ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
МИНИСТЕРСТВА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»

УДК 614.844(476)

ПОТЕХА
Алексей Валентинович

ОРГАНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ТРАЕКТОРИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СТРУЙ

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 «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь.

Научный руководитель:	**Здор Геннадий Николаевич**, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Робототехнические системы» Белорусского национального технического университета
Официальные оппоненты:	**Качанов Игорь Владимирович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Кораблестроение и гидравлика» Белорусского национального технического университета
	Навроцкий Олег Дмитриевич, кандидат технических наук, начальник отдела исследований в области ликвидации чрезвычайных ситуаций учреждения «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь
Оппонирующая организация:	Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Защита состоится 21 декабря 2017 года в $14^{\underline{00}}$ на заседании совета по защите диссертаций К 11.01.01 при государственном учреждении образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь» по адресу: г. Минск, ул. Машиностроителей, 25, аудитория АВ 102 (конференц-зал). Ученый секретарь совета: телефон +375(17)341-32-99, e-mail K11.01.01@ucp.by. Индекс для почтовой связи – 220118.

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

Автореферат разослан _____ ноября 2017 года.

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

ВВЕДЕНИЕ

Роботизированные системы пожаротушения (РСП) или роботизированные установки пожаротушения (РУП) считаются одним из самых надежных средств борьбы с пожарами, так как приводятся в действие по объективным показателям и обеспечивают оперативную локализацию или ликвидацию пожара на его начальной стадии возникновения без участия человека.

Расширение областей применения РСП (или РУП) во многом сдерживается отсутствием технических нормативных правовых актов, регламентирующих их использование, основанных на рекомендациях и методиках расчетов параметров (например, траекторий) струй огнетушащего вещества (ОТВ), формируемых лафетными стволами пожарных роботов (ПР). При этом важно, чтобы данные рекомендации обеспечивали бы решение сугубо конкретных практических задач, например, расстановку устройств пожаротушения на этапе проектирования роботизированной системы.

Особая актуальность обеспечения пожарной безопасности с помощью роботизированных установок пожаротушения объясняется все более увеличивающимся числом большепролетных, а в особенности и высокопролетных, производственных, социально-культурных, торговых и других объектов. Под высокопролетными объектами в работе понимаются общественные и промышленные большепролетные здания и сооружения высотой 20 м и более. Противопожарная защита таких объектов существенно осложнена их техническими характеристиками (высота, объем, вместимость, протяженность и др.), функциональным назначением, а также экономическими, социальными и (или) экологическими последствиями при аварии.

Настоящая работа посвящена организации устройств пожаротушения роботизированных систем, обеспечивающих пожарную безопасность большепролетных зданий и сооружений. Определение мест размещения ПР на объекте, являясь одним из важнейших этапов проектирования РСП, во многом предопределяет его пожарную безопасность, а также экономичность разработанных проектных решений. В этой связи теоретические и экспериментальные исследования по данному направлению являются весьма актуальными и имеют научный и практический интерес.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

В приоритетных направлениях научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2011–2015 и 2016–2020 гг. значительная роль отводится проблеме защиты от чрезвычайных ситуаций. Данным направлением предусматривается проведение комплекса работ, в том числе по созданию высокоэффективных специальных инструментальных средств и технологий для ликвидации пожаров, аварий и катастроф, какими собственно и являются пожарные роботы. Диссертационная работа «Организация устройств пожаротушения роботизированных систем на основе расчета траектории гидравлических струй», включая основные результаты проведенных

теоретических и экспериментальных исследований, а также их практическое использование в Республике Беларусь, содействует выполнению задач, обозначенных в приоритетных направлениях и реализуемых Министерством по чрезвычайным ситуациям страны в рамках единой государственной научно-технической политики.

В 2011–2016 гг. задачи диссертационного исследования решались в рамках научно-исследовательских работ «Разработка программного обеспечения для оптимального размещения пожарных роботов в системе автоматического пожаротушения на объекте «Ангар-укрытие для воздушных судов в национальном аэропорту «Минск» с технико-экономической оценкой предлагаемых решений» (№ госрегистрации 20115275) и «Технико-экономическое обоснование использования роботизированной системы пожаротушения при проектировании цеха технического обслуживания и ремонта воздушных судов объекта «Строительство авиаремонтного завода на территории национального аэропорта «Минск», 2-я очередь строительства, 2-й пусковой комплекс» (№ госрегистрации 20163956).

Цель и задачи исследования

Цель исследования – организация устройств пожаротушения роботизированных систем, применяемых для обеспечения пожарной безопасности большепролетных зданий и сооружений, на основании расчета траектории гидравлических струй.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Экспериментально исследовать закономерности изменения геометрических характеристик (высоты компактной и раздробленной частей струи, радиуса действия раздробленной струи и расположения ее огибающей кривой, траекторий) струй, формируемых лафетными стволами пожарных роботов, от варьируемых рабочих параметров (давление, угол наклона оси насадка лафетного ствола к горизонту).
2. Разработать методику расчета траектории водяной компактной струи с учетом возникающей силы трения на ее поверхности при движении струи в воздухе.
3. С привлечением экспериментальных данных получить зависимости для расчета координат частиц наклонной гидравлической струи, позволяющие выполнить построение ее траектории.
4. Разработать алгоритм объемной расстановки устройств пожаротушения роботизированных систем, позволяющий определять их минимально необходимое количество и координаты размещения при трехмерном моделировании противопожарной защиты большепролетных зданий и сооружений, и реализовать его в виде программного обеспечения.
5. Оценить эффективность разработанного алгоритма и выполнить проверку работы программного обеспечения на примере расстановки пожарных стационарных роботов для ряда большепролетных объектов различного назначения, а также осуществить практическое внедрение результатов

исследований.

Объект исследования – лафетные стволы устройств пожаротушения роботизированных систем.

Предмет исследования – геометрические характеристики струй, формируемых лафетными стволами роботизированных устройств пожаротушения.

Научная новизна

Получены данные о зависимости геометрических характеристик водяных струй (траектории и максимальная дальность наклонных струй, высоты вертикальных компактной и раздробленной струй, а также радиус действия раздробленной струи), формируемых лафетными стволами устройств пожаротушения роботизированных систем, от изменения давления и угла наклона оси насадка ствола к горизонту;

определены зависимости для расчета траекторий наклонных водяных струй, формируемых лафетными стволами роботизированных устройств пожаротушения, с учетом коэффициента трения на поверхности струи и коэффициента полного сопротивления, а также уточнены выражения для расчета радиуса действия раздробленной струи;

разработан алгоритм объемной расстановки устройств пожаротушения роботизированных систем, реализованный в виде программного обеспечения, который экспериментально апробирован при моделировании противопожарной защиты большепролетных зданий и сооружений.

Положения, выносимые на защиту

1. Экспериментальные данные о расположении гидравлической струи и ограничивающих ее в вертикальной плоскости огибающих кривых, полученные для лафетных стволов пожарных роботов с номинальными расходами 20, 40 и 60 л/с при изменении давления в рабочем диапазоне и угла наклона оси насадка лафетного ствола к горизонту в пределах от 10 до 90° с шагом 10°, позволившие построить траектории свободной струи, установить зависимость между высотами вертикальных раздробленной и компактной струй, а также уточнить расчетные зависимости для определения радиуса действия раздробленной струи в связи с выявленными существенными (до 23,6 % или более 7 м) расхождениями теоретических и экспериментальных значений.

2. Методика расчета траектории компактной водяной струи, *учитывающая* возникающую силу трения на ее поверхности при движении струи в воздухе, позволяющая установить зависимость изменения коэффициента трения k от физических параметров среды: плотности ρ, динамической вязкости μ, скорости потока u и геометрических характеристик струи: радиуса поперечного сечения R, угла раскрытия γ и длины x, измеренной в осевом направлении.

3. Зависимости для расчета координат частиц наклонной гидравлической струи, расположенных на ее оси, скорректированные для участка раздробленной струи на основании экспериментальных данных, *обеспечивающие* совпадение с погрешностью от 0 до 20 % в зависимости от угла наклона оси насадка лафетного

ствола пожарного робота к горизонту экспериментальных и расчетных значений искомых параметров.

4. Алгоритм объемной расстановки устройств пожаротушения роботизированных систем для защиты большепролетных зданий и сооружений, реализованный в виде программного обеспечения, *отличающийся* учетом трехмерного расположения струи огнетушащего вещества и наличия для нее различного рода препятствий (оборудования, транспорта, конструкций и т. п.), что позволяет корректно оценивать досягаемость точек моделируемого пространства путем теста на пересечение траектории струи с выделяемыми в нем элементарными объемами.

Личный вклад соискателя ученой степени

Основные результаты, приведенные в диссертационной работе, и положения, выносимые на защиту, получены автором самостоятельно. Определение цели и постановка задач исследования, интерпретация теоретических и экспериментальных результатов, их анализ и обсуждение проводились совместно с научным руководителем доктором технических наук, доцентом Здором Г. Н. Доктор физико-математических наук, доцент Маскевич А. А. принимал участие в обсуждении методики определения геометрических характеристик пожарных струй с помощью фотосъемки. Доктор физико-математических наук, доцент Чикова Т. С. и кандидат физико-математических наук, доцент Бойко В. К. принимали участие в обсуждении методики расчета траектории гидравлической струи, учитывающей возникающую на ее поверхности силу трения. Кандидат физико-математических наук, доцент Новичихин Р. В. принимал участие в обсуждении алгоритма объемной расстановки пожарных роботов. Соавторы публикаций участвовали в обсуждении полученных результатов. Автор диссертации выражает благодарность за помощь в проведении натурных испытаний работникам Учреждения «Гродненское областное управление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».

В публикациях с соавторами вклад соискателя определяется рамками положений, вынесенных на защиту.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на: международных научно-практических конференциях «Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации» (Гомель, 2006, 2012, 2016); «Актуальні проблеми наглядово-профілактичноі діяльності МНС України» (Харьков, 2006); «Системы безопасности» – СБ-2009 (Москва, 2009); «Проблемы безопасности на транспорте» (Гомель, 2010); «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы» (Минск, 2007); «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідаціі надзвичайних ситуацій» (Черкассы, 2014); «Роботизированные системы пожаротушения RFFS-2014» (Гродно, 2014); республиканском научно-практическом семинаре «Автоматизация и роботизация процессов и производств» (Минск, 2014).

Разработано зарегистрированное в Национальном центре интеллектуальной

собственности программное обеспечение «SFR-04», предназначенное для расчета параметров расстановки пожарных роботов при моделировании противопожарной защиты большепролетных зданий и сооружений (свидетельство № 916 от 16.11.2016).

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 31 печатной работе общим объемом 7,19 авторского листа: 10 статей в научных изданиях, в том числе 6 статей (из них без соавторов – 1 статья), соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, 5 работ в сборниках материалов и докладов конференций, а также 16 тезисов докладов в сборниках научных трудов международных конференций и семинаров.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 183 страницах, содержит 58 рисунков, 12 таблиц, библиографический список из 126 наименований, включая 31 собственную публикацию соискателя, и 7 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе обосновываются цель и задачи исследования. Показаны основные принципы функционирования роботизированной установки пожаротушения, структура и взаимосвязи внутри которой представлены на схеме (рисунок 1).

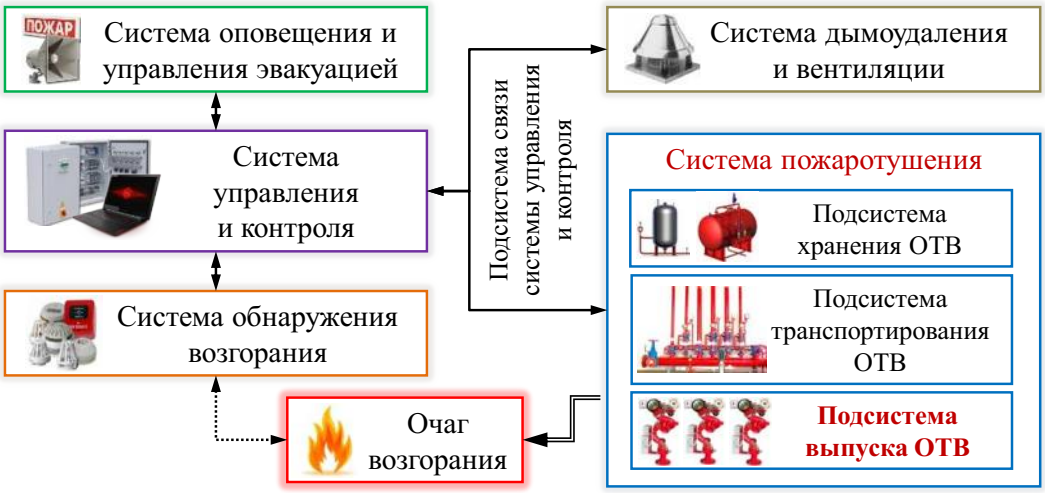

Рисунок 1. – Структура и схема взаимодействия систем роботизированной установки пожаротушения

Рассмотрены объективные предпосылки использования РСП (или РУП) для обеспечения пожарной безопасности большепролетных, в том числе и высокопролетных, зданий и сооружений различного назначения. В результате проведенного литературного обзора показаны причины ограниченного применения роботизированных систем для обеспечения пожарной безопасности

большепролетных объектов, основной из которых является сложность определения досягаемости пожарными струями, формируемыми устройствами пожаротушения, всех точек защищаемого пространства в связи с отсутствием аналитических уравнений траектории струи ОТВ, отвечающей действительности.

По итогам проведенного анализа сделан вывод о том, что эффективное использование пожарных роботов практически невозможно без решения задачи их обоснованной расстановки на защищаемом объекте. В этой связи под область исследования попадает подсистема выпуска огнетушащего вещества системы пожаротушения РУП. При более детальном анализе подсистемы выпуска ОТВ, рассматривая пожарный стационарный робот (ПСР), можно отметить, что исследования касаются непосредственно функционирования его исполнительных систем: пожаротушения, передвижения и наведения (рисунок 2).

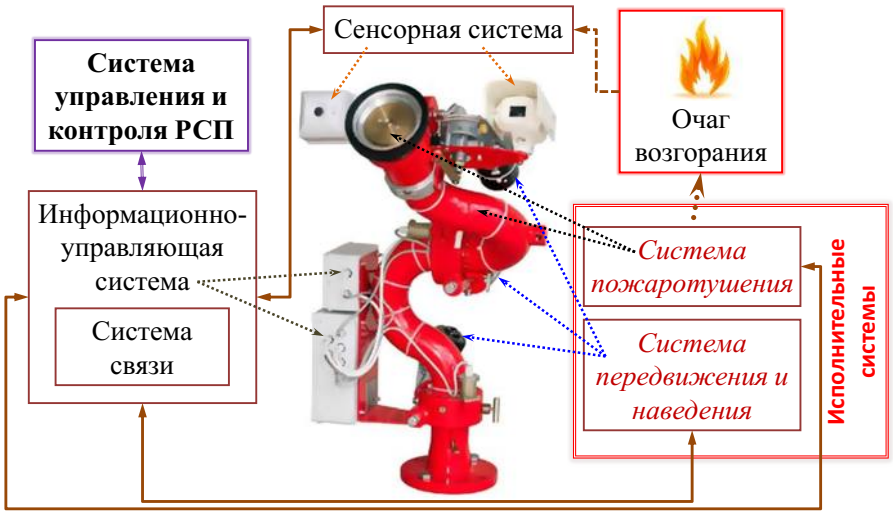

Рисунок 2. – Схема взаимодействия систем пожарного стационарного робота

Пожарный робот является базовым элементом роботизированной системы пожаротушения. Учитывая основное назначение ПР – подачу ОТВ в зону горения, можно заключить, что одним из его важнейших модулей является лафетный ствол, геометрия и характеристики которого обуславливают способность ПР и всей системы в целом локализовать и ликвидировать загорание в кратчайшие сроки. Отсюда следует вывод, что выбор мест установки пожарных роботов и минимизация их необходимого числа напрямую связаны с уточнением аналитических и экспериментальных зависимостей и моделей для более точного определения геометрических характеристик струй ОТВ.

Для решения указанной задачи необходимо провести комплекс теоретических и экспериментальных исследований, направленных на изучение закономерностей, проявляющихся при формировании водяных струй лафетными стволами устройств пожаротушения роботизированных систем.

Во второй главе рассмотрены вопросы, связанные с методическими особенностями проводимых исследований, источниками погрешностей и статистической обработкой результатов экспериментов. На основании проведенного теоретического анализа составлена программа определения

геометрических характеристик пожарных струй с помощью фотофиксации, которая включает проведение испытаний, направленных на исследование закономерностей изменения геометрических характеристик водяных струй от варьируемых рабочих параметров: давление у лафетного ствола ПР (от 0,4 до 0,8 МПа для ЛС с номинальными расходами 20 и 40 л/с; от 0,6 до 1,0 МПа для ЛС с номинальным расходом 60 л/с); угол наклона насадка лафетного ствола к горизонту (диапазон от 10 до 90° с шагом изменения 10°), выполнение и обработку ряда изображений, на которых с помощью фотосъемки фиксируется расположение водяной струи и ограничивающих ее в вертикальной плоскости огибающих кривых, и анализ полученных результатов.

Экспериментальные данные позволили воспроизвести расположение водяных струй в соответствующем масштабе и изобразить их в выбранной системе координат. Пример результатов расчетов и построений для случая гидравлической струи, выпускаемой под углами от 10 до 90° к горизонту из ЛС с номинальным расходом 40 л/с, показан на рисунке 3.

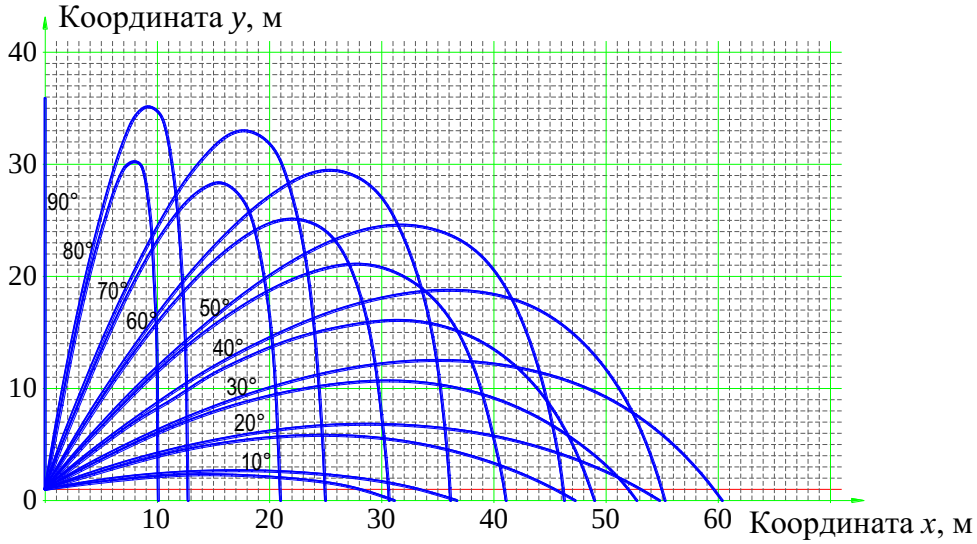

Рисунок 3. – Ограничивающие кривые водяных струй, формируемых лафетным стволом ПР с номинальным расходом 40 л/с при давлении 0,5 МПа

На основании проведенных кривых были определены горизонтальные и вертикальные координаты точек, лежащих на оси струи, которые позволили построить эмпирические траектории наклонных водяных струй. На рисунке 4 показан пример итоговой траектории струи с предельными отклонениями, полученными путем статистической обработки согласно условиям эксперимента.

В результате проведенных экспериментальных исследований получены сведения, позволяющие судить о расположении гидравлической струи в воздухе, исследовать зависимости высот вертикальных раздробленной и компактной струй, построить траектории и определить максимальную дальность (по крайним каплям) наклонных водяных струй, а также установить величины радиуса действия раздробленной струи, формируемой ЛС при изменяемых давлении и угле наклона оси насадка ствола к горизонту.

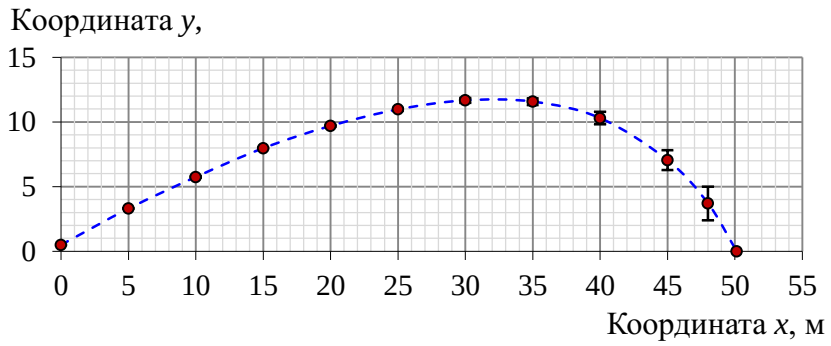

Рисунок 4. – Траектория струи, выпускаемой под углом 30° из лафетного ствола с номинальным расходом 20 л/с при давлении 0,7 МПа

Экспериментальные данные послужили основой для последующего исследования геометрических характеристик водяных струй, а также явились мерой оценки адекватности результатов расчетов по теоретическим зависимостям.

Третья глава посвящена экспериментальным и теоретическим расчетам геометрических характеристик (высоты компактной части, радиуса действия раздробленной части, траектории) струй, формируемых лафетными стволами пожарных роботов.

Для целей пожаротушения в определенных случаях используют компактную часть струи, величина которой определяется как часть всей вертикальной струи. Значения высоты компактной струи $H_к$ предложено определять на основании зависимости

$$H_в = H_к / \zeta, \tag{1}$$

где $H_в$ – высота вертикальной раздробленной струи, м;

$H_к$ – высота вертикальной компактной струи, м;

ζ – эмпирический коэффициент, для определения которого на основании опытных данных получено следующее выражение, справедливое для значений $H_в$ от 20 до 60 м,

$$\zeta = 0{,}46 + \frac{0{,}39}{1 + \left(\frac{H_в}{40}\right)^3}. \tag{2}$$

Рассчитанные по формуле (2), полученной с помощью программы *OriginPro 8 SRO*, значения ζ отличаются от экспериментальных не более чем на 2 %.

Проведенные исследования выявили существенные (до 23,6 %, что эквивалентно изменению радиуса действия раздробленной струи $R_р$ на величину более 7 м) расхождения между теоретически рассчитанными величинами $R_р$ и их экспериментальными значениями в диапазоне изменения от 0 до 30° угла наклона радиуса действия раздробленной струи $R_р$ к горизонту.

С помощью программы *OriginPro 8 SRO* получено выражение для расчета

корректирующего коэффициента β, используемого при расчете R_p,

$$\overline{\beta} = 1{,}63 - 0{,}018 \cdot \theta' + 1{,}8 \cdot 10^{-4} \cdot \theta'^2 - 6{,}4 \cdot 10^{-7} \cdot \theta'^3, \qquad (3)$$

где $\overline{\beta}$ – уточненный корректирующий коэффициент;

θ' – угол наклона радиуса действия раздробленной струи R_p к горизонту.

Уравнение (3) позволяет рассчитать значение корректирующего коэффициента β, отличающееся не более чем на 6 % от значений, полученных экспериментально (рисунок 5).

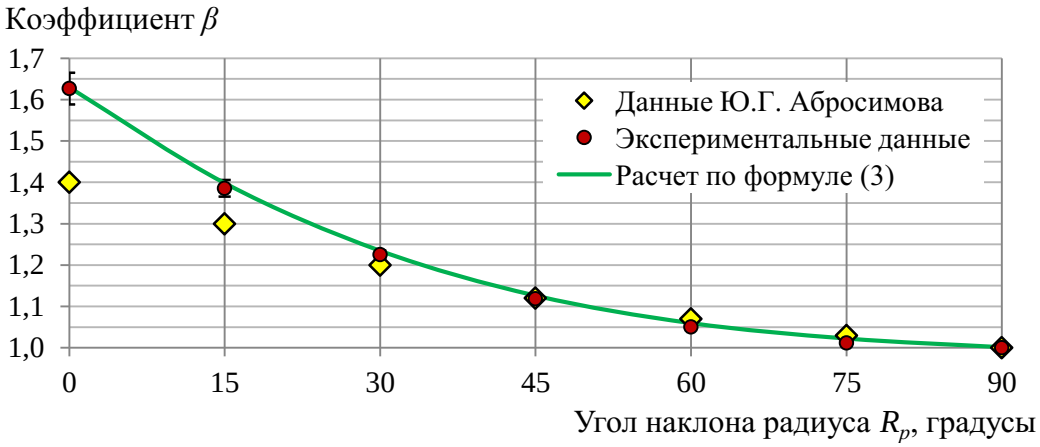

Рисунок 5. – График изменения корректирующего коэффициента β

Тогда величину радиуса действия раздробленной струи R_p с учетом высоты вертикальной струи $H_в$ можно рассчитывать по формуле

$$R_p = \overline{\beta} \cdot H_в. \qquad (4)$$

На основании проведенного теоретического анализа разработана методика расчета траектории компактной гидравлической струи, учитывающая возникающую силу трения на ее поверхности при движении струи в воздухе. В основу методики положена теорема импульсов, в соответствии с которой уменьшение количества движения за счет силы трения при рассмотрении возникающего на поверхности струи пограничного слоя воздуха равно силе трения $F_{тр}(x)$ той части поверхности, которая заключена между произвольно выбранными в направлении перпендикулярном оси x струи сечениями, что может быть выражено следующей зависимостью

$$\iint_S \rho u(u_o - u)dydz = \iint_G \tau_0 dxdz, \qquad (5)$$

где ρ – плотность среды (воздуха), кг/м^3;

u – скорость движения воздуха в произвольной точке пограничного слоя толщиной δ, удаленной от поверхности струи на расстояние Δy, м/с;

u_o – скорость набегающего потока, м/с;

$dydz$ – элементарная площадка второго сечения потока, м^2;

τ_0 – напряжение трения на произвольном элементе поверхности, Па;

G – область интегрирования, представляющая собой площадь обтекаемой поверхности, заключенную между сечениями.

Из закона сопротивления Ньютона имеем выражение для расчета коэффициента трения k, который является функцией от координаты x,

$$k(x) = F_{тр}(x) \Big/ \left(\omega\rho \frac{u_o^2}{2} \right), \tag{6}$$

где $F_{тр}(x)$ – сила трения, Н;

k – коэффициент трения;

ω – площадь обтекаемой поверхности, м^2.

Исходя из практической целесообразности, для нахождения площади обтекаемой поверхности струи вводится допущение, а именно, струя представляется в виде изогнутого усеченного конуса с радиусами большего R и меньшего r оснований, а искомая площадь определяется как площадь боковой поверхности усеченного конуса, полученного при выпрямлении его оси, которая в рассматриваемой модели представляет собой ось гидравлической струи.

На основе предложенной методики с учетом состояния пограничного слоя воздуха на боковой поверхности осесимметричной струи жидкости, определяемого в зависимости от числа Рейнольдса, были получены зависимости для расчета возникающей на поверхности струи силы трения:

а) для ламинарного пограничного слоя

$$F_{тр}(x) = \frac{2}{3}\sqrt{u_o^3 \mu\rho x \left(3\pi^2 r^2 + 3\pi r x tg\frac{\varphi}{2} + x^2 tg^2\frac{\varphi}{2} \right)}, \tag{7}$$

где μ – абсолютная (динамическая) вязкость среды, Па·с;

φ – угол сектора плоской развертки боковой поверхности конуса (струи), рад;

б) для турбулентного пограничного слоя

$$F_{тр}(x) = 0{,}5\sqrt{u_o^3 \mu\rho x \left(3\pi^2 r^2 + 3\pi r x tg\frac{\varphi}{2} + x^2 tg^2\frac{\varphi}{2} \right)}. \tag{8}$$

С учетом выражений (7) и (8) на основании формулы (6) коэффициент трения для ламинарного пограничного слоя определяется выражением

$$k = \frac{8}{3x\left(2\pi r + x tg\frac{\varphi}{2} \right)} \sqrt{\frac{\nu x \left(3\pi^2 r^2 + 3\pi r x tg\frac{\varphi}{2} + x^2 tg^2\frac{\varphi}{2} \right)}{u_o}}, \tag{9}$$

где ν – кинематическая вязкость среды (воздуха), $\nu = \dfrac{\mu}{\rho}$, м^2/с;

для турбулентного пограничного слоя

$$k = \frac{2}{x\left(2\pi r + xtg\dfrac{\varphi}{2}\right)}\sqrt{\frac{\nu x\left(3\pi^2 r^2 + 3\pi r x tg\dfrac{\varphi}{2} + x^2 tg^2\dfrac{\varphi}{2}\right)}{u_o}}. \qquad (10)$$

Практические расчеты коэффициента трения k по формулам (9) и (10) показали, что коэффициент k изменяется по гиперболическому закону.

Для расчета траекторий наклонной гидравлической струи использован закон движения ее частиц в координатном виде

$$x = \frac{\upsilon_0 t\cos\theta}{1 + K\dfrac{\upsilon_0^2}{2dg}}; \quad y = \frac{\upsilon_0 t\sin\theta - \dfrac{gt^2}{2}}{1 + K\dfrac{\upsilon_0^2}{2dg}}, \qquad (11)$$

где x, y – координаты частиц струи в выбранной точке траектории, м;

υ_0 – начальная скорость движения струи при выходе из насадка, м/с;

θ – угол наклона оси насадка ствола к горизонту, градусы;

t – время, с;

d – диаметр струи, м;

K – коэффициент сопротивления струи в воздухе.

Формулы для теоретического расчета траекторий наклонной струи с учетом трения, возникающего на ее боковой поверхности, получаются подстановкой в формулы (11) значений коэффициента трения k (вместо коэффициента K).

Пример результатов расчета кривых, представляющих собой траектории наклонной гидравлической струи при изменяющемся угле наклона оси насадка лафетного ствола ПР к горизонту в диапазоне от 10 до 80°, построенных для струи из ЛС с номинальным расходом 40 л/с и давлении 0,6 МПа, показан на рисунке 7 (сплошные линии, отмеченные сокращением «теор.»). На этом же рисунке приведены экспериментальные кривые (штриховые линии с маркерами), по которым можно судить о соответствии результатов теоретического расчета опытным данным.

При рассмотрении компактной части струи наблюдается совпадение в пределах погрешности ее теоретических и экспериментальных траекторий, что свидетельствует в пользу предположения о том, что сила трения, возникающая у поверхности струи, определяет полное сопротивление до момента перехода струи из компактной в раздробленную.

Чтобы рассчитать траекторию всей струи, в том числе и ее раздробленной части, необходимо учесть суммарное влияние факторов, связанных с ее разрушением. На основании экспериментальных данных для нахождения коэффициента полного

сопротивления получена корректирующая показательная функция, учитывающая его зависимость от угла наклона θ лафетного ствола к горизонту и времени t

$$k_{полн} = k \cdot \frac{e^{t^{b_1}}}{(\sin\theta)^{b_2}}, \qquad (12)$$

где b_1 и b_2 – показатели степени, определяемые экспериментально.

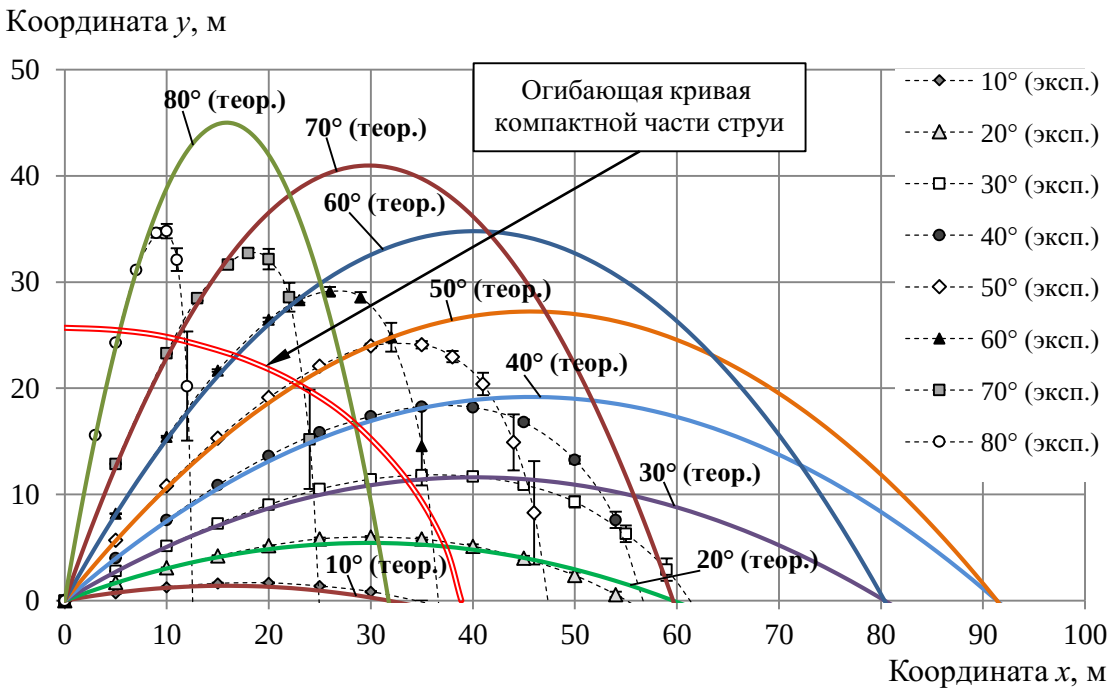

Рисунок 7. – Теоретические и экспериментальные траектории наклонной гидравлической струи

Установлено, что траектории гидравлической струи, полученные с помощью экспериментально-теоретического подхода (обозначены символами «э/т.» на рисунке 8), с высокой степенью точности совпадают с реальными кривыми (соответствующие штриховые линии с маркерами «эксп.»), так как максимальное отклонение по вертикальной координате не превышает 8 %.

Также следует отметить, что для углов наклона оси насадка лафетного ствола более 50° наибольшие отклонения по горизонтальной координате (до 20 % при угле 80°) наблюдаются на нисходящей части траектории струи. С учетом того, что гидравлические струи, выпущенные под углом свыше 60°, в основном, используются для тушения пожара на высоте либо орошения строительных конструкций, определяющим параметром траектории будет являться максимальная вертикальная координата, по которой будет оцениваться досягаемость заданной точки.

Таким образом, предлагаемая методика расчета вполне пригодна для практических целей и может быть использована при моделировании противопожарной защиты большепролетных, в том числе и высокопролетных, объектов устройствами пожаротушения, выполненных на базе лафетных стволов, роботизированных систем.

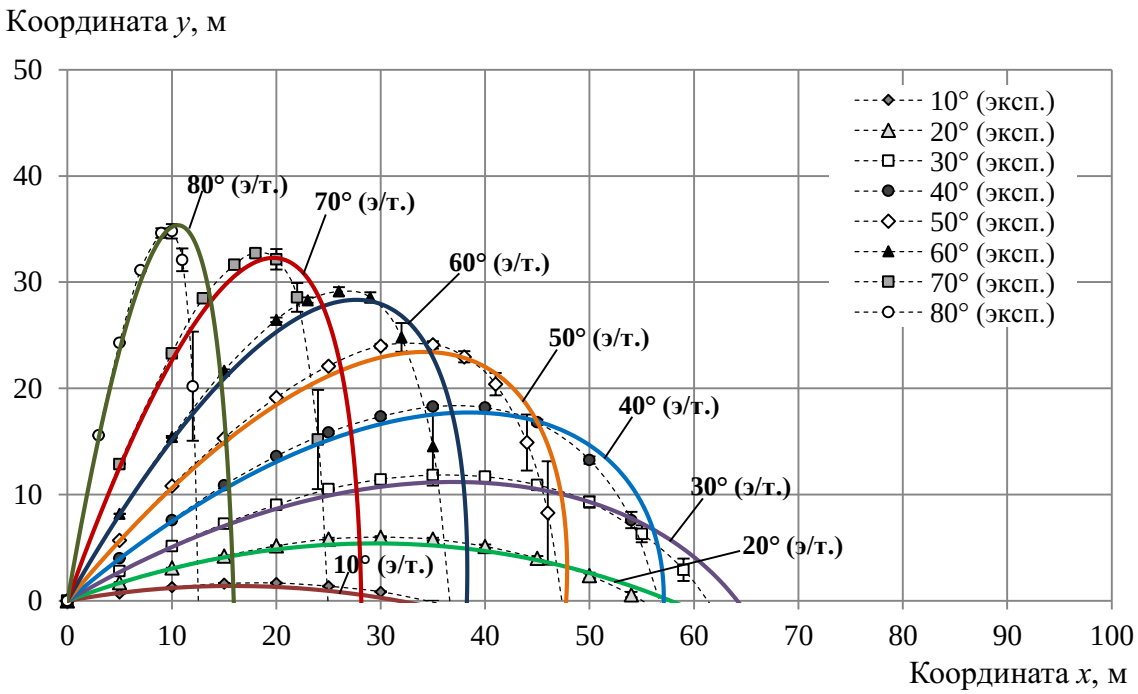

Рисунок 8. – Сравнение расчетных и экспериментальных траекторий струи

В четвертой главе рассмотрен вопрос оптимизации расстановки ПР с помощью метода «черного ящика» с учетом характерных для роботизированной системы пожаротушения факторов при выборе в роли параметра оптимизации минимально необходимого количества пожарных роботов, размещаемых на объекте. С практической точки зрения наиболее значимыми выходными данными в этом случае являются трехмерные координаты размещения пожарных роботов, которые будут использованы при проектировании всей системы пожарной безопасности.

Организация устройств пожаротушения роботизированных систем для обеспечения пожарной безопасности большепролетных объектов представляет собой сложную многостороннюю задачу. Для этой цели разработан алгоритм объемной расстановки пожарных роботов, который с целью упрощения процесса расчетов, а также для визуализации полученных результатов, реализован в виде программного обеспечения, позволяющий определять минимально необходимое число ПР и координаты их расположения при моделировании противопожарной защиты зданий и сооружений (рисунок 9). На рисунке 10 показан пример рабочего окна программы с результатами построения карты орошения.

Важной особенностью данного программного обеспечения является возможность задания любой конфигурации защищаемого объекта путем загрузки в качестве исходных данных его объемной модели, созданной в соответствующей программной среде для работы с трехмерной графикой.

Эффективность разработанного алгоритма подтверждается сравнительными расчетами, выполненными для реального проекта роботизированной системы пожаротушения, установленной в ангаре для самолетов. В результате был

получен такой вариант расстановки ПР, для которого их минимально необходимое общее количество было уменьшено на 18,2 % (потребовалось 18 пожарных роботов вместо 22 запланированных изначально).

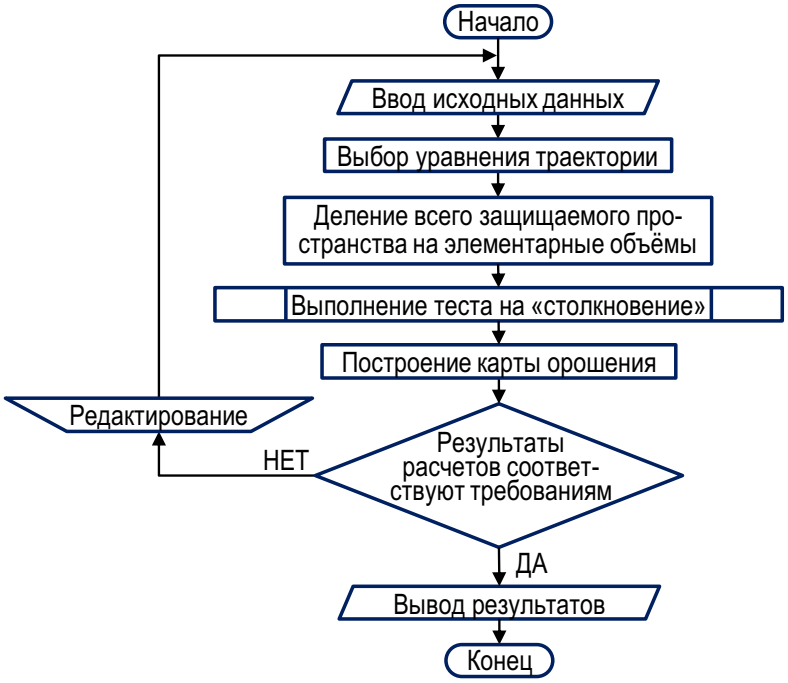

Рисунок 9. – Схема укрупненного алгоритма для реализации методики расстановки стационарных пожарных роботов на объекте

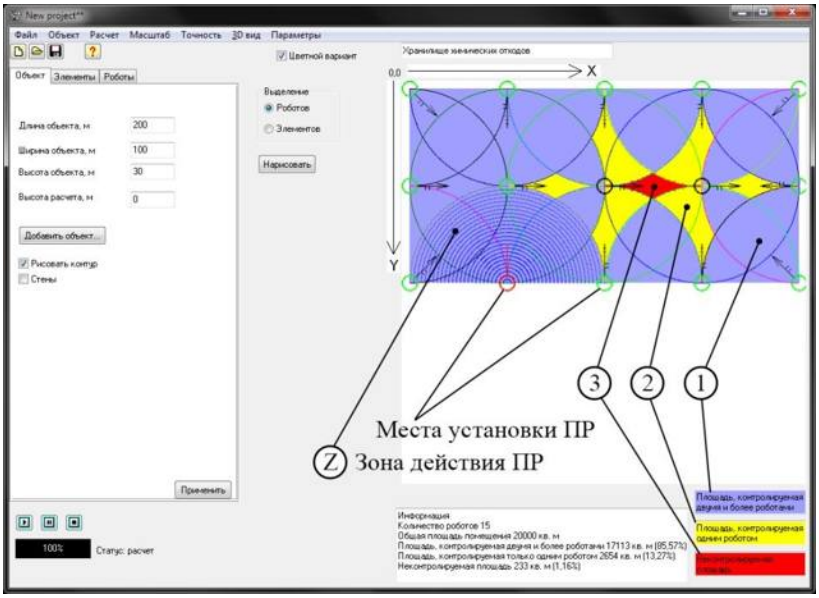

Рисунок 10. – Рабочее окно программы

Апробация работы алгоритма и программного обеспечения для расстановки устройств пожаротушения роботизированных систем выполнена на примере ряда большепролетных, в том числе и высокопролетных, объектов различного назначения: ледовом дворце спорта, ангаре-укрытии для воздушных судов и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. На основании проведенного теоретического анализа составлена программа определения расположения гидравлической струи и ограничивающих ее в вертикальной плоскости огибающих кривых с помощью фотосъемки, которая включает проведение испытаний, направленных на исследование закономерностей изменения геометрических характеристик струй, формируемых лафетными стволами пожарных роботов, обработку ряда изображений с зафиксированным положением пожарной струи и анализ полученных результатов. Осуществлено экспериментальное исследование изменения геометрических характеристик водяных струй, полученных для варьируемых рабочих параметров: давление у лафетного ствола ПР (0,4-0,8 МПа для ЛС с номинальным расходом 20 л/с; 0,4-0,8 МПа для ЛС с номинальным расходом 40 л/с; 0,6-1,0 МПа для ЛС с номинальным расходом 60 л/с); угол наклона насадка лафетного ствола к горизонту (диапазон от 10 до 90° с шагом 10°) [1, 8, 16].

В результате проведенных экспериментальных исследований получена зависимость для уточненного расчета корректирующего коэффициента β, используемого при определении радиуса действия раздробленной струи R_p в зависимости от его угла наклона θ' к горизонту и высоты вертикальной струи $H_в$, которая позволила в диапазоне изменения угла θ' от 0 до 30° снизить до 6 % расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями R_p, изначально достигавшее 23,6 %, что эквивалентно изменению радиуса R_p на величину более 7 м [8, 28].

2. Разработана методика расчета траектории компактной водяной струи, учитывающая возникающую силу трения на ее поверхности при движении струи в воздухе. Установлена зависимость изменения коэффициента трения k струи в воздухе от физических параметров среды: плотности ρ, динамической вязкости μ, скорости потока u и геометрических характеристик струи: радиуса поперечного сечения R, угла раскрытия γ и длины x, измеренной в осевом направлении. Показана практическая применимость найденных выражений на примере расчета траекторий компактной струи для случая ее формирования лафетным стволом пожарного робота с номинальным расходом 40 л/с при давлении 0,6 МПа [9].

3. Получены зависимости для расчета координат частиц наклонной гидравлической струи, расположенных на ее оси, скорректированные для участка раздробленной струи на основании экспериментальных данных. Показано, что для струи из ЛС с номинальным расходом 40 л/с и давлении 0,6 МПа максимальное отклонение по вертикальной координате не превышает 8 %. Для углов наклона к горизонту оси насадка лафетного ствола более 50° наибольшие отклонения по горизонтальной координате (до 20 % для угла 80°) наблюдаются на нисходящей части траектории струи [31].

4. Разработан алгоритм объемной расстановки устройств пожаротушения роботизированных систем, реализованный в виде программного обеспечения,

позволяющий определять минимально необходимое число роботизированных средств пожаротушения и координаты их размещения при моделировании противопожарной защиты большепролетных зданий и сооружений. Используемый в алгоритме подход к расстановке пожарных стационарных роботов предусматривает объемную оценку досягаемости каждой точки контролируемого пространства, учитывает трехмерное расположение струи огнетушащего вещества и наличие для нее различного рода препятствий (оборудования, транспорта, конструкций и т. п.). Эффективность разработанного алгоритма подтверждается сравнительными расчетами на примере реального проекта, по результатам которых удалось сократить минимально необходимое общее количество пожарных стационарных роботов в системе с 22 до 18, т. е. на 4 ПР (или на 18,2 %) при соблюдении всех предъявляемых требований к пожарной безопасности объекта. Апробация работы алгоритма и программного обеспечения для расстановки пожарных стационарных роботов выполнена на примере ряда большепролетных объектов различного назначения: ангаре-укрытии для воздушных судов, ледовом дворце спорта и др. [3-6, 12, 14, 15, 20-22, 24, 25, 27].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Результаты диссертационных исследований использованы при проектировании первой роботизированной системы пожаротушения в Республике Беларусь, созданной при капитальном ремонте Дворца легкой атлетики в г. Гомель (Акт о приеме роботизированной системы пожаротушения в эксплуатацию от 14.06.2007).

2. Алгоритм объемной расстановки устройств пожаротушения роботизированных систем для защиты большепролетных объектов, реализованный в виде программного обеспечения, использован при проектировании системы автоматического пожаротушения на объекте «Ангар-укрытие для воздушных судов в национальном аэропорту «Минск» (Акт внедрения результатов НИР в практическую деятельность от 04.10.2011).

3. Результаты исследования использованы при разработке технической документации при проектировании роботизированной системы пожаротушения на объекте «Строительство авиаремонтного завода на территории национального аэропорта «Минск», 2-я очередь строительства, 2-й пусковой комплекс» (Акт о практическом использовании результатов исследования от 14.10.2016).

4. Результаты диссертационных исследований могут быть использованы организациями, осуществляющими архитектурную, строительную и проектную деятельность на территории Республики Беларусь, при проектировании роботизированных систем пожаротушения для защиты строящихся и реконструируемых большепролетных объектов, а также иными организациями, деятельность которых связана с разработкой нормативной документации в области обеспечения пожарной безопасности.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Статьи в научных журналах и рецензируемых научных изданиях

1. Игнатов, А. В. Разработка автоматизированных систем пожаротушения на базе лафетных пожарных роботов / А. В. Игнатов, А. В. Потеха, В. Л. Потеха // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2006. – Т. 1, № 1. – С. 48–54.

2. Потеха, А. В. Пожарные роботы. Основные термины и определения / А. В. Потеха, В. Л. Потеха // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2007. – Т. 2, № 2. – С. 60–67.

3. Потеха, А. В. Программное обеспечение для решения задачи оптимального размещения роботизированных пожарных комплексов на одноуровневых объектах / А. В. Потеха // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2010. – № 2. – С. 109–117.

4. Потеха, А. В. Размещение роботизированных пожарных комплексов на одно- и многоэлементных одноуровневых объектах / А. В. Потеха, В. Л. Потеха // Пожежна безпека: теорія і практика: збірник наукових праць / АПБ ім. Героїв Чорнобиля ; ред. кол.: М. А. Кришталь (гол.) [та ін.]. – Черкаси, 2011. – № 8. – С. 80–87.

5. Потеха, А. В. Оптимизация размещения пожарных роботов на одно- и многоэлементных одноуровневых объектах / А. В. Потеха, В. Л. Потеха // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2011. – № 1. – С. 89–99.

6. Потеха А. В. 3D-моделирование процесса расстановки пожарных роботов в цехах по ремонту и обслуживанию автомобилей / А. В. Потеха, Н. Л. Мышковец, И. А. Пахомова, А. С. Синкевич // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2011. – № 2. – С. 21–27.

7. Потеха, В. Л. Роботизированные системы пожаротушения в Республике Беларусь / В. Л. Потеха, А. В. Потеха, Г. Н. Здор // Пожежна безпека: теорія і практика: збірник наукових праць / АПБ ім. Героїв Чорнобиля ; ред. кол.: М. А. Кришталь (гол.) [та ін.]. – Черкаси, 2013. – № 13. – С. 106–115.

8. Здор, Г. Н. Уточнение зависимостей для построения огибающих кривых компактной и раздробленной гидравлических струй лафетных стволов пожарных роботов / Г. Н. Здор, А. В. Потеха // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серия 6. Техника. – 2015. – № 2. – С. 68–77.

9. Здор, Г. Н. Определение траектории наклонной гидравлической струи с учетом действия силы трения, возникающей на ее поверхности / Г. Н. Здор, А. В. Потеха // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Серия 6. Техника. – 2016. – № 2. – С. 88–97.

10. Потеха, А. В. Определение экспериментальных траекторий и других геометрических характеристик пожарных струй с помощью фотосъемки / А. В. Потеха, А. И. Ковалев, А. В. Грушовинчук // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – 2017. – № 1. – С. 138–149.

Материалы и доклады конференций

11. Потеха, А. В. Методологический подход к трактовке терминов и определений роботизированных систем пожаротушения / А. В. Потеха, В. Л. Потеха // Системы безопасности – СБ-2009 : материалы 18-ой Междунар. науч.-техн. конф., Москва, 29 окт. 2009 г. / Академия ГПС МЧС России ; редкол.: Н. Г. Топольский [и др.]. – Москва, 2009. – С. 125–128.

12. Потеха, А. В. Оптимизация размещения пожарных роботов на одноуровневых объектах / А. В. Потеха // Актуальні проблеми технічих та природничих наук у забеспеченні цивільного захисту : матеріали III Міжнар. наук.-практ. конф., Черкаси, 6–7 квітня 2010 р. / АПБ ім. Героїв Чорнобиля ; ред.: О. М. Моргун [та ін.]. – Черкаси, 2010. – С. 134–137.

13. Потеха, А. В. Оптимизация размещения пожарных роботов на объектах автотранспортного комплекса / А. В. Потеха, И. А. Пахомова, А. С. Синкевич // Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса : материалы I Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ., Магадан, 29–30 нояб. 2010 г. / М-во образ. и науки РФ, Северо-Восточ. гос. ун-т ; ред.: И. А. Якубович [и др.]. – Магадан, 2011. – С. 274–277.

14. Потеха, В. Л. Роботизированные комплексы для стационарных систем пожарной безопасности объектов культурно-спортивного назначения и реального сектора экономики / В. Л. Потеха, И. А. Пахомова, А. В. Потеха // Безопасность в чрезвычайных ситуациях : материалы III Всерос. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 27–29 апр. 2011 г. / С.-Петерб. гос. политех. ун-т ; редкол.: В. И. Гуменюк (науч. ред.) [и др.]. – СПб., 2011. – С. 17–23.

15. Потеха, А. В. Техническая и экономическая эффективность нового метода расстановки пожарных роботов на объекте / А. В. Потеха // Роботизированные системы пожаротушения : материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 25–26 сент. 2014 г. / М-во образ. Респ. Беларусь, Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: В. Л. Потеха [и др.]. – Гродно, 2014. – С. 151–161.

Тезисы докладов

16. Игнатов, А. В. Перспективы использования стволов пожарных лафетных при разработке роботизированных систем пожаротушения / А. В. Игнатов, А. В. Потеха // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 27-28 сент. 2006 г. / М-во по чрезвычайн. ситуациям Респ. Беларусь, Гомел. инженер. ин-т ; редкол.: В. Л. Потеха (науч. ред.) [и др.]. – Гомель, 2006. – С. 260–262.

17. Игнатов, А. В. Разработка систем пожаротушения на базе лафетных пожарных роботов с программным управлением / А. В. Игнатов, А. В. Потеха // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 27-28 сент. 2006 г. / М-во по чрезвычайн. ситуациям Респ. Беларусь, Гомел. инженер. ин-т ; редкол.: В. Л. Потеха (науч. ред.) [и др.]. – Гомель, 2006. – С. 262–264.

18. Потеха, А. В. Автоматическая защита объектов при помощи пожарных роботов / А. В. Потеха // Актуальні проблеми наглядово-профілактичної

діяльності МНС України: материали наук.-техн. конф., Харьків, 21 груд. 2006 р. / Ун-т цивільн. захисту України ; редкол.: В. П. Садковий [та ін.]. – Харьків, 2006. – С. 30–32.

19. Потеха, А. В. Совершенствование представлений о структурно-функциональной модели пожарного робота / А. В. Потеха // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. курсантов и слушателей, Минск, 3–5 окт. 2007 г. : тез. докл. / М-во по чрезвычайн. ситуациям Респ. Беларусь, Команд.-инженер. ин-т ; ред.: Е. В. Кореневская. – Минск, 2007. – С. 272–274.

20. Потеха, В. Л. Роботы в системах пожарной безопасности объектов автотранспортного комплекса / В. Л. Потеха, А. В. Потеха // Проблемы безопасности на транспорте : материалы V Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–26 нояб. 2010 г. / Белорус. гос. ун-т транспорта ; ред.: В. И. Сенько [и др.]. – Гомель, 2010. – С. 74–75.

21. Потеха, А. В. Перспективы использования пожарных роботов в автотранспортном комплексе / А. В. Потеха, В. Л. Потеха, И. А. Пахомова // Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса : материалы I Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участ., Магадан, 29–30 нояб. 2010 г. / М-во образ. и науки РФ, Северо-Восточ. гос. ун-т ; ред.: И. А. Якубович [и др.]. – Магадан, 2011. – С. 272–274.

22. Потеха, А. В. Сравнительная оценка эффективности технологий размещения пожарных роботов на объектах / А. В. Потеха // Актуальні проблеми технічних та природничих наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту : V Міжнар. наук.-практ. конф., Черкаси, 5–6 квітня 2012 р. : тези допов. / АПБ ім. Героїв Чорнобиля ; ред.: О. М. Моргун [та ін.]. – Черкаси, 2012. – С. 43–44.

23. Потеха, А. В. Методика оптимального размещения пожарных роботов на сложных объектах экономики и культурно-социальной сферы / А. В. Потеха // Актуальні проблеми технічних та природничих наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту : IV Міжнар. наук.-практ. конф., Черкаси, 7–8 квітня 2011 р. : тези допов. / АПБ ім. Героїв Чорнобиля ; ред.: О. М. Моргун [та ін.]. – Черкаси, 2011. – С. 80–81.

24. Потеха, А. В. Решение задачи размещения пожарных роботов в ангарах-укрытиях для воздушных судов / А. В. Потеха // Актуальні проблеми технічних та природничих наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту : V Міжнар. наук.-практ. конф., Черкаси, 5–6 квітня 2012 р. : тези допов. / АПБ ім. Героїв Чорнобиля ; ред.: О. М. Моргун [та ін.]. – Черкаси, 2012. – С. 41–42.

25. Потеха, А. В. Сравнение эффективности вариантов методик размещения пожарных роботов на объектах / А. В. Потеха // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 24–25 мая 2012 г. : в 2 ч. / М-во по чрезвычайн. ситуациям Респ. Беларусь, Гомел. инженер. ин-т ; редкол.: И. И. Суторьма (науч. ред.) [и др.]. – Гомель, 2012. – Ч. 1. – С. 107–109.

26. Потеха А. В. Методика моделирования траектории струи огнетушащего вещества при пожаротушении / А. В. Потеха, А. В. Леванович, А. И. Рыбачок // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов), Минск, 4–5 апр. 2013 г. : в 2 ч. / М-во по чрезвычайн. ситуациям Респ. Беларусь, Команд.-инженер. ин-т ; ред.: Е. А. Петрико [и др.]. – Минск, 2013. – Ч. 1. – С. 185–186.

27. Здор, Г. Н. Программное обеспечение для оптимального размещения пожарных роботов на объектах / Г. Н. Здор, А. В. Потеха, З. М. Гадецкая, А. Г. Баракин // Автоматизация и роботизация процессов и производств : материалы республикан. науч.-практ. семин., Минск, 13 фев. 2014 г. / Гос. ком. по науке и технол., Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Ф. И. Пантелеенко (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2014. – С. 27–29.

28. Потеха, А. В. Расчетно-экспериментальное уточнение зависимостей, используемых при расчёте параметров гидравлических струй для целей пожаротушения / А. В. Потеха // Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій : матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф., Черкаси, 12–13 груд. 2014 р. / ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України ; ред.: А. О. Майборода. – Черкаси, 2014. – С. 196–197.

29. Потеха, А. В. Методика расстановки пожарных стационарных роботов на объектах / А. В. Потеха // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 19–20 мая 2016 г. / М-во по чрезвычайн. ситуациям Респ. Беларусь, Гомел. инженер. ин-т ; редкол.: А. Э. Набатова (науч. ред.) [и др.]. – Гомель, 2016. – С. 246–248.

30. Потеха, А. В. Усовершенствованная методика гидравлических испытаний лафетных стволов пожарных роботов / А. В. Потеха // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 19–20 мая 2016 г. / М-во по чрезвычайн. ситуациям Респ. Беларусь, Гомел. инженер. ин-т ; редкол.: А. Э. Набатова (науч. ред.) [и др.]. – Гомель, 2016. – С. 248–249.

31. Здор, Г. Н. Определение координат траектории наклонной гидравлической струи на основании экспериментальных и теоретических исследований / Г. Н. Здор, А. В. Потеха // Надзвичайні ситуації: безпека та захист : матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф., Черкаси, 21–22 жов. 2016 р. / ЧІПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України ; редкол.: В. П. Садковий [и др.]. – Черкаси, 2016. – С. 107–109.

Свидетельства о регистрации программ

32. Свидетельство о регистрации компьютерной программы № 916. Программа SFR-04 / А. В. Потеха. – Дата внес. записи в Реестр зарег. программ : 16.11.2016.

РЭЗЮМЭ

Пацеха Аляксей Валянцінавіч

Арганізацыя прылад пажаратушэння рабатызаваных сістэм
на аснове разліку траекторыі гідраўлічных бруй

Ключавыя словы: рабатызаваная сістэма, прылады пажаратушэння, аб'емная расстаноўка, стацыянарны пажарны робат, геаметрычныя характарыстыкі гідраўлічнай бруі, вялікапралетныя будынкі і збудаванні.

Мэта работы – арганізацыя прылад пажаратушэння рабатызаваных сістэм, якія ўжываюцца для забеспячэння пажарнай бяспекі вялікапралетных будынкаў і збудаванняў, на падставе разліку траекторыі гідраўлічных бруй.

Метады даследавання і выкарыстаная апаратура. Агульная канцэпцыя працы прадугледжвала спалучэнне тэарэтычных і эксперыментальных метадаў, якія ўключаюць правядзенне натурнага эксперыменту, метадаў эмпірычнага аналізу, статыстычнай апрацоўкі дадзеных і камп'ютэрнага мадэлявання. Для эксперыментальных даследаванняў і апрацоўкі вынікаў выкарыстоўваліся лафетныя ствалы пажарных робатаў, якія ўсталёўваюцца на апоры з манометрам, пажарныя напорныя рукавы, фотаапарат і персанальны кампутар у спалучэнні з матэматычнымі метадамі апрацоўкі даследчых дадзеных.

Атрыманыя вынікі, іх навізна. Атрыманыя дадзеныя пра залежнасць геаметрычных характарыстык вадзяных бруй (траекторыі і максімальная далёкасць нахільных бруй, вышыні вертыкальных кампактнай і раздробненай бруй, а таксама радыус дзеяння раздробненай бруі), якія фарміруюцца лафетнымі стваламі прылад пажаратушэння рабатызаваных сістэм, ад змены ціску і вугла нахілу восі насадка ствала да гарызонта. На падставе тэарэтычных і эмпірычных дадзеных вызначаныя аналітычныя выразы для разліку траекторый нахільных вадзяных бруй, што фарміруюцца лафетнымі стваламі пажарных робатаў, з улікам каэфіцыента трэння на паверхні бруі і каэфіцыента поўнага супраціўлення, а таксама ўдакладненыя залежнасці для разліку радыуса дзеяння раздробненай бруі. Распрацаваны алгарытм аб'емнай расстаноўкі прылад пажаратушэння рабатызаваных сістэм рэалізаваны ў выглядзе эксперыментальна апрабаванага пры мадэляванні супрацьпажарнай абароны вялікапралетных будынкаў і збудаванняў праграмнага забеспячэння.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Вынікі дысертацыйных даследаванняў могуць быць выкарыстаны пры праектаванні рабатызаваных сістэм пажаратушэння для абароны вялікапралетных будынкаў і збудаванняў, у праграмах навучання студэнтаў вышэйшых навучальных устаноў, а таксама дзейнасці навукова-практычных арганізацый МНС Рэспублікі Беларусь.

Галіна выкарыстання. Арганізацыі, якія ажыццяўляюць архітэктурную, будаўнічую і праектную дзейнасць, органы і падраздзяленні па надзвычайных сітуацыях, навукова-даследчыя арганізацыі, установы вышэйшай адукацыі.

РЕЗЮМЕ

Потеха Алексей Валентинович
Организация устройств пожаротушения роботизированных систем
на основе расчета траектории гидравлических струй

Ключевые слова: роботизированная система, устройства пожаротушения, объемная расстановка, стационарный пожарный робот, геометрические характеристики гидравлической струи, большепролетные здания и сооружения.

Цель работы – организация устройств пожаротушения роботизированных систем, применяемых для обеспечения пожарной безопасности большепролетных зданий и сооружений, на основании расчета траектории гидравлических струй.

Методы исследования и использованная аппаратура. Общая концепция работы предусматривала сочетание теоретических и экспериментальных методов, включающих проведение натурного эксперимента, методов эмпирического анализа, статистической обработки данных и компьютерного моделирования. Для экспериментальных исследований и обработки результатов использовались лафетные стволы пожарных роботов, устанавливаемые на опоре с манометром, пожарные напорные рукава, фотоаппарат и персональный компьютер в сочетании с математическими методами обработки опытных данных.

Полученные результаты, их новизна. Получены данные о зависимости геометрических характеристик водяных струй (траектории и максимальная дальность наклонных струй, высоты вертикальных компактной и раздробленной струй, а также радиус действия раздробленной струи), формируемых лафетными стволами устройств пожаротушения роботизированных систем, от изменения давления и угла наклона оси насадка ствола к горизонту. На основании теоретических и эмпирических данных определены аналитические выражения для расчета траекторий наклонных водяных струй, формируемых лафетными стволами пожарных роботов, с учетом коэффициента трения на поверхности струи и коэффициента полного сопротивления, а также уточнены зависимости для расчета радиуса действия раздробленной струи. Разработан алгоритм объемной расстановки устройств пожаротушения роботизированных систем, реализованный в виде программного обеспечения, который экспериментально апробирован при моделировании противопожарной защиты большепролетных зданий и сооружений.

Рекомендации по использованию. Результаты диссертационных исследований могут быть использованы при проектировании роботизированных систем пожаротушения для защиты большепролетных зданий и сооружений, в программах обучения студентов высших учебных заведений, а также деятельности научно-практических организаций МЧС Республики Беларусь.

Область применения. Организации, осуществляющие архитектурную, строительную и проектную деятельность, органы и подразделения по чрезвычайным ситуациям, научно-исследовательские организации, учреждения высшего образования.

SUMMARY

Potekha Aleksei
Organization of fire extinguishing devices for robotic systems
based on the calculation of the hydraulic jets trajectory

Keywords: robotic system, fire extinguishing devices, volumetric arrangement, fixed fire robots, geometric hydraulic jet parameters, large-span buildings and structures.

Aim of the research – the organization of fire extinguishing devices for robotic systems used to ensure fire safety of large-span buildings and structures based on the calculation of the hydraulic jets trajectory.

Methods of analysis and used equipment. The general concept of the research included a combination of theoretical and experimental methods, including full-scale experiment, empirical analysis, statistical data processing and computer simulation. For experimental research and results processing fire robots monitors mounted on a support with a manometer, fire pressure hoses, a camera and a personal computer combined with the mathematical methods of experimental data processing were used.

Obtained results and their novelty. The data on the dependence of water jets that are generated by fire extinguishing devices monitors of robotic systems geometric characteristics (trajectories and maximum range of inclined jets, the height of vertical compact and fragmented jets, as well as the radius of action of the fragmented jet) on the pressure change and the angle of inclination of the fire monitor nozzle axis to the horizon are obtained. Analytical expressions for calculating the trajectories of inclined water jets formed by fire robots monitors with consideration for the friction coefficient on the jet surface and the total resistance coefficient and the expressions for calculating the radius of action of the fragmented jet are refined on the basis of the theoretical and empirical data. An algorithm for the volumetric arrangement of fire extinguishing devices for robotic systems was developed and implemented in the form of software that has been experimentally tested in the fire protection modeling of large-span buildings and structures.

Recommendation for use. The results of dissertation research can be used in the design of robotic fire-fighting systems to protect large-span buildings and structures, in the training programs for students in higher education, as well as at the research and practice organizations of Ministry of Emergency Situations of Belarus.

Field of application. Organizations that conduct activities in architecture, construction and design, the bodies and departments of emergencies, research organizations, higher education establishments.

Научное издание

Потеха Алексей Валентинович

ОРГАНИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА ТРАЕКТОРИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СТРУЙ

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

Подписано в печать 17.11.2017 Формат 60x84 1/16 Бумага офсетная
Гарнитура Roman Печать цифровая Усл.печ.л. 1,3 Уч.изд.л. 1,4
Тираж 60 экз. Заказ № 2505
ИООО «Право и экономика» 220072 Минск Сурганова 1, корп. 2
Тел. 284 18 66, 8 029 684 18 66
E-mail: pravo-v@tut.by; pravo642@gmail.com Отпечатано на издательской системе
KONICA MINOLTA в ИООО «Право и экономика»
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий, выданное
Министерством информации Республики Беларусь 17 февраля 2014 г.
в качестве издателя печатных изданий за № 1/185