

## УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Академии  
ГПС МЧС России по научной работе  
доктор технических наук, профессор



М.В. Алешков

2025 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» (Академия ГПС МЧС России)

Диссертация «Параметры тушения пожара пролива сжиженного природного газа высокочрезвычайной пеной» выполнена на кафедре общей и специальной химии Академии ГПС МЧС России.

В период подготовки диссертации с 2021 г. по 2024 г. соискатель Битуев Рашид Борисович являлся адъюнктом очного обучения факультета подготовки научно-педагогических кадров Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», где им были положительно сданы кандидатские экзамены и получена квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

С 2024 г. и по настоящее время соискатель работает в должности преподавателя кафедры пожарной безопасности в строительстве (в составе учебно-научного комплекса пожарной безопасности объектов защиты) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

В 2018 году Битуев Рашид Борисович окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность», с присвоением квалификации бакалавр.

В 2020 году Битуев Рашид Борисович окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» по направлению подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность», с присвоением квалификации магистр.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки) выдана в 2025 г. Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

Научный руководитель – Макаров Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», профессор кафедры общей и специальной химии.

По результатам рассмотрения диссертации «Параметры тушения пожара пролива сжиженного природного газа высокочрезвычайной пеной» принято следующее заключение:

*Общая оценка работы.*

Диссертация Битуева Рашида Борисовича представляет собой самостоятельную законченную диссертационную работу, в которой содержится решение научной задачи по определению параметров тушения пожара пролива сжиженного природного газа пеной высокой кратности. Выводы, сделанные соискателем в работе, обоснованы и вытекают из проанализированного и обобщенного материала

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения. Содержание работы изложено на 150 страницах машинописного текста, включает в себя 5 таблиц, 21 рисунок, список литературы из 159 наименований.

### *Актуальность темы исследования*

Приоритетным направлением нефтегазовой отрасли Российской Федерации является развитие инфраструктуры производства, транспортировки и потребления сжиженного природного газа (далее - СПГ). Помимо увеличения экспортных мощностей возрастают внутренние потребности. Ведется проектирование и строительство заправочных станций для автомобильного транспорта, пунктов бункеровки морских и речных судов, а также железнодорожных локомотивов. Ежегодно отечественные предприятия производят около 40 млн. тонн СПГ. Планируется, что к 2035 году производство СПГ в Российской Федерации может достичь отметки в 140 млн. тонн в год.

Международная статистика свидетельствует о том, что пожары на объектах СПГ случаются ежегодно. Наиболее крупные из них приводят к серьезному материальному ущербу и существенно осложняют ситуацию с поставками СПГ на внешний и внутренний рынки. Первый завод по сжижению газа построен в 1940 г. в городе Кливленд (США), а уже в 1944 г. на этом предприятии произошел пожар, в результате которого сгорело 1900 т готового продукта. Безусловно, современное технологическое оборудование имеет более высокую надежность, однако, несмотря на это, пожары СПГ случаются довольно часто. Практическими работниками пожарной охраны и научной общественностью широко обсуждаются типичные сценарии развития пожара, возникающие в результате цепочки последовательных событий, сопровождающихся проливом СПГ и дальнейшим воспламенением газоздушнoй среды. Высота пламени горящего СПГ может превышать несколько десятков метров, поэтому тепловое воздействие от пламени рассматривается как наиболее неблагоприятный фактор, приводящий к каскадному развитию аварийной ситуации. Одним из основных, а в отдельных случаях и единственным способом снижения интенсивности теплового потока от горящего пролива СПГ является применение воздушно-механической пены (далее – ВМП). Несмотря на то, что среди ученых нет единой позиции относительно целесообразности тушения горящего пролива СПГ по причине возникновения возможности загазованности территории предприятия, все сходятся во мнении о том, что снизить тепловой поток это чрезвычайно важная мера. Поэтому определить параметры тушения пролива СПГ при помощи ВМП также необходимо для разработки мер, позволяющих предотвратить ликвидацию пламенного горения пролива СПГ после подачи ВМП, если сценарием ликвидации аварийной ситуации тушение не предусматривается.

Следует отметить, что разница температур между СПГ и ВМП составляет более 160 °С, а метан, образующийся в результате испарения СПГ, становится легче воздуха. Таким образом, при подаче пены на поверхность горящего СПГ происходит ряд последовательных процессов, механизм действия которых изучен недостаточно. В связи с вышеизложенным требуется установить условия, при

которых ВМП, взаимодействующая с горячей криогенной жидкостью, будет приобретать физическое состояние, необходимое для снижения интенсификации пламенного горения пролива СПГ и его тушения.

#### *Степень разработанности темы исследования*

Первые эксперименты по практическому применению ВМП для снижения теплового излучения от горящего пролива СПГ проведены в 1960 г. в США. В начале 1960-х гг. в Японии, являющейся крупнейшим потребителем СПГ, были проведены собственные испытания по эффективности применения ВМП, однако первые результаты, доказывающие возможность применения ВМП, были получены американской газовой ассоциацией в 1972 г. До 2000 г. большинство изысканий, направленных на исследование процессов, протекающих в зоне горения после подачи ВМП, было сделано европейскими и американскими компаниями. Большое количество экспериментальных данных для оценки степени снижения интенсивности теплового потока после подачи высокократной пены (далее - ВКП) в модельный очаг получено в период с 1975 по 2000 гг. По результатам исследований последнего десятилетия установлено, что оптимальная кратность пены для снижения интенсивности теплового потока составляет 500 единиц и более. При этом используется циклический способ подачи ВКП, предусматривающий периодическую остановку подачи пены после десятикратного снижения интенсивности теплового потока.

Современные научные работы, направленные на оценку взаимодействия криогенной горючей жидкости с ВМП, выполнены китайскими учеными. Ими подробно рассмотрены вопросы сохранения и изменения структуры пены до и после ее застывания. Часть исследований обращено на определение требуемой толщины пенного слоя для локализации и ликвидации пламенного горения СПГ. Однако в работах не прослеживается взаимосвязь между структурой и требуемой толщиной пенного слоя. Наиболее интересные, с практической точки зрения, наблюдения зарубежных ученых связаны с образованием внутри пены полых конусообразных ледяных фигур. Отечественные исследования по пенному тушению проливов сжиженного углеводородного газа (далее - СУГ) изложены в работах И.М. Абдурагимова и Г.Н. Куприна.

На сегодняшний день в отечественной литературе отсутствуют результаты экспериментальных исследований, а также методики определения параметров ВКП для тушения пролива СПГ, что обусловило необходимость проведения исследований в данной области.

#### *Личный вклад автора в получении научных результатов*

Результаты диссертационных исследований получены Битуевым Р.Б. лично и при его непосредственном участии.

Автором предложена методика и проведены натурные эксперименты по

определению параметров тушения СПГ с использованием ВКП. Определены значения критической интенсивности подачи ВКП, оптимальной интенсивности подачи ВКП, минимального удельного расхода ВКП и получена эмпирическая зависимость для определения требуемой толщины пенного слоя для тушения пролива СПГ. Разработаны рекомендации по применению ВКП для локализации и ликвидации пламенного горения пролива СПГ.

*Достоверность представленных в диссертации результатов подтверждается* использованием поверенных средств измерений и аттестованного испытательного оборудования на базе существующих стандартизированных методик; применением для обработки полученных экспериментальных данных апробированных методов статистического анализа.

*Научная новизна диссертационной работы:*

- разработана методика определения параметров тушения пролива СПГ с использованием ВКП;
- получена эмпирическая зависимость для расчета толщины пенного слоя ВКП для тушения пролива СПГ;
- разработаны рекомендации, в которых на основе предложенного механизма тушения используется новый подход к реализации технологии локализации и ликвидации пламенного горения СПГ с использованием ВКП, отличающийся от существующих возможностью прогнозирования результатов в зависимости от интенсивности подачи ВКП и её кратности.

*Теоретическая и практическая значимость работы заключается в:*

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

*Практическая реализация результатов работы заключалась в использовании результатов:*

- для доработки рецептуры пенообразователя ПО-1.GF, 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».

*Рекомендации по использованию результатов диссертации.*

Полученные результаты могут быть в дальнейшем использованы:

- для оценки возможности применения выпускаемых пенообразователей, для локализации и ликвидации пламенного горения пролива СПГ;
- для создания новых рецептур пенообразователей, для локализации и ликвидации пламенного горения пролива СПГ;
- для оценки возможности применения выпускаемых генераторов ВКП, для локализации и ликвидации пламенного горения пролива СПГ;
- для оценки параметров подачи ВКП в зависимости от сценария ликвидации аварийной ситуации, связанной с проливом СПГ и его пламенным горением;
- для оценки необходимости увеличения высоты свободного борта бассейнов-накопителей СПГ промышленных предприятий при проектировании;
- при разработке нормативных документов по пожарной безопасности;
- в научно-исследовательских работах и учебном процессе образовательных организаций.

*Полнота опубликования основных научных результатов, полученных автором.*

Основные результаты работы 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).

*Соответствие содержания диссертации паспорту специальности, по которой она рекомендуется к защите.*

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки), а именно:

*пункту 4* «Исследование процессов протекания аварий, пожаров и взрывов, условий их каскадного и катастрофического развития, разработка методов оценки различных опасных воздействий на людей, объекты защиты и прилегающие территории, а также способов их снижения»;

*пункту 11* «Научное обоснование и разработка технологий тушения пожаров на объектах защиты пожарным оборудованием и мобильными средствами пожаротушения».

Диссертация «Параметры тушения пожара пролива сжиженного природного газа высокократной пеной» Битуева Рашида Борисовича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки).

Заключение принято на заседании профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников кафедры общей и специальной химии.

Присутствовали на заседании 14 чел. Результаты голосования: «за» – 14 чел.; «против» – нет; «воздержавшихся» – нет (протокол № 3 от 17.06.2025 г.).

Начальник кафедры  
общей и специальной химии  
кандидат технических наук, доцент  
подполковник внутренней службы  
Саутиев Магомед Ибрагимович  
«18» июня 2025 г.

