

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

На правах рукописи



Тимохин Василий Вячеславович

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ГАЗИФИЦИРОВАННЫХ
МНОГОКВАРТИРНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ**

Специальность: 2.10.1. Пожарная безопасность
(технические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Комаров Александр Андреевич

Москва – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПОДХОДОВ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ЖИЛЫХ ГАЗИФИЦИРОВАННЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ	10
1.1 Краткий анализ аварийных ситуаций со взрывом газоздушных смесей в жилых газифицированных многоквартирных домах	10
1.2 Обзор существующих технических решений по обеспечению взрывобезопасности жилых домов.....	16
1.2.1 Технические решения по предотвращению взрыва бытового газа.....	17
1.2.2 Мероприятия, обеспечивающие устойчивость строительных конструкций при аварийном взрыве	18
Выводы по первой главе.....	22
ГЛАВА 2 ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА ВНУТРЕННЕГО ДЕФЛАГРАЦИОННОГО ВЗРЫВА	23
2.1 Формирование взрывоопасных концентраций в помещении.....	23
2.1.1 Определение порядка величины коэффициента турбулентной диффузии в помещении кухни	26
2.1.2 Уточнение величины коэффициента турбулентной диффузии в помещении кухни.....	32
2.1.3 Математическая модель формирования взрывоопасных концентраций	37
2.1.4 Способ исключения возможности формирования взрывоопасной смеси	39
2.2 Экспериментальное исследование параметров внутреннего взрыва	42
2.2.1 Методика проведения эксперимента.....	43
2.2.2 Экспериментальное исследование параметров внутреннего взрыва в изолированных помещениях	45
2.2.3 Экспериментальное исследование параметров внутреннего взрыва в многосвязных помещениях	49

Выводы по второй главе	55
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВНЫХ НАГРУЗОК	56
3.1 Определение характеристики взрыва в исследуемом объеме без предохранительных конструкций.....	59
3.2 Результаты экспериментальных исследований параметров взрыва в помещении, оборудованном поворотными сбросными конструкциями	62
3.3 Результаты экспериментальных исследований параметров взрыва в помещении, оборудованном смещаемыми сбросными конструкциями	66
Выводы по третьей главе.....	69
ГЛАВА 4 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕКОНСТРУКЦИИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ.....	70
4.1 Отличительные особенности реконструкции аварийных взрывов бытового газа. Обоснование применения результатов экспериментальных исследований при восстановлении сценария аварии	70
4.2 Реконструкция развития аварийного взрыва на примере реальной аварийной ситуации, связанной со взрывом газа в жилом многоквартирном доме.....	73
4.2.1 Обстоятельства аварии	73
4.2.2 Физическая картина дефлаграционного взрыва	75
4.2.3 Анализ возможных сценариев развития аварийного взрыва.....	77
Выводы по четвертой главе.....	80
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	81
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	83
Приложение А (обязательное) Акты внедрения.....	101
Приложение Б (обязательное) Код программы «Математическая модель формирования взрывоопасных концентраций».....	108
Приложение В (обязательное) Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.....	122

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Жилые многоквартирные дома относят к особой группе взрывоопасных объектов. Статистика показывает, что в настоящее время на территории Российской Федерации газифицировано 71,4 % от общего числа жилых домов [1]. Только в Москве газифицировано 24 088 жилых строений, из которых 19823 – многоквартирные жилые дома [2].

Главная опасность при использовании газового оборудования заключается в возможности утечки, с последующим образованием взрывоопасной смеси газа с воздухом. Данный процесс представляют серьезную опасность с точки зрения возможности формирования взрывных нагрузок, критичных для строительных конструкций здания. Следствием данных аварийных ситуаций являются разрушения квартир, обрушение этажей и подъездов жилых зданий. Проведенный статистический анализ данных аварийных ситуаций показал, что, начиная с января 2017 года по декабрь 2023 года в различных субъектах на территории Российской Федерации в жилых многоквартирных домах произошло 163 аварийных взрыва, следствием которых стала гибель 199 человек, число пострадавших – 1129 человек.

Таким образом, необходимость исследований в данной области подтверждается тяжестью последствий взрывов газа в жилых домах, что говорит о важности решаемой научной задачи по повышению уровня взрывобезопасности объектов жилого сектора.

Степень разработанности темы исследования. В решение проблемы обеспечения взрывобезопасности и взрывоустойчивости зданий (в том числе жилых многоквартирных домов) существенный вклад внесли отечественные ученые. Так, автором ряда научных трудов в области физики горения и взрыва является Д.А. Франк–Каменецкий [3,4], который развил теорию теплового распространения ламинарного пламени в газовых смесях, а также провел большое теоретическое и экспериментальное исследование роли диффузии в протекании химических реакций.

Одним из основоположников направления взрывобезопасности зданий и сооружений является Н.А. Стрельчук [5-8]. Именно по его инициативе в МИСИ была создана межотраслевая лаборатория взрывобезопасности, а также проблемная лаборатория разрушения строительных конструкций зданий при объёмных взрывах, что в свою очередь позволило создать костяк исследователей, занимающихся данной проблемой. В частности, исследование нестационарного движения газов при наличии в них разрывов, ускорение турбулентного горения газо-воздушных смесей связано с фамилией А.В. Мишуева [9-25]. Практическая сторона данных трудов связана с внедрением предложений по снижению уровня взрывных нагрузок, нашедших отражение в ряде нормативных документов.

Изучением вопроса снижения нагрузок до допустимого уровня и, как следствие, поиском оптимальных параметров предохранительных конструкций занимались Л.П. Пилюгин [26-28], Г.Г. Орлов [29-36], А.М. Шлег [37-42]. Значительный вклад в исследование физической картины дефлаграционных взрывов внесли такие ученые, как А.А. Комаров [43-59], В.А. Горев [60-65], Ю.Х. Поландов [66-71] и другие [72-84]. Из зарубежных авторов наибольший научный интерес к рассматриваемой проблеме представляют работы следующих авторов [85-95].

Однако, несмотря на значительные достижения в этой области исследований, в настоящее время отсутствуют решения и мероприятия, позволяющие с высокой долей вероятности предотвратить взрыв, а в случае создания аварийной ситуации снизить величину взрывных нагрузок до допустимого уровня.

Целью работы является предупреждение и снижение последствий аварийных взрывов газа в жилых газифицированных многоквартирных домах.

В соответствии с целью были сформулированы следующие **задачи**:

1. Проведение анализа аварийных ситуаций со взрывами газо-воздушных смесей на территории РФ, существующих решений и мероприятий по обеспечению взрывобезопасности жилых газифицированных многоквартирных домов;

2. Разработка математической модели, описывающей процесс формирования взрывоопасных концентраций в помещении малого объема, с использованием

экспериментально полученного значения коэффициента турбулентной диффузии;

3. Проведение модельных и натурных экспериментальных исследований в односвязной и многосвязной областях, с целью изучения физической картины внутреннего дефлаграционного взрыва и оценки возможности применения предохранительных конструкций в жилом секторе;

4. Обоснование практического применения полученных результатов при реконструкции сценария развития аварии.

Объектом исследования является взрывобезопасность жилых газифицированных многоквартирных домов.

Предмет исследования – диффузионные процессы и дефлаграционные взрывы газовоздушных смесей в жилых газифицированных многоквартирных домах.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– на основе проведенных экспериментальных исследований и математических расчетов получено значение коэффициента турбулентной диффузии, характерного для помещения кухни жилого многоквартирного дома;

– разработана математическая модель истечения газа, позволяющая оценить состояние газовоздушной среды помещения малого объема в различные моменты времени;

– получены экспериментально подтвержденные факторы формирования взрывных нагрузок при различных сценариях развития аварии, с выявлением особенностей, характерных для дефлаграционных взрывов.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается:

– в использовании разработанной математической модели истечения газа для оценки состояния газовоздушной среды помещения;

– в обосновании способа предотвращения формирования взрывоопасных концентраций в жилых газифицированных домах;

– в обосновании целесообразности применения предохранительных конструкций в жилых газифицированных многоквартирных домах, с целью снижения взрывных нагрузок до уровня, не являющегося критичным для

строительных конструкций здания.

Методология и методы исследования. В работе использованы следующие методы исследования:

– метод математического моделирования, с целью описания процесса формирования взрывоопасных концентраций и определения отдельных параметров дефлаграционного взрыва;

– метод физического эксперимента, как инструмента по исследованию физической картины дефлаграционного взрыва;

– статистические методы при обработке экспериментальных данных, с целью выявления возможных ошибок.

Для проведения исследования были использованы различные отечественные и зарубежные литературные источники, нормативные документы и материалы аварийных взрывов в жилых многоквартирных домах, что позволило ознакомиться с предыдущими исследованиями и опытом других специалистов и экспертов в области взрывобезопасности.

Положения, выносимые на защиту:

– математическая модель истечения газа, разработанная с использованием экспериментально полученного и теоретически обоснованного значения коэффициента турбулентной диффузии, для моделирования процесса формирования взрывоопасных концентраций в помещении;

– способ предотвращения формирования взрывоопасной смеси в помещении;

– результаты модельных экспериментальных исследований процесса дефлаграционного взрыва, с выделением факторов формирования взрывных нагрузок для использования при реконструкции аварийных взрывов;

– результаты натурных экспериментальных исследований предохранительных конструкций на воздействие взрывных нагрузок, с обоснованием целесообразности применения в жилом секторе.

Степень достоверности полученных результатов и выводов, полученных результатов и выводов, представленных в работе, подтверждается использованием

в ходе экспериментальных исследований измерительного оборудования, прошедшего поверку и калибровку в соответствии с установленными стандартами, что гарантирует точность и достоверность полученных измерений; внутренней непротиворечивостью и согласованностью результатов как между собой, так и с результатами экспериментов других авторов в области взрывобезопасности.

Материалы диссертации реализованы (приложение А):

– в Главном управлении МЧС России по Пензенской области для совершенствования уровня подготовки личного состава органов дознания в части, касающейся изучения вопроса формирования взрывоопасных концентраций и взрывных нагрузок, с целью реконструкции процесса развития аварии при взрывах газозоодушных смесей;

– в учебной деятельности Академии ГПС МЧС России при организации и проведении учебных занятий по дисциплине «Теория горения и взрыва» по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность», 20.05.01 «Пожарная безопасность»;

– при выполнении научно-исследовательской работы на тему: «Определение параметров внутреннего дефлаграционного аварийного взрыва»;

– при проведении испытаний предохранительных конструкций поворотного типа с разрушающимися узлами крепления, предполагаемых к использованию на объектах жилого сектора.

Основные результаты работы доложены на 10-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2021» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2021); 16-й международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность» (г. Иваново, ИПСА ГПС МЧС России, 2021); 30-й международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2021» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2021); 11-й международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2022» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2022); 4-й международной научно-практической конференции студентов, аспирантов,

молодых учёных, преподавателей «Актуальные проблемы техносферной безопасности» (г. Ульяновск, ГТУ, 2022). 15-й научно-практической конференции слушателей и молодых ученых «Экологические проблемы XXI века» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2023); 13-й Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2024» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2024); научно-практической конференции с международным участием «Академия государственной противопожарной службы МЧС России: теория. инновации. Практика», посвященной 90-летию со дня образования Академии ГПС МЧС России (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2023).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 научных работ, в том числе 5 – в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК России. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ (приложение В).

Структура, объём работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и трех приложений. Содержание работы изложено на 124 страницах текста, включает в себя 16 таблиц, 75 рисунков, список литературы из 125 наименований.

ГЛАВА 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПОДХОДОВ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ЖИЛЫХ ГАЗИФИЦИРОВАННЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ

1.1 Краткий анализ аварийных ситуаций со взрывом газовоздушных смесей в жилых газифицированных многоквартирных домах

Проведенный статистический анализ данных [96-100] по чрезвычайным ситуациям, связанными со взрывом бытового газа, показал, что, начиная с января 2017 года по декабрь 2023 года в различных субъектах на территории Российской Федерации в жилых многоквартирных домах произошло 163 аварийных взрыва (рисунок 1.1), в результате которых пострадало 1129 человек, погибло 199 человек (рисунок 1.2).

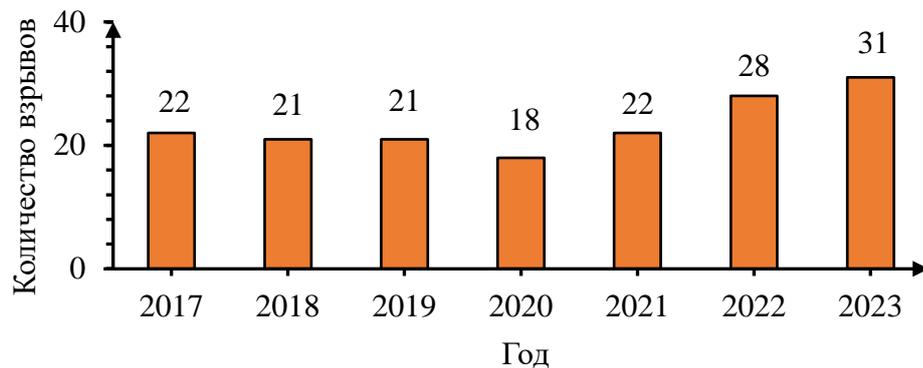


Рисунок 1.1 – Количество взрывов в жилых многоквартирных газифицированных домах

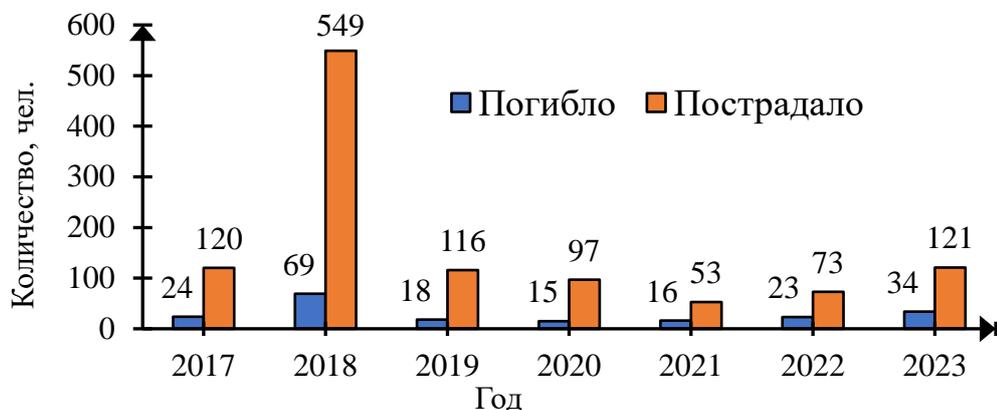


Рисунок 1.2 – Динамика числа погибших и пострадавших, взятых на учет

Пик на данной диаграмме, характерный для 2018 года, связан с аварийным взрывом бытового газа в 10-ти этажном доме панельного типа в г. Магнитогорск, произошедшем 31.12.2018 г. В результате воздействия взрывных нагрузок на строительные конструкции здания произошло обрушение подъезда (рисунок 1.3), повреждения получили 52 квартиры. Погибло 39 человек, из которых 6 – дети [101].

19 марта 2021 года в результате аварийного взрыва в г. Химки произошло обрушение перекрытий между этажами, что повлекло гибель 4-х человек (рисунок 1.4).



Рисунок 1.3 – Последствия аварийного взрыва в г. Магнитогорск, 31.12.2018 г.



Рисунок 1.4 – Последствия аварийного взрыва в г. Химки, 19.03.2021 г.

24 января 2024 года в г. Томмот в многоквартирном жилом доме панельного типа, имеющем 4 этажа, произошел аварийный взрыв газа, следствием которого стала гибель двух человек (рисунок 1.5).

Зачастую подобные аварийные ситуации сопровождаются не только повреждением строительных конструкций, но и приводят к возникновению пожара. Так, 1 марта 2024 года в результате взрыва бытового газа в г. Серпухов возник пожар на площади около 155 м². Пострадало 6 человек (рисунок 1.6).



Рисунок 1.5 – Последствия аварийного взрыва в г. Томмот, 24.01.2024 г.



Рисунок 1.6 – Последствия аварийного взрыва в г. Серпухов, 01.03.2024 г.

Каждая подобная аварийная ситуация развивается по различным сценариям. В одних случаях повреждения строительных конструкций здания носят достаточно локальный характер (рисунок 1.7), в других происходит обрушение целых секций и подъездов жилых многоквартирных домов (рисунок 1.8). Важно отметить, что именно воздействие избыточного давления на строительные конструкции здания с их последующим разрушением является основной причиной получения травм и гибели людей при внутренних аварийных взрывах [102].



Рисунок 1.7 – Последствия аварийного взрыва в г. Стерлитамак, 02.07.2024 г.



Рисунок 1.8 – Обрушение секции дома в г. Нижний Тагил, 01.08.2024 г.

На основе предоставленных ВНИИПО МЧС РОССИИ данных (в период с января 2017 г. по декабрь 2020 г.) был проведен анализ виновных лиц при аварийных взрывах, происходящих в жилых многоквартирных домах (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 – Диаграмма распределения виновных лиц при взрывах газа

Информация, представленная на данной диаграмме, позволяет сделать вывод о том, что сложность рассматриваемой аварийной ситуации в ряде случаев не позволяет установить виновное лицо и, как следствие, причину взрыва. Это

подчеркивает важность понимания физической картины внутренних дефлаграционных взрывов при реконструкции подобных аварийных ситуаций.

Особый интерес представляет распределение аварийных ситуаций в контексте года ввода в эксплуатацию домов, в которых происходили взрывы газа за рассматриваемый период (рисунок 1.10).

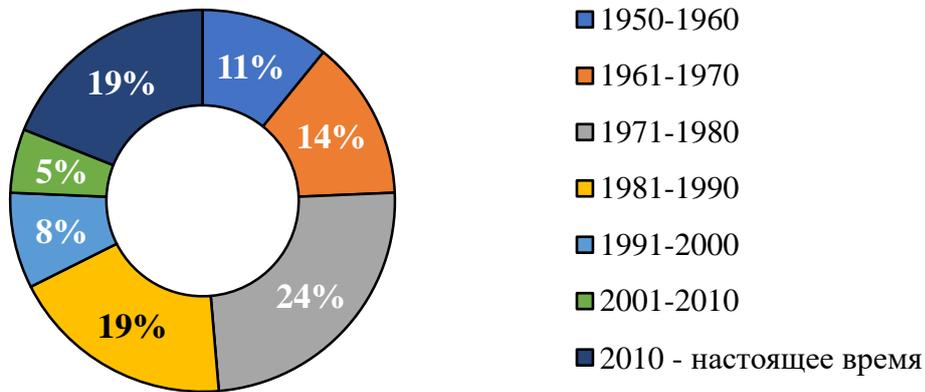


Рисунок 1.10 – Сопоставление периодов ввода жилых домов в эксплуатацию с количеством аварийных взрывов

Видно, что наибольшее количество взрывов газа происходит в жилых домах, введенных в эксплуатацию в следующие периоды:

- с 1971 по 1980 гг. – 24 % от общего числа;
- с 1981 по 1990 гг. – 19 % от общего числа;
- с 2010 по настоящее время – 19 % от общего числа.

Зависимость количества взрывов от этажности здания представлена на рисунке 1.11.

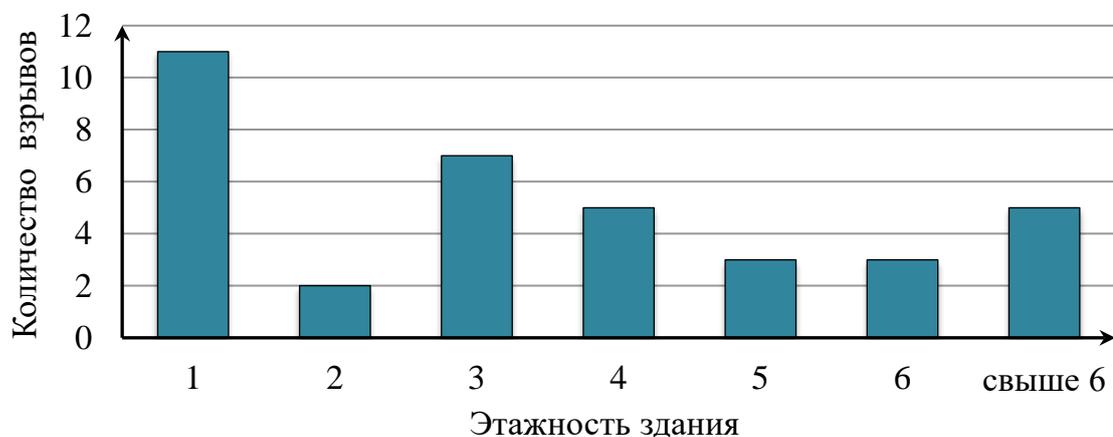


Рисунок 1.11 – Количество взрывов газа в зависимости от этажности здания

Представленная диаграмма показывает, что наибольшее количество взрывов газа характерно для первых этажей здания. Вероятнее всего, данная зависимость связана с недостаточным качеством вентиляции, ввиду постоянно закрытых окон жильцами первых этажей (с целью снижения уличного шума).

Причины утечки газа, приводящие к аварийным взрывам, можно разделить на 2 основные группы (рисунок 1.12).



Рисунок 1.12 – Причины утечек газа в жилых домах

Деятельность человека, которая может повлечь утечку в объем помещения бытового газа, характеризуется следующими основными причинами:

- самостоятельная установка газового оборудования;
- нарушение требований эксплуатации газового оборудования (применение газовых конфорок (других источников) для обогрева помещения);
- попытки проведения самостоятельного ремонта газовых приборов и подводящих элементов системы газоснабжения;
- физическое воздействие на подводящий газопровод. В данном случае речь идет об обрыве подводящего гибкого шланга, приводящего к существенно большему расходу газа (не разгерметизация, с малым расходом утечки);
- ремонтные работы в помещении кухни, сопровождающиеся демонтажем или переносом газовых труб;
- доработки в конструкции здания, приводящие к нарушению заданного функционала систем здания. В частности, основным превентивным мероприятием по предотвращению потенциально возможного взрыва газа в жилом доме является система вентиляции, заданная работа которой практически исключает

возможность формирования взрывоопасных концентраций при утечке газа с малым расходом (утечка из газовых конфорок). Однако проводимые жильцами ремонтные работы могут нарушить данный функционал. К примеру, при закрытии вентиляционных люков или полном демонтаже вентиляционного короба происходит нарушение первичной системы воздухообмена.

В контексте рассмотрения второй группы причин стоит отметить, что для предотвращения утечек газа необходимо уделять особое внимание состоянию систем вентиляции и газоснабжения, так как при длительном сроке эксплуатации возможны отклонения в работе от номинальных параметров.

Для системы газоснабжения важно надежное крепление элементов, с целью избегания возможных механических повреждений. Кроме того, важно понимать, что газопроводы подвержены коррозии, особенно в местах соединений и креплений. Регулярные проверки и своевременная замена изношенных участков необходимы для предотвращения утечек. Критически важен контроль за недопущением любых изменений в системе газоснабжения.

Эффективная работа системы вентиляции играет ключевую роль в предотвращении накопления газа в помещении. Основными аспектами корректной работы данной системы являются наличие постоянной вентиляции и контроль состояния вентиляционных каналов. Установлено, что на зависимость изменения концентрации газа во времени существенно влияет температура воздуха внутри помещений жилого дома и снаружи – с этим связано увеличение количества аварийных ситуаций для времен года, характерных примерным равенством температур (осень-весна). В данные периоды происходит так называемое «опрокидывание» вентиляции, характеризующиеся отсутствием тяги в воздуховоде. Таким образом, полностью исключить возможность взрыва даже при выполнении системой заложенных функций, невозможно.

По итогам приводимого анализа причин аварийных утечек газа в объем помещения можно сделать вывод о том, что контроль за состоянием работоспособности систем здания со стороны надзорных органов является важным превентивным мероприятием по предотвращению взрыва.

1.2 Обзор существующих технических решений по обеспечению взрывобезопасности жилых домов

Взрывобезопасность жилых домов – это комплекс мер, направленных на предотвращение взрывов бытового газа и минимизацию их последствий. Обеспечение взрывобезопасности жилых домов требует комплексного подхода, включающего правильную эксплуатацию газового оборудования, эффективную вентиляцию и регулярное техническое обслуживание, о чем говорилось ранее. Дополнительное применение современных технологий поможет минимизировать риски, связанные с использованием бытового газа. Так, в настоящее время разработаны и применяются различные технические устройства, служащие именно для этой цели, рассматриваемые в работе.

Можно выделить две основные группы подобных технических решений (рисунок 1.13). Данное деление обусловлено принципиальной разницей в подходе обеспечения взрывобезопасности – применение устройств и мероприятий каждой из данных групп обусловлено конечной целью: либо предотвратить потенциально возможный взрыв (технические решения по предотвращению взрыва бытового газа), либо минимизировать его последствия (мероприятия, обеспечивающие устойчивость строительных конструкций при аварийном взрыве).

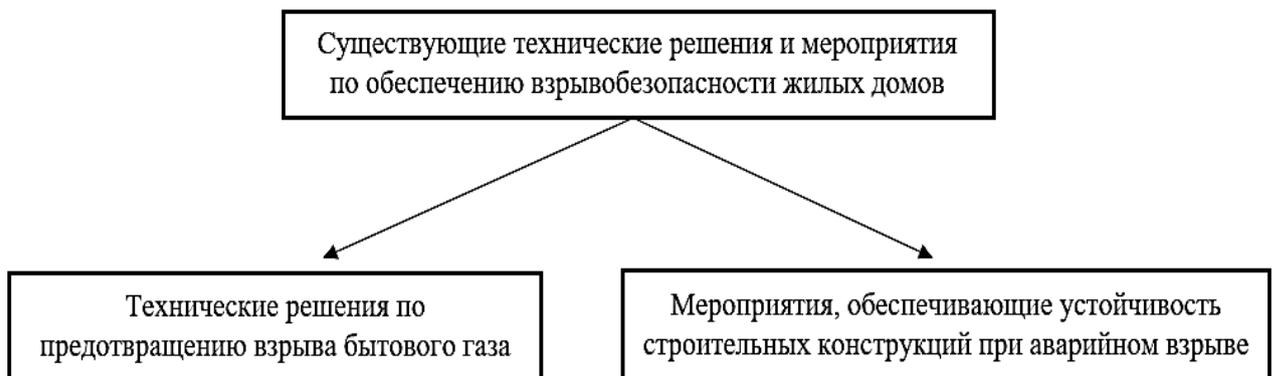


Рисунок 1.13 – Технические решения по обеспечению взрывобезопасности жилых домов

1.2.1 Технические решения по предотвращению взрыва бытового газа

В настоящее время существуют следующие решения проблемы предупреждения аварийного взрыва газа в жилом многоквартирном доме:

1. Система вентиляции. Основным, доступным и повсеместно используемым методом по недопущению формирования взрывоопасных концентраций является устройство системы вентиляции. На территории Российской Федерации в жилых домах проектируются системы естественной вентиляции, что связано с относительной простотой и дешевизной устройства. Важность корректной работы данной системы подробно рассматривалась ранее. Стоит отметить, что в данной работе система вентиляции рассматривается как основное решение, способное предотвратить потенциально возможный аварийный взрыв. Более подробно механизм утечки и важность данной системы будут рассмотрены далее.

2. Датчик утечки газа. На сегодняшний день одним из самых распространенных технических решений по предотвращению взрыва бытового газа является устройство в газифицированном жилом доме датчика утечки газа. Датчик утечки газа – устройство, предназначенное для определения утечек бытового газа и оповещения об этом. Недостатком является возможность формирования взрывоопасных концентраций в отсутствие жильцов – звуковой сигнал рассчитан на уровень оповещения в пределах квартиры. По прибытии человека взрыв может быть инициирован, к примеру, возникновением искры при включении прибора освещения.

3. Режим газового контроля. В настоящее время многие газовые плиты оснащаются данной функцией. Принцип работы данного устройства заключается в прекращении подачи газа при отсутствии горения, что возможно при заливе конфорки кипящей жидкостью. Главный недостаток подобной системы – установка функции газ-контроль не гарантирует исключение утечки из подводящего газопровода, так как работа данной системы направлена недопущение утечки непосредственно из конфорок газовой плиты. Кроме того,

прибор с данной системой обладает повышенной стоимостью, в сравнении с газовой плитой без данной системы и, как следствие, снижает вероятность ее устройства среднестатистическим потребителем.

Таким образом, наиболее перспективным и проверенным временем решением видится естественная вентиляция, в частности – выполнение системой заданных функций.

1.2.2 Мероприятия, обеспечивающие устойчивость строительных конструкций при аварийном взрыве

В случае, если формирование газовой смеси все же произошло, необходимо предусмотреть мероприятия по снижению взрывных нагрузок до допустимого уровня. Изучение физической картины дефлаграционного взрыва дает понимание того, что энергия взрыва выходит в атмосферу так, что внутри помещений давление не превышает безопасного уровня при условии, что происходит своевременное вскрытие оконного проема. На производственных объектах взрывобезопасность помещений, в которых обращаются горючие газы достигается путем установки легкобрасываемых (далее – ЛСК) или предохранительных (далее – ПК) конструкций. ЛСК – наружная ограждающая конструкция здания, способная снизить величину взрывных нагрузок до допустимого уровня.

На первый взгляд, применительно к вопросу обеспечения взрывобезопасности жилых газифицированных многоквартирных домов, для этой цели может использоваться заполнение оконных проемов. Рассмотрим данный вопрос более подробно. В контексте вопроса взрывобезопасности, наиболее интересны следующие классификации подобных заполнений:

1. По количеству рядов остекления: существуют конструкции с одинарным, двойным (однокамерный стеклопакет), тройным (двухкамерный стеклопакет), четверным (трехкамерный стеклопакет) рядами остекления (рисунок 1.14).



Рисунок 1.14 – Виды светопрозрачных конструкций

a – двойное остекление (одна камера); *б* – тройное остекление (две камеры);
в – четверное остекление (три камеры)

2. По способу открывания створок: с глухими рамами или открывающиеся наружу (рисунок 1.15).

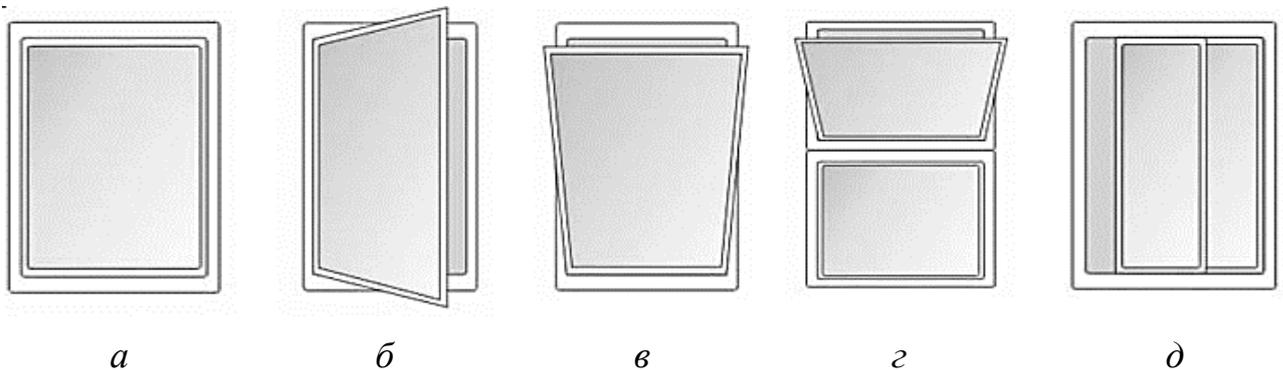


Рисунок 1.15 – Светопрозрачные конструкции по способу открывания створок

a – глухое остекление; *б* – поворотного типа; *в* – откидного типа;
г – фрамужного типа; *д* – раздвижного типа

Вопросами влияния приводимых выше оконных конструкций на величину взрывных нагрузок при дефлаграционных взрывах занимался профессор Г.Г. Орлова [29-36]. В его работах указывается, что в зависимости от размеров стекол в проеме (толщины, площади, соотношения сторон) и параметров крепления величина нагрузок, разрушающих стекла, находится в диапазоне 1,2 – 66 кПа [35].

Результаты экспериментальных исследований строительных конструкций на воздействие взрывных нагрузок, проводимых отечественными учеными, представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Разрушения строительных конструкций здания в зависимости от величины взрывных нагрузок

Элемент строительной конструкции	Характер разрушения	ΔP , кПа
1	2	3
Исследования П.Л. Савича [103]		
Остекление	Частичное разрушение	3,3
	Полное разрушение	7,2
Кирпичные стены	Опрокидывание стен	4,6
Оконные рамы	Полное разрушение	10,4
Исследования М.А. Садовского [104]		
Остекление	Полное разрушение	5
Перегородки	Полное разрушение	5
Кирпичные стены толщиной 38 см.	Значительное разрушение	25
Кирпичные стены толщиной 51 см.	Значительное разрушение	45
Исследования Н.А. Стрельчука [105]		
Остекление	Полное разрушение	5
Перегородки	Полное разрушение	5
Кирпичные стены толщиной 25 см.	Значительное разрушение	7
Кирпичные стены толщиной 38 см.	Значительное разрушение	15
Кирпичные стены толщиной 51 см.	Значительное разрушение	25
Кирпичные стены толщиной 64 см.	Значительное разрушение	55
Железобетонные стены толщиной 12 см.	Полное разрушение	60
Железобетонные стены толщиной 25 см.	Полное разрушение	80
Исследования В.И. Ганушкина [106]		
Остекление	Полное разрушение	5
Перегородки	Полное разрушение	10
Исследования С.М. Когарко [107]		
Остекление	Частичное разрушение	1,5
	Полное разрушение	3,5
Перегородки	Полное разрушение	12

Очевидно, что для правильного выбора вариантов остекления необходимо условие, чтобы нагрузки, разрушающие стекла, не превышали нагрузки, критичные для строительных конструкций. Однако приводимый ранее статистический анализ по аварийным взрывам на территории РФ наглядно показывает, что используемые в настоящее время многослойные стеклопакеты не обладают нужными характеристиками для своевременного вскрытия и, как следствие, снижения уровня взрывных нагрузок.

Для понимания важности характера остекления приведем пример: при заполнении кухни объемом 20 м^3 смесью стехиометрического состава, при установленном стеклопакете давление в замкнутом объеме может составить около 50 кПа. В случае же с установленным на кухне окном с параметрами, обеспечивающими давление вскрытия в 2 кПа, горение газа и истечение продуктов сгорания будут компенсировать друг друга, давление на кухне не поднимется выше 3 кПа, и, следовательно, здание не получит критических повреждений.

Вышесказанное позволяет сделать следующий вывод, сформулированный в работе [108]: заполнение оконных проемов многослойными стеклопакетами не позволяет рассматривать их в качестве предохранительных конструкций, ввиду формирования взрывных нагрузок, критичных для строительных конструкций. Таким образом, единственно возможное техническое решение, которые позволит снизить последствия взрыва – предохранительная конструкция с намеренно ослабленными элементами крепления. Изложенное выше позволяет сделать вывод о необходимости дальнейшей работы по возможности использования подобного заполнения оконных проемов применительно к кухням жилых домов. В частности, предполагается проведение натурных экспериментальных исследований, с использованием в предохранительной конструкции ослабленных крепежных элементов, с заданным значением давления вскрытия. Более подробно данный вопрос будет рассмотрен в главе 3.

Выводы по первой главе

1. Проведенный анализ показал актуальность темы исследования, что обусловлено значительным количеством взрывов бытового газа на территории Российской Федерации. Установлено, что каждая подобная аварийная ситуация развивается по различным сценариям. В одних случаях повреждения строительных конструкций здания носят сосредоточенный характер, в других происходит обрушение целых секций и подъездов жилых многоквартирных домов. Вариативность сценариев аварии и сложность физической картины внутренних дефлаграционных взрывов в жилых домах зачастую не позволяет установить истинную причину взрыва, что подтверждается соответствующими статистическими данными.

2. Наибольшее количество аварийных взрывов в жилых домах происходит на первых этажах зданий, что позволяет выдвинуть гипотезу об определяющем влиянии вентиляции на возможность формирования взрывоопасных концентраций.

3. Значительный рост числа взрывов характерен для жилых домов, введенных в эксплуатацию в период с 1971 по 1990 гг. – 43 % от общего числа. Предполагается, что данный рост связан с общим износом систем здания, в частности, с нарушением номинального режима работы системы газоснабжения и системы вентиляции. Характер разрушений при взрывах в домах, введенных в эксплуатацию после 2010 года, предположительно связан с использованием параметров остекления, способствующих превышению взрывных нагрузок над допустимым уровнем, ввиду существенного давления вскрытия.

4. Обзор существующих технических решений и мероприятий по предупреждению взрыва позволил сделать вывод о необходимости дальнейшей работы по исследованию параметров внутренних аварийных взрывов бытового газа в жилых домах, с целью разработки оптимальных решений и мероприятий, позволяющих с высокой вероятностью предотвратить аварийный взрыв или снизить величину взрывных нагрузок до допустимого уровня.

ГЛАВА 2 ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА ВНУТРЕННЕГО ДЕФЛАГРАЦИОННОГО ВЗРЫВА

Понимание физической картины взрыва является основной составляющей понимания самой аварии, ее причин и динамики развития. В рамках данной главы рассмотрены особенности аварийных ситуаций, связанных с аварийными взрывами бытового газа: от начала процесса формирования взрывоопасных концентраций при утечке, до наиболее частых сценариев развития аварии – взрывов в односвязных и многосвязных областях.

2.1 Формирование взрывоопасных концентраций в помещении

При аварийных взрывах основным показателем, характеризующим величину взрывных нагрузок, является избыточное давление. Значение данного параметра, как и весь сценарий аварии в целом напрямую зависит от концентрации газа, поступившего в помещение. С целью изучения вопроса формирования взрывоопасных концентраций в помещении в данной работе рассматривается процесс распространения газовой смеси при утечке в помещении.

На территории Российской Федерации в системах газоснабжения используется газ, основным компонентом которого является метан (около 98%) с небольшими примесями других углеводородов. В чистом виде бытовой газ не имеет запаха и цвета, поэтому в него добавляют одоранты (чаще всего этилмеркаптан), с целью обнаружения утечки газа. Концентрационные пределы распространения пламени представлены на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Диапазон взрывоопасных концентраций бытового газа

На процесс формирования взрывоопасных концентраций влияют следующие основные параметры:

- параметры переноса вещества в турбулентном потоке газа, описываемые коэффициентом турбулентной диффузии. Коэффициент турбулентной диффузии является важным параметром для описания и моделирования процессов переноса в турбулентных потоках. Его значение зависит от множества факторов, включая скорость и масштаб турбулентных структур, а также свойства среды. Понимание и правильное использование этого коэффициента позволяет более точно прогнозировать поведение различных систем и процессов в реальных условиях;

- параметры источника истечения газа (расход, давление в системе, место источника истечения);

- наличие или отсутствие вентиляции в помещении.

Математическое описание процесса в части распределения концентрации вещества по объему и его изменение во времени описывается уравнением диффузии [59]:

$$\frac{dC}{dt} = D_x \frac{d^2C}{dx^2} + D_y \frac{d^2C}{dy^2} + D_z \frac{d^2C}{dz^2} + \frac{dQ}{dV_{см}} - \text{div}(\vec{v}C), \quad (2.1)$$

где C – объемная концентрация вещества в смеси, %;

D – коэффициент диффузии для различных направлений, $\text{м}^2/\text{с}$;

$Q = q - L_{\text{вент}} \cdot C$ – объемный расход вещества, $\text{м}^3/\text{с}$;

q – расход метана через аварийное отверстие, $\text{м}^3/\text{с}$;

$L_{\text{вент}}$ – вентиляционный расход, $\text{м}^3/\text{ч}$;

v – скорость воздушного потока в помещении, $\text{м}/\text{с}$;

x, y, z – пространственные координаты;

t – время, с ;

$V_{см}$ – объем смеси, м^3 .

Для аварийных ситуаций, связанных с утечкой бытового газа в жилом доме, характерен малый расход (при утечке из конфорок), что позволяет производить математическое описание посредством использования однозонной модели.

Однозонная модель применительно к вопросам формирования взрывоопасных концентраций характеризуется следующими свойствами:

– в качестве расчетной ячейки принимается помещение с заданными однородными свойствами, параметры окружающей среды и смеси одинаковы по всему объему помещения;

– зависимость $\frac{dC}{dt}$ определяется связью между помещением утечки и соседними (смежными) помещениями и окружающей атмосферой.

Расчеты проводились в сферической симметрии в сфере с радиусом $R = 3,05$ м, что в определенной мере моделирует помещение кухни с принятыми габаритами, в углу которой имеется источник газа. При этом уравнение (2.1), с учетом изложенного в работах [42,59] приводилось к безразмерному виду, с введением параметра линейного размера. Единица времени в данном случае имеет следующий вид:

$$t_0 = \frac{L^2}{D}, \quad (2.2)$$

где L – линейный размер, м;

D – коэффициент диффузии для различных направлений, м²/с.

При переходе к сферическим координатам уравнение (2.1) выглядит следующим образом:

$$\frac{d}{d\bar{t}} (Q \cdot C) = \frac{d}{d\bar{x}} \left(Q \cdot \frac{dC}{d\bar{x}} \right), \quad (2.3)$$

где $\bar{x} = \frac{x}{L}$ – приведенное расстояние от источника выброса до места точки замера.

При условии, что $Q = \bar{x}^2$ для сферической симметрии, уравнение (2.3) для сферической области запишется следующим образом:

$$\frac{dC}{d\bar{t}} = \frac{d^2C}{d\bar{x}^2} + \frac{2}{\bar{x}} \cdot \frac{dC}{d\bar{x}}, \quad (2.4)$$

где $\bar{t} = \frac{t}{t_0}$ – характерное время;

$\bar{x} = \frac{x}{L}$ – приведенное расстояние от источника выброса до места точки замера.

Учитывая вышесказанное, для детального изучения процесса формирования взрывоопасных концентраций необходимо проведение исследований, направленных

на оценку величины коэффициента турбулентной диффузии как величины, необходимой для корректной работы математической модели.

2.1.1 Определение порядка величины коэффициента турбулентной диффузии в помещении кухни

Как уже говорилось ранее, экспериментальное определение коэффициента турбулентной диффузии бытового газа необходимо для построения математической модели, адекватно описывающей процесс формирования взрывоопасных концентраций. Перед работой над экспериментальной частью исследований были проведены расчеты для приблизительной оценки порядка значения коэффициента турбулентной диффузии, для последующего сопоставления с экспериментальной частью. Расчетная часть выполнялась в среде программно-вычислительного комплекса MATLAB, с использованием численных методов. Шаг по времени выбирался из соображений устойчивости схемы. При проведении расчетов использовались уравнения, записанные в безразмерном виде.

Методика проведения экспериментальных исследований представлена в работах [109,110] и заключалась в следующем: в качестве экспериментальной области использовалось помещение кухни с размерами $3 \times 2 \times 2,5$ м; в трех точках данного помещения осуществлялся замер концентрации. При превышении концентрации газовой смеси выше значения 0,05 % об. подавался звуковой сигнал. В качестве газа использовалась смесь из магистрального газопровода (98 % метана, 2 % - примеси бутана, пропана, этана, гексана и пентана). При определении порядка величины коэффициента турбулентной диффузии время срабатывания газоанализаторов определялось в трех точках, расположенных на уровне источника истечения газа при $z = 0,90$ м (рисунок 2.2). Воздухообмен с окружающей средой в рамках экспериментальных исследований не осуществлялся, с целью воспроизведения наиболее неблагоприятного сценария утечки газа.

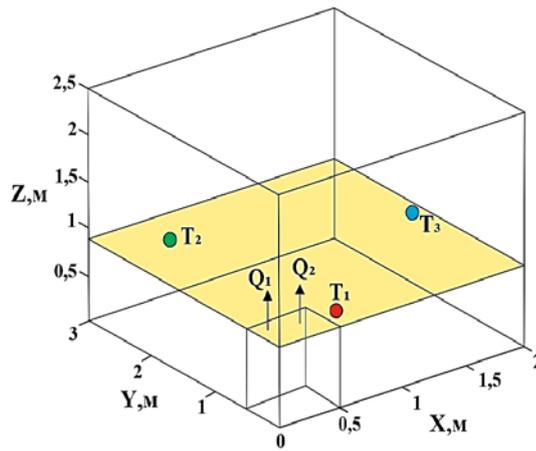


Рисунок 2.2 – Схема проведения эксперимента

Подача в помещение осуществлялась из 2-х конфорок газовой плиты с суммарным расходом $130 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$. С помощью секундомера фиксировалось время сигнализации датчиков о превышении контрольного значения концентрации. В качестве начального значения коэффициента турбулентной диффузии в расчетной части была принята величина, соответствующая коэффициенту молекулярной диффузии для метана ($D = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$). На рисунке 2.2 приведена схема проведения эксперимента с указанием расположения точек фиксации концентрации (T_1, T_2, T_3) и положения источников газа, имитирующих утечку из двух газовых конфорок (Q_1, Q_2).

Соответствующие графические зависимости для начального значения $D = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ представлены на рисунке 2.3. Для наглядности сравнения приводится зависимость при квазистатичном распространении газа (кривая А).

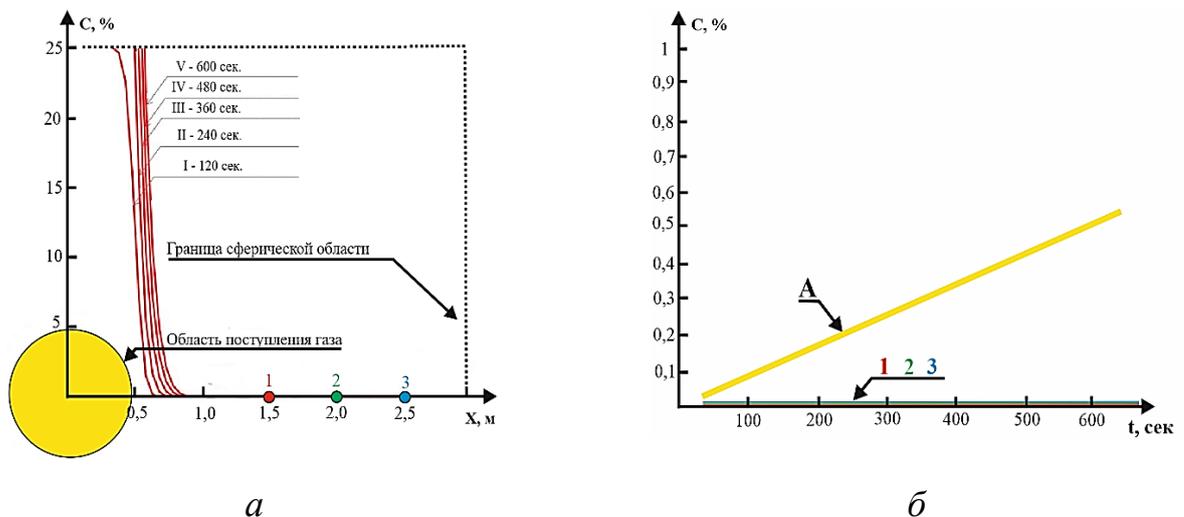


Рисунок 2.3 – Зависимости при $D = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$

а – схема сферической области для данного эксперимента;

б – зависимость изменения концентрации во времени для данного эксперимента

Анализ представленных графических зависимостей позволяет сделать вывод о том, что при данном значении коэффициента турбулентной диффузии формирование взрывоопасных концентраций в помещении кухни исключено, так значения концентрации, полученные при экспериментальном исследовании, не достигаются (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Результаты расчетов и эксперимента, полученные применительно к величине коэффициента турбулентной диффузии $D = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$

Получаемые данные при $D = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$	$(T_1), \text{ с}$	$(T_2), \text{ с}$	$(T_3), \text{ с}$
Расчет	-	-	-
Эксперимент	86	148	227

Увеличение порядка величины коэффициента турбулентной диффузии до $D = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ позволило получить следующие результаты (рисунок 2.4).

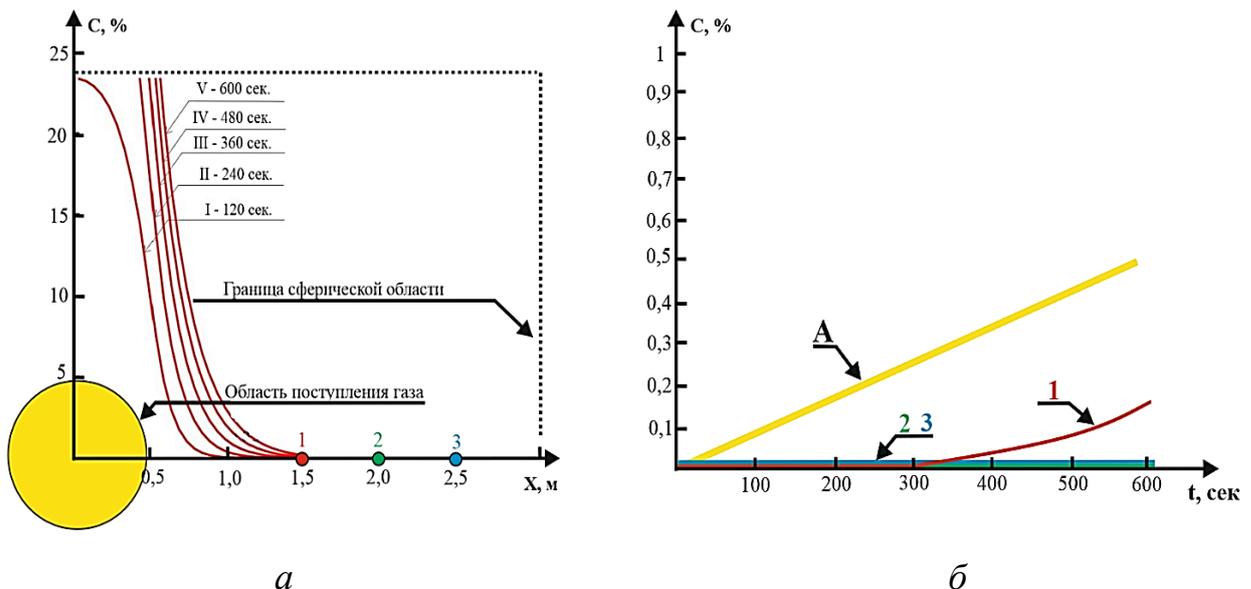


Рисунок 2.4 – Зависимости при $D = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$

а) схема сферической области для данного эксперимента;

б) зависимость изменения концентрации во времени для данного эксперимента

Анализ представленных графических зависимостей позволяет сделать вывод о том, что при данном значении коэффициента турбулентной диффузии рост концентрации наблюдается в точке 1, расположенной на расстоянии 1,5 м от источника истечения. Сравнение экспериментальных и расчетных данных представлено в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты расчетов и эксперимента, полученные применительно к величине коэффициента турбулентной диффузии $D = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$

Получаемые данные при $D = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$	$T_1, \text{ с}$	$T_2, \text{ с}$	$T_3, \text{ с}$
Расчет	450	> 10 мин.	> 10 мин.
Эксперимент	86	148	227

Увеличение порядка величины коэффициента турбулентной диффузии до $D = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ позволило получить следующие результаты (рисунок 2.5).

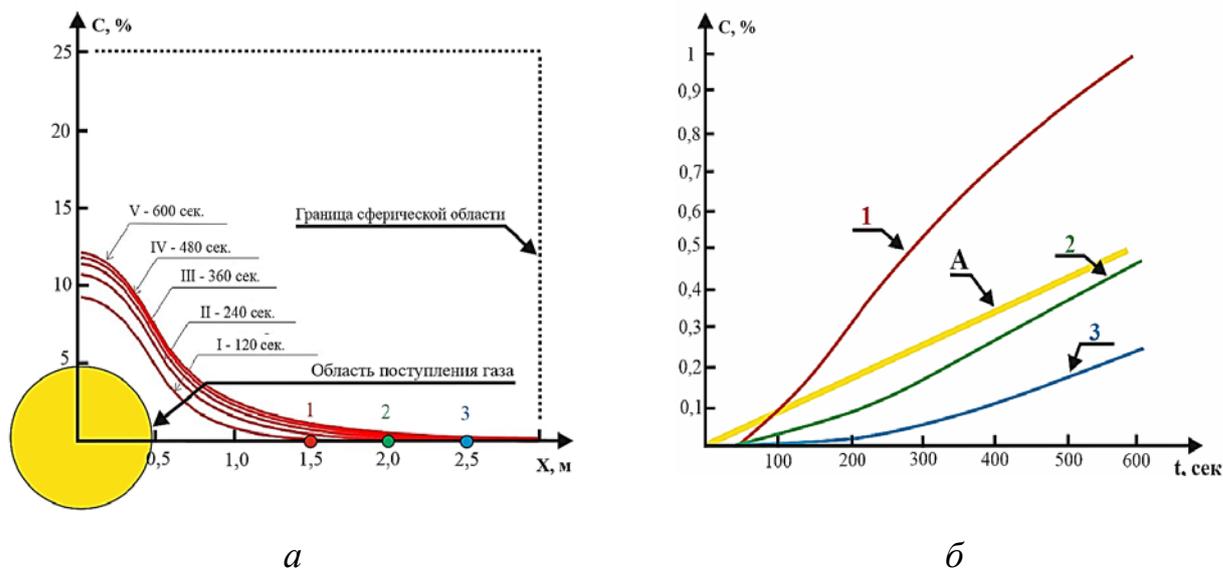


Рисунок 2.5 – Зависимости при $D = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$

а – схема сферической области для данного эксперимента;

б – зависимость изменения концентрации во времени для данного эксперимента

Анализ представленных графических зависимостей позволяет сделать вывод о том, что при данном значении коэффициента турбулентной диффузии контрольное значение концентрации в точке 1 практически соответствует экспериментальным данным (таблица 2.3). Значения концентрации в точках 2 и 3 демонстрируют удовлетворительную сходимость с результатами эксперимента (в контексте порядка величины коэффициента турбулентной диффузии).

Таблица 2.3 – Результаты расчетов и эксперимента, полученные применительно к величине коэффициента турбулентной диффузии $D = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$

Получаемые данные при $D = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$	$T_1, \text{ с}$	$T_2, \text{ с}$	$T_3, \text{ с}$
Расчет	90	190	310
Эксперимент	86	148	227

Увеличение порядка величины коэффициента турбулентной диффузии до $D = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}$ позволило получить следующие результаты (рисунок 2.6).

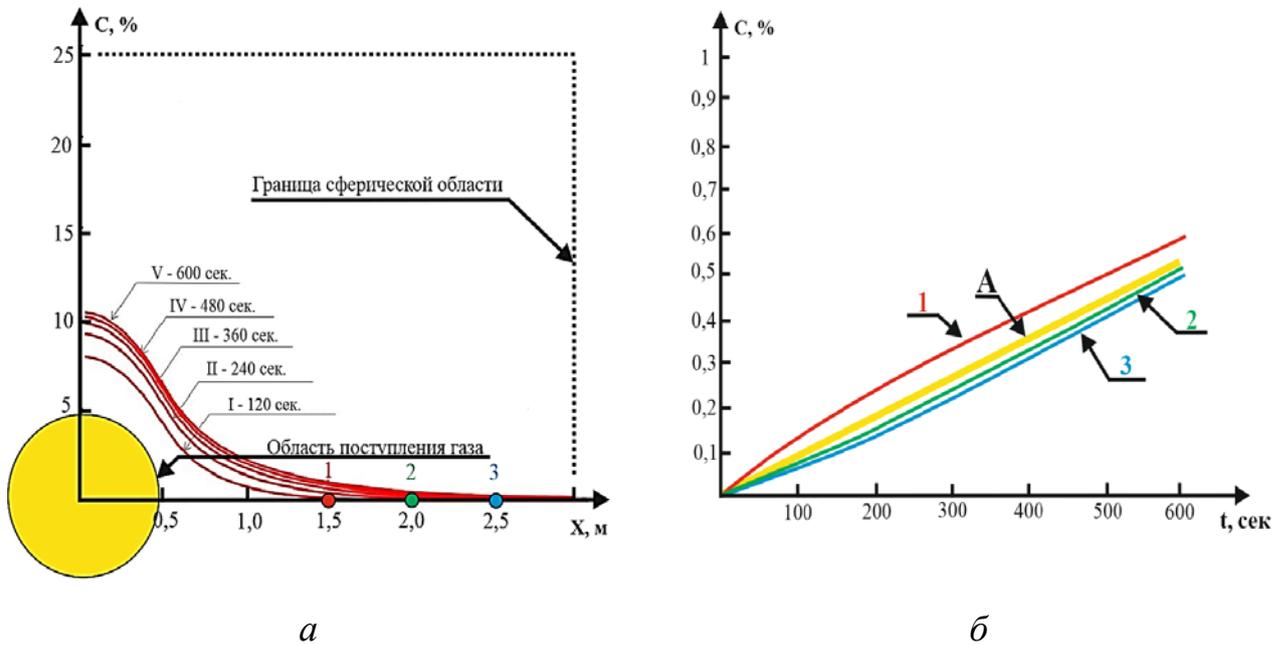


Рисунок 2.6 – Зависимости при $D = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}$

а – схема сферической области для данного эксперимента;

б – зависимость изменения концентрации во времени для данного эксперимента

Анализ представленных графических зависимостей позволяет сделать вывод о том, что при данном значении коэффициента турбулентной диффузии наблюдается процесс, близкий к квазистатическому, что противоречит экспериментальным данным (таблица 2.4). В частности, кривая *A* на рисунке 2.6 практически накладывается на кривые изменения концентрации для T_1 , T_2 , T_3 , расположенных в разных точках помещения.

Таблица 2.4 – Результаты расчетов и эксперимента, полученные применительно к величине коэффициента турбулентной диффузии $D = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}$

Получаемые данные при $D = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2/\text{с}$	$T_1, \text{ с}$	$T_2, \text{ с}$	$T_3, \text{ с}$
Расчет	41	50	53
Эксперимент	86	148	227

Увеличение порядка величины коэффициента турбулентной диффузии до $D = 2 \cdot 10^{-1} \text{ м}^2/\text{с}$ позволило получить следующие результаты (рисунок 2.7).

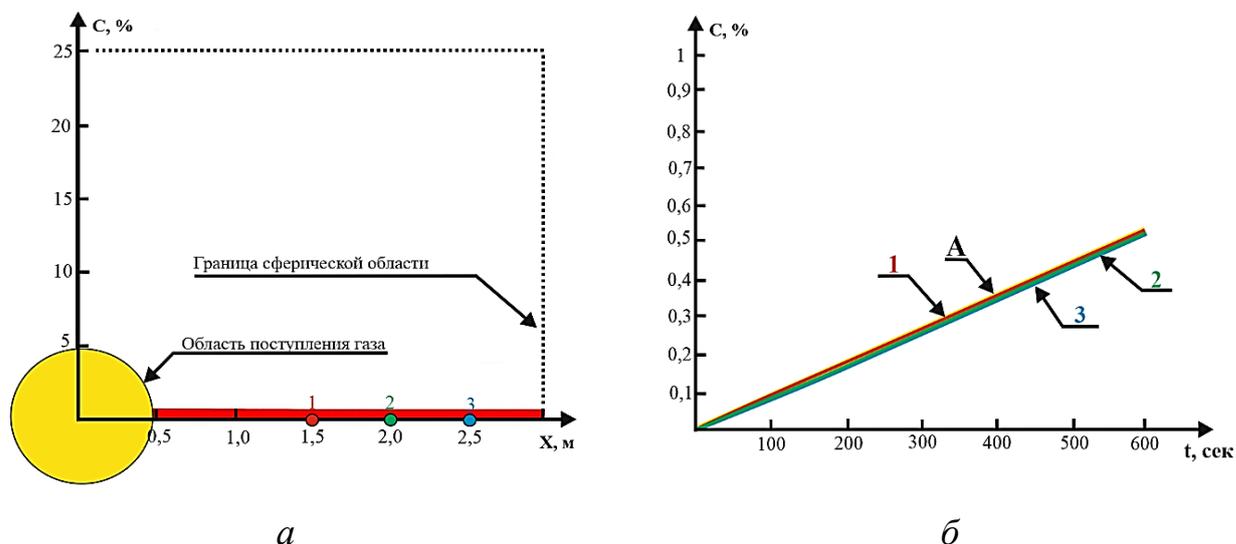


Рисунок 2.7 – Зависимости при $D = 2 \cdot 10^{-1} \text{ м}^2/\text{с}$

a – схема сферической области для данного эксперимента;

б – зависимость изменения концентрации во времени для данного эксперимента

Анализ представленных графических зависимостей позволяет сделать вывод о том, что при данном значении коэффициента турбулентной диффузии величина концентрации не зависит от пространственной координаты, что говорит о полной квазистатичности процесса (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Результаты расчетов и эксперимента, полученные применительно к величине коэффициента турбулентной диффузии $D = 2 \cdot 10^{-1} \text{ м}^2/\text{с}$

Получаемые данные при $D = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$	$T_1, \text{ с}$	$T_2, \text{ с}$	$T_3, \text{ с}$
Расчет	100	100	100
Эксперимент	86	148	227

Итоговые результаты исследований порядка коэффициента турбулентной диффузии представлены в сводной таблице (таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Результаты расчета при определении порядка величины D

Значение $D, \text{ м}^2/\text{с}$	Расчетные значения времени достижения концентрации в точках		
	$T_1, \text{ с}$	$T_2, \text{ с}$	$T_3, \text{ с}$
$2 \cdot 10^{-5}$	-	-	-
$2 \cdot 10^{-4}$	450	> 10 мин.	> 10 мин.
$2 \cdot 10^{-3}$	90	190	310
$2 \cdot 10^{-2}$	41	50	53
$2 \cdot 10^{-1}$	100	100	100

Таким образом, полученные результаты данного исследования позволяют утверждать, что реальный порядок величины D составляет не менее $10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$.

2.1.2 Уточнение величины коэффициента турбулентной диффузии в помещении кухни

Данная часть исследований была направлена на уточнение полученной ранее величины. В частности, было проведено две серии экспериментов. В первой серии экспериментов время срабатывания газоанализаторов (достижение концентрацией значения 0,05 % об.) определялось в трех точках кухни, расположенных на полу кухни ($z = 0,05$ м). Во второй серии экспериментов координаты x и y расположения точек измерения времени срабатывания газоанализаторов были аналогичны координатам расположения точек измерения времени срабатывания газоанализаторов второго эксперимента, а координата $z = 0,90$ м, что соответствует высоте расположения конфорок плиты.

На рисунке 2.8 приведены схемы проведения экспериментов с указанием расположения точек фиксации концентрации и положения источников газа.

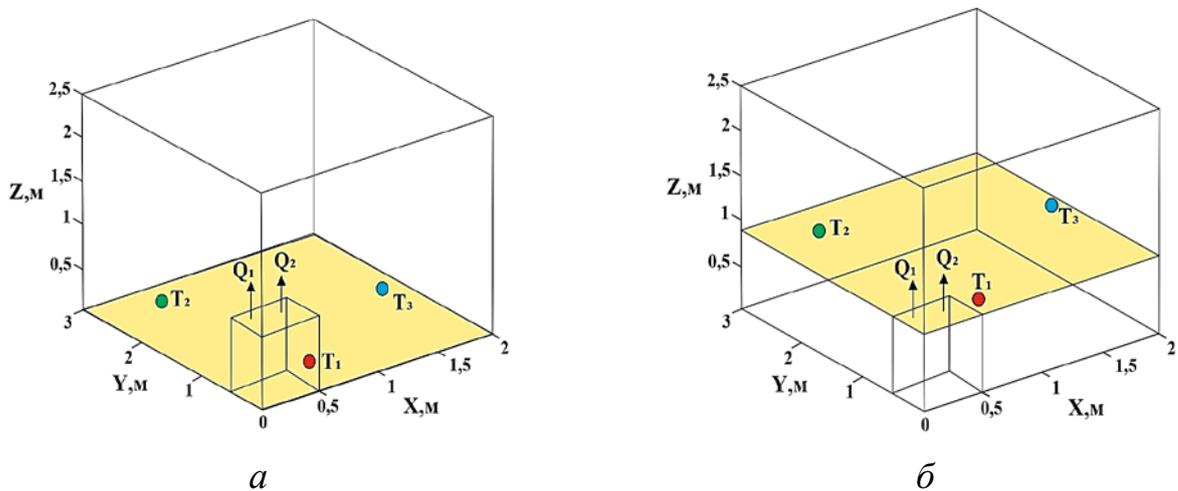


Рисунок 2.8 – Схема проведения эксперимента с указанием точек замера

a – схема при $z = 0,05$ м; *б* – схема при $z = 0,90$ м

Начальным значением при уточнении являлась величина коэффициента D , равная $4 \cdot 10^{-3}$ м²/с. На рисунке 2.9, *a* представлена зависимость изменения концентрации во времени для данного эксперимента. Рисунок 2.9, *б* демонстрирует построенные по результатам расчета поля концентраций. Изолинии строились, исходя из поля концентраций, рассчитанных в сечении кухни с координатой схема при $z = 0,05$ м (на уровне пола) через 300 с после начала истечения газа.

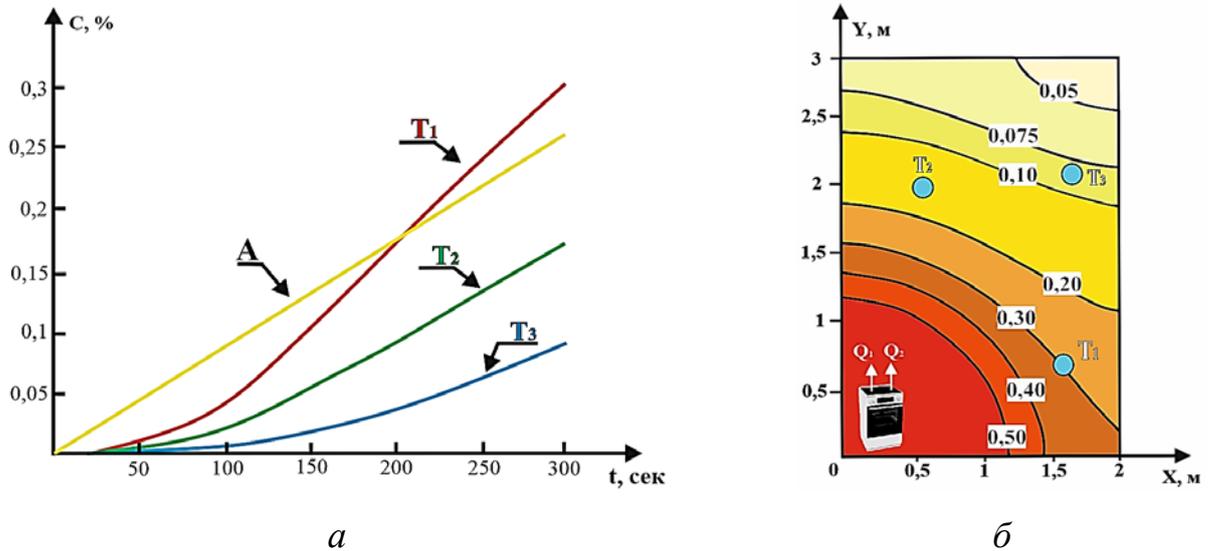


Рисунок 2.9 – Исследование процесса формирования взрывоопасных концентраций при $D = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$

a – зависимость изменения концентрации во времени для данного эксперимента;
 b – поля концентраций через 300 с после начала истечения

Увеличение величины коэффициента турбулентной диффузии до $D = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ позволило получить следующие результаты (рисунок 2.10).

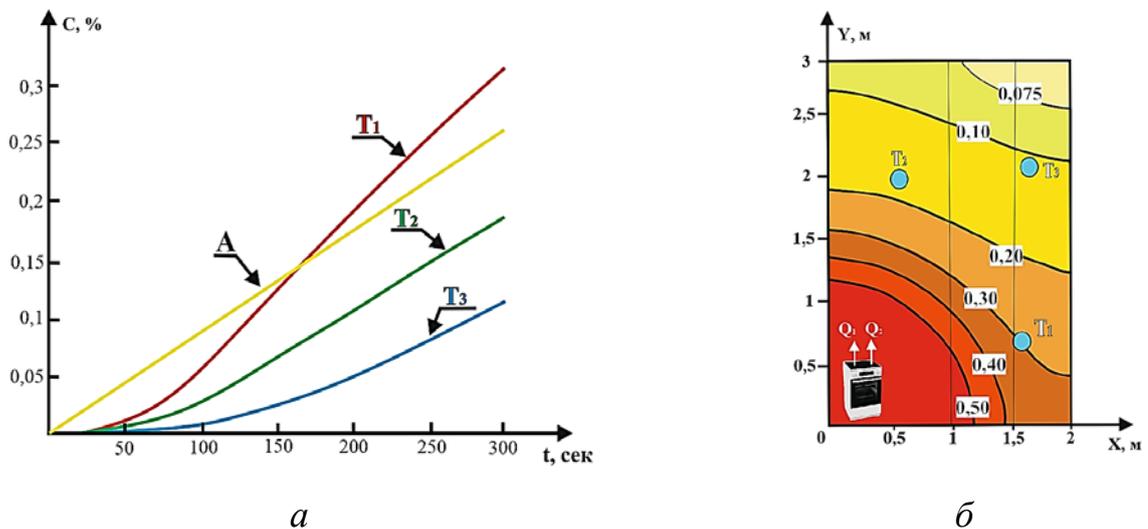


Рисунок 2.10 – Исследование процесса формирования взрывоопасных концентраций при $D = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$

a – зависимость изменения концентрации во времени для данного эксперимента;
 b – поля концентраций через 300 с после начала истечения

Результаты для величины коэффициента турбулентной диффузии $D = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ представлены на рисунке 2.11.

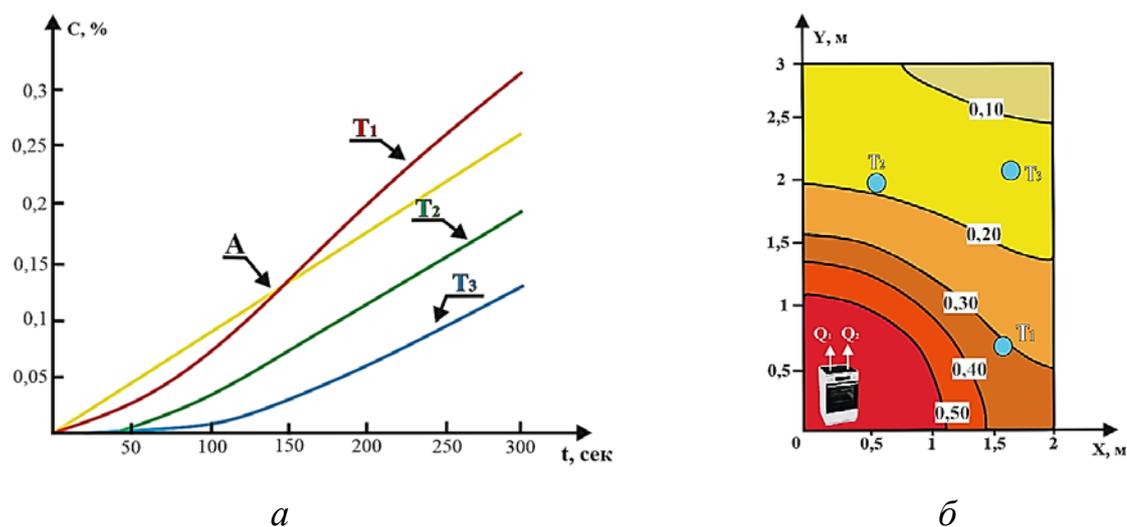


Рисунок 2.11 – Исследование процесса формирования взрывоопасных концентраций при $D = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$

a – зависимость изменения концентрации во времени для данного эксперимента;
 b – поля концентраций через 300 с после начала истечения

Результаты эксперимента и расчетов, полученных применительно к условиям эксперимента №1, были сведены в таблицу 2.7 и опубликованы в работе [109].

Таблица 2.7 – Результаты расчета при $z = 0,05 \text{ м}$

Значение D , $\text{м}^2/\text{с}$	Расчетные значения времени достижения концентрации в точках		
	T_1 , с	T_2 , с	T_3 , с
$4 \cdot 10^{-3}$	109,5	148,3	235,4
$5 \cdot 10^{-3}$	94,8	131,1	203,5
$6 \cdot 10^{-3}$	86,2	120,1	184,8

В результате выполненных экспериментальных исследований при $z = 0,05 \text{ м}$ было установлено, что время достижения концентрации в T_1 составило 93 с, T_2 - 131 с, T_3 - 238 с.

Сопоставление расчетных и экспериментальных данных (с использованием соответствующих математических операций) позволило получить итоговое значение коэффициента турбулентной диффузии, применительно к условиям данного эксперимента (таблица 2.8).

Таблица 2.8 – Итоговые результаты экспериментальных исследований по определению коэффициента турбулентной диффузии при $z = 0,05 \text{ м}$

Итоговые значения D , $\text{м}^2/\text{с}$ при $z = 0,05 \text{ м}$	T_1	T_2	T_3
		$5,1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$

Методика проведения 2-й серии аналогична представленной при проведении 1-й серии экспериментов. Результаты для величины коэффициента турбулентной диффузии $D = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ представлены на рисунке 2.12.

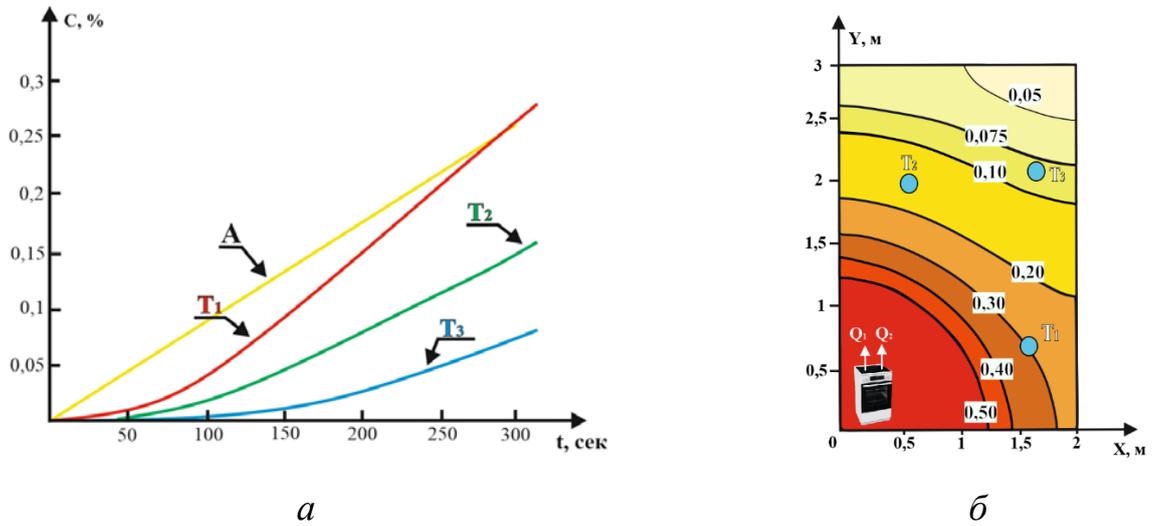


Рисунок 2.12 – Исследование процесса формирования взрывоопасных концентраций при $D = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$

a – зависимость изменения концентрации во времени для данного эксперимента;

б – поля концентраций через 300 с после начала истечения

Увеличение величины коэффициента турбулентной диффузии до $D = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ для данной серии экспериментов позволило получить следующие результаты (рисунок 2.13).

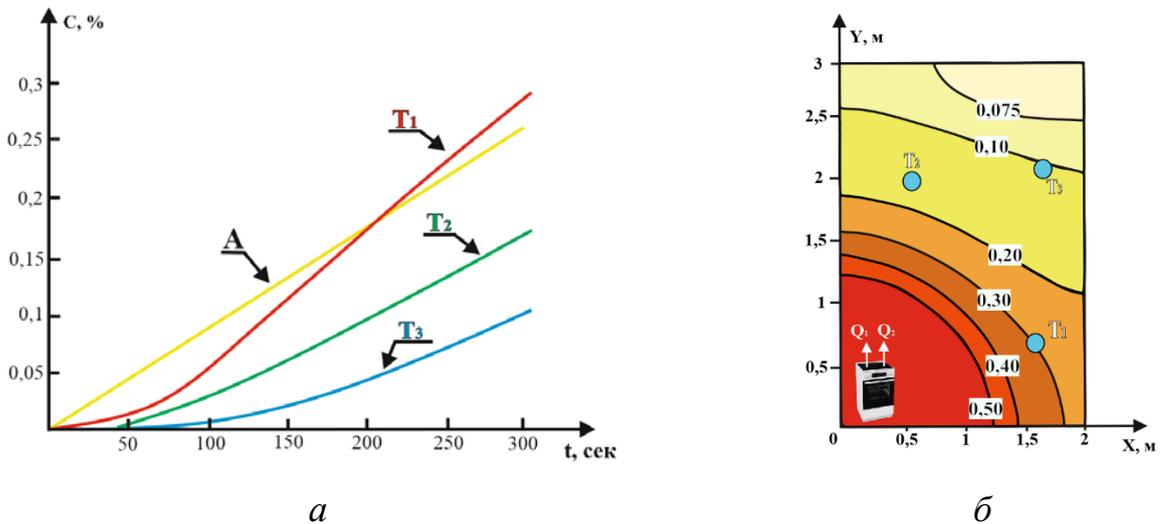


Рисунок 2.13 – Результаты расчета при $D = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$

a – временные зависимости концентрации в двух точках помещения;

б – изолинии равных концентраций в сечении расчетной трехмерной сетки

Результаты эксперимента и расчетов, полученных применительно к условиям эксперимента №2, были сведены в таблицу 2.9.

Таблица 2.9 – Результаты расчета при $z = 0,90$ м

Значение D , м ² /с	Расчетные значения времени достижения концентрации в точках		
	T_1 , с	T_2 , с	T_3 , с
$4 \cdot 10^{-3}$	107,4	149,7	243,9
$5 \cdot 10^{-3}$	94,4	134,3	214,8
$6 \cdot 10^{-3}$	79,7	118,5	184,7

В результате выполненных экспериментальных исследований при $z = 0,90$ м было установлено, что время достижения концентрации в T_1 составило 86 с, T_2 - 148 с, T_3 - 227 с.

Сопоставление расчетных и экспериментальных данных (с использованием соответствующих математических операций) позволило получить итоговое значение коэффициента турбулентной диффузии, применительно к условиям данного эксперимента (таблица 2.10).

Таблица 2.10 – Итоговые результаты экспериментальных исследований по определению коэффициента турбулентной диффузии при $z = 0,90$ м

Итоговые значения D , м ² /с при $z = 0,90$ м	T_1	T_2	T_3
		$5,7 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$

На рисунке 2.14 показана условная схема проведения линейной экстраполяции для определения коэффициента турбулентной диффузии в помещении кухни при измерении времени срабатывания газоанализатора в точке 1, в ходе проведения эксперимента № 2.

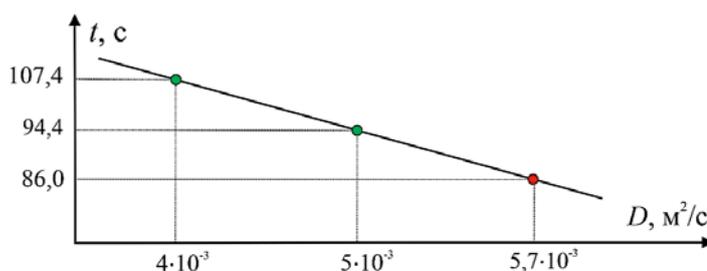


Рисунок 2.14 – Схема проведения линейной экстраполяции

Сводные данные по результатам 2-х серий экспериментальных исследований представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Итоговые результаты экспериментальных исследований

Высота плоскости z , м	Значение D , м ² /с		
	T_1	T_2	T_3
0,05	$5,1 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$
0,90	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$

Таким образом, в результате проведенных и опубликованных результатов исследований [109] было установлено, что коэффициент турбулентной диффузии, используемый для моделирования процесса формирования взрывоопасных концентраций, значительно превышает коэффициент молекулярной диффузии и составляет не менее $D = 4 \cdot 10^{-3}$ м²/с. Среднее значение при расположении газоанализатора на уровне пола ($z = 0,05$ м) составило величину $D = 4,7 \cdot 10^{-3}$ м²/с; при расположении газоанализатора на уровне источника истечения газа ($z = 0,90$ м) величину $D = 4,8 \cdot 10^{-3}$ м²/с.

2.1.3 Математическая модель формирования взрывоопасных концентраций

Приводимые ранее результаты были использованы при разработке математической модели, описывающей процесс формирования взрывоопасных концентраций в помещении малого объема (приложение Б). На рисунке 2.15 показана зависимость роста концентрации от расхода системы вентиляции, полученная с использованием данной модели. Моделирование проводилось в помещении размерами $3 \times 2 \times 2,5$ м, при значении коэффициента турбулентной диффузии $D = 4 \cdot 10^{-3}$ м²/с. Расход газа соответствовал расходу типовой конфорки газовой плиты ($Q_k = 0,18$ м³/ч).

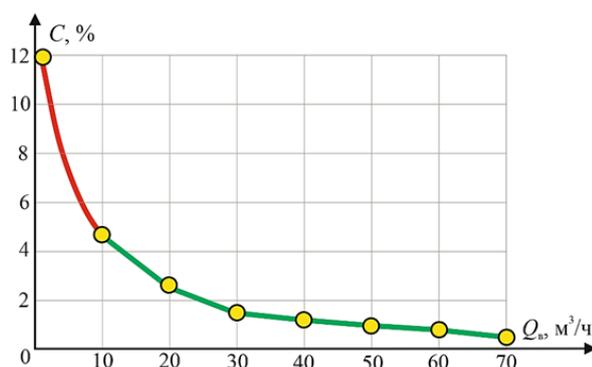


Рисунок 2.15 – Зависимость концентрации от вентиляционного расхода

Данная зависимость наглядно демонстрирует, что образование взрывоопасной концентрации при утечке из одной конфорки возможно при вентиляционном расходе $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ и менее. На основе данного вывода можно предположить, что выполнение системой вентиляции заданных функций ($70 \text{ м}^3/\text{ч}$) позволяет говорить о невозможности формирования взрывоопасных концентраций при утечке из одной газовой конфорки. Однако в ходе наблюдения за изменением вентиляционного расхода в течение суток исследований было установлено, что значения вентиляционного расхода в течение суток изменяются по циклической зависимости. Так, для раннего утра характерно минимальное значение вентиляционного расхода (особенно в период относительного равенства температур, ввиду работы системы отопления в межсезонье). Пик вентиляционного расхода наступает около 19 ч, после чего вновь начинает снижаться по циклической зависимости. Данное явление в сопоставлении с изменением концентрации во времени представлено на рисунке 2.16.

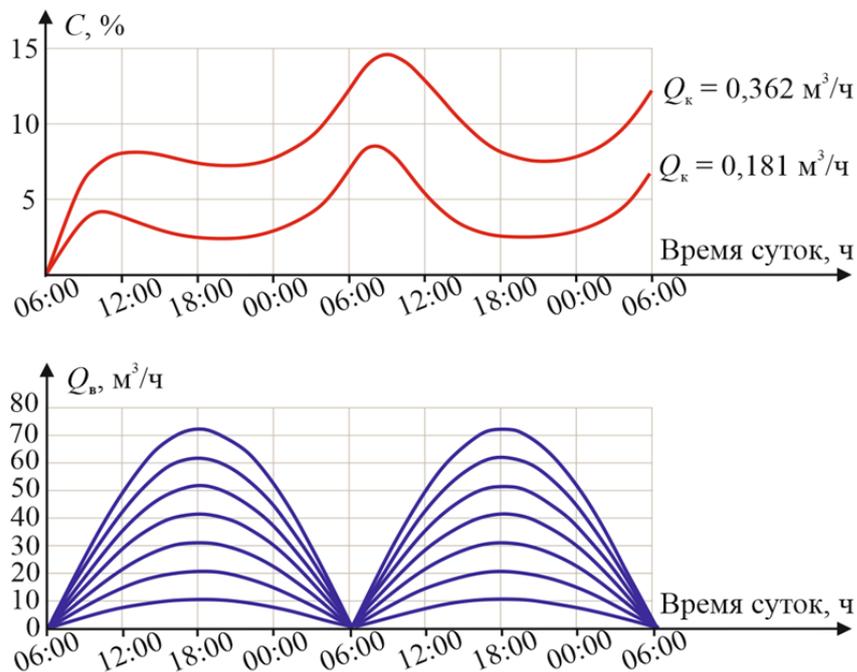


Рисунок 2.16 – Зависимость концентрации от вентиляционного расхода в течение суток

Сводная зависимость концентрации от расхода газа и вентиляционного расхода представлена на рисунке 2.17.

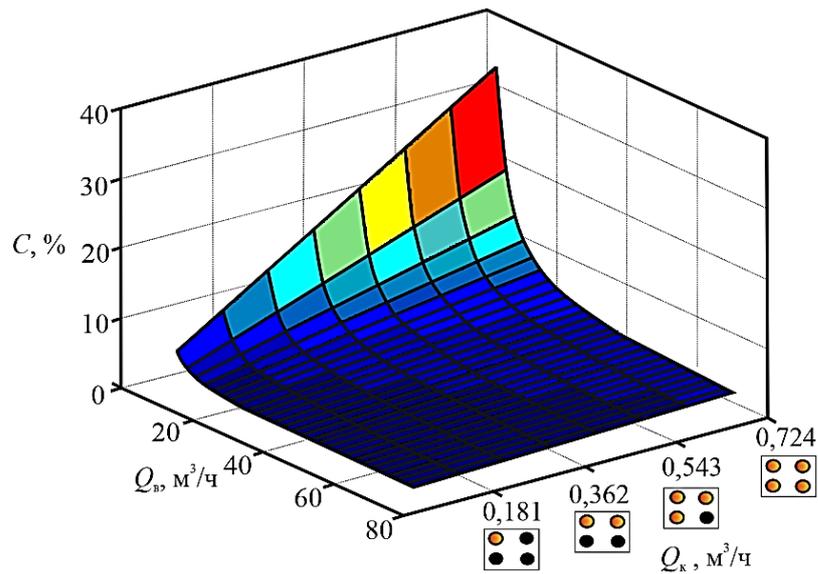


Рисунок 2.17 – Зависимость концентрации от расхода газа и вентиляционного расхода

Анализ данных зависимостей позволяет сделать следующий вывод: образование взрывоопасных концентраций возможно при утечке из одной конфорки газовой плиты ($Q_k = 0,18 \text{ м}^3/\text{ч}$) при условии минимального значения вентиляционного расхода в помещении, время образования взрывоопасных концентраций в данном случае составляет не менее 10 ч. Однако вероятность «опрокидывания» вентиляции в течение суток говорит о невозможности исключения риска поступления в объем помещения газа в необходимом для взрыва объеме.

2.1.4 Способ исключения возможности формирования взрывоопасной смеси

Как было установлено ранее, вероятность «опрокидывания» вентиляции в течение суток говорит о невозможности исключения риска поступления газа в помещение, в связи с чем в рамках работы предлагается способ исключения возможности формирования взрывоопасной смеси. Данный способ предполагает комплексное решение и может быть реализован несколькими вариантами построения системы.

Так, при первом варианте построения системы (рисунок 2.18), при поступлении газа в объем помещения из источника истечения (1) происходит срабатывание системы контроля загазованности и оповещения (2), с автоматической передачей сигнала на перекрытие подачи газа посредством отсечного газового клапана (3), устанавливаемого на гибкий газопровод, отходящий от основного стояка (4). Параллельно происходит передача сигнал на вытяжной бытовой вентилятор (5), с последующим удалением поступившего газа через воздуховод (6).

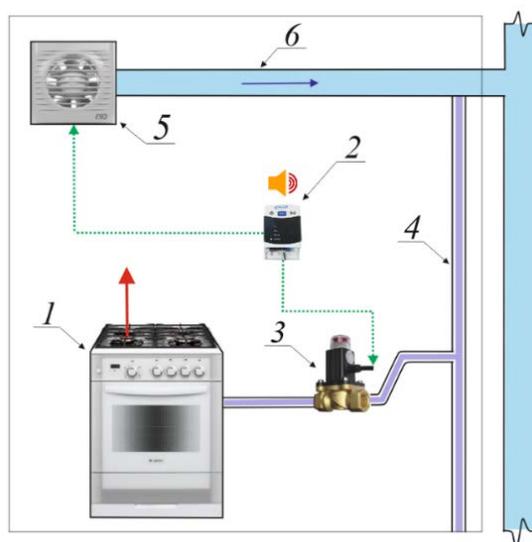


Рисунок 2.18 – Схема с использованием вытяжного вентилятора с механическим побуждением

При втором варианте построения системы (схема которого представлена на рисунке 2.19), при поступлении газа в объем помещения из источника истечения (1) происходит срабатывание системы контроля загазованности и оповещения (2), с автоматической передачей сигнала на перекрытие подачи газа посредством отсечного газового клапана (3), устанавливаемого на гибкий газопровод, отходящий от основного стояка (4). При построении данной системы используется вентиляционное отверстие естественной вентиляции (5). Одновременно с обнаружением утечки происходит передача сигнал на вытяжную установку (6), с последующим удалением поступившего газа через изолированные воздуховоды естественной и принудительной вентиляции (7).

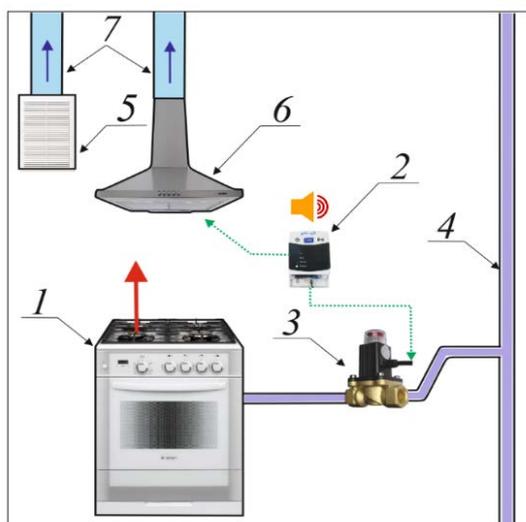


Рисунок 2.19 – Схема с комплексным использованием вентиляционного отверстия и вытяжной системы

При третьем варианте построения системы (схема которого представлена на рисунке 2.20), при поступлении газа в объем помещения из источника истечения (1) происходит срабатывание системы контроля загазованности и оповещения (2), с автоматической передачей сигнала на перекрытие подачи газа посредством отсечного газового клапана (3), устанавливаемого на гибкий газопровод, отходящий от основного стояка (4). Удаление газа осуществляется через вентиляционное отверстие естественной вентиляции (5) по воздуховоду (6), посредством тяги, создаваемой канальным вентилятором (7).

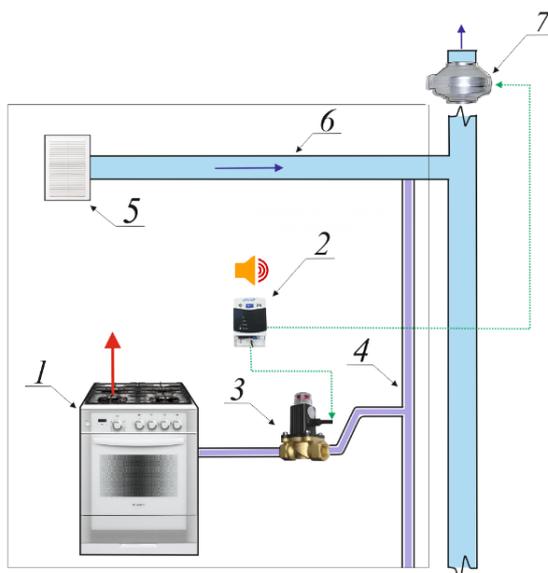


Рисунок 2.20 – Схема с использованием вентиляционного отверстия с канальным вентилятором, устанавливаемым на вентиляционный канал

Таким образом, предлагаемый способ предотвращения формирования взрывоопасных концентраций в помещениях жилых домов, оборудованных газовыми приборами, позволит осуществить своевременное оповещение, перекрытие подачи газа и удаление газа, поступившего в объем помещения.

2.2 Экспериментальное исследование параметров внутреннего взрыва

Помимо описанных ранее исследований по изучению формирования взрывоопасных концентраций, в данной главе приводятся результаты исследования параметров дефлаграционного взрыва в односвязной и многосвязной областях. Известно, что аварийные ситуации, связанные со взрывом бытового газа, могут развиваться по различным сценариям - существенное влияние на физическую картину взрыва оказывает связь между помещениями. Так, при сосредоточении газа в помещении кухни авария развивается по сценарию, характерному для односвязной области - помещение, в котором произошла утечка, не сообщается с другими помещениями, то есть имеет лишь оконный проем и является односвязным (изолированным). Дверь кухни при этом закрыта и газовоздушная смесь сосредоточена в пределах помещения. Изучению данного сценария посвящена первая часть экспериментальных исследований.

Во второй серии экспериментов изучался сценарий, характерный для распространения газа в смежные или соседние помещения. Подобный ход аварии характерен для взрывов в многосвязных областях.

Необходимо отметить, что физическая картина аварийного взрыва для приводимых далее экспериментальных исследований на модельной камере соответствует картине реальных взрывов, с разницей лишь во времени протекания аварии.

2.2.1 Методика проведения эксперимента

Эксперимент проводился при температуре окружающей среды от $+20\text{ C}^{\circ}$. Для создания газо-воздушной смеси использовался метан. Методика проведения эксперимента следующая: во взрывную камеру, объемом 125 л (250 л при реализации взрыва в смежном помещении) подавалось необходимое (ранее экспериментально установленное) количество горючего газа (метана) в необходимом объеме. Методика и результаты исследований представлены в работе [111].

Экспериментальная камера (рисунок 2.21), разработанная ИКБС НИУ МГСУ, представляет собой две камеры, равные по объему и разделенные перегородкой. В зависимости от воспроизводимого сценария перегородка закрыта (взрыв в односвязной области), либо открыта (взрыв в многосвязной области).

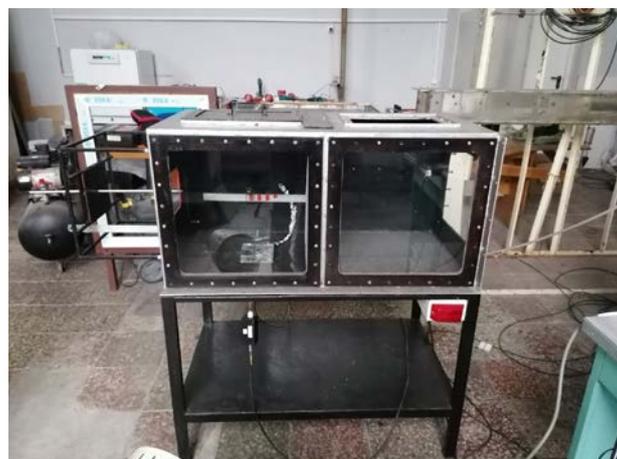
*а**б*

Рисунок 2.21 – Экспериментальная камера

а – общий вид камеры; *б* – вид сбоку

В момент начала подачи газа включается система перемешивания воздуха внутри камеры и отключается одновременно с подачей горючего вещества. Производится задержка включения источника воспламенения на 1 минуту для достижения равномерной стехиометрической смеси по всему объему взрывной камеры, после чего производится воспламенение газовой смеси. Скоростная камера обеспечивает видеосъемку со скоростью до 240 кадров в секунду при разрешении

1920×1080. Для управления высокоскоростной камерой и обработкой видеозаписи использовалось программное обеспечение *SRV-HS*. Испытания проводились применением поверенных средств измерений (таблица 2.12).

Таблица 2.12 – Средства измерения

Наименование средств измерения	Диапазон	Класс точности
Барометр–анероид метеорологический БАММ–1	(80–106) кПа	± 0,2 кПа
Измеритель влажности и температуры RGK ТН–14	(0–99) %	не более ± 2 %
Рулетка измерительная металлическая 3м.	(0–3) м	Класс точности 2
Секундомер механический СОСпр–2б–2–010	(0–60) мин	Класс точности 2
Преобразователь напряжения измерительный	От –10 до +10 В	Класс точности 2

Принципиальная схема подключаемого оборудования представлена на рисунке 2.22.

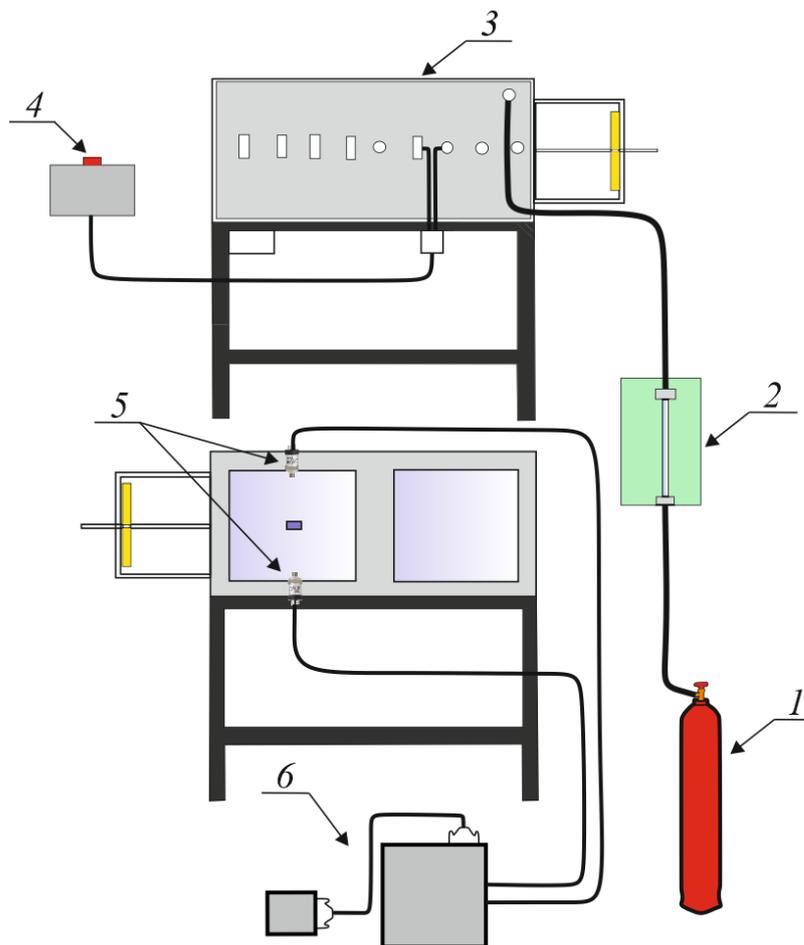


Рисунок 2.22 – Принципиальная схема подключаемого оборудования
 1 – емкость с газом; 2 – ротаметр измерительный; 3 – экспериментальная камера; 4 – пусковой блок; 5 – датчики давления; 6 – измерительное оборудование

2.2.2 Экспериментальное исследование параметров внутреннего взрыва в изолированных помещениях

В данном разделе рассматривается сценарий, при котором помещение, в котором произошла утечка, не сообщается с другими помещениями, то есть имеет лишь оконный проем и является односвязным (изолированным). Дверь кухни при этом закрыта и смесь сосредоточена лишь в пределах данного помещения.

Для понимания физической картины аварийного взрыва в изолированном помещении данная ситуация была воспроизведена в лабораторных условиях. Схема экспериментальной установки применительно к данному сценарию выглядит следующим образом (рисунок 2.23). Методика и результаты данной серии экспериментов представлены в работе [111].

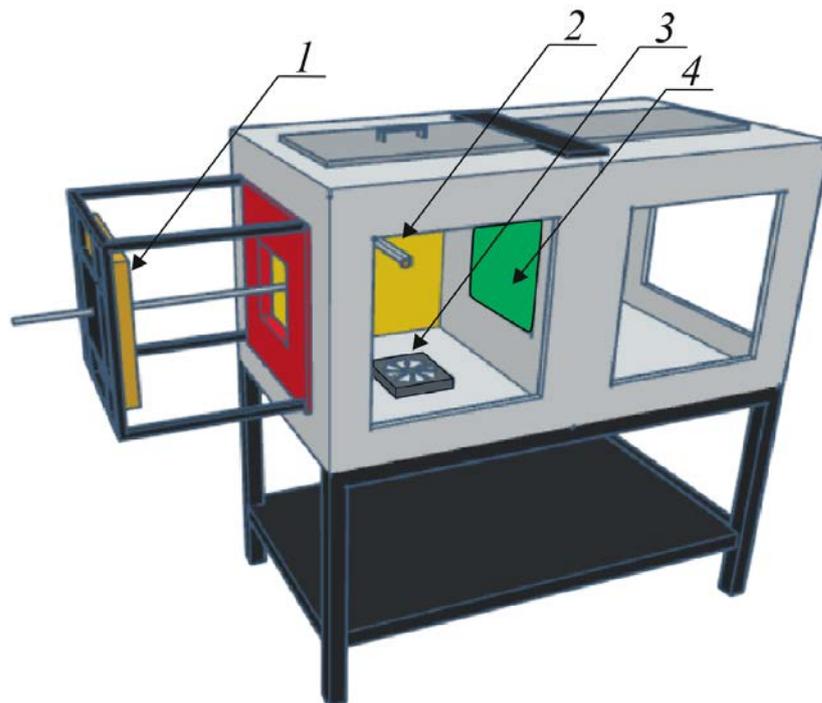


Рисунок 2.23 – Схема экспериментальной установки

- 1 – предохранительная конструкция; 2 – электрический поджиг;
3 – система перемешивания; 4 – закрываемая для данного эксперимента
перегородка между камерами

В рамках исследования дефлаграционного взрыва в односвязной области проводилось 6 экспериментов. На рисунке 2.24 в целях наглядности физической картины взрыва показан процесс горения газовой смеси в различные моменты времени для одного из проводимых экспериментов.

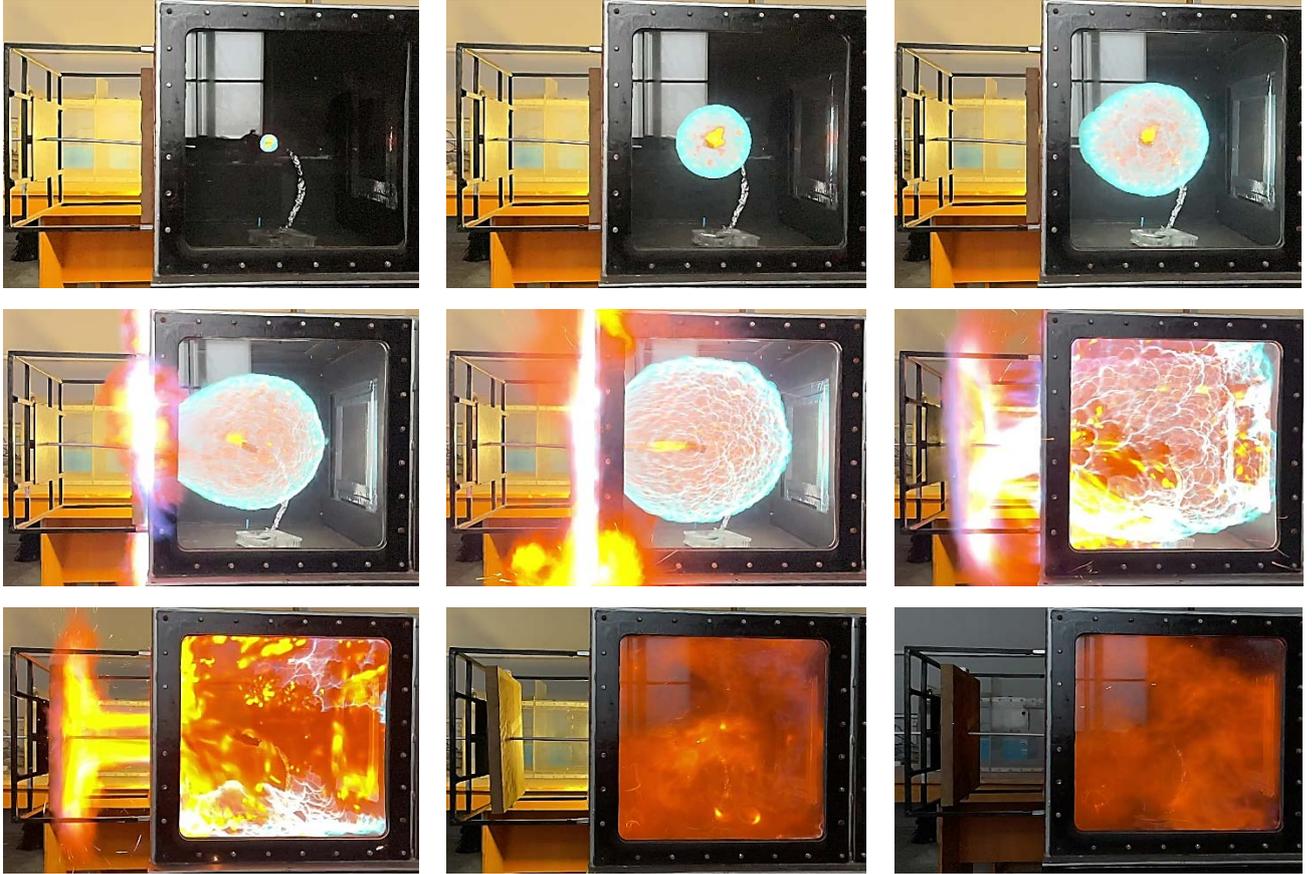
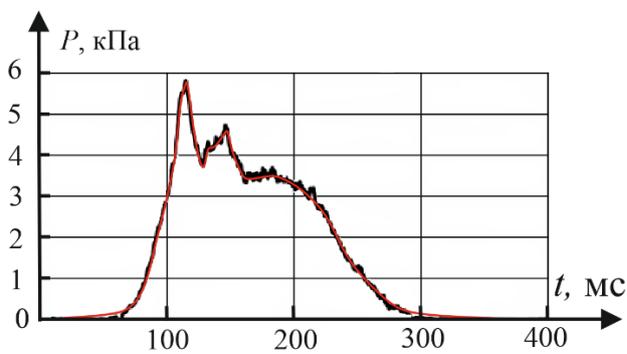
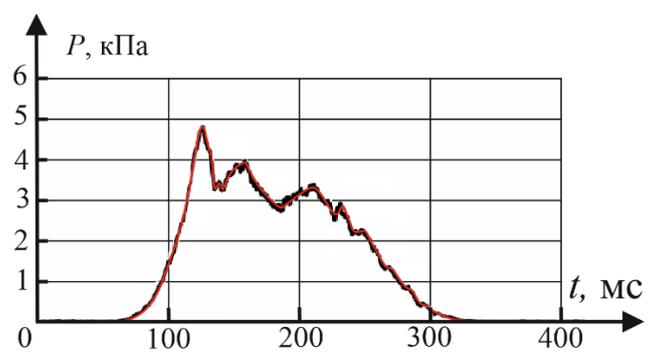


Рисунок 2.24 – Кадры взрывного горения при проведении эксперимента № 1

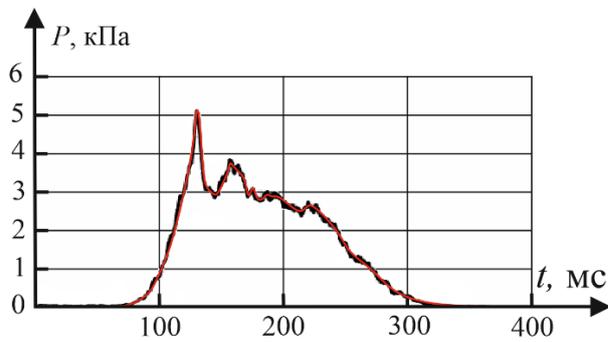
Зависимости взрывного давления во времени для данной серии экспериментов по исследованию процесса взрывного горения в односвязной области представлены на рисунке 2.25.



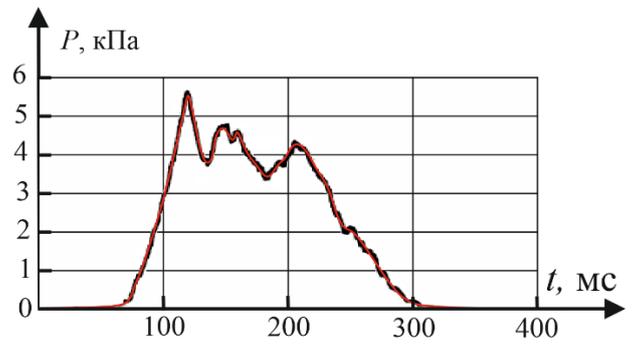
Эксперимент № 1



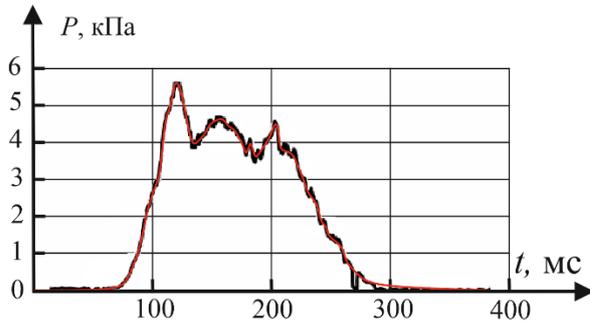
Эксперимент № 2



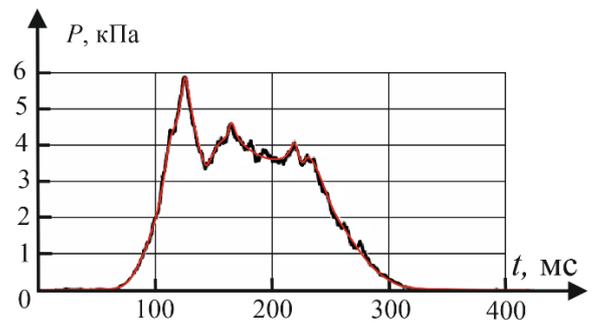
Эксперимент № 3



Эксперимент № 4



Эксперимент № 5



Эксперимент № 6

Рисунок 2.25 – Зависимости давления от времени для 1-й серии экспериментов

Рассмотрим более подробно процесс взрывного горения в односвязной области на примере эксперимента № 1 (рисунок 2.26).

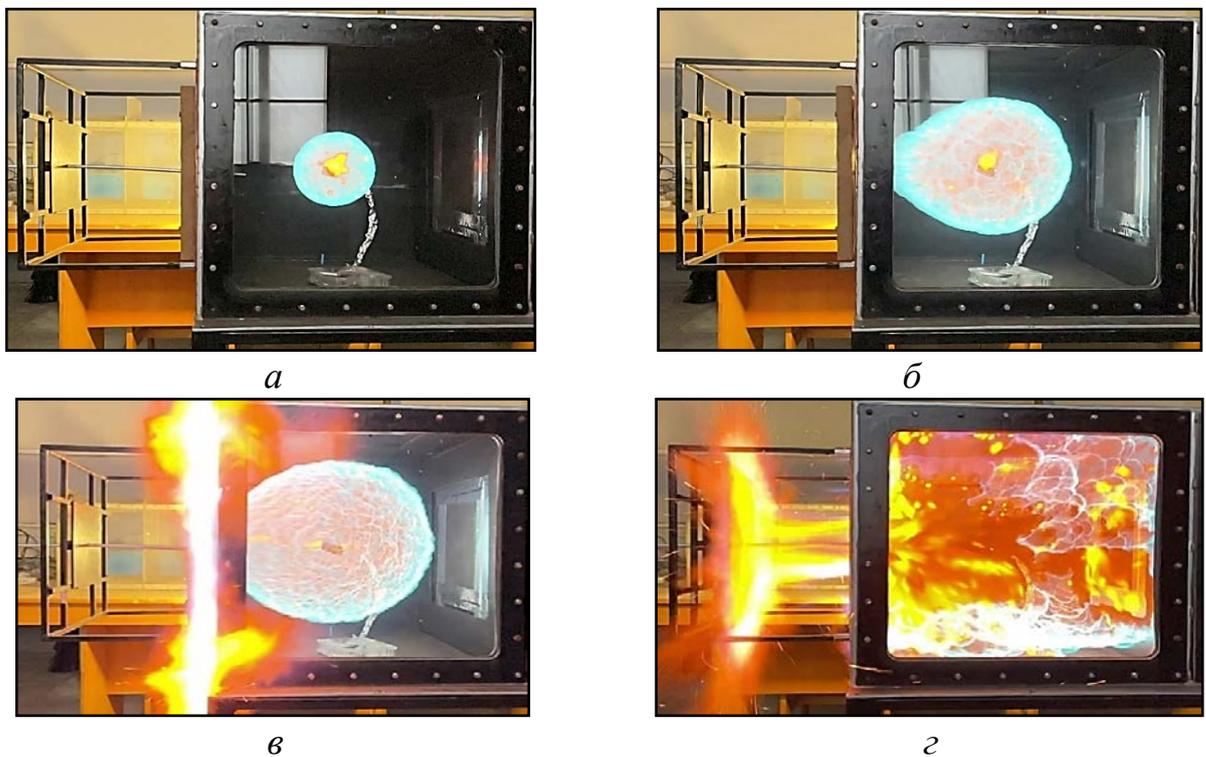


Рисунок 2.26 – Процесс горения газовой смеси в односвязной области

По данным изображениям видно, что в начальный момент времени фронт пламени имеет форму сферы (рисунок 2.26, *а*). В момент начала вскрытия конструкции (рисунок 2.26, *б*) форма пламени начинает меняться, происходит смещение и вытягивание фронта в направлении установленной предохранительной конструкции (окна). Несгоревшая смесь частично выделяется в пространство вне камеры с последующим горением; во внутреннем объеме камеры в это время продолжается процесс дефлаграции (рисунок 2.26, *в*). На рисунке 2.26, *г* показан заключительный этап взрывного горения, характеризующийся истечением горючих газов через проем предохранительной конструкции [111].

На рисунке 2.27 представлено сопоставление приводимых кадров с осциллограммой взрывного давления для эксперимента № 1.

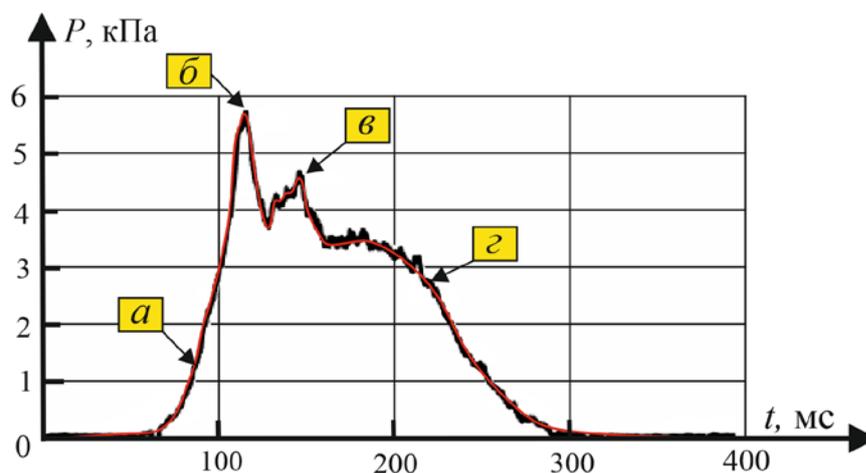


Рисунок 2.27 – Осциллограмма давления при взрыве в односвязной области
а – распространение фронта пламени в начальный момент времени; *б* – момент начала вскрытия конструкции – первый пик давления; *в* – рост фронта пламени и возникновение горения за пределами камеры – второй пик давления; *г* – истечение продуктов взрыва в атмосферу

Проведенные экспериментальные исследования показали достаточную сложность процесса горения, происходящего при реальных аварийных взрывах в полужамкнутых пространствах (кухнях жилых домов) и важность выбора параметров конструкций (остекления) для их своевременного вскрытия. С точки зрения величин взрывных нагрузок сценарий внутреннего аварийного дефлаграционного взрыва в полужамкнутых пространствах не является самым

неблагоприятным, так как значительно большую опасность представляют внутренние взрывы в многосвязных помещениях [111].

2.2.3 Экспериментальное исследование параметров внутреннего взрыва в многосвязных помещениях

В данном разделе рассматривается сценарий, при котором помещение, в котором произошла утечка, сообщается с другими помещениями, то есть имеет оконный проем; дверь кухни при этом открыта, что способствует перетеканию смеси в коридор (рисунок 2.28). Методика и результаты данной серии экспериментов представлены в работах [112,113].

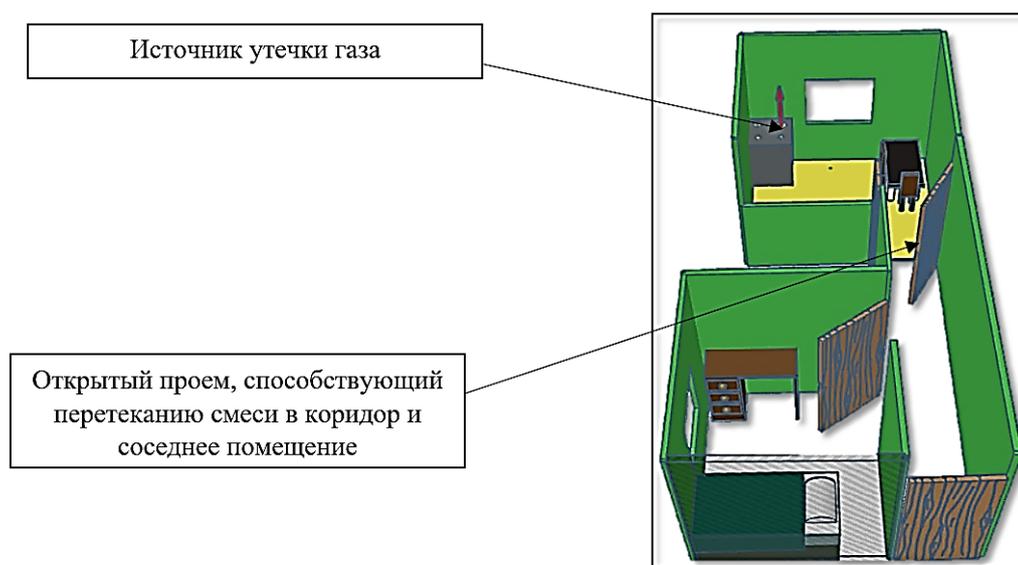


Рисунок 2.28 – Состояние проемов для реализации сценария взрыва в многосвязных областях

Для понимания физической картины аварийного взрыва в многосвязных помещениях данная ситуация была воспроизведена в лабораторных условиях.

Эксперимент проводился при температуре окружающей среды $+ 21,1 \text{ C}^{\circ}$. В камеру 1, оборудованную предохранительной конструкцией размером $13 \times 13 \text{ см}$ подавалось необходимое для создания стехиометрической смеси количество горючего газа. После прекращения подачи открывалась внутренняя перегородка, тем

самым способствуя перетеканию образовавшейся смеси в камеру 2 (рисунок 2.29).

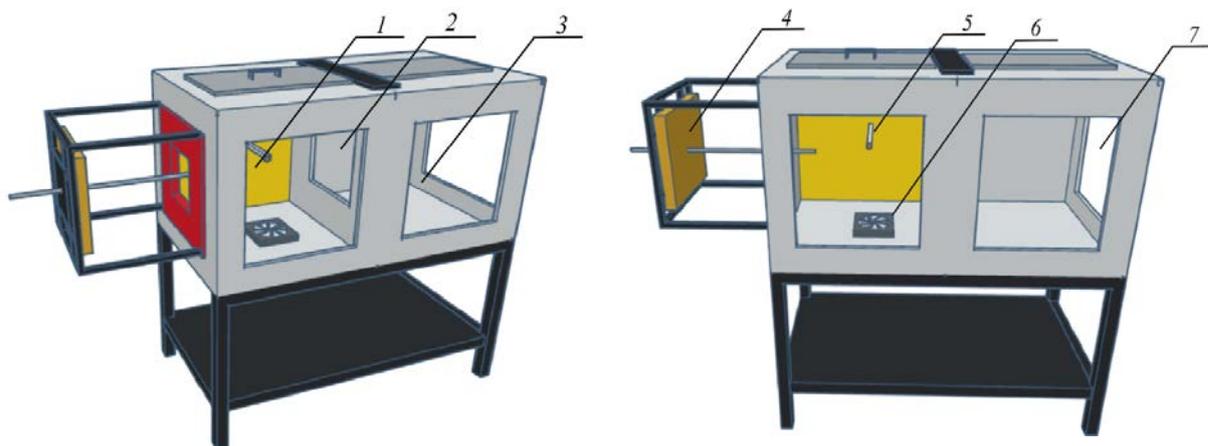
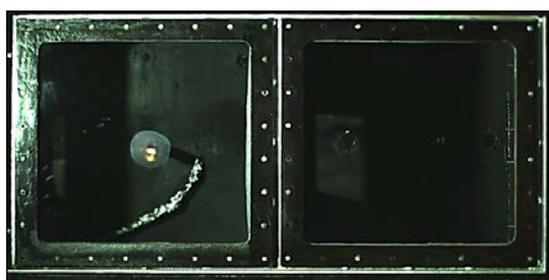


Рисунок 2.29 – Принципиальная схема экспериментальной установки

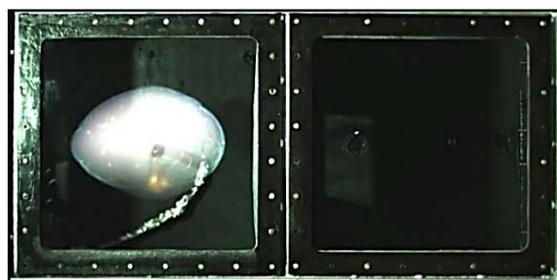
1 – камера № 1, в объем которой подается газ; 2 – разделяющий камеры проем; 3 – камера № 2; 4 – предохранительная конструкция камеры № 1; 5 – источник зажигания (искра); 6 – система перемешивания; 7 – сбросной проем камеры № 2

После перемешивания и распространения смеси по объему производилось воспламенение посредством подачи искрового разряда.

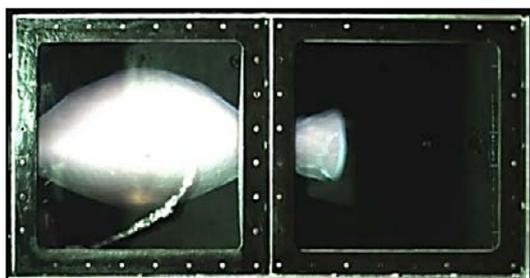
В рамках исследования дефлаграционного взрыва в многосвязной области проводилось 2 эксперимента. На рисунке 2.30 в целях наглядности физической картины взрыва показан процесс горения газовой смеси в различные моменты времени для одного из проводимых экспериментов.



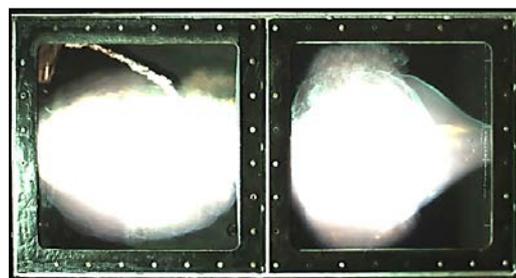
a



б



в



г

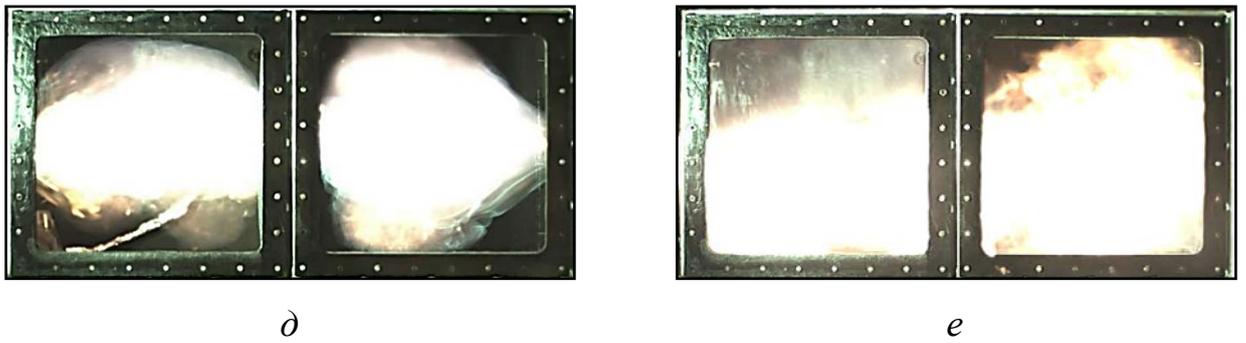


Рисунок 2.30 – Процесс горения газовоздушной смеси в многосвязной (смежной) области для эксперимента № 1

Зависимости взрывного давления во времени для данной серии экспериментов по исследованию процесса взрывного горения в односвязной области представлены на рисунках 2.31, 2.32.

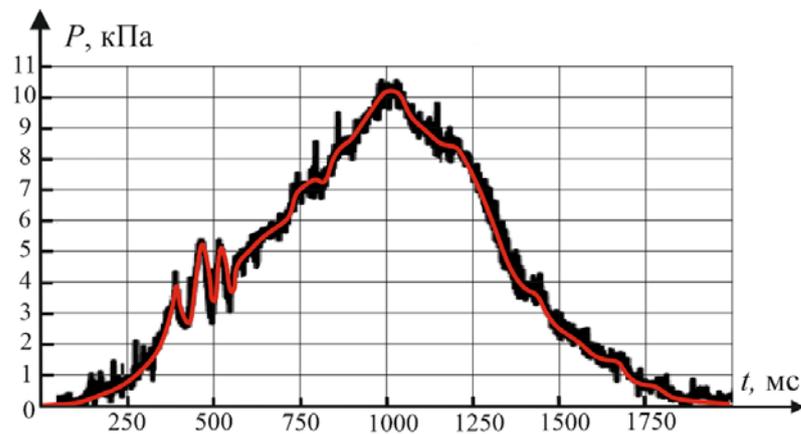


Рисунок 2.31 – Зависимость взрывного давления во времени для эксперимента № 1 при взрыве в многосвязной области

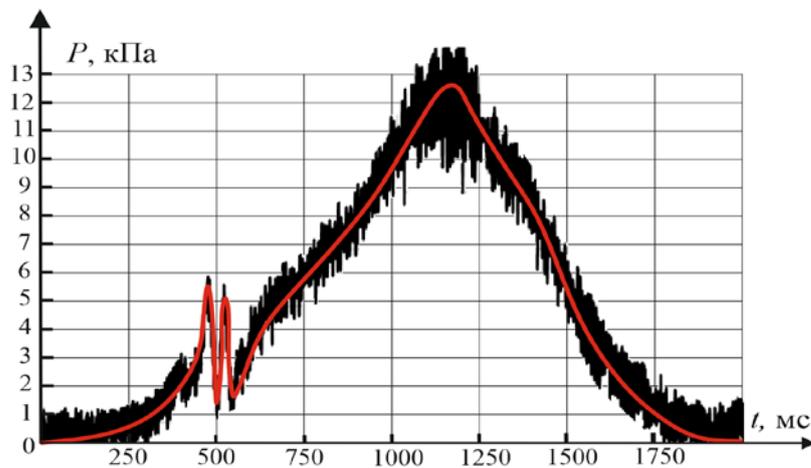


Рисунок 2.32 – Зависимость взрывного давления во времени для эксперимента № 2 при взрыве в многосвязной области

Рассмотрим более подробно процесс взрывного горения в многосвязной области на примере эксперимента № 1 (Рисунок 2.33).

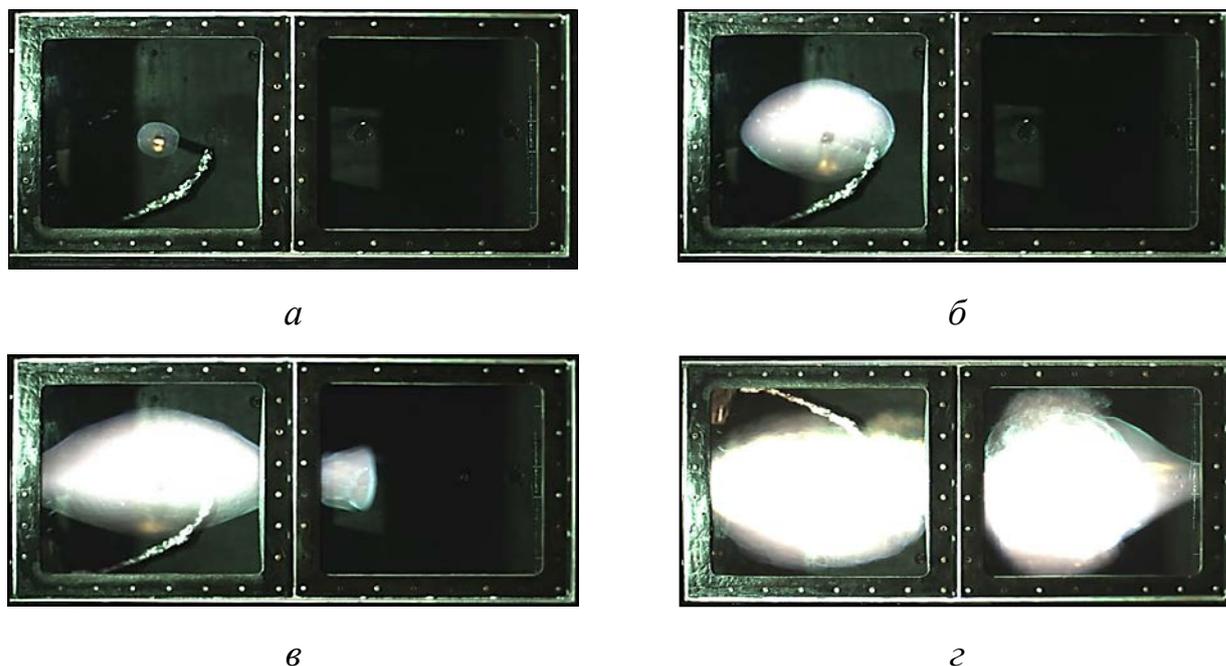


Рисунок 2.33 – Процесс горения газовой смеси в односвязной области

Известно, что при дефлаграционных процессах происходит расширение продуктов взрыва, что в свою очередь приводит к росту взрывных нагрузок. Видимая скорость пламени при этом значительно меньше скорости расширения продуктов взрыва. Это позволяет говорить об определяющем влиянии газодинамических потоков, возникающих при аварийном взрыве. Охарактеризовать данную особенность развития взрывной аварии можно следующим образом. При воспламенении взрывоопасной смеси в одном из смежных помещений (рисунок 2.33, *а*) происходит ее расширение (рисунок 2.33, *б*) и выдавливание (рисунок 2.33, *в*) в смежные помещения. Скорости потоков при этом достаточно высоки. Это приводит к турбулизации выдавленной смеси и росту скорости ее выгорания, что в свою очередь приводит к росту скоростей потока и дальнейшему росту взрывного давления (рисунок 2.29, *г*). В результате уровни взрывного давления в смежных помещениях оказываются выше, чем в первоначально загазованном помещении [112,113]. На рисунке 2.34 представлено сопоставление приводимых кадров с осциллограммой взрывного давления для эксперимента № 1 в многосвязной области.

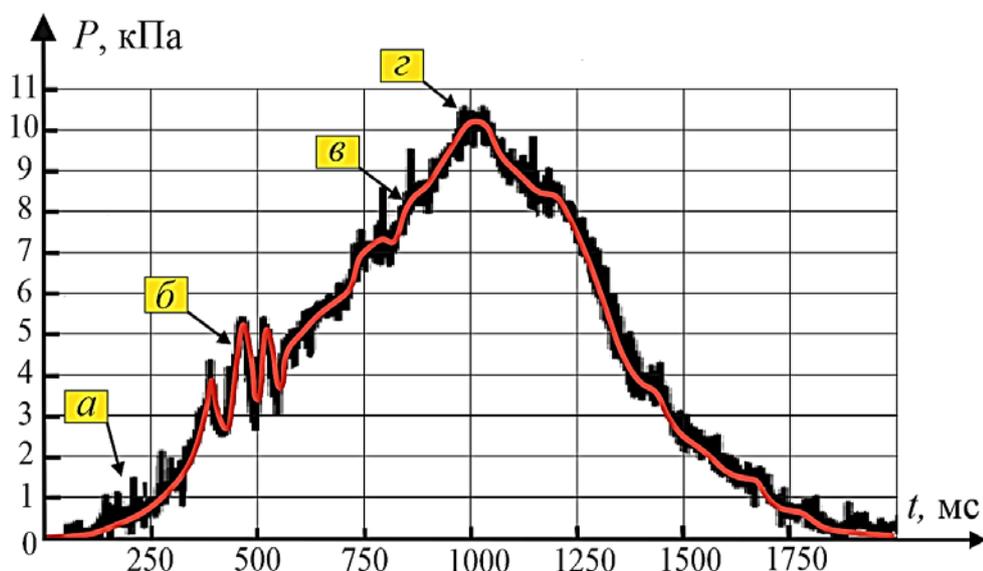


Рисунок 2.34 – Осциллограмма давления при взрыве в многосвязной области
 а – воспламенение смеси в камере № 1; б – расширение смеси, вскрытие ПК в камере № 1; в – выдавливание смеси в объем камеры № 2; г – турбулизация смеси

Сравнивая процесс горения в односвязной и многосвязной областях, необходимо отметить следующее: сценарий взрыва в односвязной области характеризуется ламинарным горением с относительно стабильным фронтом пламени (рисунок 2.26), который движется относительно окружающей среды без значительных возмущений. Для сценария взрыва подобный режим горения приблизительно соответствует процессу в камере № 1, в то время как горение в камере № 2 происходит в турбулентном режиме. Скорость газовой струи (четко прослеживающийся на рисунке 2.33, в) для обеих экспериментов в многосвязной области достигала величины около 110 м/с. Скорость распространения фронта пламени при экспериментах в односвязной области не превышало величины 0,38 м/с, в то время как при экспериментах в многосвязной области скорость фронта пламени достигала величины 7,5 м/с.

Вскрытие ПК в камере № 2 для данного эксперимента привело не к снижению, а существенному росту взрывных нагрузок. Разница величины давления в камерах привела к значительному последовательному росту скорости струи и, как следствие, скорости турбулентного горения. Продукты взрыва при данном эксперименте превысили объем продуктов, истекающих в атмосферу после вскрытия ПК, что в конечном итоге привело к существенному росту взрывного

давления в сравнении с экспериментом в односвязной области (практически в 2 раза).

Таким образом, на развитие взрывной аварии в жилых домах оказывают влияние ряд факторов. Проведенные исследования показали, что не всегда основные разрушения после взрыва сосредоточены в помещении, где изначально произошла утечка. Перетекание смеси в коридор или соседние помещения может привести к более тяжелым последствиям, что подчеркивает важность понимания физической картины дефлаграционного взрыва при реконструкции аварии.

Проведенные экспериментальные исследования для сценария, в котором смесь сосредоточена в пределах помещения утечки, позволяют сделать вывод о том, что наиболее перспективным в настоящее время видится подход к обеспечению взрывобезопасности жилых домов с точки зрения использования оконных проемов помещения кухни в качестве предохранительных конструкций, так как значительное снижение взрывных нагрузок при аварии в односвязной области наступает именно после вскрытия данных конструкций.

Выводы по второй главе

1. Проведенный эксперимент по определению турбулентной диффузии позволяет сделать вывод о том, коэффициент турбулентной диффузии, значительно (на два и более порядков или в сто и более раз) превышает коэффициент молекулярной диффузии и составляет не менее $D = 0,004 = 4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$.

2. Результаты экспериментальных исследований по изучению процесса формирования взрывоопасных концентраций позволяют говорить о важности системы вентиляции, как основного мероприятия по предупреждению аварийного взрыва. Разработанная математическая модель с использованием полученного коэффициента турбулентной диффузии адекватно описывает распространение газа по помещению и позволяет прогнозировать развитие аварийной ситуации на этапе проведения проверок по надзору за состоянием газового оборудования жилого многоквартирного дома.

3. Результаты экспериментальных исследований, полученные для сценария внутреннего взрыва в односвязной области, позволили сделать вывод о том, что при вскрытии оконных проемов энергия взрыва выходит за внутренний объем помещения, что способствует снижению величины давления, что говорит о важности остекления оконных проемов с точки зрения обеспечения взрывобезопасности жилых домов и необходимости дальнейшей работы в данной области.

4. Экспериментальные исследования в части многосвязных областей показали значительное влияние «эффекта смежности» помещений на рост взрывных нагрузок. Перетекание смеси в коридор или соседние помещения может привести к более тяжелым последствиям, что подчеркивает важность понимания физической картины дефлаграционного взрыва при реконструкции аварии.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ВЗРЫВНЫХ НАГРУЗОК

В рамках данной главы рассматривается возможность использования предохранительных конструкций в жилых многоквартирных домах, оборудованных газовыми приборами, с целью снижения взрывных нагрузок до допустимого уровня.

Как показали приводимые ранее результаты исследований [108-115], определяющим фактором снижения взрывных нагрузок до допустимого уровня является вскрытие оконных проемов, что подтверждается приведенными ранее результатами. Здесь стоит отметить, что современные стеклопакеты, обладающие высокими показателями по теплоизоляции, шумоизоляции, ударопрочности не выполняют роль предохранительной конструкции здания ввиду значительной толщины остекления. Однако, данный недостаток современных стеклопакетов возможно устранить путем модификации оконных рам посредством устройства в них ослабленных крепежных элементов, которые при возникновении избыточного давления обеспечивали бы своевременное вскрытие конструкции.

Говоря в целом о возможности использования ПК в жилых домах, стоит рассмотреть существующие типы подобных конструкций. П. 4.3 ГОСТ Р 56288—2024 [116] в зависимости от принципа работы выделяет следующие типы ЛСК (ПК):

- ЛСК смещаемого типа.
- ЛСК поворотного типа;

Рассмотрим более подробно конструкции смещаемого типа и оценим возможность их использования в жилых домах. Общая схема данной конструкции представлена на рисунке 3.1. Принцип работы данных конструкций следующий: при влиянии избыточного давления, разрушаются ослабленные элементы крепления (3), освобождая проем для сброса продуктов взрыва, тем самым снижая величину давления до допустимого уровня.

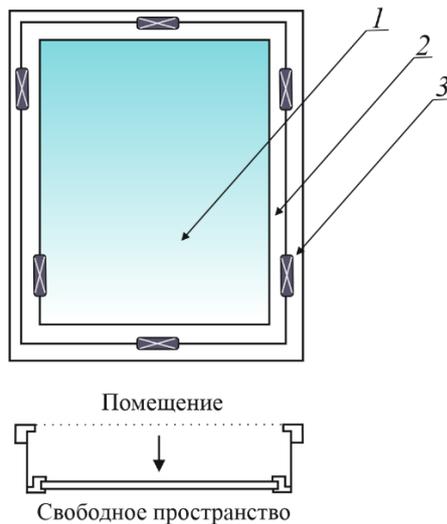


Рисунок 3.1 – Элементы конструкции смещаемого типа (вид изнутри)

1 – стеклопакет; 2 – оконный блок; 3 – ослабленный элемент крепления

Главный недостаток, подчеркивающий нецелесообразность применения подобных конструкций заключается в том, что при аварийном взрыве происходит выброс остекления с элементами рамы в придомовую область, что несет опасность для находящихся на участке людей. Более подходящими для использования в жилых домах являются конструкции поворотного типа, которые классифицируются по типу применяемого шарнира: с боковым шарниром; с верхним шарниром; с нижним шарниром.

Рассмотрим данные конструкции более подробно. Общая схема конструкции с боковыми шарнирами представлена на рисунке 3.2.

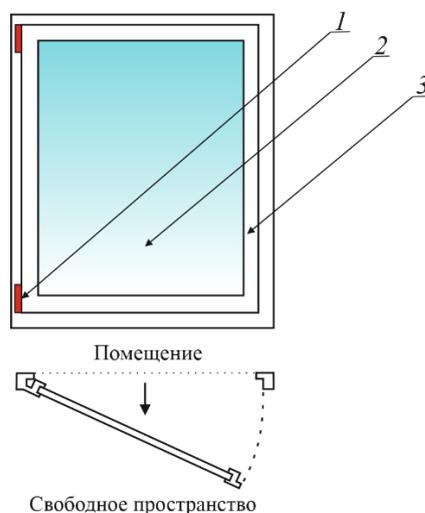


Рисунок 3.2 – Конструкция поворотного типа с боковым шарниром

1 – поворотное устройство (шарнир); 2 – стеклопакет; 3 – оконный блок

На рисунке 3.3 представлена схема конструкций поворотного типа с нижним и верхним креплением шарниров.

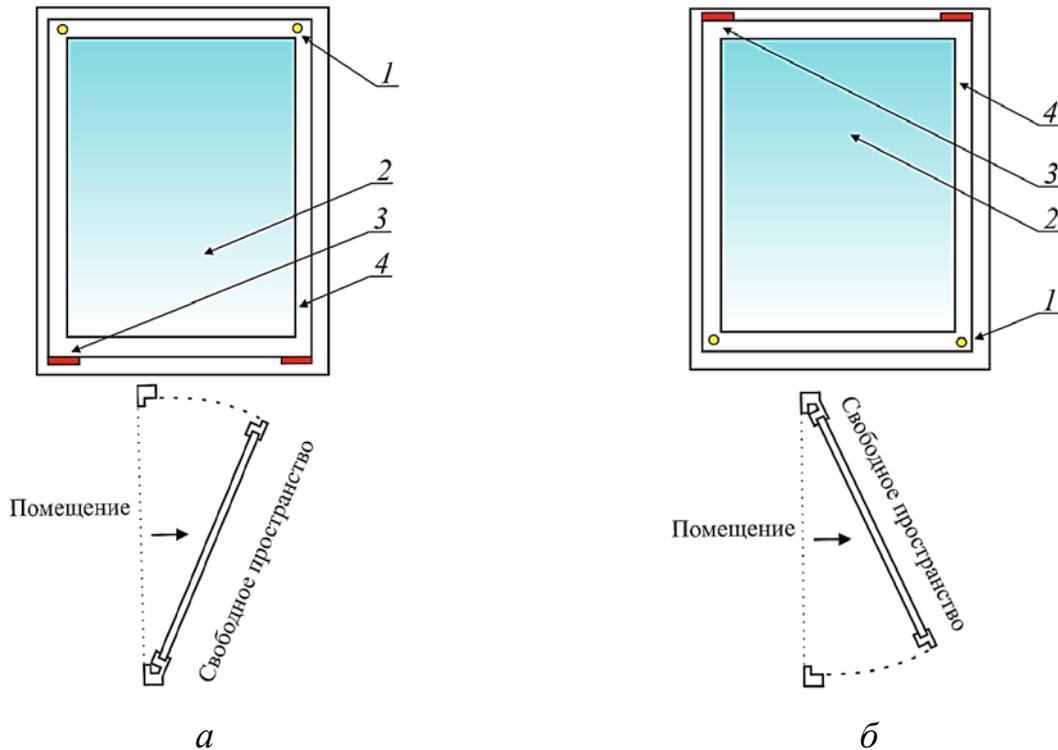


Рисунок 3.3 – Элементы конструкции поворотного типа

а – крепление с нижним шарниром; *б* – крепление с верхним шарниром
1 – места установки тросово-страховочного устройства; *2* – стеклопакет; *3* – поворотное устройство (шарнир); *4* – оконный блок

Принцип работы данных конструкций следующий: при заданном избыточном давлении, воздействующем на рабочую створку, срабатывают запорные устройства, освобождающие поворотную створку рамы. В качестве запорного устройства используются ослабленные элементы крепления, усилие вскрытия которых задается. При этом поворотные элементы должны быть выполнены так, чтобы исключать возможность их выпадения из оконного проема в случае их некачественного монтажа или ненадлежащей эксплуатации [116]. Для этого используют тросово-страховочное устройство (*1*), изготовленное из стальных канатов по ГОСТ 3241 [117], диаметром не менее 3,0 мм.

Использование конструкций рассмотренных типов, как мероприятия для снижения нагрузок до допустимого уровня, будет рассмотрено далее.

3.1 Определение характеристики взрыва в исследуемом объеме без предохранительных конструкций

С целью технического обоснования по использованию ПК в жилых газифицированных многоквартирных домах проводились экспериментальные исследования на камере, объем которой сопоставим с объемом типовой кухни многоквартирного дома.

Перед рассмотрением параметров взрывного горения в помещениях, оборудованных различными предохранительными конструкциями, необходимо определить характеристики взрыва в исследуемом объеме без предохранительных конструкций.

Исследование проводилось в кубической камере, геометрические параметры и фронтальная часть которой представлены на рисунке 3.4.

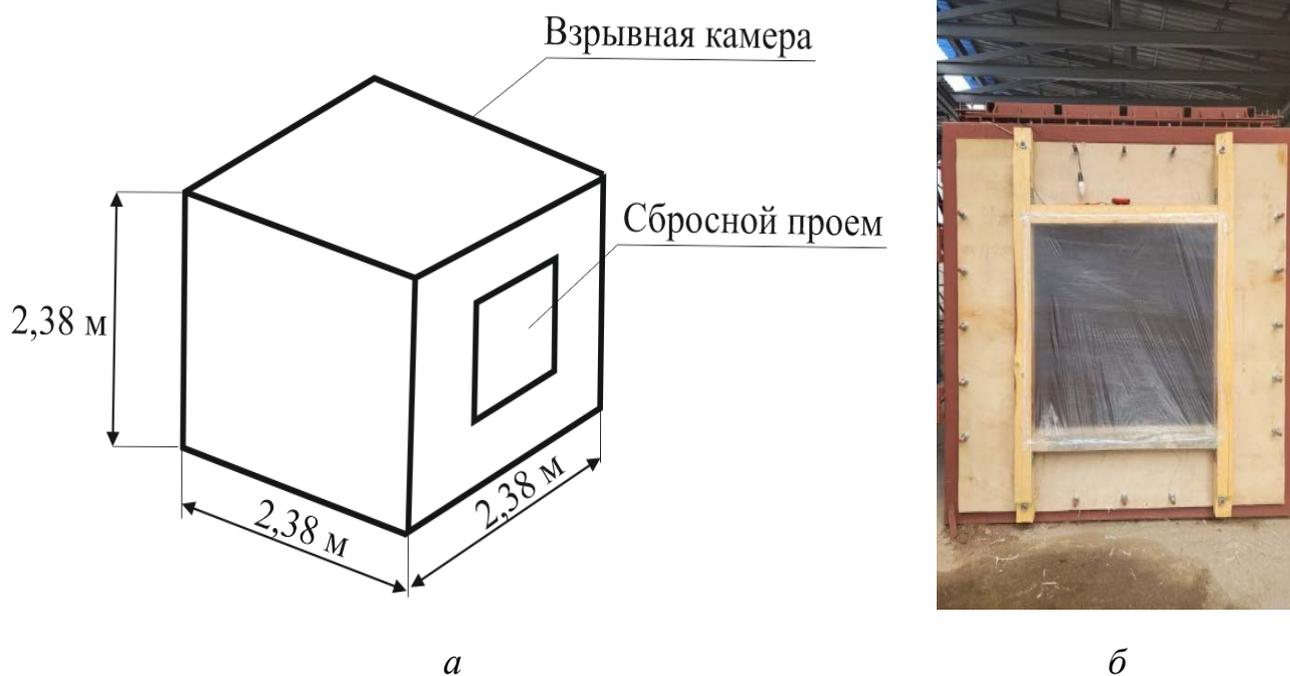


Рисунок 3.4 – Экспериментальная камера

а – геометрические параметры; *б* – фронтальный вид

Внутренний объем камеры с указанием подключаемого оборудования представлен на рисунке 3.5.

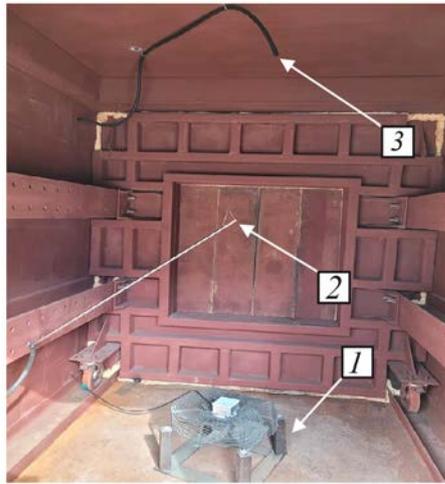


Рисунок 3.5 – Внутренний объем камеры с указанием подключаемого оборудования
 1 – система перемешивания; 2 – электрический поджиг; 3 – газопровод для подачи газа в объем камеры

Параметры фронтальной части камеры представлены на рисунке 3.6.

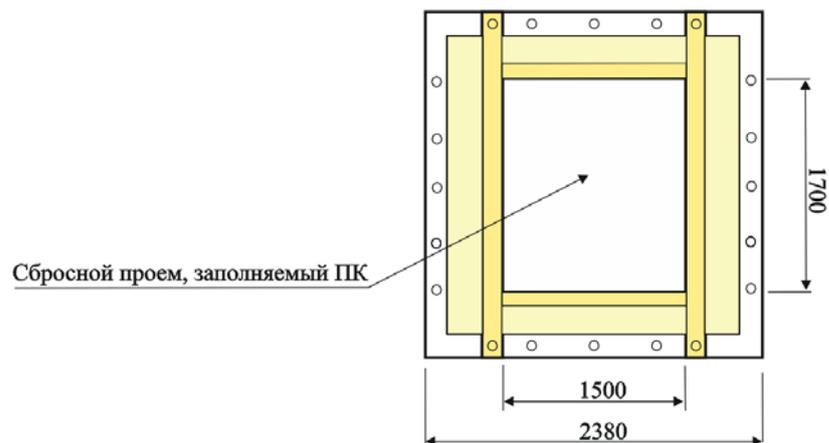


Рисунок 3.6 – Схема фронтальной части камеры

Для проверки подключаемого оборудования, были проведены исследования на описанной выше установке. Сбросной проем площадью закрывался тонкой полиэтиленовой пленкой. Смесь зажигалась искрой, находящейся в центре камеры. Грань, оборудованная сбросным проемом, была выполнена из толстой фанеры. Взрывное давление фиксировалось двумя датчиками. Один из них располагался в центре боковой грани куба, второй датчик был расположен на противоположной грани куба вблизи грани со сбросным проемом (фанерным) в верхней части грани. Фиксация процесса взрыва осуществлялась двумя скоростными камерам. Одна камера была расположена сбоку и фиксировала прогиб, разрыв пленки и

последующее факельное горение смеси. Скорость камеры составляла 211 кадров в секунду между кадрами. Вторая камера была расположена под углом около 45 градусов к плоскости камеры со сбросным проемом. Скорость протяжки составляла 240 кадров в секунду. Рассмотрим результаты данных экспериментальных исследований. Для сопоставления кадров со временем сведем данные в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Сопоставление кадров и времени

№ кадра	Время от начала подачи искры, мс
1	0 – начало воспламенения
2	199,1
3	260,7
4	308,1
5	346,0
6	360,2
7	383,4
8	426,6
9	602,0
10	758,4

На рисунке 3.7 представлена покадровая съемка эксперимента.



Рисунок 3.7 – Фотографии различных моментов процесса взрывного горения в камере

График изменения давления во времени представлен на рисунке 3.8. Точки в диапазоне от 1 до 10 на данном графике соответствуют кадрам, приведенным на рисунке 3.7 и таблице 3.1.

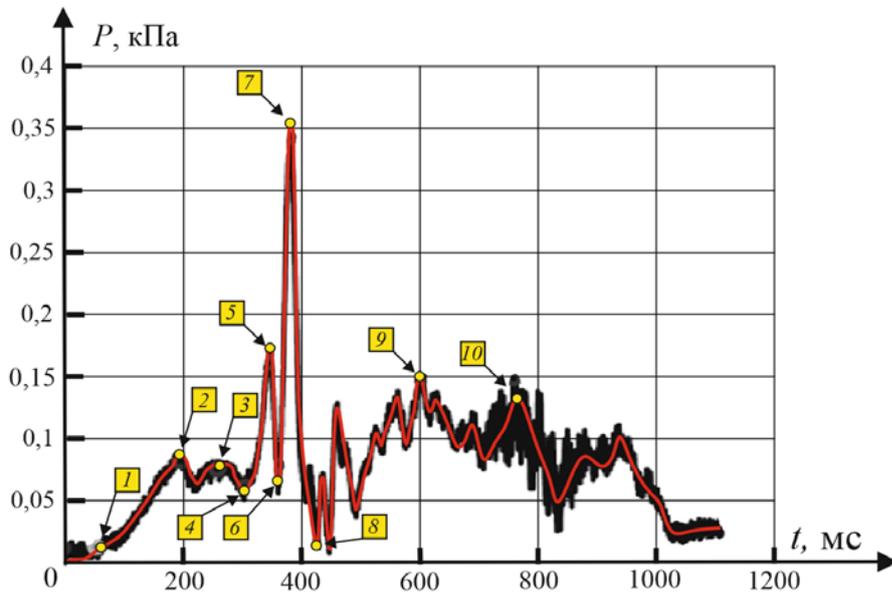


Рисунок 3.8 – Осциллограмма взрывного давления в камере

3.2 Результаты экспериментальных исследований параметров взрыва в помещении, оборудованном поворотными сбросными конструкциями

В данной серии экспериментальных исследований сбросной проем камеры закрывался поворотной ПК распашного типа, размером $1,080 \times 1,080$ м, масса которой составляла около 25 кг.

Для сопоставления кадров со временем сведем данные в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Сопоставление кадров и времени

№ кадра	Время от начала подачи искры, мс
1	173
2	182
3	183
4	220
5	250
6	270
7	600
8	1000

На рисунке 3.9 представлена покадровая съемка эксперимента.

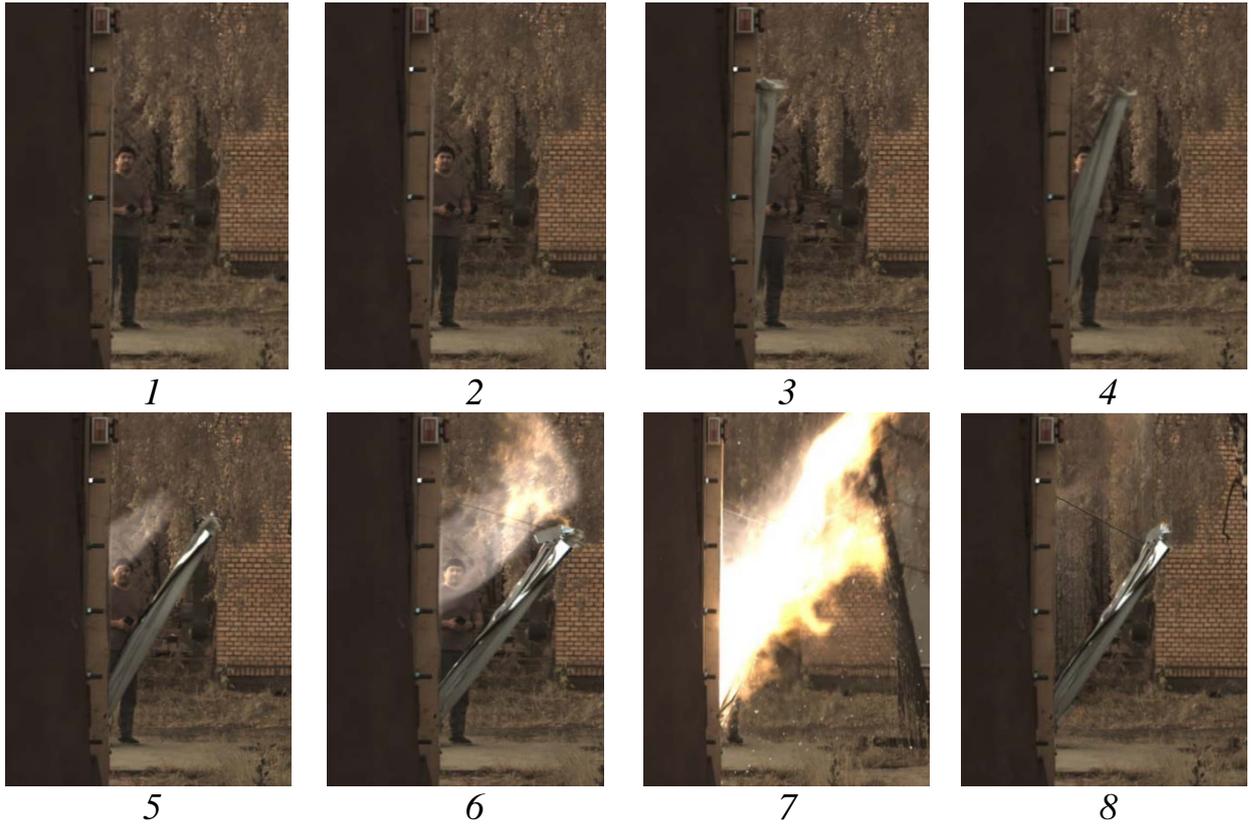


Рисунок 3.9 – Фотографии различных моментов процесса взрыва

На рисунке 3.10 приведены фотографии некоторых моментов взрыва, зафиксированных второй камерой (скорость фиксации – 500 кадров в секунду).



Рисунок 3.10 – Фотографии различных моментов процесса взрыва

На рисунке 3.11 представлен график изменения давления во времени для данного эксперимента.

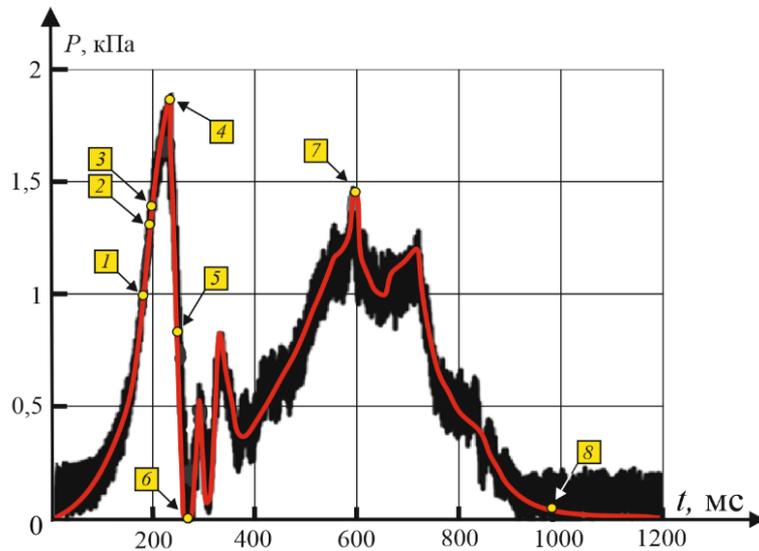
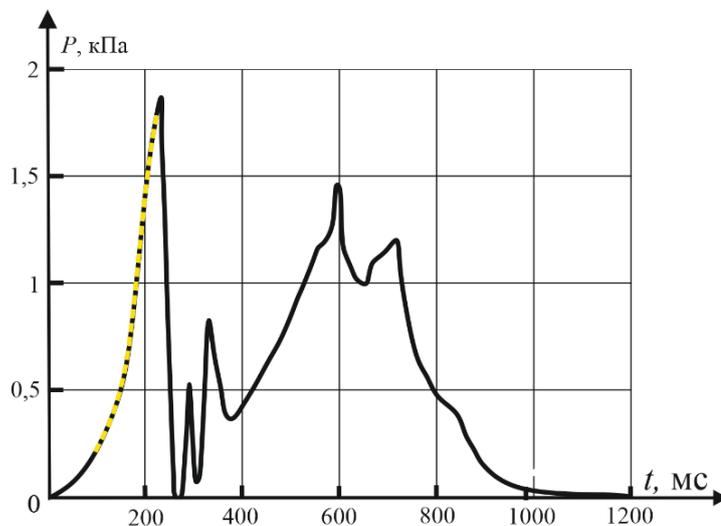
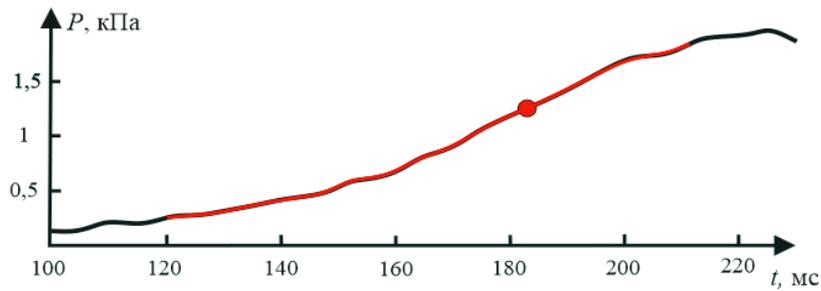


Рисунок 3.11 – Осциллограмма взрывного давления в камере

Заметное по кадрам фотофиксации движение предохранительной конструкции происходит на 182 мс, что соответствует взрывному давлению 1,3 кПа. С целью уточнения реального времени вскрытия предохранительной конструкции производилось определение точки экстремума, соответствующей началу сброса давления. В частности, анализировался участок, выделенный на рисунке 3.12, *а* прерывистой линией желтого цвета и представленный более наглядно на рисунке 3.12, *б*.



а



б

Рисунок 3.12 – Анализируемый участок осциллограммы давления взрыва

На рисунке 3.13 представлены результаты дифференцирования данного участка.

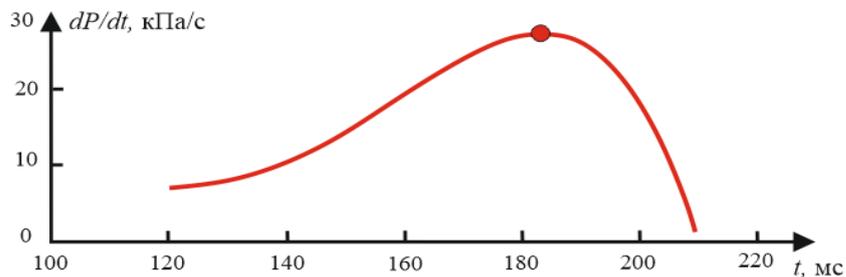


Рисунок 3.13 – Скорость нарастания давления для анализируемого участка

Рисунок 3.14 показывает результат определения видимой скорости пламени.

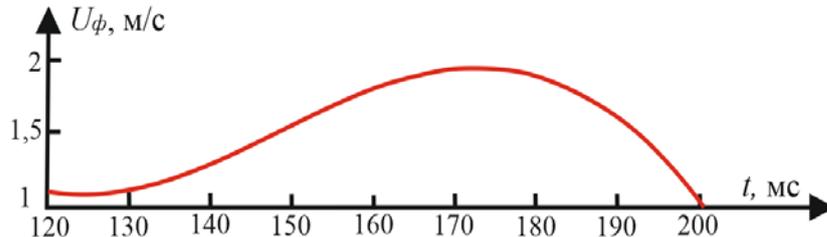


Рисунок 3.14 – Видимая скорость фронта пламени для участка осциллограммы

Анализ приводимых выше зависимостей, полученных при проведении натуральных экспериментальных исследований предохранительной конструкции поворотного типа позволяет сделать следующие промежуточные выводы:

1. Точка экстремума соответствует времени 182 мс от начала воспламенения, что говорит о вскрытии предохранительной конструкции при давлении 1,3 кПа;
2. Пиковое значение скорости фронта пламени реализуется на 174 мс и составляет величину около 2 м/с;
3. Пиковое значение давления для данного проводимого эксперимента реализуется на 220 мс после воспламенения смеси и составляет 1,94 кПа.

3.3 Результаты экспериментальных исследований параметров взрыва в помещении, оборудованном смещаемыми сбросными конструкциями

В данной серии экспериментальных исследований сбросной проем камеры закрывался смещаемой ПК площадью $1,080 \times 1,080$ м, масса которой составляла около 25 кг. Рассмотрим результаты эксперимента со смещаемыми сбросными конструкциями.

Для сопоставления кадров со временем сведем данные в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Сопоставление кадров и времени

№ кадра	Время от начала подачи искры, мс
1	133
2	148
3	158
4	194
5	228
6	252
7	276
8	296

На рисунке 3.15 представлена покадровая съемка эксперимента.

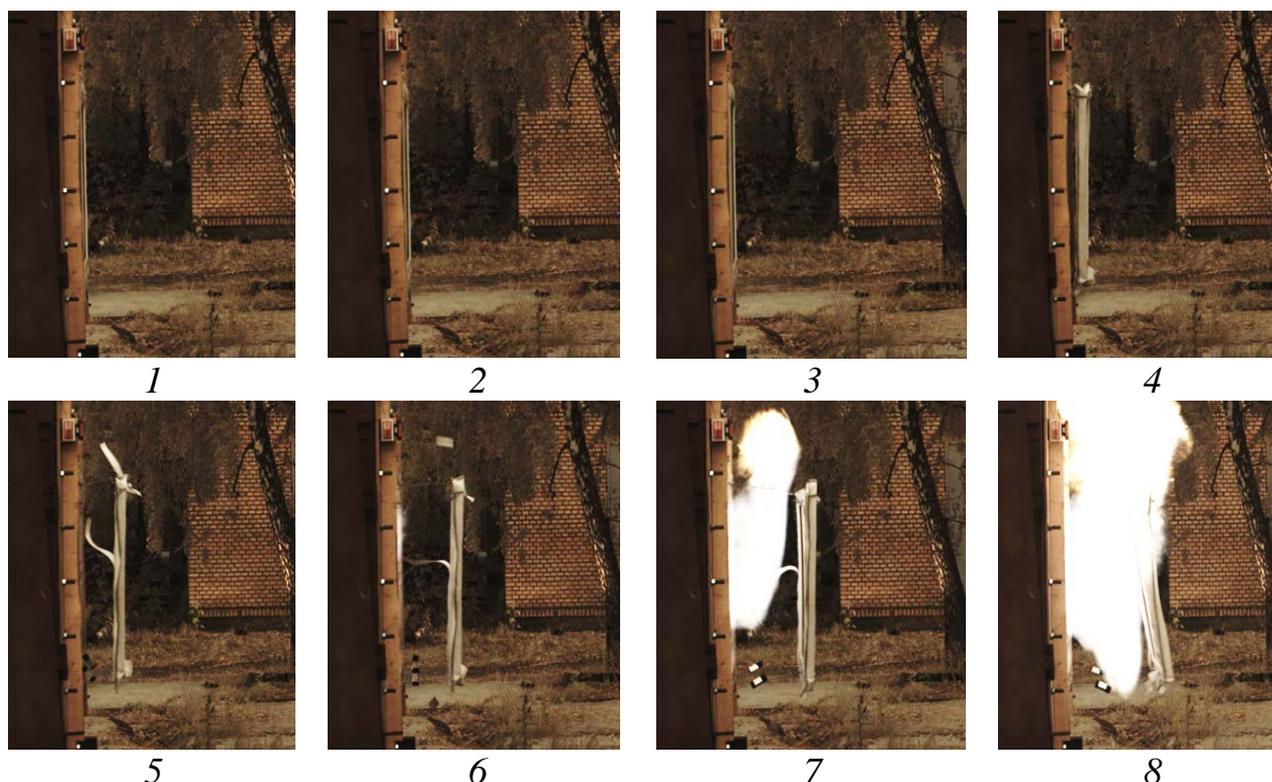


Рисунок 3.15 – Фотографии различных моментов процесса взрыва

На рисунке 3.16 приведена осциллограмма взрывного давления в камере для данного эксперимента.

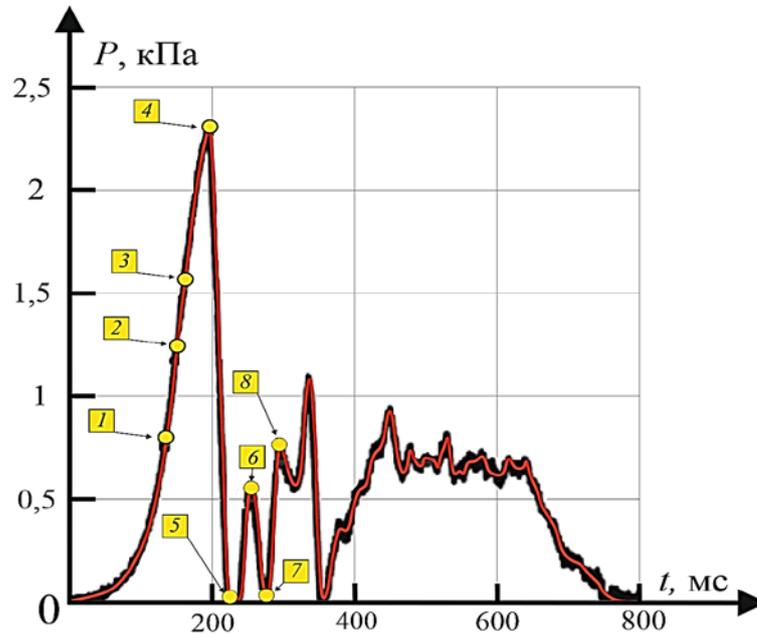
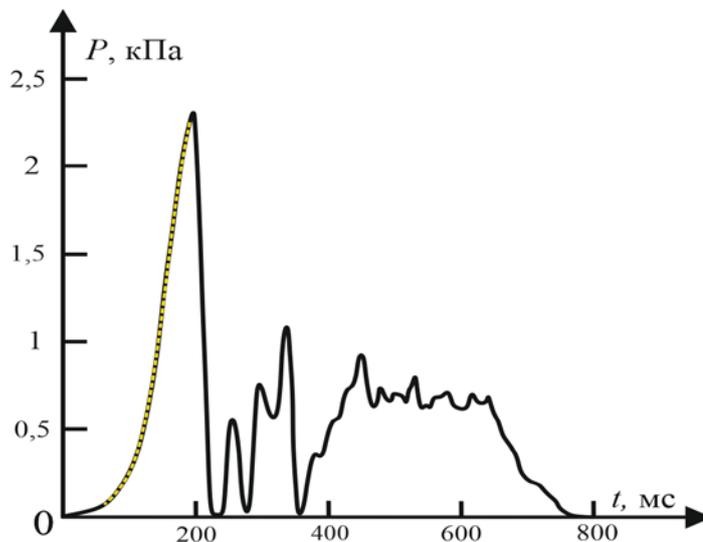
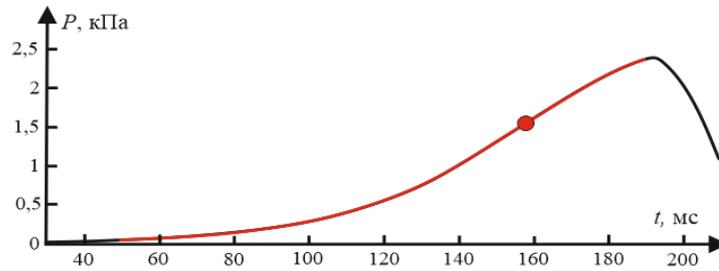


Рисунок 3.16 – Осциллограмма взрывного давления в камере

С целью уточнения реального времени вскрытия конструкции производилось определение точки экстремума, соответствующей началу сброса давления. В частности, анализировался участок, выделенный на рисунке 3.17, *а* прерывистой линией желтого цвета и представленный более наглядно на рисунке 3.17, *б*.



а



б

Рисунок 3.17 – Анализируемый участок осциллограммы давления взрыва

На рисунке 3.18 представлены результаты дифференцирования данного участка.

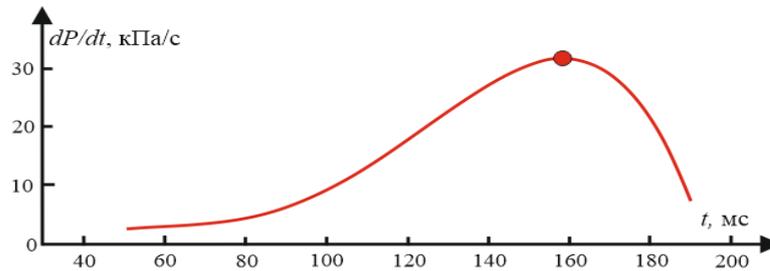


Рисунок 3.18 – Скорость нарастания давления для участка осциллограммы

Рисунок 3.19 показывает результат определения видимой скорости пламени.

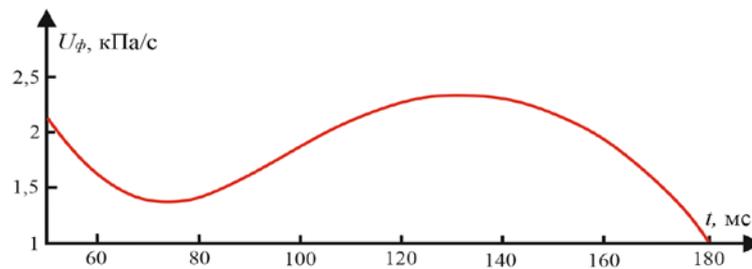


Рисунок 3.19 – Видимая скорость фронта пламени для участка осциллограммы

Анализ приводимых выше зависимостей позволяет сделать следующие промежуточные выводы:

1. Точка экстремума соответствует времени 159 мс от начала воспламенения, что говорит о вскрытии предохранительной конструкции при давлении 1,53 кПа;
2. Пиковое значение фронта пламени реализуется на 130 мс и составляет величину около 2,3 м/с;
3. Пиковое значение давления для данного проводимого эксперимента реализуется на 192 мс после воспламенения смеси и составляет 2,4 кПа.

Выводы по третьей главе

1. Проведенные исследования показали, что при вскрытии оконных проемов энергия дефлаграционного взрыва выходит за внутренний объем помещения, что способствует снижению величины давления. На основе этого было проведено экспериментальное исследование, направленное на изучение воздействия взрывных нагрузок на предохранительные конструкции поворотного типа, с целью оценки возможности использования подобного заполнения оконных проемов применительно к помещениям жилых многоквартирных домов, имеющих газовые приборы. По результатам данного исследования можно сделать вывод о том, что использование предохранительных конструкций, обеспечивающих вскрытие оконного проема при заданном давлении, позволит решить проблему взрывобезопасности жилых домов с точки зрения снижения взрывных нагрузок до допустимого уровня.

2. В рамках испытаний оценивалась целесообразность использования двух типов конструкций – поворотного и смещаемого типа. Результаты исследований показали, что использование конструкций смещаемого типа в жилом секторе нецелесообразно, несмотря на удовлетворительные оцениваемые показатели: давление вскрытия составило величину около 1,53 кПа, при времени вскрытия конструкции 159 мс от начала воспламенения. Максимальное давление при этом составило 2,4 кПа. Главный недостаток использования данных конструкций заключается в выбросе остекления с элементами рамы в придомовую территорию, что создает опасность для людей.

3. Наиболее оптимальным является использование ПК поворотного типа, принцип работы которых заключается в следующем: при воздействии избыточного давления срабатывают запорные устройства, освобождая поворотную створку рамы. Для предотвращения выпадения конструкции используются тросово-страховочные устройства. Давление вскрытия для данных конструкций составило величину около 1,3 кПа, при времени вскрытия конструкции 182 мс от начала воспламенения. Максимальное реализуемое давление при этом составило 1,94 кПа.

ГЛАВА 4 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕКОНСТРУКЦИИ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ

4.1 Отличительные особенности реконструкции аварийных взрывов бытового газа. Обоснование применения результатов экспериментальных исследований при восстановлении сценария аварии

Важным аспектом при реконструкции аварийных ситуаций, связанных со взрывом бытового газа, является понимание сценария аварии. Главной проблемой здесь является отсутствие опыта в расследовании подобных ситуаций, вследствие чего происходит искажение реальной картины взрыва. Так, первичный материал по взрывам в жилом секторе (до передачи дела по подследственности) собирается и обрабатывается сотрудниками органов надзорной деятельности МЧС России, уполномоченных на проведение дознания по фактам пожаров. Здесь данная проблема и находит отражение – руководство теми же алгоритмами и принципами, что и при расследовании пожаров, в данной ситуации неприменимо. К примеру, каждый сотрудник органа дознания знает, что место очага пожара практически всегда соответствует месту наиболее сильных термических повреждений. При расследовании же аварийных взрывов подобный подход неуместен, так как при подобных происшествиях наиболее сильные повреждения могут быть ярко выражены в помещениях, максимально отдаленных от любого потенциального источника утечки газа (плиты, водонагревательной колонки и т.д.), что подтверждается исследованиями реальных взрывов, проводимых экспертами в области взрывобезопасности.

Помимо описанного выше, значительная сложность при расследовании аварийных взрывов обуславливается тем, что во время взрыва уничтожаются большие количества вещественных доказательств. Формирование величины избыточного давления порядка 5 кПа приводит к серьезным разрушениям помещений, что выражается в повреждении строительных конструкций и вещной

обстановки. Кроме того, проводимые аварийно-спасательные работы влияют на сохранность следов, что также необходимо учитывать при восстановлении сценария аварийной ситуации, связанной с взрывом бытового газа.

Формирование мощных воздушных потоков при взрыве оказывает сильное влияние на картину развития взрыва: именно действие данных потоков приводит к выбросу в оконные проемы элементов конструкций и вещной обстановки; при этом важно учитывать, что непосредственно вскрытие заполнения оконного проема происходит под воздействием избыточного давления. Данные воздушные потоки способны приводить к деформациям элементов защиты от проникновения (оконных решеток), что показано на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Деформация оконной решетки

Величина избыточного давления, формируемого при внутреннем аварийном взрыве, зависит от следующих основных факторов, подтвержденных экспериментально и представленных в работах [108-115, 118, 119]:

- количества газа, поступившего в помещение;
- планировки помещений квартиры;
- расположение и энергия источника зажигания.;
- типа остекления оконных проемов;
- состояния дверных проемов во время утечки – при сообщении помещения, в котором изначально происходит утечка возможно перетекание смеси в другие комнаты, что позволяет говорить о несколько ином сценарии развития аварии – взрыве в многосвязных помещениях. Данный сценарий представляет большую

опасность, так как в этом случае происходит двухстадийный взрыв. Максимальное давление в смежных помещениях может быть в несколько раз больше, чем при взрыве в одном изолированном помещении с проемами наружу. Обоснование данного фактора нашло отражение в главе 2 работы. При реальных взрывах эффект «смежности» проявляется в значительных разрушениях помещений без потенциальных источников утечки (рисунок 4.2), что принципиально отличает аварийный взрыв газа от пожара, где наибольшие термические повреждения зачастую указывают на место очага. В первую очередь понимание данных особенностей важно для должностных лиц, уполномоченных на проверки по факту данных происшествий, с целью воссоздания реального сценария развития аварии и установления причины взрыва.

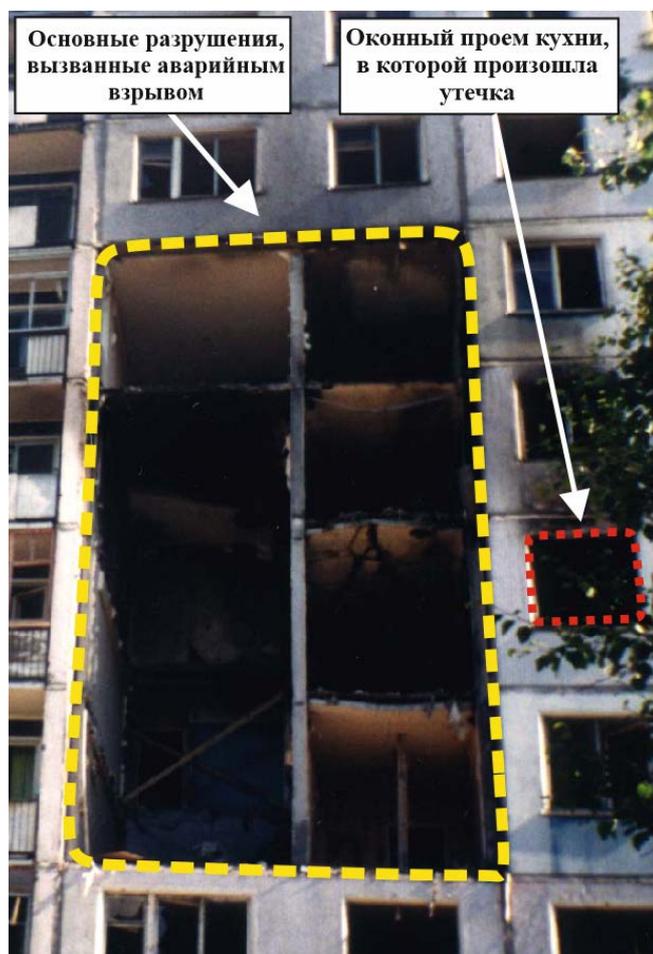


Рисунок 4.2 – Проявление эффекта «смежности» при аварийных взрывах

Таким образом, при расследовании подобных аварийных ситуаций особую остроту приобретает знания следователя (дознателя) о физической картине аварийных взрывов.

4.2 Реконструкция развития аварийного взрыва на примере реальной аварийной ситуации, связанной со взрывом газа в жилом многоквартирном доме

4.2.1 Обстоятельства аварии

Обстоятельства произошедшей аварии следующие: около 08:00 утра в торцевой квартире, на 1 этаже 4-х этажного панельного жилого газифицированного дома произошел взрыв. В результате полученных травм погиб человек. Отопление дома – централизованное, вентиляция – естественная. Несущие стены выполнены из железобетонных плит, перегородки кирпичные.

Внутренняя планировка представлена на рисунке 4.3. Красным штрихом показаны повреждения строительных конструкций.

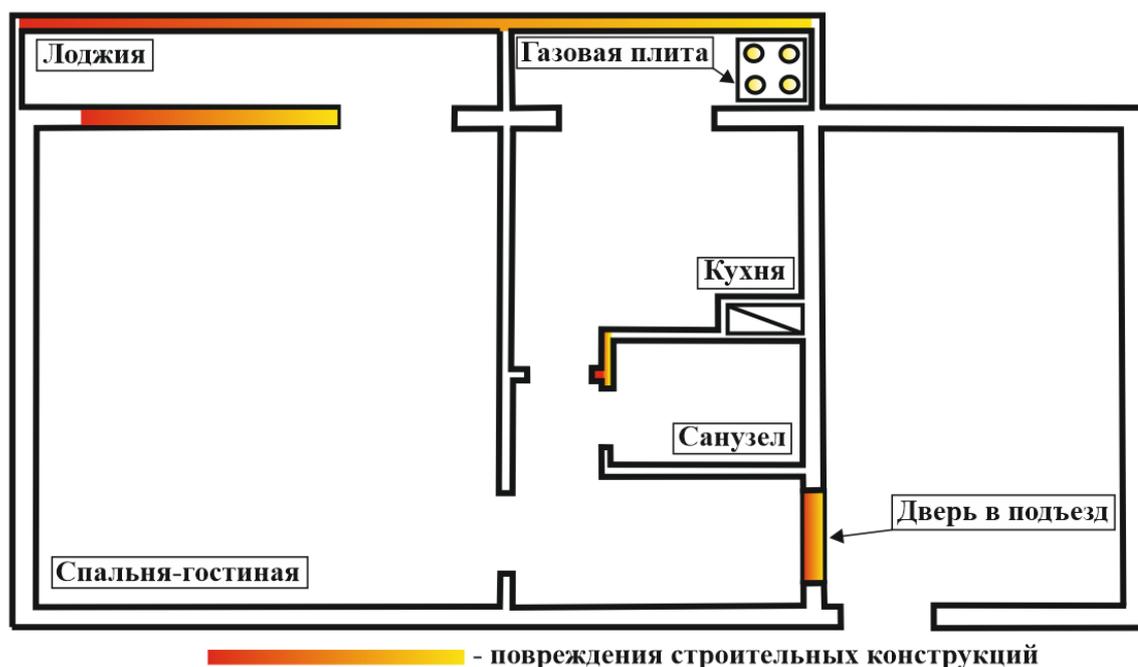


Рисунок 4.3 – План-схема квартиры и прилегающего подъезда с указанием мест повреждения строительных конструкций

Как видно из представленного плана, лоджия была разделена перегородкой и имела два входа: основной вход со стороны гостиной/спальни (далее – гостиная) через дверь и вход со стороны кухни через арочный проем (рисунок 4.4) – таким

образом искусственно увеличивался объем кухни, о чем говорит установленная и обозначенная на плане газовая плита (рисунки 4.4, 4.5).



Рисунок 4.4 – Разделяющая арка и место установки плиты



Рисунок 4.5 – Установленная на лоджии газовая плита

В результате взрыва строительные конструкции получили следующие повреждения: произошел срыв стеновых панелей со стороны кухни и гостиной, с выбросом на придомовую территорию. Заполнение перегородки между лоджией и гостиной в результате взрыва разрушено полностью (рисунок 4.6).



Рисунок 4.6 – Последствия аварийного взрыва

Внутренняя обстановка помещения (помимо вещной обстановки и облицовочно-декорирующих элементов) получила следующие повреждения: в результате взрыва произошло частичное обрушение внутренней перегородки (рисунок 4.7), отделяющей санузел от коридора (рисунок 4.3). Дверь из квартиры в подъезд выбита и выгнута наружу.



Рисунок 4.7 – Фрагмент внутренней перегородки между санузлом и коридором

4.2.2 Физическая картина дефлаграционного взрыва

Прежде чем переходить непосредственно к рассмотрению возможных сценариев описанной выше аварии, необходимо выделить основные факторы, влияющие на рост взрывных нагрузок и обозначить ключевые моменты, необходимые для реконструкции взрыва [119].

Первое, на что необходимо обратить внимание – это понимание составляющих, необходимых для реализации аварийного взрыва. Дефлаграционный взрыв – это прежде всего горение, пусть и с отличной от пожара скоростью распространения фронта пламени. Следовательно, хорошо известный «треугольник» горения (окислитель, источник, топливо) применим и здесь. Источником зажигания при внутреннем взрыве в жилом доме чаще всего является

искра от включения приборов, питающихся от сети (освещение и т.д.). В качестве топлива выступает газоздушная смесь. В подавляющем большинстве жилых многоквартирных домов используется природный газ – газообразное вещество, которое закачивается в хранилища и поступает к жилым объектам по разветвленной системе трубопроводов. Состоит преимущественно из метана и не меняет физического состояния с момента добычи до доставки непосредственному потребителю. Метано-воздушная смесь способна взрываться при объемном содержании в ней метана от 5 до 15 %, т.е. пределы воспламеняемости метана составляют $C = 5-15$ %. При этом скорость горения метано-воздушной смеси, определяющая темп выделения продуктов горения является функцией концентрации и имеет максимум при $C = 10$ % [59]. Проще говоря, пик взрывных нагрузок наблюдается при концентрации, близкой к данному значению (стехиометрической концентрации).

Анализируя вышеизложенное, можно представить сценарий типовой аварии: в помещение начинает поступать газ, образующий с воздухом взрывоопасную смесь; жилец по какой-либо причине не замечает запаха (ночное время, отсутствие в квартире и так далее); при включении света происходит инициирование смеси в результате искры и, как следствие, взрыв.

Любая из обозначенных в главе 1 причин способна явиться первоисточником аварии и спровоцировать создание в помещении жилого дома взрывоопасную смесь газа с воздухом. Однако важно понимать, что не при каждом аварийном взрыве происходит обрушение несущих конструкций. Величина взрывных нагрузок (как уже говорилось ранее) зависит от следующих факторов [108-115, 118, 119]:

- количества газа, поступившего в помещение;
- планировки помещений квартиры (объемно-планировочные решения);
- типа остекления оконных проемов, которые при подобных аварийных ситуациях следует рассматривать в качестве предохранительных конструкций, выполняющих роль сбросных проемов;
- места появления источника зажигания (искры);

– состояния дверных проемов во время утечки – при сообщении помещения, в котором изначально происходит утечка возможно перетекание смеси в другие комнаты, что позволяет говорить о несколько ином сценарии развития аварии – взрыве в многосвязных помещениях и ряда других, менее значимых факторов.

4.2.3 Анализ возможных сценариев развития аварийного взрыва

Были рассмотрены следующие возможные сценарии развития аварии:

1. Формированию взрывоопасного облака способствовала утечка газа вследствие затухания конфорок газовой плиты; появление источника (открытый огонь, искра бытового прибора) инициировало воспламенение и последующий взрыв;

2. Утечка произошла в результате обрыва (разгерметизации) подводящего газопровода, вызвав залповый выброс газа с последующим инициированием смеси (аналогично сценарию №1);

3. Утечки газа из приборов не было; повреждения строительных конструкций вызваны взрывом конденсированного взрывчатого вещества, с детонационным сценарием протекания аварийного взрыва.

Рассмотрим более подробно каждый из сценариев, с формированием промежуточных выводов.

Сценарий 1 – утечка из конфорок. В материалах следствия содержится информация о том, что две конфорки газовой плиты находились в положении подачи газа. Время фиксации данной информации не указано, что не позволяет говорить о высокой вероятности формирования облака вследствие именно данной причины утечки. Так, изменение положения переключателей газовой плиты теоретически может быть объяснено ненамеренными действиями аварийно-спасательных (газовых) служб при ликвидации аварии.

Теоретически, взрывоопасная концентрация может реализовываться при утечке из одной конфорки (для типовой плиты величина расхода составляет около $q = 0,18 \text{ м}^3/\text{ч}$). Однако время формирования достаточно велико и варьируется

от 10 до 25 ч, в зависимости от вентиляции в помещении [59]. При расходе газа менее $0,02 \text{ м}^3/\text{ч}$ вероятность формирования взрывоопасных концентраций исключается полностью, ввиду равномерного распределения концентрации газа. Кроме того, даже при минимальном вентиляционном расходе, подобный расход газа способен достичь концентрации не более 1 %, что существенно меньше нижнего предела. Данные тезисы подтверждаются натурными экспериментальными исследованиями, приводимыми в работе [109-110,120-121] – вероятность формирования взрывоопасной смеси при подобном сценарии крайне низка, так как расход газа из конфорок достаточно низок для формирования (и перетекания в соседние помещения, что и произошло при данной конкретной ситуации) газовой смеси близкой к стехиометрии состава за рассматриваемый промежуток времени (со слов хозяйки, запах газа в вечернее время не ощущался), составляющий около 6–8 часов (для утечки из 2–х газовых конфорок). При наличии же вентиляции, как говорилось ранее, время формирования взрывоопасной смеси увеличивается, в то время как характер взрыва позволяет говорить о достаточном количестве газа для реализации двухстадийного (смежного) взрыва (что подтверждается существенными разрушениями в гостиной и ванной комнате). Таким образом, в контексте приводимых выше тезисов реализация данного сценария в жилых помещениях при данной аварии маловероятна.

Сценарий 2 – утечка произошла в результате залпового выброса из подводящего газопровода. Оценить состояние подводящего газопровода на момент фиксации свидетелем не представляется возможным, так как на представленных материалах труба стояка срезана (возможно, прибывшими аварийными службами; газовыми службами при ликвидации). Тем не менее, именно данный сценарий наиболее адекватен с точки зрения времени истечения для формирования смеси. Расход газа при залповом выбросе из газопровода существенно выше, чем при утечке из газовых конфорок.

Как уже говорилось ранее, количество поступающего газа в данном сценарии достаточно велико для перетекания в соседние помещения – после инициирования взрыва в помещении кухни смесь через дверной проем устремляется в соседние

комнаты, турбулизируется и обогащается кислородом. В результате формируется хорошо подготовленное к горению взрывоопасное облако, которое через незначительный промежуток времени (10-15 с) взрывается, что приводит к вторичному взрыву, который причиняет основные разрушения зданию [59].

Говоря о самой причине обрыва (разгерметизации) необходимо отметить небольшую деталь, содержащуюся в материалах следствия. Со слов жильцов, недавно в дом был установлен новый газовый счетчик, вблизи которого ощущался запах газа (счетчик был установлен с противоположной стороны относительно квартиры, в которой произошел аварийный взрыв). В частности, интерес представляют слова жильцов о «вспыхивающем» и «неравномерно горящем» огне, что возможно связано с нарушением подачи газа на фоне установки данного прибора и, как следствие, возможной причиной произошедшего обрыва (разгерметизации).

Сценарий 3 – детонационный взрыв. Реализация данного сценария наименее вероятна, но требует рассмотрения с точки зрения исключения террористического акта как причины взрыва. Физическая картина произошедшего аварийного взрыва характерна именно для дефлаграционного горения, о чем позволяют судить представленные фотоматериалы и обстоятельства произошедшего. Кроме того, следов присутствия взрывчатых веществ при осмотре места происшествия следственными органами не обнаружено. Таким образом, реализация данного сценария исключается картиной повреждений строительных конструкций и обстановки, не характерной для детонационного взрыва, а также отсутствием следов взрывчатых веществ на месте аварийной ситуации [122-125].

Рассмотренные сценарии аварии позволяют говорить о том, что наиболее вероятной причиной поступления в помещения газа в необходимом для взрыва объеме является обрыв/разгерметизация подводящего газопровода. Установить причину обрыва не представляется возможным, но определенный интерес представляют слова жильцов о сбоях в подаче газа, на фоне установки нового газового счетчика. Источником зажигания наиболее вероятно явилась искра вследствие включения бытового прибора (прибора освещения).

Выводы по четвертой главе

1. Величина взрывных нагрузок зависит от следующих факторов:

- количества газа, поступившего в помещение;
- планировки помещений квартиры (объемно-планировочные решения);
- типа остекления оконных проемов, которые при подобных аварийных ситуациях следует рассматривать в качестве предохранительных конструкций, выполняющих роль сбросных проемов;
- места появления источника зажигания (искры);
- состояния дверных проемов во время утечки – при сообщении помещения, в котором изначально происходит утечка возможно перетекание смеси в другие комнаты, что позволяет говорить о несколько ином сценарии развития аварии – взрыве в многосвязных помещениях и ряда других, менее значимых факторов.

2. Понимание сценария развития аварии является основной составляющей при установлении причины взрыва, так как реконструкция аварийных взрывов требует учета ряда факторов. Рассмотренные сценарии реальной аварии, приводимые в данной главе, позволяют говорить о том, что при расследовании подобных аварийных ситуаций особую остроту приобретает знания о физической картине аварийных взрывов.

3. Анализ аварийных взрывов имеет ключевое значение как для установления причин происшествия, так и для предотвращения подобных инцидентов в будущем. В данной главе подчеркивается необходимость системного подхода к изучению факторов, способствующих взрыву.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенный анализ последствий взрывов газа в жилых домах показал значительное количество погибших и пострадавших, что позволило сделать вывод о необходимости разработки оптимальных решений, позволяющих минимизировать последствия взрыва.

2. Для определения и описания процесса формирования взрывоопасной концентрации газа в помещении проведены экспериментальные исследования. В результате было установлено, что коэффициент турбулентной диффузии, используемый при математическом описании процесса, значительно превышает коэффициент молекулярной диффузии и составляют величину не менее $D = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$. Разработанная математическая модель с использованием полученного коэффициента турбулентной диффузии адекватно описывает распространение газа по помещению и может быть использована на этапе проектирования и отладки системы вентиляции, в том числе в рамках текущих проверок по контролю за состоянием системы жилого дома. Предлагаемый в работе способ исключения возможности формирования взрывоопасной смеси предполагает комплексное решение, гарантирующее своевременное оповещение, перекрытие подачи газа и удаление газа, поступившего в объем помещения.

3. Проведенные модельные экспериментальные исследования позволили выявить ряд теоретических особенностей, характерных для физической картины внутреннего дефлаграционного взрыва. Установлено, что с точки зрения величины взрывных нагрузок сценарий внутреннего аварийного дефлаграционного взрыва в односвязной области не является самым неблагоприятным, так как по результатам экспериментальных исследований значительно большую опасность представляют внутренние взрывы в многосвязной (смежной) области.

Результаты исследований по воздействию на предохранительные конструкции взрывных нагрузок позволили сделать вывод о том, что использование данных конструкций позволит решить проблему взрывобезопасности жилых домов, с точки зрения снижения взрывных нагрузок до

допустимого уровня.

4. Понимание физической картины аварийных взрывов является ключевой составляющей при реконструкции аварийной ситуации, связанной со взрывом бытового газа. В рамках четвертой главы данной работы полученные результаты были использованы при реконструкции сценария реальной аварийной ситуации, связанной со взрывом бытового газа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Результат реализации программ газификации за период 2005–2020 гг. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://gazprommap.ru/> (дата обращения: 26.09.2020).
2. Годовой отчет акционерного общества «МОСГАЗ» за 2020 год [Электронный ресурс] // Режим доступа: https://www.mosgaz.ru/upload/dynamic/2021-07/29/MOSGAZ_otchet_2020_int-007f5c2.pdf (дата обращения: 26.09.2020).
3. Франк-Каменецкий, Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике [Текст]. – М.: Наука, 1987 (3-е изд.). – 502 с.
4. Франк–Каменецкий, Д.А. Теория горения и взрыва. Сборник научных трудов [Текст] / Отв. ред. Ю.В. Фролов. – М.: Наука, 1981. – 416 с.
5. Стрельчук, Н.А. Определение площади вышибных конструкций в зданиях взрывоопасных производств [Текст] / Стрельчук Н.А., Орлов Г.Г // Промышленное строительство. – 1969. – № 6. – С. 19 – 22.
6. Стрельчук, Н.А. Взрывобезопасность и огнестойкость в строительстве: монография / Под ред. Н.А. Стрельчука. – М.: Стройиздат, 1970. – 128 с.
7. Стрельчук, Н.А. Особенности распространения пламени метано–воздушных смесей в больших объемах [Текст] / Стрельчук, Н.А., Иващенко П.Ф., Румянцев В.С. // Физика горения и взрыва. – 1976. – № 5. – С. 775–778
8. Стрельчук, Н.А. Газодинамика горения газо-воздушной смеси в полузамкнутом объеме при сбросе давления в незагазованный смежный объем [Текст] / Стрельчук, Н.А., Мишуев А.В., Никитин А.Г., Орахелашвили Н.В // Физика горения и взрыва. – 1984. – № 1. – С. 65–69
9. Мишуев, А.В. Интенсификация взрывного горения газо-воздушных смесей в зданиях и сооружениях [Текст] / А.В. Мишуев, В.В. Казеннов, А.А. Комаров, Н.В. Громов // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: сборник докладов Международной научной

конференции, Москва, 16–18 октября 2013 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2013. – С. 369–372. – EDN RTXWYJ.

10. Мишуев, А.В. Особенности аварийных взрывов внутри жилых газифицированных зданий и промышленных объектов [Текст] / А.В. Мишуев, В.В. Казеннов, А.А. Комаров [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21. № 3. – С. 49–56. – EDN OZZUJV.

11. Мишуев, А.В. Обеспечение взрывобезопасности и взрывоустойчивости промышленных, транспортных, энергетических и гражданских объектов [Текст] / А.В. Мишуев, В.В. Казеннов, Н. В. Громов // Вестник МГСУ. – 2011. – № 1–2. – С. 336–340. Мишуев, А. В. Обеспечение взрывобезопасности и взрывоустойчивости промышленных, транспортных, энергетических и гражданских объектов / А. В. Мишуев, В. В. Казеннов, Н. В. Громов // Вестник МГСУ. – 2011. – № 1-2. – С. 336–340. – EDN OUVZWH.

12. Мишуев, А.В. Проектирование остекления зданий с учетом требований по взрывоустойчивости и взрывобезопасности [Текст] / А.В. Мишуев, В.В. Казеннов, Н.В. Громов [и др.] // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4–2. – С. 51–55. – EDN RTSQFT.

13. Мишуев, А.В. Методика расчета нагрузок на здания и сооружения при воздействии внешних аварийных дефлаграционных взрывов [Текст] / А.В. Мишуев, Д.З. Хуснутдинов. – Москва: Московский государственный строительный университет, 2004. – 65 с.– EDN SNSOZL.

14. Мишуев, А.В. Взрывозащита зданий [Текст] / А.В. Мишуев, В.В. Казеннов, Л.Н. Гусак // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – Т. 13. – № 6. – С. 24–25. – EDN PVLZIT.

15. Мишуев, А.В. Прогнозирование последствий ЧС, связанных с взрывными авариями и прорывами плотин [Текст] / А.В. Мишуев, А.А. Комаров // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций: Сборник материалов, Москва, 23 октября 2002 года. – Москва: Всероссийский научно–исследовательский институт по

проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2002. – С. 58–59. – EDN LUZSSG.

16. Мишуев, А.В. Прогнозирование и методы смягчения последствий воздействия взрывных нагрузок и волн прорыва на промышленные и гражданские объекты [Текст] / А.В. Мишуев, А.А. Комаров, Л.Н. Гусак // Строительство в XXI веке. Проблемы и перспективы: Материалы международной научно–практической конференции, Москва, 05–07 декабря 2001 года / Московский государственный строительный университет. – Москва: Издательство АСВ, 2001. – С. 30–41. – EDN TLBGWP.

17. Мишуев, А.В. Научные основы обеспечения устойчивости зданий при внутренних аварийных взрывах [Текст] / А.В. Мишуев, А.А. Комаров // Безопасность жизнедеятельности. – 2001. – № 1. – С. 18–23. – EDN SMAPVD.

18. Мишуев, А.В. Общие закономерности развития аварийных взрывов и методы снижения взрывных нагрузок до безопасного уровня [Текст] / А.В. Мишуев, А.А. Комаров, Д.З. Хуснутдинов // Пожаровзрывобезопасность. – 2001. – Т. 10. – № 6. – С. 8–19. – EDN RTTWZR.

19. Мишуев, А.А. Динамические нагрузки при аварийных взрывах газопаровоздушных смесей в зданиях [Текст] / А.А. Мишуев, А.А. Комаров // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2001. – № 3. – С. 49–52. – EDN SMEVOZ.

20. Мишуев, А.В. Обеспечение взрывобезопасности и взрывоустойчивости зданий при использовании окон нового типа [Текст] / А.В. Мишуев, А.А. Комаров // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2000. – № 3(14). – С. 14–15. – EDN STXAOZ.

21. Мишуев, А.В. Обеспечение взрывобезопасности зданий при внутренних взрывах [Текст] / А.В. Мишуев, А.А. Комаров, В.В. Казеннов // Экология и промышленность России. – 1997. – № 5. – С. 32–35. – EDN SSMRGX.

22. Мишуев, А.В. Моделирование динамических нагрузок, действующих на строительные конструкции при аварийном взрыве газовоздушных смесей

внутри здания [Текст] / А.В. Мишуев, В.В. Казеннов, А.А. Комаров // Пожаровзрывобезопасность. – 1996. – Т. 5. – № 1. – С. 34–40. – EDN SMDQWN.

23. Мишуев, А.В. Безопасность промышленных и гражданских объектов при аварийном взрыве газопаровоздушных смесей [Текст] / А.В. Мишуев, В.В. Казеннов, А.А. Комаров // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 1996. – № 6. – С. 8–12. – EDN RTUOBD.

24. Мишуев, А.В. Математическое моделирование процесса взрывного горения в промышленных и гражданских зданиях [Текст] / А.В. Мишуев, В.В. Казеннов, А.А. Комаров // Пожаровзрывобезопасность. – 1995. – Т. 4. – № 4. – С. 26–31. – EDN SMDQRN.

25. Мишуев, А.В. Взрывобезопасные нагрузки при взрыве газопаровоздушных смесей [Текст] / А.В. Мишуев, В.В. Казеннов, А.А. Комаров, А.А. Соловьянов // Безопасность труда в промышленности. – 1993. – № 12. – С. 23–26. – EDN SSMRPJ.

26. Пилюгин, Л.П. Конструкции сооружений взрывоопасных производств: (теоретические основы проектирования) [Текст] / Л.П. Пилюгин. – М.: Стройиздат, 1988. – 314 с.

27. Пилюгин, Л.П. Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций [Текст] / Л.П. Пилюгин. – М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2000 г. – 243 с.

28. Пилюгин, Л.П. Прогнозирование последствий внутренних аварийных взрывов [Текст]: монография / Л.П. Пилюгин. – М.: Пожнаука, 2010. – 380 с.

29. Орлов, Г.Г. Нагрузки, разрушающие строительные конструкции в результате аварийных взрывов [Текст] / Г.Г. Орлов, А.Д. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25. – № 3. – С. 45–56. – DOI 10.18322/PVB.2016.25.03.45-56. – EDN VSDSLX.

30. Орлов, Г.Г. Способ расчета узлов крепления предохранительных (легкосбрасываемых) конструкций на действие особого сочетания нагрузок [Текст] / Г.Г. Орлов, А.Д. Корольченко // Научное обозрение. – 2016. – № 20. – С. 25–29. – EDN XCNFMJ.

31. Орлов, Г.Г. Определение величины и характера взрывных нагрузок при применении инерционных предохранительных конструкций [Текст] / Г.Г. Орлов, Д.А. Корольченко, А.Я. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24. – № 4. – С. 47–55. – EDN TVFFSB.

32. Орлов, Г.Г. Оценка степени интенсификации взрывного горения газозвушной смеси [Текст] / Г.Г. Орлов, Д.А. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24. – № 5. – С. 62–67. – EDN TWQVAB.

33. Орлов, Г.Г. Экономическая оценка эффективности применения предохранительных конструкций для обеспечения взрывоустойчивости зданий и сооружений [Текст] / Г.Г. Орлов, Д.А. Корольченко, А.Я. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24. – № 6. – С. 51–57. – EDN UMHSZH.

34. Орлов, Г.Г. Анализ причин взрывов горючих смесей внутри производственных зданий [Текст] / Г.Г. Орлов, Д.А. Корольченко // Научное обозрение. – 2015. – № 12. – С. 119–123. – EDN UMLPHT.

35. Орлов, Г.Г. Оценка влияния глухого остекления на величину давления, возникающего при взрыве газозвушной смеси [Текст] / Г.Г. Орлов, В.А. Горев, Е.Ю. Салымова, А.В. Ляпин // Научное обозрение. – 2015. – № 21. – С. 66–71. – EDN VOGTSV.

36. Орлов, Г.Г. К вопросу определения требуемой площади легкобрасываемых конструкций [Текст] / Г.Г. Орлов // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 10. – С. 10–12. – EDN MVMUBD.

37. Шлег, А.М. Роль предохранительных конструкций при обеспечении взрывоустойчивости объектов в нефтегазовом комплексе [Текст] / А.М. Шлег, А.А. Комаров //: Безопасность в нефтегазовом комплексе: сборник материалов, Москва, 27 апреля 2000 г. – С. 60-61.

38. Шлег, А.М. Прогнозирование последствий аварийных взрывов в помещениях, оборудованных легкобрасываемыми конструкциями [Текст] / А.М. Шлег, И. Ю. Варламова // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций: сборник материалов, Москва, 23 октября 2002 года. – Москва:

Всероссийский научно–исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2002. – С. 89–90.

39. Шлег, А. М. Защитные мероприятия при взрыве газопаровоздушных смесей [Текст] / А.М. Шлег // Городская научно–практическая конференция–выставка, посвященная 80–летию МГСУ–МИСИ «Современные технологии в строительстве. Образование, наука, практика»: тезисы докладов – Москва, 2001. – С. 79–80.

40. Шлег, А.М. Общая характеристика внутренних дефлаграционных взрывов [Текст] / А. М. Шлег, С.В. Никитин, А.В. Никитин // 4–я традиционная научно–практическая конференция молодых ученых, аспирантов и докторантов «Строительство – формирование среды жизнедеятельности»: тезисы докладов – Москва: МГСУ, 25–26 апреля 2001. – С. 123–124.

41. Шлег, А.М. Процесс взрывного горения в жилых помещениях [Текст] / А.М. Шлег, С.В. Никитин, А.В. Никитин // 4–я традиционная научно–практическая конференция молодых ученых, аспирантов и докторантов «Строительство – формирование среды жизнедеятельности»: тезисы докладов – Москва: МГСУ, 25–26 апреля 2001. – С. 127–128.

42. Шлег, А.М. Основные параметры, определяющие нагрузки при аварийных взрывах [Текст] / А.М. Шлег, С.В. Никитин, А.В. Никитин // 4–я традиционная научно –практическая конференция молодых ученых, аспирантов и докторантов «Строительство – формирование среды жизнедеятельности»: тезисы докладов – Москва: МГСУ, 25–26 апреля 2001. – С. 125–126.

43. Комаров, А.А. Особенности моделирования аварийных взрывов внутри зданий и в атмосфере [Текст] / А.А. Комаров // ПожСофт–2022: Сборник докладов II научно–практической конференции по программному обеспечению для решения задач пожарной безопасности, Москва, 24–25 ноября 2022 года. – Москва: Автономная некоммерческая организация Научно–методический координационный центр разработки и применения программного обеспечения в области пожарной безопасности «ПожСофт», Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2022. – С. 25–31. – EDN RWWLGX.

44. Комаров, А.А. Экспериментальное определение эффективности остекления при аварийных взрывах внутри зданий [Текст] / А.А. Комаров, Д.А. Корольченко, Н.В. Громов // Пожаровзрывобезопасность. – 2022. – Т. 31. – № 6. – С. 78–90. – DOI 10.22227/0869-7493.2022.31.06.78-90. – EDN XCWQKD.

45. Комаров, А.А. Воздействие газодинамических потоков, сопровождающих аварийные взрывы, на здания и сооружения [Текст] / А.А. Комаров, Е. В. Бажина // Природообустройство. – 2022. – № 1. – С. 84–92. – DOI 10.26897/1997-6011-2022-1-84-92. – EDN WHQDSP.

46. Комаров, А.А. Расчет вероятного сценария развития взрывной аварии [Текст] / А. А. Комаров, Н.В. Громов // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования: Сборник докладов Первой Национальной конференции, Москва, 30 сентября 2020 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2020. – С. 712–719. – EDN CFYINM.

47. Комаров, А.А. Влияние способа крепления легкосбрасываемой конструкции на взрывные нагрузки при аварии [Текст] / А.А. Комаров, Н.В. Громов, А.Д. Корольченко // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования: Сборник докладов Первой Национальной конференции, Москва, 30 сентября 2020 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2020. – С. 720–726. – EDN НХАІЕС.

48. Комаров, А.А. Определение скорости распространения фронта пламени при аварийных дефлаграционных взрывах [Текст] / А.А. Комаров, М.А. Грохотов // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 7. – С. 7–13. – DOI 10.24000/0409-2961-2020-7-7-13. – EDN NWGKIV.

49. Комаров, А.А. Восстановление сценария развития взрывной аварии расчетным методом [Текст] / А.А. Комаров, Н.В. Громов, Е.В. Бажина // Безопасность труда в промышленности. – 2020. – № 8. – С. 7–13. – DOI 10.24000/0409-2961-2020-8-7-13. – EDN VPTZZE.

50. Комаров, А.А. Методика установления причинно–следственной связи утечки горючего газа в помещении и аварийного дефлаграционного взрыва

[Текст] / А.А. Комаров, Р.А. Загуменников, М.А. Грохотов // Судебная экспертиза. – 2020. – № 3(63). – С. 62–72. – DOI 10.25724/VAMVD.OXYZ. – EDN FUUWFO.

51. Комаров, А.А. Особенности восприятия человеком динамических нагрузок от аварийных дефлаграционных взрывов [Текст] / А.А. Комаров, Т.А. Фан // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: сборник материалов международной научной конференции, Москва, 16–17 ноября 2016 года / ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2017. – С. 339–342. – EDN XSNGXB.

52. Комаров, А.А. Особенности гидродинамических расчетов при проведении технической экспертизы аварийного взрыва [Текст] / А.А. Комаров, Д.А. Корольченко, Н.В. Громов // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26. – № 10. – С. 36–42. – DOI 10.18322/PVB.2017.26.10.36-42. – EDN ZUFYAZ.

53. Комаров, А.А. Расчеты газодинамических потоков, сопровождающих аварийные взрывы внутри зданий [Текст] / А.А. Комаров, Е.В. Бажина, С.А. Ковалевская // Научное обозрение. – 2017. – № 4. – С. 10–15. – EDN YHXDBV.

54. Комаров, А.А. Экспериментальное исследование и численное моделирование процесса образования взрывоопасной метановоздушной смеси в помещениях [Текст] / А.А. Комаров, Г.В. Васюков, Р.А. Загуменников, Е.В. Бузаев // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24. – № 4. – С. 30–38. – EDN TVFFRH.

55. Комаров, А.А. Критерий квазистатичности взрывного давления газопаровоздушных смесей в помещениях [Текст] / А.А. Комаров, В.В. Казеннов, А.А. Гусев, Н.В. Громов // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24. – № 8. – С. 56–61. – DOI 10.18322/PVB.2015.24.08.56-61. – EDN UMGNOT.

56. Комаров, А.А. Моделирование аварийных выбросов взрывоопасных веществ в помещении [Текст] / А.А. Комаров, Е.В. Бузаев, Г.В. Васюков, Р.А. Загуменников // Вестник МГСУ. – 2014. – № 10. – С. 132–140. – EDN SWJEBF.

57. Комаров, А.А. Особенности аварийных взрывов внутри жилых газифицированных зданий и промышленных объектов [Текст] / А.В. Мишуев, В.В. Казеннов, А.А. Комаров [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 3. – С. 49–56. – EDN OZZUJV.

58. Комаров, А.А. Методы повышения безопасности жилых и производственных помещений при аварийных взрывах бытового газа [Текст] / А.А. Комаров, А.В. Ляпин // Промышленное и гражданское строительство. – 2008. – № 3. – С. 51–52. – EDN ILIWRD.

59. Комаров, А.А. Разрушения зданий при аварийных взрывах бытового газа [Текст] / А.А. Комаров // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – Т. 13. – № 5. – С. 15–23. – EDN PMDPUJ.

60. Горев, В.А. Влияние легкобрасываемых конструкций на избыточное давление при взрыве в помещении [Текст] / В.А. Горев, А.Д. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2022. – Т. 31. – № 3. – С. 12–23. – DOI 10.22227/0869-7493.2022.31.03.12-23. – EDN AKVGCL.

61. Горев, В.А. Модельная нагрузка при внутреннем взрыве [Текст] / В.А. Горев // Пожаровзрывобезопасность. – 2021. – Т. 30. – № 3. – С. 5–15. – DOI 10.22227/0869-7493.2021.30.03.5-15. – EDN IKZXKM.

62. Горев, В.А. Влияния глубины установки легкобрасываемой конструкции на давление в помещении при взрыве газа [Текст] / В.А. Горев, А.Д. Корольченко // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования: Сборник докладов Первой Национальной конференции, Москва, 30 сентября 2020 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2020. – С. 684–688. – EDN XYVSGZ.

63. Горев, В.А. О зависимости параметров внутреннего взрыва от устройства предохранительных конструкций в проемах ограждающих стен

промышленных и жилых зданий [Текст] / В. А. Горев, В. В. Мольков // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27. – № 10. – С. 6–25. – DOI 10.18322/PVB.2018.27.10.6-25. – EDN VMLYGA.

64. Горев, В.А. О возможности вибрационного горения при внутренних взрывах [Текст] / В.А. Горев, Е.Ю. Салымова // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26. – № 5. – С. 13–20. – DOI 10.18322/PVB.2017.26.05.13-20. – EDN ZAFKQX.

65. Горев, В.А. Влияние формы облака и места инициирования взрыва на характер взрывной волны [Текст] / В.А. Горев, Г.М. Медведев // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21. – № 6. – С. 29–33. – EDN PAOIRF.

66. Поландов, Ю. Х. Условия возникновения пожара в помещении при газовом взрыве. Экспериментальные данные [Текст] / Ю. Х. Поландов, Д. А. Корольченко, А. А. Евич // Пожаровзрывобезопасность. – 2020. – Т. 29, № 1. – С. 9-21. – DOI 10.18322/PVB.2020.29.01.9-21. – EDN CLTXYK.

67. Поландов, Ю. Х. Влияние на развитие газового взрыва в помещении расстояния между местом воспламенения и окном [Текст] / Ю. Х. Поландов, С. А. Добриков // Пожаровзрывобезопасность. – 2019. – Т. 28, № 3. – С. 14-35. – DOI 10.18322/PVB.2019.28.03.14-35. – EDN HQUINTD.

68. Поландов, Ю.Х. Об эффекте повторного скачка давления при взрыве газоздушной смеси в незамкнутом объеме [Текст] / Ю.Х. Поландов, М.А. Барг, С.А. Власенко // Известия ВУЗов. – 2007. – № 8. – С. 41–43. – EDN UAADWJ.

69. Поландов, Ю. Х. Особенности развития газового взрыва в помещении при наличии смежной комнаты [Текст] / Ю. Х. Поландов, В. А. Бабанков, С. А. Добриков // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25, № 1. – С. 38-46. – DOI 10.18322/PVB.2016.25.01.38-46. – EDN VQEUCL.

70. Поландов, Ю. Х. Результаты испытаний легкобрасываемых конструкций [Текст] / Ю. Х. Поландов, С. А. Добриков, Д. А. Кукин // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, № 8. – С. 5-14. – DOI 10.18322/PVB.2017.26.08.5-14. – EDN SAWFEZ.

71. Поландов, Ю. Х. Об условиях развития вибрационного горения при газовом взрыве в незамкнутом объеме [Текст] / Ю. Х. Поландов, А. Д. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27. – № 7-8. – С. 9-23. – DOI 10.18322/PVB.2018.27.07-08.9-23. – EDN UZBIWA.

72. Хуснутдинов, Д.З. Аварийные взрывы газо-воздушных смесей в атмосфере [Текст] / Д.З. Хуснутдинов, А.В. Мишуев, В.В. Казеннов [и др.]. – Москва: Московский государственный строительный университет, 2014. – 80 с.

73. Абросимов, А.А. Мероприятия, обеспечивающие безопасные нагрузки при аварийных взрывах в зданиях со взрывоопасными технологиями [Текст] / А.А. Абросимов, А.А. Комаров // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2002. – № 4. – С. 48–51. – EDN RTTXBP.

74. Кашеварова, Г.Г. Моделирование и ретроспективный анализ взрыва бытового газа в кирпичном здании [Текст] / Г.Г. Кашеварова, А.А. Пепеляев // Строительная механика и расчет сооружений. – 2010. – № 2(229). – С. 31–36. – EDN MUDYBT.

75. Кашеварова, Г.Г. Воздействие взрыва бытового газа на процесс деформирования и разрушения конструкций кирпичного жилого здания [Текст] / Г.Г. Кашеварова, А.А. Пепеляев, А.Ю. Зобачева // Сборник научных трудов SWorld. – 2012. – Т. 4. – № 1. – С. 58–61.

76. Кашеварова, Г.Г. Исследование влияния конструктивного решения жилого здания и характера воздействия взрыва бытового газа на процесс деформирования и разрушения конструкций [Текст] / Г.Г. Кашеварова, А.А. Пепеляев // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2012. – Т. 15. – С. 182–186. – EDN VZRUYH.

77. Пепеляев, А.А. Верификация методики расчета дефлаграционного взрыва бытового газа [Текст] / А.А. Пепеляев, Г.Г. Кашеварова // Сборник научных трудов SWorld. – 2012. – Т. 4. – № 1. – С. 55–57. – EDN OYANEZ.

78. Васюков, Г.В. Валидация модели возникновения взрывоопасной метановоздушной смеси [Текст] / Г.В. Васюков, Р.А. Загуменников // Материалы

международной научно–технической конференции «Системы безопасности». – 2014. – № 23. – С. 255–258. – EDN IXOPAH.

79. Реснянская, А.С. Взрывы природного газа и их последствия в многоэтажных зданиях [Текст] / А.С. Реснянская // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: Сборник материалов Международной научной конференции, Москва, 12–13 ноября 2014 года / Ответственные редакторы: Т.И. Квитка, И.П. Молчанова. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2015. – С. 263–266. – EDN TSRVGD.

80. Шмырев, В.И. Защита сооружений при дефлаграционном взрыве [Текст] / В.И. Шмырев, Д.В. Шмырев, И.В. Булаев // Тенденции формирования науки нового времени: Сборник статей Международной научно–практической конференции, Уфа, 18 февраля 2015 года / Ответственный редактор: Сукиасян А.А. – Уфа: ОМЕГА САЙНС, 2015. – С. 41–43. – EDN ТКУJPH.

81. Сулименко, В.А. Особенности расчёта параметров процесса возникновения взрывоопасных смесей при аварийных ситуациях [Текст] / В.А. Сулименко, А.А. Комаров, Г.В. Васюков, Р.А. Загуменников // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 4(62). – С. 109–116. – EDN VTPNIX.

82. Харламенков, А.С. Пути решения проблемы взрывов бытового газа в жилых домах [Текст] // Пожаровзрывобезопасность. – 2020. – № 4. – С. 70–74. – EDN MXPBUE.

83. Гимранов, Ф. М. Оценка последствий взрыва бытового газа / Ф. М. Гимранов // Вестник Казанского технологического университета. – 2010. – № 5. – С. 150-151. – EDN MOTYAP.

84. Карибьянц, В.Р. К вопросу о методике оценки степени разрушения многоэтажного жилого дома при взрыве природного газа в одном из помещений [Электронный ресурс] / Карибьянц В.Р., Надеждин А.В. // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2004. – №1 (20) – С. 35–39. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-metodike-otsenki-stepeni-razrusheniya>–

mnogoetazhnogo–zhilogo–doma–pri–vzryve–prirodngo–gaza–v–odnom–iz–pomescheniy (дата обращения 28.10.2020).

85. Xu, C. Failure analysis of gas explosion load based on structural impact failure characteristics / Xu C, Yao W // *Advances in Mechanical Engineering*. – 2023. – Т. 15(2). – P. 1–11.

86. Peng, C. Experimental and Numerical Study of Natural Gas Leakage and Explosion Characteristics/ Mingzhi Li, Zhenyi Liu, Pengliang Li, Yao Zhao, Yi Zhou // *ACS Omega*. –2022. – Т.15 (2). – P. 25278–25290.

87. Álvarez–Fernández, M. I. Determination of the explosion parameters of methane–air mixtures as function of the ignition source and the volume and shape of the explosion chambers / Álvarez–Fernández, M. I., Prendes–Gero, M. B., Pola–Alonso, I., Conde–Fernández, L., & Luengo–García, J. C. // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. –2022. – Т.80 (4). – C. 104862.

88. Zhao, K. Experimental study on the domino effect in explosions caused by vertically distributed methane/air vapor clouds / Zhao, K., Wang, Z., Ma, C., Cao, X., Guo, P., Guo, W., & Lu, Y // *Fuel*. – 2021. – Т.290. – C.104862.

89. Li, J. Effect of concentration and ignition position on vented methane–air explosions / Li, J., Wang, X., Guo, J., Zhang, J., & Zhang, S // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. – 2020. – Т. 68. – C. 104334.

90. Mokhtar, K.M. Reliability and applicability of empirical equations in predicting the reduced explosion pressure of vented gas explosions / Mokhtar, K. M., Kasmani, R.M., Hassan, C.R.C., Hamid, M.D., Emami, S.D., & Nor, M.I.M. // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. – 2020. – Т. 63. – C. 104023.

91. Andreotti, M. Structural Behaviour of Multi–Storey Buildings Subjected to Internal Explosion. / Andreotti, M., Mocellin, P., Zanini, M., Vianello, C., Pellegrino, C., Modena, C., & Maschio, G. // *Chemical Engineering Transactions*. – 2016. – Т. 48. – P. 421–426.

92. Sezer, H. Methane–induced explosions in vented enclosures / Sezer, H., Kronz, F., Akkerman, V.Y., & Rangwala, A.S. // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. – 2017. – Т. 48. – P. 199–206.

93. Yang, K. Influence of the Region outside a Vent on the Explosion of an Indoor Gas/ Yang, K., Pengfei, L., Jiancun, G., Pang, L. // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2020. – Т. 93. – P. 466–473.

94. Xing, H. Visualization of explosion characteristics of methane–air mixtures with different ignition positions and vent areas in a large–scale venting chamber / Xing, H., Qiu, Y., Sun, S., Wang, M., Li, B., Xie, L. // Fuel. – 2020. – Т.279. – С.118380.

95. Zhang, Q. Coupling effects of venting and inerting on explosions in interconnected vessels/ Zhang, Q., Yu Y., Li Y., Chen, Z., Jiang J. // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2020. – Т. 65. – С. 104132.

96. Федеральный банк данных «Пожары» // [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.vniipo.ru/institut/informatsionnye-sistemy-reestry-bazy-i-banki-dy/federalnyy-bank-dannykh-pozhary/> (Дата обращения: 08.10.2020).

97. Анализ чрезвычайных ситуаций, связанных со взрывами бытового газа в жилом секторе / В. Н. Копченков, Ю. А. Матюшин, А. Г. Фирсов [и др.] // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXI Международной научно-практической конференции, Москва, 05–07 июня 2019 года. – Москва: Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2019. – С. 423-427. – EDN KSYKGC.

98. Полехин, П.В. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: Статистический сборник [Текст] / П.В. Полехин, М.А. Чебуханов, А.А. Козлов, А. Г. Фирсов, В. И. Сибирко, В. С. Гончаренко, Т. А. Чечетина. Под общ. ред. Д. М. Гордиенко. М.: ВНИИПО МЧС России, 2021. – 112 с.

99. Взрывы бытового газа в жилых домах в России в 2021 году [Электронный ресурс] // РИА: сайт. Режим доступа: <https://ria.ru/20210911/vzryvy-1749638890.html> (дата обращения: 25.02.2022).

100. Назаров, В.П. Анализ статистики пожаров и взрывов газифицированных зданий в России [Электронный ресурс] / Назаров В.П., Ашихмин А.В., Коротовских Я.В // Технологии техносферной безопасности. –

2017. – № 1(71). С. 70 – 74. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29871079> (дата обращения 25.02.2022).

101. В Магнитогорске завершено переселение жителей дома, где был взрыв газа // [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://realty.ria.ru/20191205/1562021670.html> (дата обращения: 25.02.2020).

102. Тимохин, В.В. Влияние характера остекления на физическую картину аварийного взрыва в жилых многоквартирных домах [Текст] / М. А. Грохотов, В. В. Тимохин // Актуальные проблемы техносферной безопасности: Сборник тезисов научных трудов IV международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных, преподавателей, приуроченная к 45-летнему юбилею кафедры «Промышленная экология и техносферная безопасность», Ульяновск, 20–25 мая 2022 года / Отв. за выпуск Е.Н. Ерофеева. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2022. – С. 41-45. – EDN YDPHXW.

103. Савич, П. Л. Динамика взрывных волн [Текст] – Ч. 1-2. — М.: Военно-инженерная академия Красной армии им. В. В. Куйбышева, 1941. – 208 с.

104. Садовский, М. А. Опытные исследования механического действия ударной волны взрыва [Текст]. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1945. – 44 с.

105. Стрельчук, Н. А. Газодинамика горения газоздушнoй смеси в полузамкнутом объеме при сбросе давления в незагазованный смежный объем [Текст] / Стрельчук Н. А., Мишуев А. В., Никитин А. Г., Орахелашвили Н. В. // Физика горения и взрыва. – 1984. – № 1. – С. 65-69.

106. Ганушкин, В. И. Приспособление подвалов существующих зданий под убежища [Текст] / Ганушкин В. И., Морозов В. И., Никонов Б. И., Орлов Г. И. – М.: Стройиздат, 1971. – 208 с.

107. Когарко, С. М. Исследование сферической детонации газовых смесей [Текст] / Когарко С. М., Адушкин В. В., Лямин А. Г. // Научно-технические проблемы горения и взрыва. – 1965. – № 2. – С. 22-34.

108. Тимохин, В.В. Обеспечение взрывобезопасности жилых домов [Текст] / В. В. Тимохин, А. А. Комаров, М. А. Грохотов, И. Р. Бегишев // Пожары

и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2021. – № 3. – С. 69-74. – DOI 10.25257/FE.2021.3.69-74. – EDN MWOOPN.

109. Тимохин, В.В. Экспериментальное исследование и моделирование процесса формирования взрывоопасных концентраций [Текст] / А. А. Комаров, В. В. Тимохин // Безопасность труда в промышленности. – 2023. – № 1. – С. 84-88. – DOI 10.24000/0409-2961-2023-1-84-88. – EDN NJINDO.

110. Тимохин, В. В. Экологические аспекты распространения примесей в жилых помещениях [Текст] / В. В. Тимохин // Экологические проблемы XXI века: Материалы XV Научно-практической конференции слушателей и молодых ученых, Москва, 25 мая 2023 года / Сост. Т.Г. Грушева [и др.]. Под общей редакцией Т.Г. Грушевой. – Москва: Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2023. – С. 76-79. – EDN NGFXER.

111. Тимохин, В. В. Особенности физической картины развития аварийных взрывов в изолированных помещениях [Текст] / В. В. Тимохин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2022. – № 2. – С. 60-66. – DOI 10.25257/FE.2022.2.60-66. – EDN VJXLW.

112. Комаров, А. А. Физическая картина развития аварийных взрывов в смежных помещениях жилых домов [Текст] / А. А. Комаров, В. В. Тимохин, Ю. В. Тимохин // Безопасность жизнедеятельности. – 2023. – № 7(271). – С. 51-56. – EDN QLICXA.

113. Тимохин, В. В. Внутренние дефлаграционные взрывы в смежных помещениях жилых домов [Текст] / В. В. Тимохин // Материалы международной научно-технической конференции «Системы безопасности». – 2021. – № 30. – С. 121-123. – EDN RLDSZS.

114. Тимохин, В. В. Особенности взрывов бытового газа в жилых домах / В. В. Тимохин [Текст] // Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. – 2021. – № 10. – С. 161-166. – EDN KCMZPX.

115. Тимохин, В. В. Существующие мероприятия по обеспечению взрывобезопасности жилых домов [Текст] / В. В. Тимохин // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции, посвященной проведению в Российской Федерации Года науки и технологий в 2021 году и 55-летию учебного заведения, Иваново, 10–11 ноября 2021 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2021. – С. 191-194. – EDN ROYIYM.

116. ГОСТ Р 56288-2024. Конструкции оконные со стеклопакетами легкобрасываемые для зданий. Технические условия [Электронный ресурс]: национальный стандарт (утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 февраля 2024 г. № 251-ст). – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1305118374> (дата обращения: 11.09.2024 г.).

117. ГОСТ 3241-91. Канаты стальные. Технические условия [Электронный ресурс]: межгосударственный стандарт (утвержден и введен в действие Постановлением Комитета стандартизации и метрологии СССР от 21.11.91 № 1775). – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200007601> (дата обращения: 11.09.2024 г.).

118. Тимохин, В. В. Причины и определяющие факторы формирования взрывных нагрузок при внутренних аварийных взрывах [Текст] / В. В. Тимохин, М. А. Грохотов, Е. А. Комарова // Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. – 2022. – № 11. – С. 242-247. – EDN RYYDMM.

119. Тимохин, В. В. Реконструкция аварийных взрывов [Текст] / В. В. Тимохин // Материалы международной научно-технической конференции «Системы безопасности». – 2023. – № 32. – С. 287-293. – EDN CGZKSY.

120. Тимохин, В. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024610980 Российская Федерация. Программа для оценки параметров формирования взрывоопасных концентраций в помещении: № 2023687190: заявл. 07.12.2023: опубл. 16.01.2024 / В. В. Тимохин, А. А. Комаров. – EDN UITDBW.

121. Тимохин, В. В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025613245 Российская Федерация. Программа для оценки состояния газовой среды помещения: № 2025611037: заявл. 22.01.2025: опубл. 10.02.2025 / В. В. Тимохин. – EDN UITDBW.

122. Тимохин, В. В. Восстановление сценария взрывной аварии на основе информации опубликованной в открытых источниках [Текст] / Р. Р. Шангараев, А. А. Комаров, В. В. Тимохин // Академия Государственной противопожарной службы МЧС России: Теория. Инновации. Практика: Материалы научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня образования Академии ГПС МЧС России. В 5-ти частях, Москва, 19 октября 2023 года. – Москва: Академия Государственной противопожарной службы, 2023. – С. 219-222. – EDN EFVKHJ.

123. Тимохин, В. В. Анализ последствий взрывной аварии в г. Махачкала с использованием методики М.А. Садовского [Текст] / В. В. Тимохин, Р. Р. Шангараев // Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. – 2024. – № 13. – С. 160-166. – EDN BXTFUCU.

124. Тимохин, В. В. Сравнительный анализ детонационного и дефлаграционного типов взрывного превращения на примере реальных аварийных ситуаций [Текст] / А. А. Комаров, В. В. Тимохин, А. П. Шевченко, Р. Р. Шангараев // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2024. – № 4. – С. 64-71. – DOI 10.25257/FE.2024.4.64-71. – EDN CCWOGK.

125. Шведов, К. К. Некоторые вопросы детонации конденсированных взрывчатых веществ / К. К. Шведов // Химическая физика. – 2004. – Т. 23, № 1. – С. 27-49. – EDN OXNLSP.

Приложение А
(обязательное)

Акты внедрения

Начальник
Главного управления МЧС России
по Пензенской области
генерал-майор внутренней службы



Козлов Д.П.

« 13 » января 2023 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы
на соискание ученой степени кандидата технических наук
адъюнкта факультета подготовки научно-педагогических кадров
старшего лейтенанта внутренней службы Тимохина Василия Вячеславовича
на тему: «Обеспечение взрывобезопасности газифицированных
многоквартирных жилых домов»

Комиссия в составе:

заместитель начальника Главного
управления - начальник управления
надзорной деятельности и
профилактической работы Главного
управления МЧС России по
Пензенской области
полковник внутренней службы

Д. А. Закаткин

заместитель начальника управления -
начальник отдела нормативно-
технического управления надзорной
деятельности и профилактической
работы Главного управления МЧС
России по Пензенской области
полковник внутренней службы

А.В. Бабышин

заместитель начальника управления -
начальник отдела организации
надзорных и профилактических
мероприятий управления надзорной

деятельности и профилактической
работы Главного управления МЧС
России по Пензенской области
полковник внутренней службы

В.А. Тарасов

заместитель начальника управления –
начальник отдела организации
пожаротушения и проведения
аварийно-спасательных работ
управления организации
пожаротушения и проведения
аварийно-спасательных работ
Главного управления МЧС России по
Пензенской области
полковник внутренней службы

А.В. Сисин

инспектор отдела нормативно-
технического управления надзорной
деятельности и профилактической
работы Главного управления МЧС
России по Пензенской области
старший лейтенант вн. службы

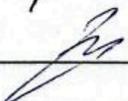
А.В. Авдеева

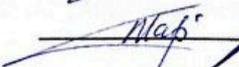
составила настоящий акт в том, что результаты научной работы Тимохина В.В. в области исследования физической картины внутренних аварийных дефлаграционных взрывов были использованы для совершенствования уровня подготовки личного состава органов дознания в части, касающейся изучения вопроса формирования взрывоопасных концентраций и взрывных нагрузок, с целью реконструкции процесса развития аварии при взрывах газо-воздушных смесей в замкнутых объемах.

Председатель комиссии:

 /Д.А. Закаткин/

Члены комиссии:

 /А.В. Бабышин/

 /В.А. Тарасов/

 /А.В. Сисин/

 /А.В. Авдеева/

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель начальника Академии
ГПС МЧС России по учебной работе
полковник внутренней службы

«26»

июль

2023 г.



АКТ

внедрения результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук адъюнкта очного обучения кафедры процессов горения и экологической безопасности (в составе УНК ПГиЭБ) Академии ГПС МЧС России старшего лейтенанта внутренней службы Тимохина Василия Вячеславовича

Комиссия в составе: начальника УНК процессов горения и экологической безопасности, к.т.н., подполковника внутренней службы Мещерякова Алексея Викторовича, начальника кафедры процессов горения и экологической безопасности (в составе УНК ПГиЭБ), к.т.н., подполковника внутренней службы Русских Дмитрия Викторовича; главного научного сотрудника кафедры процессов горения и экологической безопасности (в составе УНК ПГиЭБ), д.т.н., профессора Комарова Александра Андреевича, составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Тимохина В.В. на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.10.1. «Пожарная безопасность» внедрены в учебный процесс кафедры процессов горения и экологической безопасности (в составе УНК ПГиЭБ) для проведения занятий по дисциплине «Теория горения и взрыва» для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» по теме «Взрывные процессы».

Начальник УНК ПГиЭБ
к.т.н., подполковник внутренней службы

А.В. Мещеряков

Начальник кафедры ПГиЭБ
(в составе УНК ПГиЭБ)
к.т.н., подполковник внутренней службы

Д.В. Русских

Главный научный сотрудник кафедры ПГиЭБ
(в составе УНК ПГиЭБ)
д.т.н., профессор

А.А. Комаров



Общество с ограниченной ответственностью
 «ЛЕГКОСБРАСЫВАЕМЫЕ КОНСТРУКЦИИ» (ООО «ЛСК»)
 ИНН 7204204485: КПП 720301001
 Адрес: М. Захарова ул., 7а, 48, Тюмень, 625015, Россия
 Тел./факс: (3452) 28-38-50, e-mail: ofis@ooo-lsk.ru,
 сайт: http://ooo-lsk.ru. http://lsk.expen



УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «ЛСК»

В.Л. Стильба

«17» июля 2024 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы
 на соискание ученой степени кандидата технических наук
 преподавателя кафедры информационных технологий (в составе УНК АСИТ)
 старшего лейтенанта внутренней службы Тимохина Василия Вячеславовича
 на тему: «Обеспечение взрывобезопасности газифицированных
 многоквартирных жилых домов».

Комиссия ООО «ЛСК» (члена СРО «Межрегионпроект») в составе:

- директора ООО «ЛСК», члена национального объединения изыскателей и проектировщиков (НОПРИЗ) Стильба Валерия Леонидовича;
- начальника конструкторского отдела Магаметалиева Руслана Сабиржановича;
- инженера-конструктора Жукова Дмитрия Витальевича;
- инженера по работе с клиентами Попова Евгения Владимировича

подтверждает, что результаты диссертационных исследований Тимохина Василия Вячеславовича на тему «Обеспечение взрывобезопасности газифицированных многоквартирных жилых домов» были использованы при проведении испытаний для оценки давления вскрытия легкобрасываемых (предохранительных) конструкций поворотного типа ЛСКОС-ОП/ПР/С, ЛСКОС-ОП/Ж/С с разрушающимися узлами крепления, предполагаемых к использованию на объектах жилого и промышленного сектора.

Полученные результаты натурных экспериментальных исследований были учтены при проектировании и реализации различных объектов жилого назначения в Московской, Пензенской, Свердловской, Оренбургской, Саратовской областях.



Ввиду актуальности темы исследования комиссия выражает пожелание соискателю Тимохину В.В. продолжать работу по данной теме и использовать накопленный опыт.

Председатель комиссии:


(подпись)

В.Л.Стильба

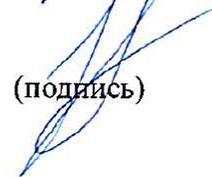
Члены комиссии:


(подпись)

Р.С. Магаметалиев


(подпись)

Д.В. Жуков


(подпись)

Е.В. Попов



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Академии
ГПС МЧС России по научной работе
к.т.н., профессор

М.В. Алешков

2023 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы
на соискание ученой степени кандидата технических наук
преподавателя кафедры информационных технологий (в составе УНК АСИТ)
старшего лейтенанта внутренней службы Тимохина Василия Вячеславовича
на тему: «Обеспечение взрывобезопасности газифицированных
многоквартирных жилых домов»

Комиссия в составе:

начальника центра организации научных исследований и научной
информации, к.т.н., доцента Храмцова Сергея Петровича;

заместителя начальника центра - начальника отдела организации научных
исследований, к.т.н. Федяева Владислава Дмитриевича;

ведущего научного сотрудника отдела организации научных исследований
ЦОНИиНИ, к.т.н. Щетнева Кирилла Петровича,

подтверждает, что результаты диссертационной работы Тимохина Василия
Вячеславовича «Обеспечение взрывобезопасности газифицированных
многоквартирных жилых домов» были использованы в ходе выполнения научно-
исследовательской работы на тему: «Определение параметров внутреннего
дефлаграционного аварийного взрыва» (п. 53 Плана научной работы Академии
ГПС МЧС России на 2022 год).

Начальник центра организации
научных исследований и научной информации
к.т.н., доцент

С.П. Храмцов

Заместитель начальника центра -
начальник отдела организации
научных исследований, к.т.н.

В.Д. Федяев

Ведущий научный сотрудник
отдела организации научных исследований
ЦОНИиНИ, к.т.н.

К.П. Щетнев

Приложение Б
(обязательное)

Код программы «Математическая модель формирования взрывоопасных концентраций»

```

script clc
global H1 H2 global U1 U2
set(gca,'FontName','Times New Roman Cyr') s1='r';
s11='*r'; s111='or'; s1111='.r';
s11111='--r'; s2='g';
s22='*g'; s222='og'; s2222='.g';
s22222='--g'; s3='y';
s33='*y'; s333='oy'; s3333='.y';
s33333='--y'; s4='m';
s44='*m'; s444='om'; s4444='.m';
s44444='--m'; s5='b';
s55='*b'; s555='ob'; s5555='.b';
s55555='--b';
s6='c'; % Голубой
s66='*c'; s666='oc'; s6666='.c';
s7='y'; % желтый
s8='k'; % черный s8888='.k'; %черный 'ZDifCxy_B.m'
ЦВЕТ контура
colormap autumn % от красного к желтому (для вероятности уровней)
%colormap pink
%colormap prism CCC=colormap; CCCn=CCC;
for kk=1:64
for jk=1:3 CCCn(kk,jk)=CCC(65-kk,jk); end
CCCn;
%colormap(CCCn)
% ЦВЕТконтура
% 3D
%for j=1:npx % j - по X (ширине)
%for i=1:npy % i - по Y (длине)
%for k=1:npz % k - по Z (высоте)

```

```

%H(i,j,k)=1;
%end
%Расчет концентраций
% ПЕРЕДЛЫ ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТИ
cnkp=5.0 cvkp=20.0
% ПЕРЕДЛЫ ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТИ
x0=0.05;
dx=x0; %in m tpz=1.0; %пауза npz=51;
x1=0;
x2=x1+npz*x0;%in m x=linspace(x1+dx/2,x2-dx/2,npz); npy=49;
y1=0;
y2=y1+x0*npy; y=linspace(y1+dx/2,y2-dx/2,npy); npz=50;
z1=0;
z2=z1+dx*npz; z=linspace(z1+dx/2,z2-dx/2,npz); [X,Y,Z]=meshgrid(x,y,z);
H=zeros(size(X));
Zpoint=H;
C=H;
CC=H;
QZ1=H; %point притока газа (X,Y,Z) м3/час
QC=H;
% X(i=1:npy, j=1:npz, k=1:npz); X2=X(:, :, 1); % ВЫВОД Z=const C(x,y) Y2=Y(:, :, 1);
Z2=Z(:, :, 1);
%C2=Z2;
%size(C2)
Zpoint2=Z2;
C2=Z2;
% ISX
% PRINT
ivivtv=0; % 0 - contour(Z); 1 - surf(Z) PRINT
iOUTxyz=2; % 1 - x-const, 2 - y-const, 3 - z-const

```

```

% PRINT
koutx=22;    % сечение по X=koutx
CXpr=X(:,koutx,:);
kouty=1;% сечение по Y=kouty
CYpr=Y(kouty,,:);
CY2=Y(kouty,,:);
%size(CY2)
koutz=15;    % сечение по Z=koutz CZpr=X(:,:,koutz);
QQ1=0.0000412;    %приход вещества в м3/с    41.2e-6 - 1 конфорка 1мм
QQ2=0.; %приход вещества в м3/с
QQ3=0.00;    %приход вещества в м3/с
Q1=0.;    %вентиляционный расход в м3/час
DDy=0.0001
%DxOtDz=0.050;
DxOtDz=1;    % Dx=Dy=Dz
DDx=DDy/DxOtDz    %коэф. турб. дифф. м2/с
DDz=DDy/DxOtDz DD=DDx;
if (DDy>DD) DD=DDy;
end
if (DDz>DD) DD=DDz;
end Qgaza1=100*QQ1/dx/DD; Qgaza2=100*QQ2/dx/DD; Qgaza3=100*QQ3/dx/DD;
Qvent=Q1/3600/dx/DD;
%POINT OUT
proutbmpT=0; % 1 - out BMP    C(x,z,T) C(T)
proutbmp=1;    % 1 - out BMP    Isxodn
% ISX
for j=5:5 % j - по X (ширине)
for i=4:4 % i - по Y (длине) for k=15:15    % k - по Z (высоте) QZ1(i,j,k)=0;
end QZ1(4,9,15)=1;
QZ1(8,9,15)=1; CSMAXisp=0;

```

```

for i=1:4 % i - по Y (длине) for j=22+i-1:29-i+1 % j - по X (ширине)
%%for i=1:4 % i - по Y (длине) for k=22+i-1:29-i+1 % k - по Z (высоте)
C(i,j,k)=CCMAXisp;
end
% for j=1:npx % j - по X (ширине)
% for i=1:npy % i - по Y (длине)
%Qxy(i,j)=1;
% end
nnnx1=9; % 40 nny1=45; nnz1=15;
nnnx2=45; nny2=45; nnz2=15; nnnx3=25; nny3=4; nnz3=15;
pointZZZ1=[nny1,nnnx1,nnz1] pointZZZ2=[nny2,nnnx2,nnz2]
pointZZZ3=[nny3,nnnx3,nnz3] Zpoint(nny1,nnnx1,nnz1)=1;
Zpoint(nny2,nnnx2,nnz2)=1; Zpoint(nny3,nnnx3,nnz3)=1;
% PRINT QZ
KprintQ=0; %% KprintQ==0 QZ(i,j,k) + Zpoint(i,j,k) if (KprintQ==1)% if
(KprintQ==1)
for k=1:npz %% Z
%Z2=zeros(size(X2));
for j=1:npx % j - по X (ширине)
for i=1:npy % i - по Y (длине) if (QZ1(i,j,k)>0)
Z2(i,j)=z(k); else
Z2(i,j)=-100;
end
if (C(i,j,k)>0)
C2(i,j)=z(k); else
C2(i,j)=-100;
end
if (Zpoint(i,j,k)>0)
Zpoint2(i,j)=z(k); else
Zpoint2(i,j)=-100; end

```

```

%surf(X2,Y2,Z2) plot3(X2,Y2,Z2,s22)
axis([x1 y2 y1 y2 z1 z2]) hold on plot3(X2,Y2,C2,s33)
axis([x1 y2 y1 y2 z1 z2]) hold on
plot3(X2, Y2, Z point2,s11) xlabel('x,m')
ylabel('y,m')
xlabel('z,m') hold on
end      % Z
end      %if (KprintQ==1)
% PRINT QZ
Cmax=100; Cmin=0;
% PRINT C
KprintC=0;    % if (KprintC==1) PRINT C(i,j,k) ddk=10;
if (KprintC==1)
for k=1:ddk:npz%% Z C2=C(:,k); surf(X2,Y2,C2)
xlabel('x,m')
ylabel('y,m')
xlabel('C,%')
axis([x1 y2 y1 y2 Cmin Cmax])
colormap jet% от синего до красного (для вероятности)(для давления)
pause (1.5) zzzz=z(k)
end      %% Z
end      %% if (KprintC==1) PRINT C(i,j,k)
% PRINT C
KprintISX=1;  %% if (KprintC==1) PRINT C(x,y)+Q(x,y) if (KprintISX==1)
% PRINT Cisx iOUTxyzISX=iOUTxyz;
iOUTxyzISX=2;    % КАК ЕСТЬ
%PRINT Cisx Z
if(iOUTxyzISX==3)
%
C2=C(:,koutz);

```

```

C2=C2+Cmax/2*QZ1(:, :, koutz)+Cmax/2*Zpoint(:, :, koutz); % Cmax/2* size(C2)
size(X2) surf(X2, Y2, C2)
xlabel('x,m')
ylabel('y,m')
zlabel('C,%')
axis([x1 x2 y1 y2 Cmin Cmax])
colormap jet% от синего до красного (для вероятности)(для давления)
%pause (tpz)
% ВЫВОД BMP
if proutbmp==1
print -dbitmap CISXxyZ
%pp='Пауза surf'
%pause end
% PRINT Cisx Z
C=zeros(size(X)); CCMAxisp=0;
C(15:29,15:29,15:29)=CCMAxisp; PRINT Cisx Y if(iOUTxyzISX==2)
%
C2=C(:, :, koutz);
C2=C2+Cmax/2*QZ1(:, :, koutz)+Cmax/6*Zpoint(:, :, koutz); % Cmax/2* iVERT=0;
%% ==1 Print VERT
if (iiVERT==1) surf(X2, C2, Y2)
axis('ij')
xlabel('x,m')
ylabel('C,%')
zlabel('z,m')
axis([x1 x2 Cmin Cmax y1 y2 ]) else
surf(X2, Y2, C2)
%axis('ij')
xlabel('x,m')
ylabel('y,m')

```

```

xlabel('C,%')
axis([x1 x2 y1 y2 Cmin Cmax ]) end

%colormap jet % от синего до красного (для вероятности) (для давления)
colormap autumn % от красного к желтому (для вероятности уровни)
%pause (tpz)
% ВЫВОД BMP
if proutbmp==1
print -dbitmap CISXxzY
%pp='Пауза surf'
%pause end
% PRINT Cisx Y
% PRINT Cisx
end % if (KprintISX==1) QZ1=Qgaza1*QZ1;
%adprt=input('1 - продолжить, 0 - нет ','s'); if adprt=='1' % if adprt=='1'
% DIF dt=0.25*0.5;
x0=dx; t0=x0^2/DD;
tendq=1.0*3600; %КОНЕЦ ПРИТОКА ГАЗА, СЕКУНДЫ
ntendq=fix(tendq/dt/t0);
TPritoka=tendq/60%in min
nprint=40; % 40 = 2.5 sek
kout=50;%КОЛИЧЕСТВО ШАГОВ ВЫВОДА 50
nstep=kout*nprint; tend=dt*nstep*t0 %in sek tprint=dt*nprint*t0 %in sek
tNORM2=(npx*dx/2)^2/DD tprintNORM=tprint/tNORM2
% Y
vgaz=zeros(1,nstep); Qgaz=zeros(1,nstep); ttt=vgaz;
vgazvz=ttt; PointOUT1=ttt; PointOUT2=ttt; PointOUT3=ttt; PointTEOR1=ttt;
PointTEOR2=ttt; PointTEOR3=ttt; iiout=1;
nn=0; WQstep=0;
%РАСЧЕТ ВРЕМЯ

```

```

VVgaz=sum(sum(sum(C)))*dx^3/100

%H
for i=1:nstep % i=1:nstep nn=nn+1;
nn1=nn-fix(nn/nprint)*nprint; PointOUT1(i)=C(nnny1,nnnx1,nnnz1);
PointOUT2(i)=C(nnny2,nnnx2,nnnz2); PointOUT3(i)=C(nnny3,nnnx3,nnnz3); ttt(i)=dt*i*t0;
%TEOR C(t)
if (i>10) xxxist=22; yyyist=22; zzzist=22;
V0Gaz= VVgaz*1;
RRR1=sqrt((nnnx1- xxxist)^2+(nnny1- yyyist)^2+(nnnz1- zzzist)^2)*x0; % 8-0.6;
RRR2=sqrt((nnnx2- xxxist)^2+(nnny2- yyyist)^2+(nnnz2- zzzist)^2)*x0; % 12-2.5;
RRR3=sqrt((nnnx3- xxxist)^2+(nnny3- yyyist)^2+(nnnz3- zzzist)^2)*x0; 16-4.5;
PointTEOR1(i)=100*V0Gaz*1/8/(pi*DD*ttt(i))^1.5*exp(-(RRR1^2/4/DD/ttt(i)));
PointTEOR2(i)=100*V0Gaz*1/8/(pi*DD*ttt(i))^1.5*exp(-(RRR2^2/4/DD/ttt(i)));
PointTEOR3(i)=100*V0Gaz*1/8/(pi*DD*ttt(i))^1.5*exp(-(RRR3^2/4/DD/ttt(i))); end
%TEOR C(t)
% DIF
for iixx=1:npx for iiyy=1:npy for iizz=1:npz
% BS 11111 N
if (iixx==1)
PotXL=0; % Непротекание
%PotXL=-C(iiyy,2,iizz)+2*C(iiyy,1,iizz); % СВОБОДНЫЙ ПРОХОД
if (PotXL<0) PotXL=0;
end else
PotXL=C(iiyy,iixx,iizz)-C(iiyy,iixx-1,iizz); end
if (iixx==npx)
PotXP=0; % Непротекание
%PotXP=-C(iiyy,npx-1,iizz)+2*C(iiyy,npx,iizz); % СВОБОДНЫЙ ПРОХОД
else
PotXP=C(iiyy,iixx+1,iizz)-C(iiyy,iixx,iizz); end

```

```

if (iiyy==1)
PotYL=0;      % НЕПРОТЕКАНИЕ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ
else

PotYL=C(iiyy,iixx,iizz)-C(iiyy-1,iixx,iizz); end
if (iiyy==npy) PotYP=0;
else
PotYP=C(iiyy+1,iixx,iizz)-C(iiyy,iixx,iizz); end
if (iizz==1)
PotZL=0;      % НЕПРОТЕКАНИЕ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ
else
PotZL=C(iiyy,iixx,iizz)-C(iiyy,iixx,iizz-1); end
if (iizz==npz) PotZP=0;
else
PotZP=C(iiyy,iixx,iizz+1)-C(iiyy,iixx,iizz); end
CC(iiyy,iixx,iizz)=C(iiyy,iixx,iizz)+(DDx/DD*(PotXP-PotXL)+DDy/DD*(PotYP-
PotYL)+DDz/DD*(PotZP-PotZL))*dt;
% BS 11111 K
end %iixx=1:npx end %iiyy=1:npy end %iizz=1:npz
% DIF
C=CC+QZ1*dt;      % ПРИТОК Q
WQgaz=dt*sum(sum(sum(QZ1)));      WQstep=WQstep+WQgaz/100*x0^3;
Qgaz(i)=WQstep; vvibr=sum(sum(sum(C))); vibr=vvibr/100*x0^3;
vgaz(i)=vibr;
% НКРБ
vzr=0;
for iixx=1:npx for iiyy=1:npy for iizz=1:npz
if CC(iiyy,iixx,iizz)>cnkp if CC(iiyy,iixx,iizz)<cvkp
vzr=vzr+CC(iiyy,iixx,iizz)/100*x0^3; end
end
end

```

```

end %iixx=1:npx end %iiyy=1:npy end %iizz=1:npz
vgazvz(i)=vzr;

% HKPB
if nn1==0
%PRINT
iiout=iiout+1; if ivivtv == 0
%v=[5.0, 6.0 7.0, 8.0, 9.0, 10.0];
%v=[2, 3, 4, 6, 8];
v=[0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.75, 1, 2, 3, 4, 5];
if (iiout==2) end
if(iOUTxyz==3)
% ContrPRINT(x,y) Z-const Z=C(:, :,koutz);
if (iiout==2) koutz
end contourf(x,y,Z,v) colormap autumn xlabel('x,m')
ylabel('z,m')
if (npy>npx*0.79) % VVVV 3 axis([0 npx*x0/0.79 0 npy*x0 ]) % ZZZ
YYY(m)
else
axis([0 npx*x0 0 0.79*npx*x0 ]) % ZZZ YYY(m) end
hold on
XpointPR=[nnnx1, nnnx2, nnnx3]*x0; YpointPR=[nnny1, nnny2, nnny3]*x0;
plot(XpointPR,YpointPR,s55)
pause (tpz)
% ВЫВОД BMP
f proutbmpT==1
print -dbitmap CtZcntr pp='Пауза Линии' pause
end hold off
ContrPRINT(x,y) Z-const end
if(iOUTxyz==2)

```

```

% ContrPRINT(x,z) Y=const Z=C(:,:,koutz);
if (iiout==2) kouty
end

contourf(x,y,Z,v)
%colormap autumn colormap(CCCn) xlabel('x,m')
ylabel('y,m')
if (npy>npx*0.79) %%%%          VVVV 3 axis([0 npx*x0/0.79 0 npy*x0 ])
%%%%%      ZZZ YYY(m)
else
axis([0 npx*x0 0 0.79*npx*x0 ]) %%%%      ZZZ YYY(m) end
hold on
XpointPR=[nnnx1,  nnnx2,  nnnx3]*x0;  YpointPR=[nnny1,  nnny2,  nnny3]*x0;
plot(XpointPR,YpointPR,s55)
hold on pause (tpz)
% ВЫВОД BMP
if proutbmpT==1
print -dbitmap StYcntr pp='Пауза Линии' pause
end hold off
%
ContrPRINT(x,z) Y=const
end
elseif ivivtv == 1
C2=C(:,:,koutz); surf(X2,C2,Y2)
axis('ij')
xlabel('x,m')
ylabel('C,%')
zlabel('z,m')
axis([x1 x2 Cmin Cmax y1 y2 ])
colormap jet% от синего до красного (для вероятности)(для давления)

```

```

pause (tpz)
% ВЫВОД BMP
if proutbmpT==1 print -dbitmap CtZxy pp='Пауза surf' pause
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
end      % if ivivtv == 0 end% if nn1==0
end      % i=1:nstep
%DIF ToL2=2;
pp='PAUSE C(t)'
pause tNORM=tNORM2;
%tNORM=60;
%tNORM=1; % T= REAL tNORM
ttt=ttt/tNORM; %60
%subplot(3,1,1)
plot(ttt,PointOUT1,s5,'LineWidth', ToL2) % s1 axis([0 max(ttt) 0 1.1*max(PointOUT3)])
hold on
plot(ttt,PointOUT2,s5,'LineWidth', ToL2) % s2 hold on
plot(ttt,PointOUT3,s5,'LineWidth', ToL2) % s4 ylabel('C,%')
xlabel('t') hold on
Cmax123=[max(PointOUT1),          max(PointOUT2),          max(PointOUT3)]
Cmean123=[mean(PointOUT1), mean(PointOUT2), mean(PointOUT3)] printCteor=0;
if (printCteor==1) plot(ttt,PointTEOR1,s4,'LineWidth', ToL2) hold on
plot(ttt,PointTEOR2,s4,'LineWidth', ToL2) hold on plot(ttt,PointTEOR3,s4,'LineWidth', ToL2)
ylabel('C,%')
xlabel('t,min') hold on
CmaxTeor123=[max(PointTEOR1), max(PointTEOR2), max(PointTEOR3)] end
%
Wgaz(t)
yyy='pause Wgaz(t)' pause
VVgaz1=1

```

```

%VVgaz1=VVgaz; subplot(2,1,1)
plot(ttt,vgaz/VVgaz1,s1,'LineWidth', ToL2) axis([0 max(ttt) 0 1.1*max(vgaz/ VVgaz1)])

hold on
%%subplot(2,1,1)
%plot(ttt,Qgaz,s4)
%%ylabel('Vgaz,m3')
%%hold on subplot(2,1,2)
plot(ttt,vgazvz/VVgaz1,s5,'LineWidth', ToL2) axis([0 max(ttt) 0
1.1*max(vgazvz/VVgaz1)]) ylabel('Vg, Vz/VVgaz')
xlabel('t') hold on
%WgQgVzM3=[max(vgaz), max(Qgaz), max(vgazvz)] WggVzM3=[max(vgaz),
max(vgazvz)] WggVzVVgaz=[max(vgaz/VVgaz1), max(vgazvz/VVgaz1)]; end % if
adprt=='1'

% 3D
% end

```

Приложение В (обязательное)

Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2024610980

**«Программа для оценки параметров формирования
взрывоопасных концентраций в помещении»**

Правообладатели: *Тимохин Василий Вячеславович (RU),
Комаров Александр Андреевич (RU)*

Авторы: *Тимохин Василий Вячеславович (RU), Комаров
Александр Андреевич (RU)*

Заявка № 2023687190

Дата поступления 07 декабря 2023 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 16 января 2024 г.



*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Ю. С. Зубов'.

Ю. С. Зубов

