УТВЕРЖДАЮ
Заместитель начальника Академии
ГПС МЧС России по научной работе
доктор технических наук, профессор
_____ М.В. Алешкэв
«08» апреля 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 «Методика определения давления взрыва газовоздушного облака при аварийных выбросах сжиженного природного газа с учетом его состава» выполнена на кафедре процессов горения и экологической безопасности (в составе учебно-научного комплекса процессов горения и экологической безопасности) Академии ГПС МЧС России.

В период подготовки диссертации соискатель Тетерин Иван Александрович 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».

С 2024 года и по настоящее время соискатель работает в должности старшего научного сотрудника научно-исследовательского сектора обеспечения пожарной безопасности химически опасных объектов отдела специальных исследований федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

В 2021 году Тетерин Иван Александрович 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 20.05.01 «Пожарная безопасность», с присвоением квалификации специалист.

В период с 2021 г. по 2024 г. проходил обучение в адъюнктуре Академии ГПС МЧС России по очной форме, где были положительно сданы кандидатские экзамены, получена квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

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 – Сулименко Владимир Анатольевич, 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», кафедра процессов горения и экологической безопасности в составе учебно-научного комплекса процессов горения и экологической безопасности, профессор.

По результатам рассмотрения диссертации «Методика определения давления взрыва газовоздушного облака при аварийных выбросах сжиженного природного газа с учетом его состава» принято следующее заключение:

Общая оценка работы.

Диссертация Тетерина Ивана Александровича представляет собой самостоятельную законченную диссертационную работу, в которой содержится решение научной задачи по разработке методики определения давления взрыва газовоздушного облака при аварийных выбросах сжиженного природного газа с учетом его состава. Полученные в работе новые теоретические и практические

показатели решают поставленные задачи исследования и обосновывают её практическую реализацию. Выводы, сделанные соискателем, в работе обоснованы и вытекают из проанализированного и обобщенного материала.

Объем диссертации составляет 177 страниц машинописного текста. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 202 наименований и 2 приложений.

Актуальность темы исследования.

В современном мире изменяются центры потребления энергии. Согласно большинству прогнозов в ближайшие десятилетия увеличится спрос на природный газ, при этом сжиженная форма расширяет возможности его применения. Правительством Российской Федерации в 2021 г. утверждена долгосрочная программа развития производства сжиженного природного газа (СПГ) до 2035 года. Для достижения целей программы в 2021 г. утверждена «Дорожная карта» по развитию рынка малотоннажного СПГ и газомоторного топлива, в которой поставлены задачи перед МЧС России по проведению дополнительных исследований в области пожарной безопасности, направленных на смягчение требований к максимально допустимому объему хранения СПГ на малотоннажных объектах и автозаправочных станциях.

В соответствии со статьей 6 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной при выполнении в полной мере требований данного Федерального закона, а также одного из пяти условий, в число которых входит отсутствие превышения пожарного риска, разработка специальных технических условий, стандартов организации. Оценка пожарного риска на производственных объектах до 1 января 2025 г. производилась по «Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах», утвержденной приказом МЧС России № 404 от 10 июля 2009 г. Однако в указанной методике отсутствовала классификация СПГ по степени чувствительности к возбуждению взрывных процессов, что не позволяло корректно определять давление взрыва при аварийном выбросе сжиженного природного газа.

Несмотря на то, что наиболее содержательным горючим компонентом СПГ является метан, согласно ГОСТ Р 57431-2017 (ИСО 16903:2015) «Газ природный сжиженный. Общие характеристики» для вычисления характеристик СПГ не следует использовать параметры чистого метана. Анализ литературных данных показал, что свойства СПГ, в частности, при определении детонационной стойкости газового моторного топлива, рассматривают по четырем основным горючим компонентам природного газа: метану, этану, пропану, бутану. Однако метан и его гомологи относятся к различным классам по степени чувствительности к возбуждению взрывных процессов, а их содержание может варьироваться в зависимости от назначения СПГ по ГОСТ 34894–2022 «Газ природный сжиженный. Технические условия».

Таким образом, актуальной стала задача по разработке методики, которая позволяет определять давление взрыва для различных смесевых композиций основных горючих компонентов СПГ.

Степень разработанности темы исследования.

Экспериментальные зависимости давления взрыва от расстояния при взрыве конденсированных веществ были получены Садовским М.А., зависимости для газообразных веществ определены Дорофеевым С.Б., которые и легли в основу нормативной методики. Научные основы внешних взрывов рассмотрены в монографии Гельфанда Б.Е. Разработкой альтернативных методик занимались Хуснутдинов Д.З., Комаров А.А. Вопросы турбулизации фронта пламени изучали Абдурагимов И.М., Горев В.А., Мольков В.В., Соколик А.С., Щелкин К.И., Wang T. Теорию протекания физико-химической реакции в пламени при его распространении формировали Семенов Н.Н., Кондратьев В.Н., Зельдович Я.Б., Франк-Каменецкий Д.А., Lewis B., Elbe G., Gardiner Jr., Benson S. W. Теория цепно-теплового распространения пламени развита в трудах Азатяна В.В., Копылова С.Н., Williams B.A. Процессам горения смеси алканов посвящены работы Арутюнова В.С., Парфенова Ю.В., Никитина А.В., Watson G. Экспериментально взрывы природного газа в открытом пространстве изучали Карпов В.Л., Wang K. Непосредственно аварийные выбросы СПГ изучали Болодьян И.А., Шебеко Ю.Н., Marshall V.C., Yang S., Planas E., Wen J. Аналитический обзор аварий на объектах производства, хранения

и перевозки СПГ, а также методик их оценки выполнен Сафоновым В.С. Разработкой экспериментальных установок, позволяющих изучать взрывы горючих газов, в Академии ГПС МЧС России занимались Бегишев И.Р., Сулименко В.А.

Личный вклад автора в получении научных результатов.

Результаты диссертационных исследований получены Тетериным И.А. лично и при его непосредственном участии.

Соискатель сформулировал цель и задачи научного исследования, а также предложил новый подход к определению давления взрыва при аварийных выбросах сжиженного природного газа с учетом его состава, построил вероятностные схемы горения основных горючих компонентов СПГ, продемонстрировав кинетические особенности горения метана и его гомологов, обосновал методику проведения эксперимента, позволяющую качественно определить влияние турбулизации фронта пламени при различных соотношениях основных горючих компонентах СПГ. Автор спланировал эксперимент и участвовал в его проведении, осуществлял обработку экспериментальных данных. Экспериментально показал влияние особенностей загроможденности пространства на давление взрыва, что позволило определить дальнейшие направления совершенствования нормативной методики МЧС России. На основе обработки экспериментальных данных:

– получил зависимости концентрационных пределов распространения пламени и давления взрыва паров СПГ при различных соотношениях метан/этан/пропан/бутан/воздух;

– установил аддитивный вклад основных горючих компонент СПГ на давление взрыва в близкой к стехиометрической смеси с воздухом;

– подтвердил возможность применения правила Ле Шателье для определения концентрационных пределов распространения пламени паров СПГ с учетом их состава;

– разработал методику определения давления взрыва газовоздушного облака при аварийных выбросах сжиженного природного газа с учетом его состава.

Достоверность представленных в диссертации результатов подтверждается следующим:

использованием в экспериментальных исследованиях современных поверенных измерительных приборов и оборудования, обеспечивающих достаточную точность измерений. Внутренней непротиворечивостью результатов исследования и их согласованностью с данными других источников.

Научная новизна диссертационной работы:

– экспериментально установлена линейна зависимость изменения концентрационных пределов распространения пламени в смеси основных горючих компонент СПГ;

– экспериментально установлен аддитивный вклад основных горючих компонент СПГ на давление взрыва в близкой к стехиометрической смеси с воздухом.

Теоретическая значимость заключается в:

– получении зависимости изменения концентрационных пределов распространения пламени паров СПГ при различных соотношениях метан/этан/пропан/бутан/воздух;

– получении зависимостей изменения давления взрыва модельного состава паров сжиженного приводного газа при различных соотношениях метан/этан/пропан/бутан/воздух.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования заключается в:

– экспериментальном подтверждении возможности применения правила Ле Шателье для определения концентрационных пределов распространения пламени паров сжиженного природного газа с учетом его состава;

– разработке методики определения давления взрыва газовоздушного облака при аварийных выбросах сжиженного природного газа с учетом его состава;

– обосновании 3 класса по степени чувствительности к возбуждению взрывных процессов наиболее взрывоопасного по составу сжиженного природного газа.

Практическая реализация диссертационной работы заключалась в использовании результатов:

– при разработке «Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (Приказ МЧС России от 26 июня 2024 г. № 533).

М.: ВНИИПО МЧС России, 2025 г.;

– при проведении экспертной оценки риска для принятия ПАО НОВАТЭК работы по подготовке стандарта организации в части определения избыточного давления взрыва газовоздушного облака при аварийных выбросах сжиженного природного газа. М.: ООО «ГИПРОНИИГАЗ-МП» 2024 г.;

– при проведении практических занятий и лабораторных работ по дисциплинам «Теория горения и взрыва» и «Теоретические основы процессов горения и тушения пожара». М.: Академия ГПС МЧС России, 2024 г.

Рекомендации по использованию результатов диссертации.

– при разработке стандартов организации и специальных технических условий на объектах, где обращается сжиженный природный газ;

– в научно-исследовательских работах и учебном процессе образовательных организаций;

– при совершенствовании нормативных документов, определяющих взрывоопасные свойства паров сжиженного природного газа в смеси с воздухом.

Полнота опубликования основных научных результатов, полученных автором.

Все основные научные результаты, полученные автором, достаточно полно опубликованы в научных журналах и материалах научных и научно-практических конференций. По теме диссертации опубликовано 28 научных работ, из них 7 – в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК России, в том числе 2 – в изданиях, индексируемых в наукометрической базе Scopus.

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 3: «Разработка научных основ, моделей и методов исследования процессов горения, пожаро- и взрывоопасных свойств веществ, материалов, производственного оборудования и конструкций».

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».

Диссертация «Методика определения давления взрыва газовоздушного облака при аварийных выбросах сжиженного природного газа с учетом его состава» Тетерина Ивана Александровича 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 учебно-научного комплекса процессов горения и экологической безопасности Академии ГПС МЧС России.

Присутствовали на заседании 13 человек. Результаты голосования: «за» - 13 человек; «против» - нет; «воздержавшихся» - нет (протокол № 4 от 01.04.2025 г.).

Начальник УНК Процессов горения
и экологической безопасности
кандидат технических наук
Мещеряков Алексей Викторович
«08» апреля 2025 г.