

На правах рукописи

УДК 614.842

ЖУЙКОВ Денис Анатольевич

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОЖАРОТУШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СТВОЛОВОЙ УСТАНОВКИ КОНТЕЙНЕРНОЙ ДОСТАВКИ
ОГNETУШАЩИХ ВЕЩЕСТВ НА УДАЛЕННОЕ РАССТОЯНИЕ

Специальность: 05.26.03. - Пожарная и промышленная безопасность
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2007

Работа выполнена в Тольяттинском государственном университете

Научный
руководитель: доктор технических наук, профессор
Царёв Анатолий Михайлович.

Официальные
оппоненты: доктор технических наук, профессор
Переездчиков Игорь Васильевич,
кандидат технических наук,
Рожков Алексей Владимирович.

Ведущее предприятие: ОАО «Тольяттиазот», г. Тольятти.

Защита состоится «31» октября 2007 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д212.141.16 в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, Лефортовская набережная, дом 1, факультет энергоснабжения.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просьба направлять по указанному адресу в диссертационный совет.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного университета им. Н.Э. Баумана.

Телефон для справок (495) 263-69-67.

Автореферат разослан «28» сентября 2007 г.

Учёный секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Глухов С. Д.

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. На вооружении противопожарных подразделений России стоит техника, которая не достаточно эффективна при тушении сложных пожаров и не решает проблему доставки современных эффективных огнетушащих составов (аэрозолеобразующих составов (АОС), порошковых огнетушащих составов (ПОС), экологически чистых хладонов, твердой двуокиси углерода и металлоорганических соединений) на удаленное, более 100 м расстояние.

Кроме того, обстановка с пожарами в Российской Федерации постоянно усложняется. Несмотря на незначительное снижение количества пожаров (в среднем на 4,2 % в год), материальный ущерб от пожаров постоянно возрастает в течение пяти последних лет, каждый год в среднем на 23,6 %. В результате пожаров ежегодно гибнет около 19000 человек гражданского персонала, среди них 24 работника противопожарных подразделений.

Поэтому в настоящее время остро стоит проблема совершенствования существующего парка пожарной техники, создания технических средств пожаротушения новых поколений. К числу перспективных технических средств пожаротушения относятся установки пожаротушения стволовые (УПС), такие как: контейнерной доставки огнетушащих веществ (УПСКД) и телескопические (УПСТ).

УПСКД являются принципиально новыми техническими средствами пожаротушения, их исследование и разработка актуальна для развития современных методов пожаротушения.

Использование УПСКД позволит эффективно решать задачи удаленной, более 100 м доставки различных огнетушащих веществ (ОТВ) и составов методом метания в контейнерах при тушении сложных пожаров на особо опасных объектах, обеспечивая при этом безопасность личного состава противопожарных подразделений.

Цель работы – повышение эффективности тушения сложных пожаров на основе разработки метода пожаротушения с применением установки пожаротушения контейнерной доставки огнетушащих веществ на удаленное, более 100 метров, расстояние.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи диссертационного исследования:

1. Разработать и обосновать принципиально новый метод пожаротушения, обеспечивающий метание и доставку огнетушащих веществ в контейнерах с применением УПСКД.

2. Исследовать механику полета контейнеров для доставки огнетушащего вещества на удаленное расстояние. Разработать основные положения внешней баллистики метода метания ОТВ в контейнерах. Разработать компьютерную программу моделирования метода метания.

3. Исследовать основные процессы, возникающие при попадании контейнеров, начиненных перспективными огнетушащими веществами, в очаг пожара. Разработать и предложить методику расчета необходимого количества контейнеров для эффективного применения УПСКД.

4. Разработать типы и устройства контейнеров с применением различных огнетушащих веществ.

5. Провести экспериментальные исследования, подтверждающие разработанные положения внешней баллистики движения контейнеров с обеспечением дальности полета более 100 м.

6. Провести экспериментальные исследования, подтверждающие полученные аналитические зависимости огнетушащей эффективности контейнеров, начиненных порошковыми огнетушащими составами.

Объект исследования - контейнеры с огнетушащими веществами, установки пожаротушения стволовые контейнерной доставки огнетушащих веществ.

Предмет исследования – контейнерный метод пожаротушения, метод метания огнетушащих веществ в контейнерах и доставка контейнеров на удаленное расстояние с применением УПСКД.

Методы исследований. Теоретические и экспериментальные исследования выполнены с использованием методов анализа и синтеза технических систем; статистического моделирования; математического моделирования физических процессов с использованием пакетов MathCad, Excel, Turbo-Pascal; методов расчета полета тел, прекращения горения; методов физического, материального моделирования; экспериментальных модельных исследований механики полета контейнеров и их огнетушащей эффективности; фотографических методов исследования быстропротекающих процессов. Работа включает в себя теоретические исследования на основе теорий внешней баллистики; движения частиц в газах; прекращения горения; планирования эксперимента.

Научная новизна работы.

1. Разработаны теоретические основы контейнерного метода пожаротушения с применением УПСКД на расстояние более 100 метров.

2. Разработаны основные положения внешней баллистики контейнеров доставки огнетушащего вещества на удаленное расстояние. Разработана компьютерная программа моделирования метода метания ОТВ в контейнерах.

3. Разработаны принципы проектирования конструкций однокомпонентных и многокомпонентных контейнеров для доставки различных видов ОТВ повышенной эффективности и тушения пожаров классов А, В, С. Изготовлен и испытан комплект экспериментальных контейнеров в виде капсул.

4. В результате теоретических и экспериментальных исследований определена огнетушащая эффективность контейнеров, начиненных ПОС, с применением УПСКД при тушении пожаров классов А, В, С.

5. Разработана методика проведения экспериментальных исследований и испытаний УПСКД. Разработан и создан опытно-экспериментальный стенд и опытно-экспериментальная установка с условным диаметром ствола 30 мм. Проведены экспериментальные исследования и натурные испытания установки УПСКД на полигоне, подтверждающие высокую эффективность доставки контейнеров.

6. Разработана методика проведения экспериментальных исследований

контейнеров, начиненных ПОС. Разработана опытно-экспериментальная камера проведения экспериментальных исследований и определения эффективности тушения контейнерами, начиненными ПОС.

Все результаты диссертационной работы были получены автором лично или при его участии.

Достоверность результатов работы. Исследования полета контейнеров подтверждаются теоретическими и экспериментальными исследованиями внешней баллистики при метании контейнеров на удаленное расстояние. Достоверность результатов исследований огнетушащей эффективности контейнеров подтверждается проведением экспериментальных исследований. При сопоставлении аналитических расчетов и результатов экспериментов погрешность расчетов составила 2 - 3%.

Практическая ценность работы.

1. Разработаны основы контейнерного метода пожаротушения с использованием УПСКД, обеспечивающего высокую эффективность тушения сложных пожаров на удаленном расстоянии.

2. Разработанная математическая модель метания и внешней баллистики полета контейнера и компьютерная модель метода метания контейнеров с огнетушащим веществом позволяют провести расчеты и применять их для практического определения траектории и дальности полета контейнеров.

3. Разработанные математические модели позволяют рассчитать эффективность применения контейнеров, начиненных ПОС, АОС, хладонами.

4. Методики проведения стендовых испытаний по исследованию метода метания ОТВ в контейнерах и экспериментальных исследований эффективности тушения порошковыми составами в капсулах УПСКД позволяют определить основные характеристики метода метания ОТВ в контейнерах.

5. Результаты теоретических и экспериментальных исследований метода метания ОТВ в контейнерах позволяют осуществлять выбор их конструктивного исполнения.

6. Разработаны конструкции однокомпонентных и многокомпонентных контейнеров для тушения пожаров классов А, В, С.

7. Положения метода пожаротушения могут быть применены для тушения пожаров на таких видах объектов как: объекты нефте – газового комплекса; леса; склады и хранилища заводов и предприятий с горючими, отравляющими, химически опасными и взрывоопасными веществами и другие.

Реализация результатов работы. Настоящая работа выполнена в соответствии с проводимой НИР при содействии РФФИ «Исследования воздушно-вихревого и жидкостно-вихревого эффекта в автоматических установках пожаротушения стволового типа контейнерной (беспатронной) доставки огнетушащих веществ, исследования динамики движения в стволе и полета контейнеров в виде капсул на удаленном расстоянии до очага пожара для локализации и ликвидации сложных и особо сложных пожаров» (тема 05-01-96504), и НИР «Исследование высокоэффективных установок пожаротушения стволового типа с контейнерной доставкой ОТВ на объектах МО РФ (ГРАУ)» (шифр «Ствол»), выполняемой при содействии Минобороны РФ.

Разработаны и предложены рекомендации по применению УПСКД на объектах промышленного, гражданского и военного назначения.

Материалы диссертации использованы так же в учебном процессе в Тольяттинском военном техническом институте на кафедре «Пожарно-профилактических дисциплин», в дипломном проектировании и в лекционном курсе по дисциплине «Производственная и пожарная автоматика».

Апробация работы. Основные положения диссертационного исследования обсуждались на международных и всероссийских научно-практических конференциях: 2-й Научно-практической конференции «Развитие вуза через развитие науки», ТфВИТУ в 2004 г.; 1-й Международной конференции «Безопасность. Технологии. Управление», ТГУ в 2005 г.; 3-й и 4-й Межвузовской научно-практической конференции «Развитие вуза через развитие науки», ТВТИ в 2005 и 2006 гг.; 2-й Международной научно-технической конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов ЕЛРПТ», ТГУ в 2005 и 2007 гг.; 2-й Международной научно-технической конференции «Образование и наука без границ-2005», в 2005 г.; заседании руководящего состава в/ч 42685 в 2006 г.

Публикации. По результатам диссертационной работы опубликовано печатных статей 14, в том числе 2 в журналах, рекомендуемых ВАК; получено положительное решение на выдачу патента согласно поданной заявки; подготовлены 2 отчета по НИР.

На защиту выносятся:

- контейнерный метод пожаротушения с применением УПСКД;
- математическая модель метания и внешней баллистики полета контейнера; прикладная программа моделирования метода метания контейнеров с огнетушащим веществом для использования на ЭВМ;
- математические модели расчета огнетушащей эффективности контейнеров, начиненных порошковыми, аэрозолеобразующими составами, хладонами;
- методика проведения стендовых испытаний по исследованию процесса метания ОТВ в контейнерах;
- методика проведения экспериментальных исследований эффективности тушения порошковыми составами в капсулах;
- результаты экспериментальных исследований дальности и траектории полета контейнеров при метании с помощью опытно-экспериментального стенда УПСКД;
- результаты экспериментальных исследований эффективности тушения контейнеров УПСКД, начиненных порошковыми огнетушащими составами.

Объем и структура диссертации. Материал диссертации изложен на 187 страницах машинописного текста, в том числе 15 таблиц, 51 рисунок, список литературы из 140 наименований. Диссертация состоит из введения, 5-ти глав, заключения, 10-ти приложений.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определены цель и задачи исследования, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертационной работы проведен анализ существующих методов и технических средств тушения сложных и особо сложных пожаров. Определены пути решения проблем повышения эффективности тушения пожаров с применением методов и установок пожаротушения контейнерной доставки ОТВ на удаленное расстояние.

В результате аналитических исследований существующих методов и технических средств доставки ОТВ разработана их классификация по признакам исполнения, рис. 1.

Технические средства доставки огнетушащих веществ по признакам исполнения					
по мобильности	по степени автоматизации	по виду ОТВ	по способу подачи ОТВ	по виду привода	по дальности подачи ОТВ
- стационарные	- ручные	- водяные	- без использования пороховых зарядов	- ручной	- дальней (более 250 м)
- носимые	- полуавтоматические	- водо-пенные	- с использованием пороховых зарядов, твердых и жидких топлив	- механический	- удаленной (более 100 м)
- возимые	- автоматические	- порошковые		- гидравлический	- малой (менее 100 м)
	- автоматические	- газовые		- пневматический	
	- роботизированные	- бромэтиловые		- пневмогидравлический	
		- аэрозольные		- электрический	
		- комбинированные			

Рис. 1. Классификация технических средств доставки огнетушащих веществ по признакам исполнения

Технические средства характеризуются методами доставки и дальностью доставки огнетушащего вещества, каждый из методов работает в соответствующем диапазоне дальности доставки огнетушащих веществ. Расстояние доставки до 100 м рассматривается как ближнее, удаленное - от 100 до 250 метров, дальнее – более 250 м.

Исследования и разработки в области пожаротушения, в основном, решают задачи доставки на ближние (до 100 м) расстояния. Известны работы Курпина Г.Н., Корольченко Д.А., Безбородько М.Д., Брук А.В. Созданию и применению УПС посвящены работы Царева А.М. (УПСКД, УПСТ), Колпина Н.Г. (УПСТ). Обеспечению безопасности жизнедеятельности посвящены работы ученых МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Выявлено, что каждый из методов обеспечивает доставку ограниченного количества видов огнетушащих веществ. Кроме того, не все технические средства и методы обеспечивают возможность тушения с удаленного, более 100 м, расстояния известными, наиболее эффективными огнетушащими веществами, рис. 2.

Огнетушащие вещества	Технические средства, не использующие пороховые заряды			Технические средства, использующие пороха, твердые и жидкие топлива		
	Поточный метод	Контейнерный метод	Бомбовый метод	Метод бросания	Импульсный метод	Снарядный метод
Вода	+	+	+	-	+	+
Пена	+	-	-	-	-	-
Газ	+	+	+	+	-	+
ПОС	+	+	+	+	+	+
Хладон	-	+	-	+	+	+
АОС	-	+	-	+	-	+

Рис. 2. Классификация методов доставки в зависимости от применяемых огнетушащих веществ

Определено, что наиболее широкое применение нашли технические средства и методы, не использующие пороховые заряды для доставки огнетушащих

веществ, однако дальность доставки ОТВ данными техническими средствами не превышает 100 м, рис. 3.

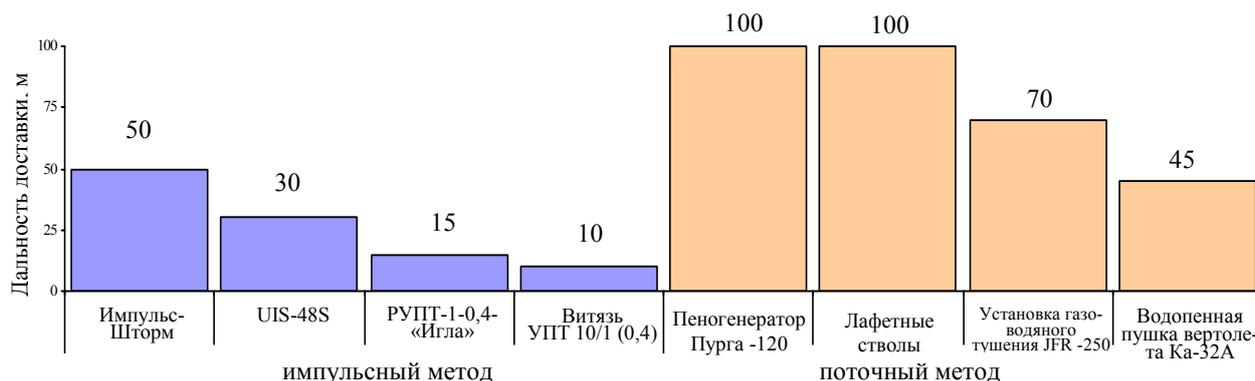


Рис. 3. Максимальная дальность доставки огнетушащего вещества техническими средствами

Наряду с существующими техническими средствами и методами доставки ОТВ на ближнее, до 100 м, расстояние, рассматриваются установки пожаротушения стволовые (УПС), которые подразделяются на телескопические (УПСТ) и контейнерной доставки (УПСКД). Данный класс технических устройств предназначен для наземного расположения и способен тушить пожары с удаленного расстояния - до 250 метров. Метод контейнерной доставки ОТВ при помощи УПСКД не относится к патронно – снарядным способам стрельбы или доставки с пороховыми или иными зарядами, он также не относится к известным импульсным методам. Сложное движение контейнера и его устойчивость полета достигается методом разгона с образованием воздушно – вихревых потоков внутри стволовой части УПСКД, рис. 4. Кроме того, исследуемая установка обеспечивает высокопроизводительную непрерывную подачу ОТВ в контейнерах, которые при попадании в очаг пожара выбрасывают огнетушащее вещество, прекращающее процесс горения.

Основные технические характеристики и исполнения УПСКД: мобильные и стационарные; максимальный угол поворота ствола в горизонтальной плоскости – до 180° ; поворот ствола в вертикальной плоскости: до 90° выше и до 45° ниже относительно горизонтального положения оси ствола; ствол размещен на поворотной стойке и платформе; режимы управления: автоматический, дистанционный на удаленном расстоянии от места расположения охраняемого объекта, режим ручного наведения.

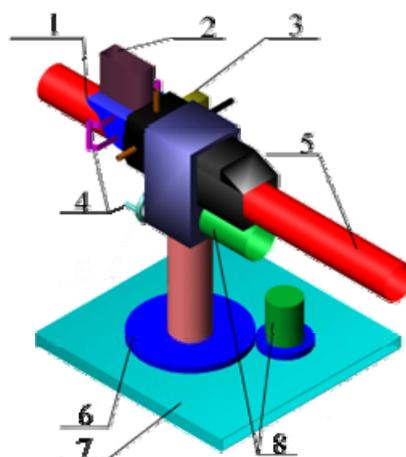


Рис. 4. Общая схема исполнения УПСКД
1 - подающий механизм; 2 – магазин контейнеров; 3 – коллектор; 4 – механизм ручного управления; 5 – ствол; 6 – поворотная платформа; 7 – опора; 8 – управляемые электроприводы и автоматические устройства позиционирования

В результате системного анализа показано, что контейнерный метод пожаротушения, реализуемый УПСКД, рассматривается как наиболее предпочтительный при тушении сложных пожаров.

Вторая глава содержит исследование метода метания контейнеров на удаленные расстояния, разработку основных положений внешней баллистики движения и полета контейнеров, начиненных огнетушащими веществами.

Расчеты траектории полета контейнеров основаны на теории полета твердых тел в однородном поле тяжести при наличии силы сопротивления воздуха.

В результате формулировки задачи о движении контейнера в воздушном пространстве были определены силы, действующие на контейнер при полете в воздушном пространстве, рис. 5.

На основании механики действия сил произведены расчеты наиболее оптимальных параметров контейнеров с огнетушащим веществом для стабилизации контейнера при полете и достижения максимальной дальности доставки.

В результате теоретических исследований, разработана математическая модель траектории полета контейнера с учетом сопротивления воздуха

$$y(x) = \frac{m \cdot g}{C} \cdot \frac{1 + \frac{C}{m \cdot g} \cdot v_0 \cdot \sin \Theta_0}{v_0 \cdot \cos \Theta_0} \cdot (x - x_0) + \frac{m^2 \cdot g}{C^2} \cdot \ln \left(1 - \frac{C \cdot (x - x_0)}{m \cdot v_0 \cdot \cos \Theta_0} \right) + y_0, \quad (1)$$

где x - координата абсцисс центра масс контейнера в расчетный момент времени, м; x_0 - координата абсцисс центра масс контейнера в начальный момент времени, м; y - координата ординат центра масс контейнера в расчетный момент времени, м; y_0 - координата ординат центра масс контейнера в начальный момент времени, м; v_0 - скорость метания, м·с⁻¹; C - коэффициент силы лобового сопротивления, определяемый экспериментальным путем; τ - время полета, с; m - масса контейнера, кг; Θ_0 - угол метания, град.

Полученное уравнение (1) позволяет рассчитать дальность и траекторию полета контейнера в воздухе. Эта же формула устанавливает зависимость дальности полета контейнера от начальной скорости вылета из ствола установки и коэффициента силы сопротивления воздуха.

По результатам расчетов определены траектории полета контейнеров различного внешнего диаметра (от 30 мм до 85 мм). Проведенные расчеты дальности полета контейнеров показали, что при подаче воздуха в турбину установки под давлением 2 МПа достигаемая дальность полета контейнеров диаметром 80 мм и длиной 300 мм составляет 150 м.

Определены зависимости дальности и высоты полета контейнеров, метаемых

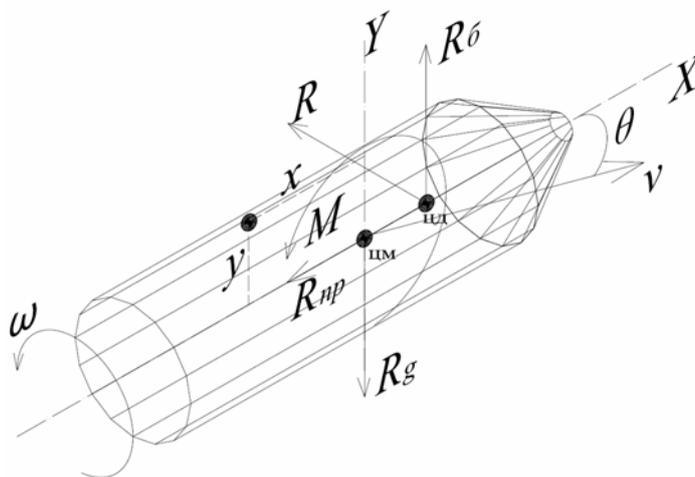


Рис. 5. Схема сил, действующих на контейнер при полете ω - угловая скорость контейнера; R - равнодействующая сила лобового сопротивления; R_{np} - продольная сила лобового сопротивления; R_b - боковая сила лобового сопротивления; M - опрокидывающий момент, создаваемый R ; y - расстояние от любой точки контейнера до оси x ; x - расстояние от любой точки контейнера до оси y ; ЦМ - центр масс; ЦД - центр давлений; v - скорость полета контейнера

мых установкой пожаротушения стволовой от начальной скорости метания, рис. 6.

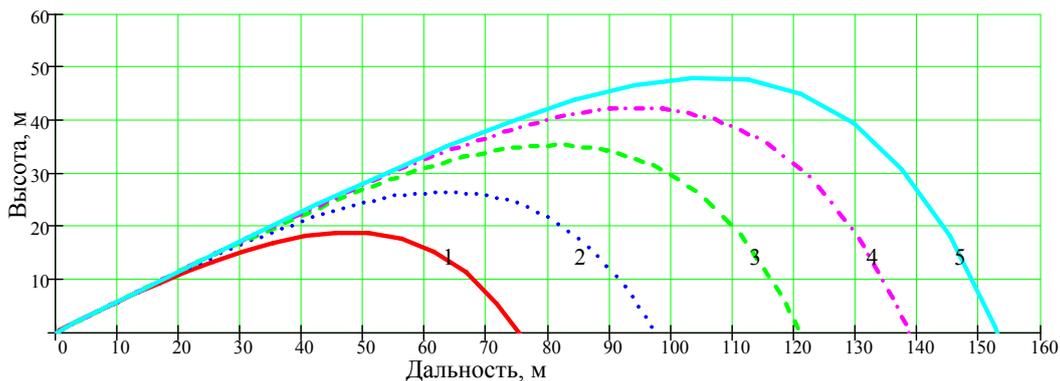


Рис. 6. График зависимости дальности и высоты полета контейнеров диаметром 80 мм, массой 1,3 кг от начальной скорости метания
1 – 30 м·с⁻¹; 2 - 60 м·с⁻¹; 3 - 90 м·с⁻¹; 4 - 120 м·с⁻¹; 5 - 150 м·с⁻¹

Для определения технических характеристик контейнеров (форма, масса оболочки контейнера, расположение центра масс, объем полости), необходимых для моделирования полета, была разработана графическая (рис. 7) и математическая модель (2) контейнеров в виде капсул, используемых в УПСКД.

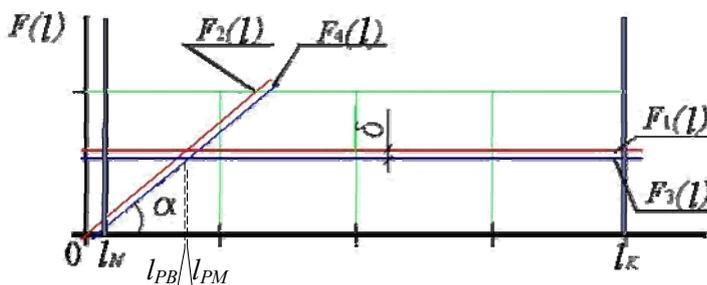


Рис. 7. График описания формы контейнера

Форму контейнера описывает следующая система уравнений

$$F(l) = \begin{cases} F_2(l) = \operatorname{tg}(\alpha) \cdot l & \text{при } 0 < l \leq l_{PB} \\ F_1(l) = \frac{D}{2} & \text{при } l_{PB} \leq l \leq l_K \\ F_4(l) = \operatorname{tg}(\alpha) \cdot \left(l - \frac{2 \cdot \delta}{\sin(\alpha)} \right) & \text{при } 0 < l \leq l_{PM} \\ F_3(l) = \frac{D}{2} - \delta & \text{при } l_{PM} \leq l \leq l_K \end{cases}, \quad (2)$$

где l – ось абсцисс; D – наружный диаметр контейнера, м; α – угол наклона конической части контейнера относительно оси l , град; δ – толщина оболочки капсулы, м; l_{PB} , l_{PM} – соответственно, координаты ординат точек пересечения внешней и внутренней образующей контейнера.

Выведены формулы, позволяющие определить основные характеристики контейнера в зависимости от формы оболочки контейнера:

- объем контейнера

$$V_M = \pi \cdot \int_{l_N + \delta}^{\frac{\cos(\alpha) \cdot (\frac{D}{2} - \delta) + 2 \cdot \delta}{\sin(\alpha)}} \left(\operatorname{tg}(\alpha) \cdot \left(l - 2 \cdot \delta \cdot \frac{1}{\sin(\alpha)} \right) \right)^2 \cdot dl + \pi \cdot \int_{\frac{\cos(\alpha) \cdot (\frac{D}{2} - \delta) + 2 \cdot \delta}{\sin(\alpha)}}^{l_K - \delta} \left(\frac{D}{2} - \delta \right)^2 \cdot dl; \quad (3)$$

- объем оболочки контейнера

$$V_{OB} = \pi \left(\left(\frac{D}{2} - \delta \right)^2 \left(L_K - \delta - \operatorname{ctg}(\alpha) \cdot \left(\frac{D}{2} - \delta \right) - \frac{2 \cdot \delta}{\sin(\alpha)} \right) + \frac{\operatorname{tg}(\alpha)^2}{3} \left(\left(\operatorname{ctg}(\alpha) \cdot \left(\frac{D}{2} - \delta \right) \right)^3 - \left(L_N + \delta - \frac{2 \cdot \delta}{\sin(\alpha)} \right)^3 \right) \right); \quad (4)$$

- массу оболочки контейнера $m_{OB} = V_{OB} \cdot \rho_{OB}$ (5), где ρ_{OB} - плотность материала, из которого изготовлена оболочка капсулы, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$.

С использованием системы уравнений (2), расчетных зависимостей (3), (4), (5) рассчитаны оптимальные параметры контейнеров: при диаметре от 26 до 30 мм – длина от 110 до 125 мм; при диаметре от 70 до 80 мм – длина от 260 до 300 мм.

На основе расчетных формул разработана прикладная программа в среде программного обеспечения Mathcad, позволяющая производить с помощью ПЭВМ моделирование траектории полета контейнера в воздушной среде.

Анализ полученных расчетных зависимостей показал, что основное влияние на траекторию полета контейнера оказывают следующие параметры: 1) скорость вылета контейнера из ствола установки; 2) масса контейнера; 3) расположение центра тяжести контейнера; 4) метеорологические условия (направление и сила ветра, осадки).

С использованием разработанной программы рассчитаны: масса контейнеров для УПСКД с диаметром ствола 30 и 80 мм, при которой дальность метания контейнеров максимальна, от 100 до 110 г и от 1200 до 1300 г соответственно; значение коэффициента силы сопротивления воздуха для контейнеров УПСКД, $C_x = 0,37$; угол наклона оси ствола УПСКД, при котором обеспечивается максимальная дальность метания контейнеров, $\Theta = 32^\circ$.

Разработана математическая модель метания контейнеров и компьютерная модель траектории движения контейнеров с огнетушащим веществом. Рассчитаны наиболее важные характеристики метода метания контейнеров с использованием УПСКД.

В третьей главе разработаны аналитические зависимости определения огнетушащей эффективности контейнеров, начиненных ПОС, АОС, хладонами. Определена возможность эффективного применения в контейнерах диоксида углерода твердого и взрывчатых веществ для прекращения горения. Проведены аналитические исследования механики действия перспективных огнетушащих составов, метаемых в контейнерах УПСКД.

Определено, что взрывчатые вещества позволяют достичь максимальной эффективности контейнеров за счет выброса огнетушащего вещества с использованием энергии, выделяющейся при сгорании взрывчатых веществ, рис. 8.

Разработана аналитическая зависимость для расчета количества контейнеров, необходимых для тушения при выбросе порошковых составов вследствие воздействия взрывчатого вещества

$$N_{PS}^{Rvv} = \frac{\beta \cdot d_{PS}^{SR2} \cdot F_{PG}^{\frac{3}{2}} \cdot \rho_{PS}}{2 \cdot W \cdot \sqrt{2 \cdot (m_{OB} + m_{PS}) + m_Z}} \cdot \lambda_{PS} \cdot m_{PS}, \quad (6)$$

где β - минимальное значение константы гетерогенной рекомбинации, при котором наблюдается тушение пламени, с^{-1} ; d_{PS}^{SR} - средний диаметр частицы по-

рошкового состава, м; F_{PG} – площадь горения, м²; ρ_{PS} – плотность частицы ПОС, кг·м⁻³; λ_{PS} – длина свободного пробега частицы порошка, м; m_{PS} – масса порошкового состава, содержащегося в контейнере, кг; m_{OB} – масса корпуса контейнера, кг; m_Z – масса заряда взрывчатого вещества, кг; W – скорость детонации взрывчатых веществ, м·с⁻¹.

Определена зависимость удельного расхода ПОС при выбросе их из контейнеров вследствие избыточного давления продуктов детонации, рис. 9.

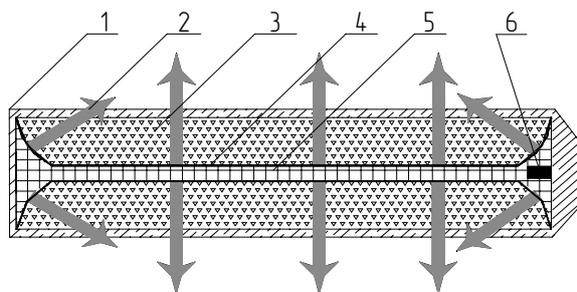


Рис. 8. Действие сил в контейнере при выбросе огнетушащего состава с использованием энергии, выделяющейся при сгорании пиротехнических составов

1 – корпус контейнера, 2 – направление действия сил выброса огнетушащего состава, 3 – диспергированное огнетушащее вещество, 4 – эластичная газопроницаемая оболочка, 5 – пиропобудитель, 6 – пиропатрон

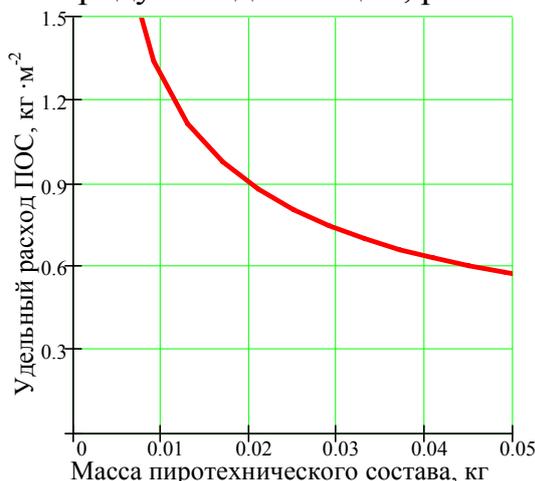


Рис. 9. График зависимости удельного расхода ПОС в контейнерах от массы пиротехнического состава, посредством которого он выбрасывается

Выявлены следующие причины уменьшения удельного расхода порошковых составов в контейнерах по сравнению с существующими способами доставки: помещение заряда огнетушащего вещества непосредственно в очаг пожара, что обеспечивает участие в процессе тушения практически 100% порошкового состава; увеличение скорости полета частиц порошка за счет высвобождающейся энергии пиротехнических составов; отрыв фронта пламени от пожарной нагрузки; дробление фронта пламени на отдельные участки, не способные поддерживать горение; разбавление зоны горения инертными продуктами взрыва.

По результатам исследования аэрозолеобразующих составов в качестве наполнителя контейнеров, выведена многопараметрическая формула, позволяющая рассчитать необходимое количество контейнеров с огнетушащим аэрозолем при подаче их в горящее помещение

$$N_{AOC}^R = \frac{V_{ZP} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot q_N}{m_{AOC}^1}, \quad (7)$$

где - V_{ZP} – расчетный объем защищаемого помещения, м³; q_N – нормативная величина огнетушащего удельного массового расхода АОС для материала или вещества, находящегося в защищаемом помещении, кг · м⁻³; K_1 – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения аэрозоля по высоте помещения; K_2 – коэффициент, учитывающий влияние негерметичности защищаемого помещения; K_3 – коэффициент, учитывающий особенности тушения кабелей в аварийном режиме эксплуатации; K_4 – коэффициент, учитывающий особенности тушения кабелей при различной их ориентации в пространстве; m_{AOC}^1 – мас-

са АОС, находящегося в контейнере, кг.

Определена графическая зависимость необходимого количества контейнеров с огнетушащим аэрозолем от объема защищаемого помещения, рис. 10.

Выведена формула, позволяющая рассчитать необходимое количество контейнеров, начиненных хладонами

$$N_{HL}^R = \frac{V_{ZP} \cdot \rho_{HL}^g \cdot (1 + K_1) \cdot \chi_{HL}^N}{(100 - \chi_{HL}^N) \cdot m_{HL}^R}, \quad (8)$$

где V_{ZP} – расчетный объем защищаемого помещения, m^3 ; ρ_{HL}^g – плотность огнетушащего вещества в газообразном состоянии, $кг \cdot м^{-3}$; K_1 – коэффициент, учитывающий потери газового огнетушащего вещества через проемы помещения; m_{HL}^R – масса галоидоуглеводородного состава, содержащегося в одном контейнере, кг; χ_{HL}^N – нормативная объемная концентрация хладона при нормальных условиях внешней среды, %.

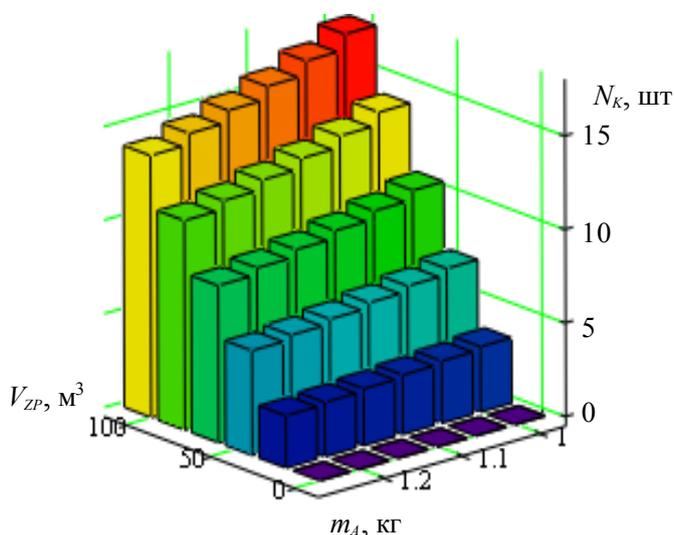
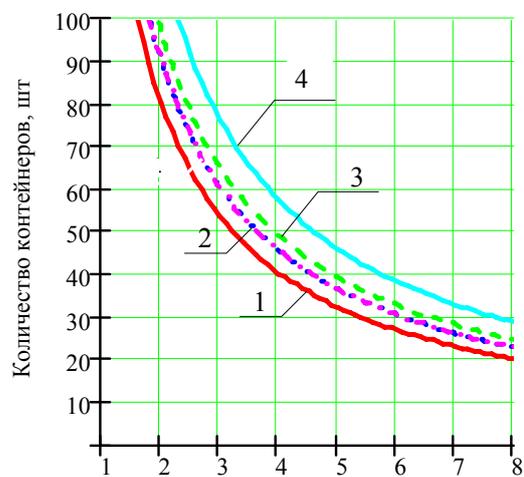


Рис. 10. График зависимости минимального количества контейнеров, необходимых для объемного тушения пожара в помещении от массы АОС, содержащегося в контейнере при использовании АОС марки СТК-2МД



Масса хладона, содержащегося в контейнере, кг

Рис. 11. Зависимость необходимого количества контейнеров от массы хладона, содержащегося в одном контейнере при объеме помещения $100 м^3$, расположении проемов посередине и тушении Н-гептана
1- 23 (CF_3H); 2 - 125 (C_2F_5H);
3 - 218 (C_3F_8); 4 - 318 Ц (C_4F_8)

Определены зависимости необходимого количества контейнеров, начиненных хладонами при тушении пожара объемным способом, рис. 11.

Получена формула, позволяющая рассчитать необходимую массу взрывчатого вещества и параметры контейнера для отрыва зоны горения от горючего вещества – тушения пожара газового фонтана

$$\frac{W}{2} \cdot \sqrt{\frac{m_Z}{2 \cdot m_{OB} + m_Z}} > u_T, \quad (9)$$

где u_T – турбулентная скорость распространения пламени газового фонтана, $м \cdot с^{-1}$.

Предъявление тактико-технических требований к контейнерам позволило предложить эффективные конструкции контейнеров в виде капсул, рис. 12.

Разработаны математические модели расчета огнетушащей эффективности контейнеров, начиненных порошковыми, аэрозолеобразующими огнетушащи-

ми составами, хладонами; разработаны основные положения проектирования конструкции однокомпонентных и многокомпонентных контейнеров.

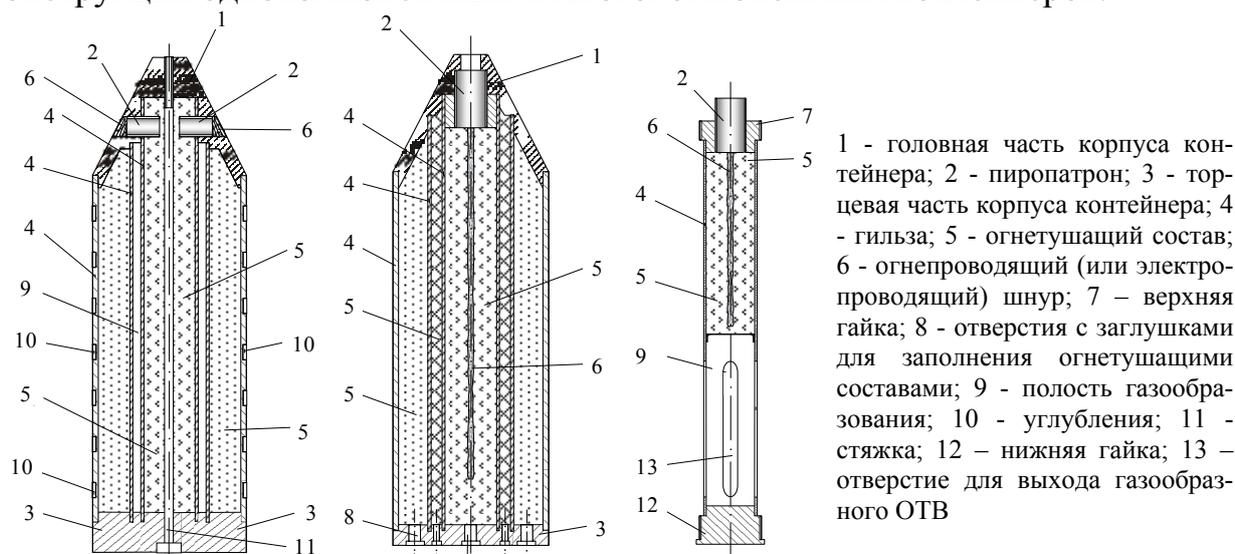


Рис. 12. Типовые решения конструкций контейнеров

Проанализированы перспективы внедрения в практику пожаротушения не нашедших практического применения (из-за отсутствия средств доставки) для тушения пожаров высокоэффективных жидкостных и твердых огнетушащих веществ.

В четвертой главе разработана методика проведения экспериментальных исследований эффективности тушения порошковыми огнетушащими составами в капсулах для использования в УПСКД; приведены результаты экспериментальных исследований огнетушащей эффективности контейнеров, начиненных ПОС при выбросе их посредством пороховых зарядов в камере экспериментальной установки.

Для проведения экспериментов, были установлены следующие основные задачи экспериментальных исследований: 1) определение удельного расхода порошкового состава ПСБ-3, подаваемого сверху при объемном тушении пламени ацетона; 2) определение удельного расхода порошкового состава ПСБ-3, выбрасываемого из контейнера при объемном тушении пламени ацетона; 3) определение зависимости огнетушащей эффективности контейнеров, начиненных ПОС, от массы пиротехнического состава, содержащегося в контейнере.

С целью реализации вышеизложенных задач исследования была разработана экспериментальная установка, рис. 13.

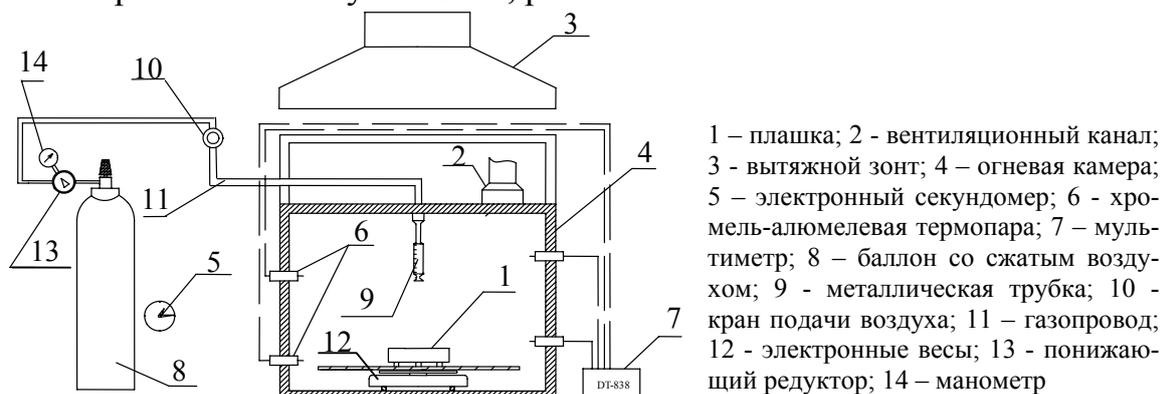


Рис. 13. Схема экспериментальной установки для определения огнетушащей эффективности контейнеров, начиненных порошковыми составами

В соответствии с разработанной методикой экспериментальных исследований были проведены исследования огнетушащей эффективности контейнеров, начиненных порошковыми составами при выбросе их под действием избыточного давления продуктов детонации взрывчатых веществ.

В результате проведения первой серии экспериментов был определен удельный расход ПОС при подаче его в очаг горения сверху. Для данных условий эксперимента он составил $0,832 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$.

Полученные значения удельного расхода для порошкового состава при тушении пламени ацетона совпали с расчетными и нормативными данными, это позволило сделать вывод о том, что экспериментальная установка позволяет исследовать удельный расход при тушении пламени порошковыми составами с достаточной точностью.

При второй серии экспериментов определен удельный расход ПОС, при распылении их в зоне горения из контейнеров с использованием пиротехнических составов, а также выявлена закономерность изменения удельного расхода от массы пиротехнического состава, рис. 14 и 15. Для данных условий эксперимента он составил $C_{PS}^P = 0,624 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$, что на 25,2 % меньше, чем при подаче порошкового состава ПСБ-3 сверху.

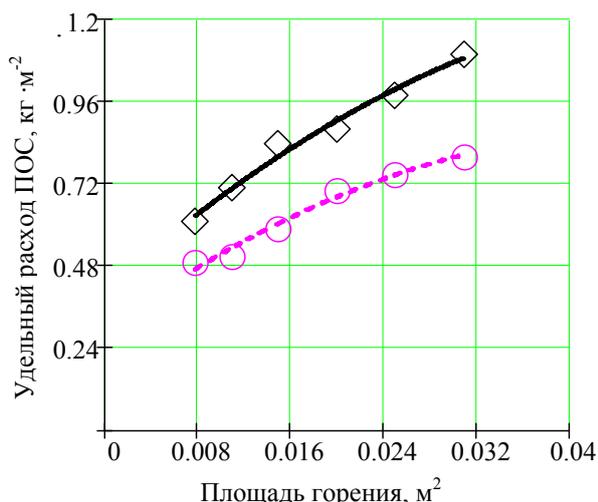


Рис. 14. График зависимости удельного расхода ПОС, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$ для тушения пожара от площади горения $\diamond \diamond \diamond$ - подача порошкового состава в зону горения из контейнеров при помощи пиротехнических составов $\circ \circ \circ$ - подача порошкового состава в зону горения сверху

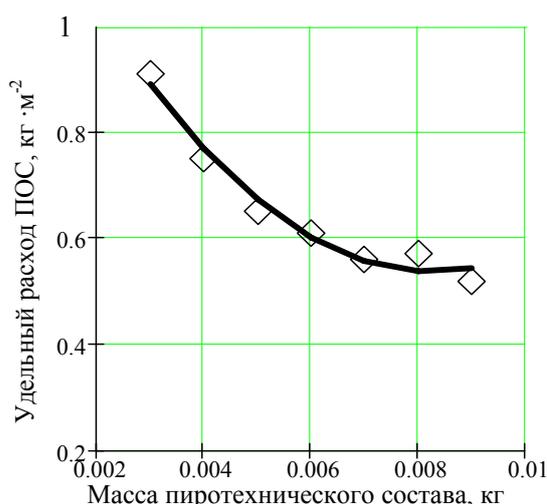


Рис. 15. График зависимости удельного расхода ПОС, $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$ при подаче его в зону горения в контейнерах от массы пиротехнического состава при площади горения $15\cdot 10^{-3} \text{ м}^2$

В результате экспериментальных исследований подтверждена зависимость (рис. 15) удельного расхода ПОС в контейнерах УПСКД, необходимого для тушения пожара класса В, от массы пиротехнического состава, содержащегося в контейнере, выведенная аналитическим путем в третьей главе.

Данные результатов экспериментов подтверждают результаты аналитических исследований, проведенных в третьей главе, с погрешностью 2,7 %.

В пятой главе разработана методика проведения экспериментальных исследований, испытаний УПСКД и обработки результатов исследований; приведены результаты экспериментальных исследований метода метания контейнеров при помощи испытательного стенда установки с условным диаметром ствола

30 мм (рис. 16).

Для экспериментальных исследований были установлены следующие основные задачи: 1) определение максимальной дальности полета контейнера; 2) определение коэффициента силы лобового сопротивления контейнеру в виде капсулы; 3) определение времени полета контейнера; 4) определение особенностей механики полета контейнера; 5) выявление закономерностей метания и тактико-технических характеристик УПСКД.

В соответствии с разработанной методикой стендовых испытаний были проведены исследования по определению траектории полета контейнера, максимальной дальности метания и поведения контейнера в воздухе.

Исследование процессов, происходящих с контейнером в виде капсулы при полете в воздухе, проводилось с использованием имитаторов контейнеров, выполненных из пластичного материала.

В ходе проведения серии экспериментов установлены зависимости дальности полета контейнеров от подаваемого давления сжатого воздуха, угла наклона ствола установки в вертикальной плоскости по отношению к горизонту, коэффициента центра масс, величины зазора между поверхностью контейнеров и внутренней стенкой ствола установки, массы контейнеров. Графики зависимостей, представленных на рисунках 17, 18, 19, 20, 21.



Рис. 16. Проведение стендовых испытаний установки

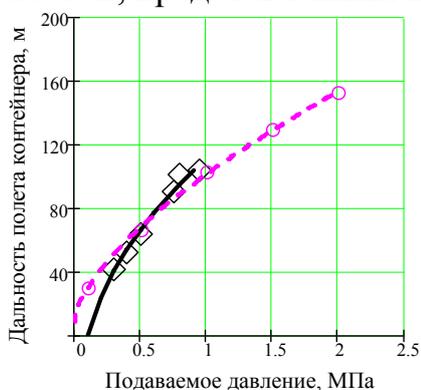


Рис. 17. График зависимости дальности полета контейнера от давления подаваемого воздуха при метании контейнера диаметром 29 мм, массой 124 г; угол наклона оси ствола установки 30°
 ○ ○ ○ - результаты расчетов;
 ◇ ◇ ◇ - результаты экспериментов

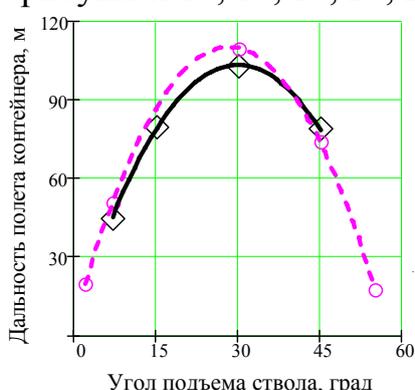


Рис. 18. График зависимости дальности полета контейнера от угла наклона ствола установки относительно горизонта при метании контейнера диаметром 29 мм, массой 124 г; давление 0,98 МПа
 ○ ○ ○ - результаты расчетов;
 ◇ ◇ ◇ - результаты экспериментов

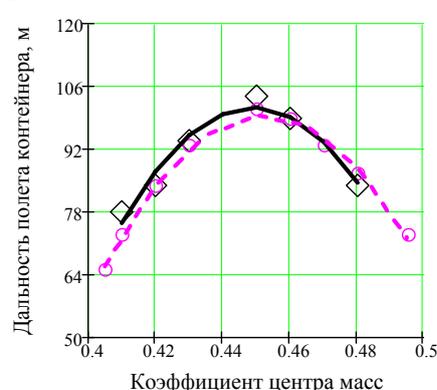


Рис. 19. График зависимости дальности полета контейнера от коэффициента центра масс контейнера при метании контейнера диаметром 29 мм, массой 124 г; давление 0,98 МПа
 ○ ○ ○ - результаты расчетов;
 ◇ ◇ ◇ - результаты экспериментов

Сделан вывод о том, что изменение дальности полета контейнеров и скорости вылета контейнера при различном подаваемом давлении воздуха в турбину установки приближается к гиперболическому закону; максимальная дальность метания контейнеров на данной установке обеспечивается с углом наклона ствола 30° ; оптимальное значения коэффициента центра тяжести для данных контейнеров и условий эксперимента 0,45.

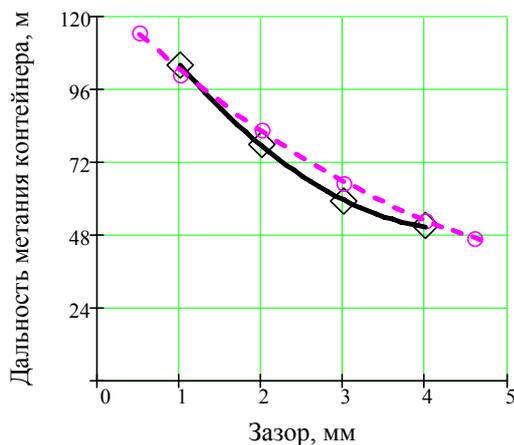


Рис. 20. График зависимости дальности полета контейнера от зазора между контейнером и внутренней полостью ствола при метании контейнеров диаметром 26, 27, 28, 29 мм, массой 115-124 г; давление 0,98 МПа; угол наклона оси ствола установки 30°
 ○ ○ ○ - результаты расчетов;
 ◇ ◇ ◇ - результаты экспериментов

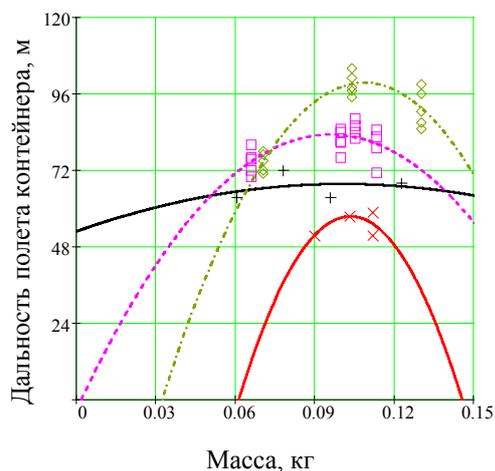


Рис. 21. График зависимости дальности полета контейнеров от их массы при давлении 0,98 МПа; угол наклона оси ствола установки 30°
 X X X - метание контейнеров диаметром 26 мм;
 + + + - метание контейнеров диаметром 27 мм;
 □ □ □ - метание контейнеров диаметром 28 мм;
 ◇ ◇ ◇ - метание контейнеров диаметром 29 мм

В результате экспериментальных исследований выявлены основные закономерности механики полета контейнеров с доставкой огнетушащего вещества на удаленное расстояние методом метания; определена максимальная дальность метания контейнера при подаче воздуха в турбину установки под давлением 0,98 МПа (скорость вылета контейнера $62 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$) – 104 м; определен угол наклона ствола УПСКД, при котором обеспечивается максимальная дальность метания контейнеров, $\Theta = 30^{\circ}$; определена масса контейнеров для данных условий эксперимента, при которой дальность метания максимальна, $m = 96 - 110 \text{ г}$. Результаты экспериментальных исследований, представленных в пятой главе, подтверждают теоретические расчеты, проведенные во второй главе, с погрешностью 2,5 – 4,0 %.

3. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработаны теоретические основы контейнерного метода пожаротушения с применением УПСКД на расстояние более 100 метров.
2. Разработаны основные положения внешней баллистики движения и полета контейнеров. Рассчитаны наиболее важные характеристики метода метания контейнеров УПСКД.
3. Создан опытно-экспериментальный стенд с условным диаметром ствола 30 мм. Разработана методика проведения экспериментальных исследований, испытаний УПСКД и обработки результатов испытаний.
4. Результаты экспериментальных исследований и натурных испытаний метода метания посредством УПСКД на полигоне подтвердили разработанные положения внешней баллистики движения и полета контейнеров с огнетушащими веществами. Достигнута дальность метания контейнеров на расстояние 104 метра при подаче давления воздуха 0,98 МПа.
5. Разработаны математические модели расчета огнетушащей эффективности контейнеров, начиненных порошковыми, аэрозолеобразующими составами, хладонами, при применении их в УПСКД. Определена зависимость огнетуша-

щей эффективности контейнеров, начиненных порошковыми составами, от массы пиротехнического состава, содержащегося в контейнере.

6. Разработаны основные положения проектирования конструкций однокомпонентных и многокомпонентных контейнеров для доставки различных видов ОТВ повышенной эффективности.

7. Разработана методика проведения экспериментальных исследований эффективности применения порошковых огнетушащих составов в капсулах УПСКД. Разработана экспериментальная камера по исследованию огнетушащей эффективности контейнеров, начиненных порошковыми составами, при выбросе их посредством пороховых зарядов. Выявлен удельный расход порошкового состава ПСБ-3, подаваемого в контейнере. Он составил $0,624 \text{ кг}\cdot\text{м}^{-2}$, что на 25,2 % меньше, чем при подаче данного порошкового состава сверху. Экспериментально подтверждены полученные аналитические зависимости огнетушащей эффективности контейнеров, начиненных порошковыми составами.

8. В результате диссертационного исследования установлено, что разработанный метод пожаротушения и исследуемые установки стволовые контейнерной доставки ОТВ обладают высокой эффективностью при тушении сложных пожаров на пожаро-взрывоопасных объектах промышленного, гражданского и военного назначения.

Предложено применение УПСКД в подразделениях Государственной противопожарной службы МЧС России, в военных командах противопожарной защиты и спасательных работ Вооруженных сил Российской Федерации, на объектах министерства лесного хозяйства и атомной промышленности, при тушении пожаров на объектах гражданского и военного назначения.

Основные положения диссертации представлены в следующих опубликованных работах:

1. Царев А.М., Жуйков Д.А. Механика действия перспективных огнетушащих составов в установках пожаротушения стволового типа контейнерной доставки методом метания // Известия Самарского научного центра РАН. – 2007. Выпуск 2. - С. 458-464. – по списку ВАК.

2. Каришин А.В., Царев А.М., Жуйков Д.А., Яковлев Г.Г. Решение проблемы эффективности тушения пожаров с применением стволовых установок контейнерной доставки огнетушащих веществ // Пожаровзрывобезопасность. – 2007. Выпуск 4. - С. 72-82. – по списку ВАК.

3. Жуйков Д.А., Баран А.В. Комиссаров А.Н. Разработка математической модели контейнеров для доставки огнетушащих веществ в очаги сложных пожаров // Wykszta senie I nauka bez granic: Matirialy II miedzynarodowej naukowe-praktycznej konferencji. – Belgrad, - 2005. - S. 56-58.

4. Царев А.М., Жуйков Д.А. Методологические основы расчета огнетушащей способности порошковых составов, используемых при контейнерной доставке огнетушащих веществ в очаг пожара // Безопасность. Технологии. Управление: Научные доклады и статьи 1-ой Международной конференции. - Тольятти, 2005. – С. 276-281.

Сдано в набор 17.09.07г. Подписано в печать 25.09.07г.
Формат бумаги 60 x 70 1/16. Усл. печ. л. 0,78
Бумага офсетная. Тираж 100 экз.
Отпечатано в типографии ТВТИ.

