеной низкой кратности. При этом, для подачи компрессионной пены требуется в 2,5 – 3 раза меньшее количество ПО (в практике используют растворы воды и ПО в концентрации: ОПС-0.4 – 1 %, Синтек и Барьер-пленкообразующий – 6 %), что говорит о снижении себестоимости пожаротушения при использовании ПССВ.

В рамках определения возможности использования ПССВ для тушения пожаров в высотных зданиях проведены натурные исследования по подаче компрессионной пены на 18, 25 и 32 этажи. В качестве критерия эффективности рассмотрено значение высоты, на которую ПССВ может подать компрессионную пену, при избыточном давлении на насосе до 1000 кПа. В ходе натурных исследований компрессионная пена кратностью до 10 была подана на высоту 26 этажа (около 80 м), при этом значение удельных потерь давления находилось в диапазоне 5,6 – 6,7 кПа/м. Компрессионная пена кратностью 10 – 20 была подана на высоту 32 этажа (около 100 м), при этом значение удельных потерь давления находилось в диапазоне 4 – 5,6 кПа/м.

Важно отметить, что при подаче компрессионной пены на 18, 25 и 32 этажи высотных зданий перекрытие ручного пожарного ствола на время более минуты приводило к образованию в вертикальной рукавной линии воздушной пробки, что не позволяло мгновенно возобновить подачу компрессионной пены.

Проведены исследования по использованию ПССВ при низкой температуре окружающей среды (-20 ºС). Рукавная линия состояла из двух пожарных напорных рукавов, была размещена на поверхности земли и заполнена компрессионной пеной под избыточным давлением 300 кПа. Для обеспечения герметичности рукавной линии были перекрыты ручной пожарный ствол и задвижка выпускного патрубка ПССВ. По результатам исследований компрессионная пена в рукавной линии за 2 часа промерзла по диаметру поперечного сечения на глубину до 10 мм. При этом по периметру рукава образовался хрупкий пористый слой из замерзшей компрессионной пены, а в сердцевине рукава она осталась в жидкой фазе. Для восстановления работоспособности рукавной линии, в меру хрупкости замерзшего слоя компрессионной пены, достаточно было возобновить ее подачу.

Результаты натурных испытаний импортных ПССВ, находящихся на вооружении пожарных подразделений МЧС Республики Беларусь, наряду с анализом конструктивных особенностей и тактико-технических характеристик ПССВ позволили сформулировать основные требования к экспериментальному образцу отечественной ПССВ.

Совместно с учреждением «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь и ОАО «Управляющая компания холдинга «Минский моторный завод» проведена научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа, в результате которой был разработан образец отечественной ПССВ на прицепном шасси ПССВ 4/7-50 (рисунок 8), на конструкцию которого получен патент на полезную модель.

Рисунок 8. – Внешний вид ПССВ 4/7-50

Результаты натурных испытаний с учетом зарубежного опыта использования ПССВ для тушения пожаров позволили разработать рекомендации по тушению пожаров с применением ПССВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработана методика и проведены экспериментальные исследования, направленные на получение данных об изменении давления в рукавной линии с внутренним диаметром 51 мм при движении по ней компрессионной пены при значениях объемного расхода раствора воды и пенообразователя из диапазона 1 – 4 л/с, объемного расхода воздуха 20 л/с, диаметрах насадка пожарного ствола 13, 19 и 24 мм, а также различных видах пенообразователя (углеводородные ОПС-0.4 и Синтек, фторсодержащий Барьер-пленкообразующий). Установлено, что зависимость избыточного давления от длины рукавной линии при газосодержании 0,75 и менее имеет линейный вид, а более 0,75 – нелинейный (квадратичный). Увеличение объемного расхода раствора воды и пенообразователя приводит к росту давления в рукавной линии. Увеличение диаметра насадка приводит к увеличению удельных потерь давления и к понижению давления в рукавной линии, а вид пенообразователя не влияет на значение потерь давления при движении в рукавной линии компрессионной пены [6, 9, 22, 34 – 36].

2. Во время проведения экспериментов визуально обнаружено, что при достижении некоторого минимального значения концентрации пенообразователя при постоянных расходных и геометрических параметрах поток компрессионной пены приобретает пробковую структуру, что приводит к прекращению подачи компрессионной пены из пожарного ствола. На основании чего определены минимально-допустимые концентрации содержания пенообразователя для получения компрессионной пены: ОПС-0.4 – 0,4 %, Синтек и Барьер-пленкообразующий – 2 %. В результате анализа экспериментальных данных и диаграмм структур газожидкостных потоков определено, что поток компрессионной пены в рукавной линии при минимально допустимом значении концентрации пенообразователя имеет вспененную структуру [11].

3. Квазигомогенная модель позволила описать движение компрессионной пены по рукавным линиям, однако в диапазоне значений числа Рейнольдса 120000 – 275000 определение коэффициента гидравлического трения по формуле Альтшуля дает отличие до 359 % от значений, соответствующих экспериментальным данным, что говорит о невозможности использования классических зависимостей коэффициента гидравлического трения от числа Рейнольдса и относительной шероховатости [12].

4. Разработана инженерная методика гидравлического расчета рукавных линий пеногенерирующих систем со сжатым воздухом, в основу которой положена квазигомогенная модель движения газожидкостных смесей и эмпирическая зависимость для определения приведенного коэффициента гидравлического трения от значения истинного газосодержания в практически значимом диапазоне от 0

до 0,9, полученная в ходе анализа экспериментальных данных для рукавной линии с внутренним диаметром 51 мм. Корректность методики проверена посредством сопоставления результатов экспериментальных исследований для рукавной линии с внутренним диаметром 38 мм и расчетов по разработанной инженерной методике. Отличие составило не более 19 % [12].

5. Сравнительные исследования эффективности тушения условного очага пожара класса А пеной низкой кратности показали, что при подаче компрессионной пены потребовалось в 2 раза меньше времени и израсходовано в 2 раза меньше воды и в 5 раз меньше пенообразователя, чем при использовании ствола СВП-2 [2, 4, 5, 17]. Установлена возможность подачи мокрой компрессионной пены на высоту до 75 м, а сухой – до 100 м [13, 23 – 29], а также возможность использования пеногенерирующих систем в условиях низких температур без образования ледяных пробок в рукавной линии [11].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Результаты диссертационных исследований использованы для определения особенностей применения пеногенерирующих систем со сжатым воздухом при разработке рекомендаций по тушению пожаров в зданиях высотой от 30 метров и более, кроме высотных (рекомендации утверждены заместителем Министра по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 31.03.2016 г.).

2. Методика определения гидродинамического сопротивления при течении пен низкой кратности в цилиндрическом канале использована в учреждении «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь для обоснования оптимальных технических решений и разработки образца пеногенерирующей системы со сжатым воздухом ПССВ 4/7-50 и рекомендаций по тактике тушения пожаров при его использовании (№ госрегистрации 20121927).

3. Методика экспериментального определения гидравлических потерь в насосно-рукавных системах пеногенерирующих систем со сжатым воздухом использована в учреждении «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь для установления порядка проведения исследований потерь давления в насосно-рукавных системах с целью определения сопротивления пожарных рукавов (методика выполнения измерений от 08 июля 2015 г. № 03-52/09 М).

4. Результаты работы использованы при преподавании дисциплин «Специальное водоснабжение» и «Тактика проведения аварийно-спасательных работ» в Командно-инженерном институте МЧС Республики Беларусь.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных журналах

1. Карпенчук, И. В. Реологические особенности при подаче пены пеногенерирующими системами со сжатым воздухом / И. В. Карпенчук, А. В. Грачулин // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2011. – № 2(14). – С. 88–95.

2. Навроцкий, О. Д. Исследование параметров пены, подаваемой с помощью пеногенерирующих систем со сжатым воздухом / О. Д. Навроцкий, Ю. В. Заневская, И. В. Карпенчук, В. К. Емельянов, А. В. Грачулин // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2011. – № 2(30). – С. 125–132.

3. Навроцкий, О. Д. Пеногенерирующие системы со сжатым воздухом – средство пенного пожаротушения нового поколения / О. Д. Навроцкий, Ю. В. Заневская, В. К. Емельянов, А. Н. Камлюк, И. В. Карпенчук, А. В. Грачулин // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2012. – № 1(15). – С. 22–31.

4. Мазуренко, М. В. Эффективность тушения пожаров с помощью пеногенерирующих систем со сжатым воздухом / М. В. Мазуренко, О. Д. Навроцкий, С. М. Палубец, А. В. Грачулин, М. В. Захарова // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2012. – № 2(32). – С. 133–139.

5. Навроцкий, О. Д. Новые технологии тушения пожаров с использованием пеногенерирующих систем со сжатым воздухом / О. Д. Навроцкий, С. М. Палубец, С. М. Малашенко, А. В. Грачулин // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2013. – № 2(34). – С. 150–155.

6. Навроцкий, О. Д. Описание экспериментальной установки для исследования движения пены в горизонтальном цилиндрическом канале / О. Д. Навроцкий, А. Н. Камлюк, В. В. Пармон, А. В. Грачулин, С. М. Корсаков // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2015. – № 1(21). – С. 47–53.

7. Навроцкий, О. Д. Перспективы использования пожарных напорных рукавов с внутренним диаметром 38 мм / О. Д. Навроцкий, Я. А. Романенко, А. В. Грачулин // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2015. – № 2(38). – С. 72–79.

8. Грачулин, А. В. Тактико-технические характеристики и область применения пожарных напорных рукавов с внутренним диаметром 38 мм / А. В. Грачулин, А. Н. Камлюк, О. Д. Навроцкий, Я. А. Романенко, С. М. Корсаков // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 1(23). – С. 45–50.

9. Грачулин, А. В. Экспериментальные исследования движения компрессионной пены в горизонтальном цилиндрическом канале / А. В. Грачулин // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 1(23). – С. 68–77.

10. Камлюк, А. Н. Численное моделирование движения пены по горизонтальному цилиндрическому каналу методом конечных объемов /

А. Н. Камлюк, А. В. Ширко, А. В. Грачулин // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2016. – № 3. – С. 53–59.

11. Камлюк, А. Н. Тушение пожаров пеногенерирующими системами со сжатым воздухом / А. Н. Камлюк, О. Д. Навроцкий, А. В. Грачулин // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2017. – № 1(1). – С. 44–53.

12. Камлюк, А. Н. Инженерная методика гидравлического расчета прорезиненных рукавных линий пеногенерирующих систем со сжатым воздухом / А. Н. Камлюк, А. В. Грачулин // Вестник фонда фундаментальных исследований. – 2017. – № 1. – С. 51–62.

Материалы и тезисы докладов конференций

13. Махахей, П. С. Возможность использования пеногенерирующих систем со сжатым воздухом для тушения пожаров в зданиях повышенной этажности и высотных зданиях / П. С. Махахей, О. Д. Навроцкий, И. В. Карпенчук, А. В. Грачулин // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация : сборник тезисов докладов VI междунар. науч.-практ. конф., Минск, 8 – 9 июн. 2011 г. / М-во чрезв. ситуаций Респ. Беларусь ; редкол.: А. Ю. Лупей и [др.]. – Минск, 2011. – Т. 2. – С. 45–48.

14. Карпенчук, И. В. Использование пеногенерирующих систем со сжатым воздухом для целей пожаротушения / И. В. Карпенчук, А. В. Грачулин, Т. И. Зарубицкая, А. А. Морозов, А. Ю. Капуцкий // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы : материалы V междунар. науч.-практ. конф. курсантов, студентов и слушателей, Минск, 25 – 27 мая 2011 г. / Командн.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь. – Минск, 2011. – Ч. 1. – С. 119–124.

15. Карпенчук, И. В. Реологические особенности при подаче пены пеногенерирующими системами со сжатым воздухом / И. В. Карпенчук, А. В. Грачулин // Чрезвычайные ситуации: теория и практика : материалы Междунар. науч.-практ. конф. курсантов, студентов, магистрантов, адъюнктов и аспирантов, Гомель, 28 апр. 2011 г. / Гомел. инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь ; редкол.: В. Н. Пасовец и [др.]. – Гомель, 2011. – Ч. 1 – С. 202–204.

16. Карпенчук, И. В. Пеногенерирующие системы со сжатым воздухом / И. В. Карпенчук, А. В. Грачулин // Проблемы и перспективы развития обеспечения безопасности жизнедеятельности : сб. научных трудов междунар. науч.-практич. конф. курс. и студ. – Л.: ЛДУ БЖД, 2011. – С. 169–170.

17. Грачулин, А. В. Применение пеногенерирующих систем со сжатым воздухом для тушения пожаров класса А / А. В. Грачулин // Проблемы техносферной безопасности – 2012 : материалы межд. науч.-практич. конф. молодых ученых и специалистов, Москва, 10 апр. 2012 г. / Академия ГПС МЧС России. – М., 2012. – С. 43–44.

18. Камлюк, А. Н. Реологические особенности при подаче пены пеногенерирующими системами со сжатым воздухом / А. Н. Камлюк, И. В. Карпенчук, А. В. Грачулин // Чрезвычайные ситуации: теория, практика,

инновации : материалы междунар. научн.-практ. конф., Гомель, 24 – 25 мая 2012 г. / Гомел. инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь, Гомел. фил. Нац. Акад. наук Беларуси; редкол.: И. И. Суторьма (науч. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2012. – Ч. 1. – С. 154–155.

19. Навроцкий, О. Д. Свойства пены, получаемой с помощью пеногенерирующей системы со сжатым воздухом / О. Д. Навроцкий, Ю. В. Заневская, А. Н. Камлюк, И. В. Карпенчук, А. В. Грачулин // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы междунар. научн.-практ. конф., Гомель, 24 – 25 мая 2012 г. / Гомел. инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь, Гомел. фил. Нац. Акад. наук Беларуси; редкол.: И. И. Суторьма (науч. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2012. – Ч. 1. – С. 207–208.

20. Карпенчук, И. В. Повышение эффективности тушения пожаров в высотных зданиях путем применения пеногенерирующих систем со сжатым воздухом / И. В. Карпенчук, А. Н. Камлюк, А. В. Грачулин // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 10-й международной научно-технической конференции. – Минск : БНТУ, 2012. – Т. 2. – С. 163.

21. Навроцкий, О. Д. Пеногенерирующие системы со сжатым воздухом / О. Д. Навроцкий, Ю. В. Заневская, А. Н. Камлюк, И. В. Карпенчук, А. В. Грачулин // XXIV международная научно-практич. конференция по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института : тезисы докладов, Москва, 03 – 04 июля 2012 г. / ВНИИПО. – М., 2012. – Ч. 2. – С. 212–214.

22. Камлюк, А. Н. Исследование показателей пены, создаваемой пеногенерирующими системами со сжатым воздухом / А. Н. Камлюк, И. В. Карпенчук, А. В. Грачулин // XXIV международная научно-практич. конференция по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института : тезисы докладов, Москва, 03 – 04 июля 2012 г. / ВНИИПО. – М., 2012. – Ч. 2. – С. 186–189.

23. Камлюк, А. Н. Анализ результатов исследований движения пены по насосно-рукавной системе пеногенерирующих систем со сжатым воздухом / А. Н. Камлюк, В. В. Пармон, А. В. Грачулин // Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций : сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции, Минск, 26 сент. 2013 г. / Командн.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь. – Минск, 2013. – С. 136.

24. Навроцкий, О. Д. Использование пеногенерирующих систем со сжатым воздухом для тушения зданий повышенной этажности / О. Д. Навроцкий, С. М. Палубец, С. М. Малашенко, А. В. Грачулин // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций : материалы IV международной научно-практической конференции, Кокшетау, 17 окт. 2013 г. / КТИ МЧС РК. – Кокшетау, 2013. – С. 173–175.

25. Камлюк, А. Н. Применение пеногенерирующих систем со сжатым воздухом для тушения пожаров в высотных зданиях / А. Н. Камлюк, О. Д. Навроцкий, С. М. Палубец, С. М. Малашенко, А. В. Грачулин // Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций : сборник материалов Международной конференции молодых ученых, Минск, 28 ноября 2013 г. / М-во

чрезв. ситуаций Респ. Беларусь; редкол.: Ю. С. Иванов [и др.]. – Минск.: УП «Промбытсервис», 2013. – С. 63–65.

26. Камлюк, А. Н. Анализ необходимости исследования движения пены в рукавной линии пеногенерирующей системы со сжатым воздухом / А. Н. Камлюк, В. В. Пармон, А. В. Грачулин // Теория и практика тушения пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций : материалы V международной научно-практической конференции, Черкассы, 6 – 7 дек. 2013 г. / АПБ им. Героев Чернобыля. – Черкассы, 2013. – С 133–134.

27. Камлюк, А. Н. Тушения пожаров в высотных зданиях с применением пеногенерирующих систем со сжатым воздухом / А. Н. Камлюк, О. Д. Навроцкий, С. М. Палубец, С. М. Малашенко, А. В. Грачулин // Теория и практика тушения пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций : материалы V международной научно-практической конференции, Черкассы, 6 – 7 дек. 2013 г. / АПБ им. Героев Чернобыля. – Черкассы, 2013. – С 61–63.

28. Камлюк, А. Н. Подача пены пеногенерирующими системами со сжатым воздухом для тушения пожаров в высотных зданиях / А. Н. Камлюк, А. В. Грачулин // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы : сб. материалов VIII международной научно-практической конференции молодых ученых: курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов), Минск, 03 – 04 апреля 2014 г. / Командн.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь. – Минск, 2014. – Ч. 1. – С. 139–140.

29. Навроцкий, О. Д. Новые возможности тушения пожаров с использованием пеногенерирующих систем со сжатым воздухом / О. Д. Навроцкий, С. М. Палубец, С. М. Малашенко, А. В. Грачулин // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы междунар. научн.-практ. конф., Гомель, 22 – 23 мая 2014 г. / Гомел. инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2014. – С. 172–173.

30. Пармон, В. В. Пенное пожаротушение в разрезе экологической безопасности / В. В. Пармон, А. В. Грачулин // Безопасность в строительстве: матер. II международной научно-методической конференции; Санкт-Петербург, 27 – 28 нояб. 2014 г. / СПбГАСУ; под общ. ред. Е. И. Рыбнова. – СПб., 2014. – С. 100–103.

31. Камлюк, А. Н. Численное моделирование движения пены по горизонтальному цилиндрическому каналу / А. Н. Камлюк, А. В. Грачулин // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы : сб. материалов IX международной научно-практической конференции молодых ученых: курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов), Минск, 02 – 03 апреля 2015 г. / Командн.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь. – Минск, 2015. – Ч. 1. – С. 98–99.

32. Грачулин, А.В. Установка для исследования движения пены в горизонтальной рукавной системе / А. В. Грачулин // Технологии ликвидации чрезвычайных ситуаций : сб. материалов международной заочной научно-практической конференции, Минск, 30 апреля 2015 г. / Командн.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь. – Минск, 2015. – С. 64–67.

33. Камлюк, А. Н. Численное моделирование движения пены по горизонтальному цилиндрическому каналу / А. Н. Камлюк, А. В. Грачулин //

Наука – образованию, производству, экономике : материалы 13-й международной научно-технической конференции (68-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных работников, докторантов и аспирантов БНТУ). – Минск : БНТУ, 2015. – Т. 2. – С. 99.

34. Камлюк, А. Н. Методика проведения исследований потерь давления в насосно-рукавных системах пеногенерирующих систем со сжатым воздухом / А. Н. Камлюк, А. В. Грачулин // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации : сб. тез. докл. межд. науч.-практич. конф., Москва, 17–18 марта 2016 г. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 297–300.

35. Грачулин, А. В. Исследование характеристик потока компрессионной пены в рукавной линии с внутренним диаметром 51 миллиметр / А. В. Грачулин, А. Н. Камлюк // Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту : матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених. – Харків : НУЦЗУ, 2016. – С. 120.

36. Грачулин, А. В. Экспериментальные исследования потерь давления в рукавной линии пеногенерирующих систем со сжатым воздухом / А. В. Грачулин, О. Д. Навроцкий, Я. А. Романенко // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация : Сборник научных трудов VII международной научно-практической конференции. – Минск : Колорград, 2016. – Ч. 2.– С. 214–224.

Патенты

37. Система пеногенерирующая со сжатым воздухом на прицепном шасси : пат. 10499 U Респ. Беларусь, МПК A 62C 5/02 / А. В. Грачулин, П. В. Козловский, С. М. Малашенко, А. В. Молчан, О. Д. Навроцкий, В. Г. Стельмах ; заявитель Науч.-исслед. ин-т пож. безопасн. и проблем чрезв. ситуаций МЧС Респ. Беларусь, Командн.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь. – № u 20140075; заявл. 2014.02.26; опубл. 2014.12.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 6. – С. 179 – 180.

РЭЗЮМЭ

Грачулін Аляксандр Уладзіміравіч

Метады прымянення пенагенеравальных сістэм са сціснутым паветрам для тушэння пажараў

Ключавыя словы: пенагенеравальная сістэма са сціснутым паветрам, кампрэсійная пена, газавадкасны паток, квазігамагенная мадэль, інжынерная методыка, тэхналогія тушэння пажараў.

Мэта работы – распрацоўка метадаў прымянення пенагенеравальных сістэм са сціснутым паветрам для тушэння пажараў, якія ўлічваюць адрозненне тактыка-тэхнічных характарыстык гэтых сістэм ад традыцыйных тэхналогій пеннага пажаратушэння.

Метады даследавання і апаратура. Агульная метадалогія работы прадугледжвала спалучэнне тэарэтычных і эксперыментальных даследаванняў тактыка-тэхнічных характарыстык пенагенерыравальных сістэм са сціснутым паветрам. Для даследавання параметраў і апрацоўкі вынікаў выкарыстоўваліся: пажарныя напорныя рукавы, пажарныя ствалы, рукаўныя ўстаўкі з датчыкамі ціску, электрамагнітны расходамер, мерны цыліндр, электронны секундамер, лічбавая відэакамера, фотаапарат і персанальны камп'ютар у спалучэнні з матэматычнымі метадамі апрацоўкі эксперыментальных даных.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Устаноўлены ўплыў значэнняў аб'ёмных расходаў паветра, вады і пенаўтваральніка, дыяметра насадка пажарнага ствала, а таксама маркі пенаўтваральніка на характар змены ціску па даўжыні рукаўнай лініі пры руху па ей кампрэсійнай пены. На падставе атрыманай эмпірычнай залежнасці для вызначэння прыведзенага каэфіцыента гідраўлічнага трэння ад значэння газаўтрымання ў практычна значным дыяпазоне ад 0 да 0,9 распрацавана і эксперыментальна пацверджана інжынерная методыка гідраўлічнага разліку рукаўных ліній пенагенеравальных сістэм са сціснутым паветрам. У ходзе натурных выпрабаванняў пенагенеравальных сістэм са сціснутым паветрам вызначана эфектыўнасць тушэння кампрэсійнай пены, магчымасць падачы сухой кампрэсійнай пены на вышыню да 100 м і выкарыстання сістэм ва ўмовах нізкіх тэмператур без утварэння ледзяных затораў.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Атрыманыя вынікі могуць быць выкарыстаны для ўкаранення і эфектыўнага прымянення пенагенеравальных сістэм са сціснутым паветрам у практыцы тушэння пажараў паветрана-механічнай пенай нізкай кратнасці.

Вобласць выкарыстання. Тушэнне пажараў у будынках і збудаваннях (вышыней да 100 метраў), на прамысловых прадпрыемствах, складах нафты і нафтапрадуктаў, а таксама пры дарожна-транспартных здарэннях.

РЕЗЮМЕ

Грачулин Александр Владимирович

Методы применения пеногенерирующих систем со сжатым воздухом для тушения пожаров

Ключевые слова: пеногенерирующая система со сжатым воздухом, компрессионная пена, газожидкостный поток, квазигомогенная модель, инженерная методика, технология тушения пожаров.

Цель работы – разработка методов применения пеногенерирующих систем со сжатым воздухом для тушения пожаров, учитывающих отличие тактико-технических характеристик этих систем от традиционных технологий пенного пожаротушения.

Методы исследования и аппаратура. Общая методология работы предусматривала сочетание теоретических и экспериментальных исследований тактико-технических характеристик пеногенерирующих систем со сжатым воздухом. Для исследования характеристик и обработки результатов использовались: пожарные напорные рукава, пожарные стволы, рукавные вставки с датчиками давления, электромагнитный расходомер, мерный цилиндр, электронный секундомер, цифровая видеокамера, фотоаппарат и персональный компьютер в сочетании с математическими методами обработки экспериментальных данных.

Полученные результаты и их новизна. Установлено влияние значений объемных расходов воздуха, воды и пенообразователя, диаметра насадка пожарного ствола, а также марки пенообразователя на характер изменения давления по длине рукавной линии при движении по ней компрессионной пены. На основании полученной эмпирической зависимости для определения приведенного коэффициента гидравлического трения от значения газосодержания в практически значимом диапазоне от 0 до 0,9 разработана и экспериментально подтверждена инженерная методика гидравлического расчета рукавных линий пеногенерирующих систем со сжатым воздухом. В ходе натурных испытаний пеногенерирующих систем со сжатым воздухом определена эффективность тушения компрессионной пены, возможность подачи сухой компрессионной пены на высоту до 100 м и использования систем в условиях низких температур без образования ледяных пробок.

Рекомендации по использованию. Полученные результаты могут быть использованы для внедрения и эффективного применения пеногенерирующих систем со сжатым воздухом в практике тушения пожаров воздушно-механической пеной низкой кратности.

Область применения. Тушение пожаров в зданиях и сооружениях (высотой до 100 метров), на промышленных предприятиях, складах нефти и нефтепродуктов, а также при дорожно-транспортных происшествиях.

SUMMARY

Grachulin Aliaksandr Vladimirovich

Methods of application of compressed air foam systems for extinguishing fires

Key words: compressed air foam system, compressed foam, gas-liquid flow, quasi-homogeneous model, engineering technique, technology of fire extinguishing.

The purpose of the research work is development of methods of application of compressed air foam systems for extinguishing fires, taking into account the difference in tactical and technical characteristics of these systems from traditional foam fire extinguishing technologies.

Methods of the research and equipment. The general methodology of the work included a combination of theoretical and experimental studies of tactical and technical characteristics of compressed air foam systems. To study the parameters and data processing were used: fire pressure hoses, fire nozzles, hose inserts with pressure meters, electromagnetic flow meter, graduated cylinder, electronic stopwatch, digital video camera, photo camera and a personal computer combined with the mathematical methods of experimental data processing.

Obtained results and their novelty. The influence of the volumetric air flow, water and foaming agent, diameter of fire nozzle, and the type of the foaming agent on the character of pressure change while moving of compressed foam along the length of hose line is revealed. An engineering technique of hydraulic design of compressed air foam systems hose lines is developed and experimentally confirmed, based on the obtained empirical dependence used for the determination of the reduced hydraulic friction coefficient of the value of gas content in the practical importance range of 0 to 0.9. During the field tests of compressed air foam systems, the efficiency of compression foam extinguishing, the possibility to supply dry compression foam to a height of 100 meters, and the use of the systems at low temperatures without formation of ice jams were defined.

Guidance for use. The results can be used for the introduction and effective application of compressed air foam systems into the practice of fire extinguishing by air-mechanical foam of low multiplicity.

Field of application. Extinguishing of fires in buildings and structures (of the height up to 100 meters), industrial plants, warehouses of oil and petroleum, and at road accidents.

Научное издание

Грачулин Александр Владимирович

МЕТОДЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕНОГЕНЕРИРУЮЩИХ СИСТЕМ СО СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

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

Подписано в печать 06.05.2017.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,34. Уч.-изд. л. 1,79.
Тираж 60. Заказ 062-2017.

Полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь»
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/259 от 14.10.2016.
ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск.