

УТВЕРЖДАЮ

Проректор ФГБОУ ВО
«Национальный исследовательский
Московский государственный

строительный университет», кандидат
технических наук

Гладких В. А.



2026 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

– федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет»

на диссертационную работу Битуева Рашида Борисовича на тему «Параметры
тушения пожара пролива сжиженного природного газа высокократной пеной»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки)

1. Актуальность темы исследования

Актуальность избранной Битуевым Рашидом Борисовичем темы исследования связана с широким распространением криогенной технологии сжижения природного газа и спецификой тушения пожаров на объектах защиты с его обращением. В связи с тем, что пожары на объектах сжиженного природного газа (далее – СПГ) случаются ежегодно, работа посвящена рассмотрению одного из вариантов ликвидации аварийной ситуации, при помощи высокократной пены (далее – ВКП).

Пенный слой на поверхности горящего СПГ приводит к существенному снижению высоты пламени и интенсивности теплового потока. В результате подачи ВКП может наступить как локализация, сопровождающаяся

Вх № 6/49 от 10.04.2026

контролируемым выгоранием, так и ликвидация пламенного горения СПГ. При этом отсутствуют данные об основных параметрах непрерывной подачи ВКП, при которых реализуется один из описанных результатов. На сегодняшний день достаточно хорошо отработана технология применения ВКП, предусматривающая циклическую подачу пены. Данная технология применяется, если в сценарии ликвидации аварийной ситуации не предусмотрена ликвидация пламенного горения СПГ. Подача пены выполняется с периодическими остановками. Критерием прекращения подачи ВКП является десятикратное снижение интенсивности теплового потока. Практическое использование данной технологии затруднено необходимостью непрерывного применения тепловых датчиков, что не всегда возможно на реальном пожаре. Если в сценарии ликвидации аварийной ситуации планируется выполнить только контролируемое выгорание, а в это время произошло тушение, тогда создаются дополнительные угрозы неблагоприятного развития аварийной ситуации. Таким образом, определение параметров подачи ВКП, при которых возможно контролируемое выгорание или тушение является актуальной задачей, решение которой позволяет существенно повысить обеспечение пожарной безопасности объектов защиты.

Цель работы – определить параметры тушения пожара пролива СПГ с использованием ВКП.

2. Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, списка литературы. Содержание работы изложено на 150 страницах текста, включает в себя 5 таблиц, 21 рисунок, список литературы состоит из 159 наименований. Текст диссертации оформлен грамотно, имеет четкую структуру (введение, три главы, заключение), содержит необходимые таблицы, графики, описания экспериментов, анализ полученных результатов.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации и степень ее разработанности, сформулированы цель, задачи, объект и предмет исследования, показана научная новизна работы, ее теоретическая и

практическая значимость, представлены методология и методы исследования, приведены положения, выносимые на защиту, а также степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе «Пожарная опасность и способы тушения пожара пролива сжиженного природного газа при авариях на технологическом оборудовании» выполнен анализ литературных источников по теме исследования. Представлен ретроспективный обзор развития сектора промышленного производства СПГ. Рассмотрены физико-химические и пожаровзрывоопасные свойства сжиженного природного газа. Выполнен анализ аварий на объектах защиты, сопровождающихся проливом и дальнейшим горением СПГ. Разобрано применение различных средств и способов тушения СПГ. Проведена оценка роли воздушно-механической пены в процессах локализации и ликвидации пламенного горения проливов СПГ. Проанализированы действующие нормативные документы, устанавливающие требования пожарной безопасности, а также стандарты, регламентирующие технические требования и методы испытаний пенообразователей для тушения пожаров. Рассмотрены теоретические основы процессов получения и разрушения пены.

По результатам анализа литературных источников автором сделаны выводы, свидетельствующие о том, что неблагоприятным сценарием развития пожара является разгерметизация технологического оборудования и пролив СПГ с последующим пламенным горением и высокой интенсивностью теплового излучения. Применение ВКП является одним из известных вариантов борьбы с пожарами на объектах СПГ. Однако нормативные значения характеристик подачи ВКП для тушения СПГ отсутствуют. Хорошо изученный механизм пенного пожаротушения, основанный на предотвращении доступа горючих паров и газов в зону горения при тушении СПГ не действует по причине высокой скорости испарения, а информация об ином механизме в литературе отсутствует. На объектах защиты широко применяется способ снижения интенсивности теплового потока, предусматривающей несколько

последовательных циклов подачи ВКП до полного выгорания пролива. Методики нормативных документов, используемые за рубежом, основаны на реализации варианта применения ВКП, при котором происходит не тушение, а десятикратное снижение интенсивности теплового потока от горящего пролива СПГ. На безопасность и эффективность применения ВКП существенно влияет состав СПГ. Для обеспечения безопасности при проведении испытаний пенного пожаротушения зарубежные стандарты допускают применение СПГ с высоким содержанием метана. Применение сжиженного газа с содержанием метана менее 85% молярных долей не допускается. В связи с этим при проведении собственных экспериментальных исследований целесообразно использовать СПГ марки А по ГОСТ 34894-2022. В отечественной литературе отсутствуют данные о методиках и результатах экспериментальных исследований по тушению пролива СПГ при помощи ВКП. Существующую стандартизированную методику определения огнетушащей эффективности ВКП для тушения горючих жидкостей целесообразно принять за основу для создания методики оценки параметров ВКП для тушения пролива СПГ. По результатам выполненного анализа сформулированы цель и задачи дальнейшего исследования.

Во второй главе «Экспериментальные исследования по определению параметров тушения пожара пролива сжиженного природного газа высокократной пеной» содержатся характеристики используемых в работе веществ, описание применяемой методики, а также результаты выполненных экспериментальных исследований. Представлены экспериментальные данные времени тушения при различной интенсивности подачи ВКП. Для каждого выполненного эксперимента сделаны краткие разъяснения. Автором подтверждено, что экспериментальная методика с применением стандартизированного испытательного оборудования в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50588-2012 и доработанной конструкцией противней модельных очагов, устанавливаемых в подготовленное заглубление, может быть использована для определения времени тушения СПГ от интенсивности

подачи ВКП. Любопытен выполненный автором анализ наблюдений. Он показывает, что над поверхностью пролива СПГ образуется непрозрачное газовое облако,двигающееся по направлению ветра. Интересно, что внесение факела во внутрь газового облака не приводит к началу пламенного горения. Поджог паровоздушной смеси от постороннего источника зажигания происходит только за пределами видимой границы газового облака. Автор предполагает, что воспламенение затруднено по причине наличия узкого диапазона концентраций метана в воздухе, находящегося между верхним и нижним пределами распространения пламени. Воспламенение паровоздушной смеси, не сопровождается сильным звуком, что свидетельствует об отсутствии взрыва. Обращает на себя внимание то, что тушение пролива СПГ при помощи ВКП связан с рядом последовательных событий включающих в себя: снижение высоты пламени; постепенный рост толщины пенного слоя; фрагментация горения с образованием отдельных языков пламени на поверхности пенного слоя; ликвидация горения отдельных языков пламени с продолжением выхода струй газообразного метана из пенного слоя; чередование воспламенения и потухания струй газообразного метана; полная ликвидация пламенного горения; выход струй метана через пенный слой после ликвидации пламенного горения. Описания подобных наблюдений в литературных источниках ранее не встречались.

Третья глава «Анализ и обсуждение результатов экспериментальных исследований» посвящена обработке полученных экспериментальных данных и выявлению причинных связей между основными параметрами пенного пожаротушения пролива СПГ. По результатам анализа соискателем установлено, что зависимости времени тушения СПГ и удельного расхода от интенсивности подачи ВКП имеют традиционный вид кривых с вертикальной асимптотой, соответствующей критической интенсивности подачи пены. Кривые удельного расхода от интенсивности подачи ВКП имеют экстремум, соответствующий оптимальной интенсивности подачи пены. В точке

экстремума определен минимальный удельный расход рабочего раствора пенообразователя.

Автор предлагает обоснование механизма тушения СПГ с использованием ВКП. Описание механизма ранее в литературе не встречалось. В основе механизма лежит принцип прекращения горения от снижения температуры пламени до температуры потухания. Обоснование, предложенного механизма, строится на сравнении температуры над поверхностью горящего СПГ, покрытой слоем ВКП с температурой потухания, рассчитанной по методике Я.Б. Зельдовича. Битуев Р.Б. утверждает, что во время тушения внутри пенного слоя на поверхности СПГ образуются полые ледяные фигуры, а выходящий из вершин полых ледяных фигур метан продолжает гореть, поэтому над поверхностью пенного слоя наблюдаются отдельные языки пламени. Затем с ростом толщины пенного слоя вершины полых ледяных фигур постепенно сужаются, а выход метана из них усиливается. У вершин полых ледяных фигур концентрация холодного метана локально повышается, это сопровождается снижением температуры пламени. На определенном этапе температура пламени снизится до температуры потухания и горение прекращается. После прекращения пламенного горения из вершин полых ледяных фигур продолжается выход газообразного метана.

Соискателем разработаны рекомендации по применению ВКП для локализации и ликвидации пламенного горения пролива СПГ. В разработанных рекомендациях рассмотрены два варианта применения ВКП. В первом варианте – для локализации пламенного горения пролива СПГ. Во втором варианте – для ликвидации пламенного горения пролива СПГ. Автор считает, что наиболее рациональным и безопасным является вариант с подачей ВКП для локализации пламенного горения и контролируемого выгорания пролива. Рекомендации позволяют сделать выбор требуемой кратности и интенсивности подачи ВКП в зависимости от сценария ликвидации аварийной ситуации.

В заключении сформулированы основные выводы и рекомендации, полученные в ходе выполнения диссертационной работы. Заключение соответствует поставленным задачам.

Автореферат кратко и в полном объеме отражает основные положения, изложенные в диссертации.

3. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

На основании анализа диссертационной работы Битуева Рашида Борисовича можно сделать вывод, что степень достоверности полученных результатов и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждается: использованием поверенных средств измерений и аттестованного испытательного оборудования на базе существующих стандартизированных методик; применением для обработки полученных экспериментальных данных апробированных методов статистического анализа.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций не противоречит общепринятым научным подходам в этой области научных знаний.

4. Научная новизна

Научная новизна работы не вызывает сомнений. Разработанная автором методика определения параметров тушения пролива СПГ с использованием ВКП имеет новый подход к решению тушения пролива СПГ с использованием нормативного метода.

В результате проведённых экспериментов была получена зависимость для расчета толщины слоя высокократной пены при тушении проливов СПГ.

На основе предложенного механизма тушения высокократной пеной используется новый подход к способу локализации и ликвидации пламенного горения СПГ, новизна подхода заключается в возможности прогнозирования результатов в зависимости от интенсивности подачи ВКП.

5. Научная и практическая ценность диссертации

заключается:

- в расширении представлений о причинах снижения интенсивности теплового излучения, и тушения пролива СПГ при использовании ВКП;
- в возможности использования предложенной методики для определения показателей качества пенообразователей для тушения пожаров;
- в использовании разработанных рекомендаций при составлении планов пожаротушения объектов защиты с оборотом СПГ.

6. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки

Значимость результатов диссертационного исследования для отрасли науки и техники состоит в расширении теоретических представлений о механизмах снижения интенсивности теплового излучения и тушения пролива сжиженного природного газа при использовании высокократной пены, что вносит существенный вклад в развитие научных основ пожаротушения криогенных жидкостей. Разработанная методика может быть использована для определения показателей качества пенообразователей, предназначенных для тушения пожаров проливов СПГ, что позволяет совершенствовать систему испытаний огнетушащих веществ. Кроме того, предложенные рекомендации находят практическое применение при составлении планов пожаротушения объектов защиты с оборотом СПГ, обеспечивая научно обоснованный подход к повышению уровня пожарной безопасности на объектах нефтегазовой отрасли.

7. Апробация результатов исследования

Результаты диссертационного исследования использованы: для доработки рецептуры пенообразователя ПО-LGF, выпускаемого на ООО «Эгида ПТВ» в части стабилизации пенообразующей способности рабочего раствора и повышения устойчивости высокократной пены, применяемой для ликвидации пламенного горения проливов сжиженного природного газа; при модернизации конструкции генераторов высокократной пены, выпускаемых на ООО «ПОЖНЕФТЕХИМ» и применяемых для локализации и ликвидации пламенного горения пролива сжиженного природного газа в части оптимизации кратности пены для создания требуемой толщины пенного слоя: при разработке

учебно-методических материалов для проведения практических занятий и лабораторных работ по дисциплине «Химия огнетушащих веществ» с обучающимися по направлению подготовки «Техносферная безопасность».

Основные результаты работы доложены на: XI Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2022» (г. Москва, ФГБОУ ВО Академия ГПС МЧС России, 2022); VIII Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (г. Москва, ФГБОУ ВО Академия ГПС МЧС России, 2022); XV Научно-практической конференции слушателей и молодых ученых (г. Москва, ФГБОУ ВО Академия ГПС МЧС России, 2023); II Вузовской научно-технической конференции молодых исследователей «Современные вопросы безопасности» (г. Волгоград, Волгоградский государственный технический университет, 2024); IX Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (г. Москва, ФГБОУ ВО Академия ГПС МЧС России, 2024); Международной научно-практической конференции «Обеспечение безопасности нефтяных объектов» (г. Москва, ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (Федеральный центр науки и высоких технологий), 2024).

Основные результаты диссертации опубликованы в 16 печатных работах. Из них 6 работ опубликованы в рецензируемых научных изданиях из перечня высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации (ВАК).

8. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы

Полученные результаты и выводы диссертационной работы рекомендуются к использованию при проведении научно-исследовательских работ в области пожаротушения криогенных жидкостей, в практической деятельности подразделений пожарной охраны при составлении планов

тушения пожаров на объектах с оборотом СПГ, а также в учебном процессе образовательных учреждений пожарно-технического профиля при подготовке специалистов в области пожарной безопасности.

9. К работе имеются следующие замечания

1. На рисунке 1.6 диссертации представлен график изменения теплового потока и температуры на различной высоте от поверхности горящего СПГ. При обращении к оригинальному источнику видно, что первая кривая отображает тепловой поток на расстоянии 35 футов, а не температуру на отметке 0,3 метра, как это указано в диссертации. Следовательно, перевод части подрисуночной надписи оригинала рисунка выполнен некорректно.

2. В диссертации не рассматривается влияние показателей качества пенообразователя на эффективность воздушно-механической пены, применяемой для локализации и ликвидации пламенного горения пролива СПГ. Также не даны пояснения, каким образом изменение показателей качества пенообразователя и жесткости используемой воды повлияет на результат тушения;

3. Используемая методика проведения исследования позволяет определить возможность ликвидации пламенного горения пролива СПГ исходя из предположения того, что интенсивность испарения и выгорания СПГ будет именно такой, какая была предварительно измерена при свободном горении СПГ в противне. Однако на практике для оценки такой возможности потребуются установить дополнительные коэффициенты, учитывающие изменение интенсивности испарения СПГ при проливе на различные поверхности (песок, щебень, асфальт, бетон и т.д.);

4. В диссертации отсутствуют пояснения почему во время проведения испытаний использовался только сжиженный природный газ марки А. Из текста работы не понятно, какая же марка СПГ является наиболее опасной с точки зрения обеспечения пожарной безопасности, и можно ли распространить результаты диссертационного исследования на другие марки СПГ.

5. В работе отмечается, что ликвидация пламенного горения пролива СПГ производится только в том случае, когда горение может привести к каскадному развитию аварии, однако критерии позволяющие определить вероятность каскадного развития аварии в диссертации не приводятся.

6. Автор не поясняет, почему температура потухания, рассчитанная по формуле Якова Борисовича Зельдовича выше температуры самовоспламенения метана. Температура самовоспламенения метана в соответствии с требованиями ГОСТ Р 57413-2017 составляет 537 °С.

7. Описания проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что все они выполнены в весеннее-осенний период при достаточно умеренных условиях окружающей среды. В диссертации следовало бы акцентировать внимание на том, что при иных условиях окружающей среды результат применения пены будет отличаться в ту или иную сторону.

8. Из диссертационной работы не понятно, каким образом интенсивность испарения СПГ влияет на эффективность применения различных огнетушащих веществ (в том числе и воздушно-механической пены).

Отмеченные замечания не снижают общую положительную оценку работы, ее научную ценность и практическую значимость.

10. Заключение

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод, что диссертация Битуева Рашида Борисовича на тему «Параметры тушения пожара пролива сжиженного природного газа высокократной пеной» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладает научной новизной, научной и практической значимостью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют существенное значение для развития соответствующей области наук. Диссертационная работа полностью соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г.) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Битуев Рашид Борисович заслуживает


присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки).

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании кафедры комплексной безопасности в строительстве НИУ МГСУ «24» марта 2026 года. Протокол заседания № 9 от «24» марта 2026 г.

Заведующий кафедрой
комплексной безопасности в
строительстве ФГБОУ ВО
«Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет»,
доктор технических наук
(05.26.03), профессор
24.03.2026


Корольченко
Дмитрий
Александрович

Подпись Корольченко Д. А. заверяю:


НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА
КАДРОВОГО ДЕЛОПРОИЗ-
ВОДСТВА УРП
Пинегин А. В. ПИНЕГИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

Почтовый адрес: 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Контактный телефон: +7 (495) 781-99-88

E-mail: kanz@mgsu.ru