

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель начальника
Санкт-Петербургского университета
ГПС МЧС России
доктор технических наук, профессор
А.С. Смирнов
«27» августа 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева»
(Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России)
на диссертационную работу Тетерина Ивана Александровича
«Методика определения давления взрыва газовоздушного облака при аварийных выбросах сжиженного природного газа с учетом его состава»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность
(технические науки)**

Актуальность работы.

Диссертационная работа Тетерина И.А. посвящена проблеме прогнозирования давления взрыва при аварийных выбросах сжиженного природного газа, что особенно актуально в связи с утверждением в 2021 году Правительством Российской Федерации долгосрочной программы развития производства сжиженного природного газа (СПГ) до 2035 года, для достижения целей которой 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» смягчить требования на объектах защиты возможно на основании расчета пожарных рисков. Однако, при проведении расчетов, не было возможности учета СПГ по степени чувствительности к возбуждению взрывных процессов, что не позволяло корректно определять давление взрыва.

Вх № 6/75 от 21.08.2025

Анализ литературных данных, выполненный соискателем, показал, что свойства природного газа, 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.

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

Структура и содержание работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, двух приложений. Содержание работы изложено на 177 страницах текста, включает в себя 97 таблиц, 46 рисунков, список литературы из 202 наименований, два приложения.

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 автор привел результаты анализа аварийных выбросов сжиженного природного газа и сжиженного углеводородного газа, продемонстрировал отличие аварий с участием указанных газов. Рассмотрел состав СПГ, выделил основные горючие компоненты: метан, этан, пропан, бутан. На основании аддитивного вклада основных горючих компонентов соискатель предложил выполнять определение давления взрыва паров СПГ, но анализ такого подхода показал, что аддитивный подход может не соблюдаться в связи с химическими и газодинамическими особенностями взрывного горения метана и его гомологов. Автором диссертации проанализированы концентрационные пределы распространения пламени паров СПГ в смеси с воздухом и было установлено, что пределы распространения пламени паров СПГ в различных источниках отличаются, поэтому предложил выполнять расчет исходя из вклада основных горючих компонент на основании правила Ле Шателье. Однако в литературе отсутствовали сведения по экспериментальным исследованиям пределов распространения пламени для смесевых композиций основных горючих компонент СПГ.

Во второй главе выполнен детальный физико-химический анализ горения основных горючих компонент СПГ. Построены вероятностные схемы горения метан, этана, пропана. Анализ вероятностной схемы горения показывает, что пропану и бутану свойственен эффективный цикл восстановления (самоингибирование) в области богатой смеси и стехиометрии, что реализуется посредством пропиленового цикла регенерации и восстановления пропила до пропана. Таким образом, теоретические расчеты и анализ литературных данных физико-химических

особенностей горения легких алканов показывал вероятность ингибирования метана примесями пропана, что потребовало проведения детального экспериментального исследования.

В третьей главе проведены экспериментальные исследования по определению давления взрыва и концентрационных пределов распространения пламени различных смесевых композиций основных горючих компонент СПГ, которые подтвердили аддитивный подход по определению давления взрыва паров СПГ, а также применение правила Ле Шателье для определения пределов распространения пламени.

На основании экспериментально подтверждённого аддитивного вклада основных горючих компонент СПГ в стехиометрической смеси с воздухом на давление взрыва соискателем разработана методика определения давления взрыва газоздушного облака при аварийных выбросах сжиженного природного газа с учетом его состава. Расчеты по разработанной методике позволили отнести марку А сжиженного природного газа к 4 классу по степени чувствительности к возбуждению взрывных процессов, а марки Б и В могут быть отнесены исходя из наиболее худшего сценария к 3 классу по степени чувствительности.

В четвертой главе Тетериным И.А. экспериментально и теоретически установлено, что при газодинамических возмущениях фронта пламени изменение давления взрыва смесевых композиций различных процентных соотношений метан/пропан/бутан/воздух носит линейный характер, что позволяет использовать разработанную методику с учетом загроможденности пространства.

В заключении диссертации представлены основные научные и практические результаты работы.

В приложении представлены акты внедрения результатов диссертационной работы и дополнительные сведения справочного характера.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– экспериментально установлена линейная 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.

Значимость результатов для развития отрасли наук и техники

Значимость результатов для развития отрасли науки и техники обусловлена применением их при разработке нормативного документа, а также может быть использована для разработки специальных технических условий и стандартов организации, при планировании боевых действий подразделений пожарной охраны в случае пожаров на объектах СПГ.

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.

Достоверность представленных в диссертации результатов подтверждается 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.

Теоретическая значимость работы 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 СПГ при различных соотношениях метан/этан/пропан/бутан/воздух;

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

Практическую значимость работы составляют:

– экспериментальное подтверждение возможности применения правила Ле Шателье для определения концентрационных пределов распространения пламени паров СПГ с учетом его состава;

– разработанная методика определения давления взрыва газоздушного облака при аварийных выбросах сжиженного природного газа с учетом его состава.

Апробация результатов работы.

I Всероссийской научно-практической конференции «Сжиженный природный газ: проблемы и перспективы» (г. Москва, РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2021 г.), VI Международной научно-практической конференции «Гражданская оборона на страже мира и безопасности» (г. Москва, АГПС МЧС России, 2022 г.), VIII Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (г. Москва, АГПС МЧС России, 2022 г.), XIV Научно-практической конференции «Экологические проблемы XXI века» (г. Москва, АГПС МЧС России, 2022 г.), 31-й международной научнотехнической конференции «Системы безопасности – 2022» (г. Москва, АГПС МЧС России, 2022 г.), II Всероссийской научно-практической конференции «Сжиженный природный газ: проблемы и перспективы» (г. Москва, РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2022 г.), VII Международной научно-практической конференций «Гражданская оборона на страже мира и безопасности» (г. Москва, АГПС МЧС России, 2023 г.), XV Научно-практической конференции «Экологические проблемы XXI века» (г. Москва, АГПС МЧС России, 2023 г.),

XXXV Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности» (г. Москва, ВНИИПО, 2023 г.), 10th International Seminar on Flame Structure (г. Новосибирск, ИХКГ СО РАН, 2023 г.), III Всероссийской научно-практической конференции «Сжиженный природный газ: проблемы и перспективы» (г. Москва, РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2023 г.), VIII Международной научно-практической конференции «Гражданская оборона на страже мира и безопасности» (г. Москва, АГПС МЧС России, 2024 г.), IX Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (г. Москва, АГПС МЧС России, 2024 г.), XVI Научно-практическая конференции «Экологические проблемы XXI века» (г. Москва, АГПС МЧС России, 2024 г.), IV Всероссийской научно-практической конференции «Сжиженный природный газ: проблемы и перспективы» (г. Москва, РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2024 г.), 18-й Научной конференции по горению и взрыву (г. Москва, ФИЦ ХФ РАН, 2025 г.), что свидетельствует об их обсуждении научным сообществом. Всего по теме диссертации опубликовано 28 научных работ, из них 7 – в рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК России, в том числе 2 в наукометрической базе Scopus.

Замечания к диссертационной работе

В качестве замечаний к рассматриваемой диссертационной работе необходимо отметить следующее:

1. В автореферате формулы пронумерованы с применением римских цифр, что нарушает требования ГОСТ 2.105-2019 (п.6.10.4).

2. Установленная аналитическим методом возможность ингибирования горения метана примесями пропана не была подтверждена экспериментально, что снижает ценность полученного в диссертационной работе результата.

3. Формулировки первого и второго пунктов научной новизны не содержат сведений о существенных отличиях полученных автором результатов от ранее известных результатов исследований.

4. Для экспериментальной линейной зависимости изменения концентрационных пределов распространения пламени в смеси основных горючих компонент СПГ не показана погрешность эксперимента и не приведены регрессионные уравнения, что затрудняет их практическое использование при проведении расчетов.

5. В тексте диссертационной работы имеются опечатки и ошибки (например, в научной новизне в слове «линейная» и др.).

6. В автореферате диссертации в заключении не приведены перспективы дальнейшей разработки темы в нарушение ГОСТ Р 7.0.11-2011 (п.9.2.3).

Заключение

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации, ее научную ценность и практическую значимость. Работа выполнена на высоком научном уровне, изложена научным языком.

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод о том, что диссертация Тетерина Ивана Александровича на тему: «Методика

определения давления взрыва газовоздушного облака при аварийных выбросах сжиженного природного газа с учетом его состава» является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, обладает научной новизной, научной и практической ценностью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют существенное значения для развития соответствующей отрасли наук.

Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки): 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».

Диссертационная работа полностью соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.) для диссертаций, а ее автор, Тетерин Иван Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки).

Отзыв на диссертацию заслушан, обсужден и утвержден на заседании кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (протокол №13 от 23.06.2025 года).

Начальник кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения кандидат технических наук, доцент


Кожевин Дмитрий Федорович



Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева» (Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России), адрес: 196105. Санкт-Петербург, Московский проспект, 149, телефон: +7 (812) 645-20-15, веб сайт: <https://igps.ru>, адрес электронной почты: pr@igps.ru.