

ОТЗЫВ

официального оппонента, заведующего лабораторией «Газодинамики и взрыва» научно-исследовательского центра «Взрывобезопасность» Института комплексной безопасности в строительстве Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), кандидата технических наук, Громова Николая Викторовича на диссертацию Тетерина Ивана Александровича на тему «Методика определения давления взрыва газоздушного 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)

Направленность работы.

Диссертационная работа Тетерина Ивана Александровича посвящена разработке методики определения давления взрыва газоздушного облака при аварийном выбросе сжиженного природного газа. Главное направление диссертации – это разработка подхода, который позволит определять давление взрыва в открытом пространстве в зависимости от процентного соотношения метана, этана, пропана и бутана – основных горючих компонентов сжиженного природного газа (СПГ). Для решения поставленной цели соискатель проводит анализ литературных данных и выявляет, что на особенности взрыва могут влиять физико-химических и газодинамических особенностей взрыва, изменение которых исследуются теоретически с применением аналитического моделирования кинетики горения, на основании которого построены вероятностные схемы горения и выявлена возможность ингибирования горения метана примесями пропан-бутана. Также проведен теоретический анализ газодинамики с применением безразмерного критерия Рейнольдса, который продемонстрировал линейное изменение свойств различных смесей основных горючих компонентов СПГ. Поставленные теоретические гипотезы были проверены экспериментально на различных установках, отмечен аддитивный вклад метана, этана, пропана и бутана на

вх № 6/74 от 21.08.2025

давление взрыва. Полученные экспериментальные данные позволили разработать методику определения давления взрыва газовоздушного облака при аварийных выбросах сжиженного природного газа с учетом его состава.

Также в работе Тетерин И.А. продемонстрировал теоретически и экспериментально изучил концентрационные пределы распространения пламени для различных смесевых композиций основных горючих компонентов СПГ.

Актуальность темы исследования.

Правительством Российской Федерации в 2021 г. утверждена долгосрочная программа развития производства сжиженного природного газа до 2035 года. Для достижения целей программы в 2021 г. утверждена «Дорожная карта», 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.

Нормативная методика не позволяет выполнять расчет давления взрыва для смеси индивидуальных газов, а содержание метана и его гомологов в зависимости от назначения (марки) СПГ может изменяться. Таким образом, отсутствовал дифференцированный подход по определению давления взрыва газовоздушного облака в зависимости от состава СПГ, что не позволяло корректно рассчитывать давление взрыва при аварийном выбросе СПГ в открытое пространство. Следует отметить, что альтернативные методики также не позволяют определять давление взрыва для смесей газов, так как отсутствуют необходимые экспериментальные данные. Вышеизложенное подтверждает актуальность диссертации Тетерина И.А.

Содержание работы.

Во введении обоснована актуальность темы исследования и степень ее разработанности, сформированы цель, задачи, объект и предмет исследования, показана научная новизна работы, ее теоретическая и практическая значимость.

В первой главе соискателем продемонстрировано развитие рынка сжиженного природного газа в Российской Федерации, отмечено отсутствие

достаточной статистики взрывов СПГ в России, позволяющей анализировать взрывы паров СПГ. Однако рассмотрены взрывы в зарубежных странах. Тетерин И.А. выполнил расчет давления взрыва одного из происшествий с участием СПГ с применением нормативной методики, а также альтернативной. Выявлены недостатки данных методик, одна из которых отсутствие возможности выполнять расчет для многокомпонентной газовой смеси. Соискатель отмечает, что в литературе встречается аддитивный подход для учета многокомпонентного состава взрывчатых веществ, а также подход, на основании задержки самовоспламенения различных соотношений метана с его гомологами для детонационного режима сгорания природного газа. Однако отмеченные подходы являются теоретическими и не рассматривают дефлаграционный режим сгорания газоздушного облака.

Тетериным И.А. предложено на основании закона Дальтона выполнять расчет исходя из аддитивного вклада каждого из основного горючего компонента СПГ: метана, этана, пропана и бутана. Однако соискатель отмечает, что данное предложение требует детального анализа физико-химических и газодинамических особенностей взрыва различных соотношений основных горючих компонент СПГ.

Также в первой главе выполнен анализ нормативных документов, в которых определены концентрационные пределы распространения пламени СПГ. Продемонстрировано на основании правила Ле Шателье, что для различных марок СПГ концентрационные пределы будут отличаться, так как различен состав, а нормативные документы закрепляют фиксированные значения. Однако применение правила Ле Шателье не учитывает химического взаимодействия основных горючих компонент СПГ, что потребовало детального анализа и экспериментальных исследований.

Во второй главе выполнен детальный физико-химический анализ горения основных горючих компонент СПГ. На основании расчета скорости химической реакции построены вероятностные схемы горения метана, этана, пропана и бутана. Выполнено сравнение скоростей горения метана и его легких гомологов. Выявлено, что примеси пропана и бутана могут ингибировать горение метана. Также соискатель продемонстрировал исследования других авторов, которые отмечают экспериментально

значительное влияние на задержку самовоспламенения метан незначительных примесей гомологов метана. Таким образом, во второй главе Тетерин И.А. продемонстрировал необходимость проведения экспериментальных исследований по определению давления взрыва и концентрационных пределов распространения пламени различных смесевых композиций основных горючих компонент СПГ.

В третьей главе соискатель провел экспериментальные исследований на установке, предназначенной для определения давления взрыва газоздушных смесей, а также конструктивно позволяющей определять концентрационные пределы распространения пламени. Для проведения экспериментов соискателем разработан модельный состав, который позволяет продемонстрировать наиболее пожароопасный состав.

Проведенные эксперименты позволили построить графики изменения избыточного давления взрыва. Анализ изменения давления взрыва показал аддитивный вклад основных горючих компонент СПГ на давление взрыва, на основании чего Тетерин И.А. разработал методику определения давления взрыва газоздушного облака при аварийных выбросах сжиженного природного газа с учетом его состава. Расчет по разработанной методике позволил соискателю отнести наиболее взрывоопасный по содержанию СПГ к 3 классу по степени чувствительности к возбуждению взрывных процессов. Также экспериментально подтверждено применение правила Ле Шателье для определения концентрационных пределов распространения пламени паров СПГ в смеси с воздухом.

В четвертой главе соискатель анализирует газодинамические особенности различных составов СПГ с применением безразмерного критерия Рейнольдса, применение которого позволило установить линейную зависимость изменения давления взрыва для различных смесевых композиций основных горючих компонентов СПГ при турбулизации пламени. Для подтверждения теоретических выкладок Тетерин И.А. провел серию экспериментов на установке, позволяющей изучать дефлаграционный режим взрывного горения. Выполненные экспериментальные исследования подтвердили теоретические предпосылки, что обосновало возможность применения методики для дефлаграционного режима горения (с учетом

турбулизации пламени). Также соискатель дает рекомендации по дальнейшим направлениям изучения аварийных выбросов СПГ.

В заключении сформированы основные выводы, полученные в ходе выполнения диссертационной работы

Степень достоверности полученных 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.

Замечания к диссертационной работе.

1. Соискатель выделил основные горючие компоненты в составе СПГ. Однако не было приведено никаких данных о влиянии азота на взрывоопасность СПГ. Его наличие будет приводить к снижению давления взрыва.

2. По тексту диссертации встречаются опечатки в индексах химических формул на стр. 106 и 112.

3. Автор на примере аварии с выбросом СПГ анализирует методики расчета давления взрыва газоздушных смесей. Однако для более качественного анализа необходимо было выполнить расчет нескольких аварий с таким выбросом, что позволило бы более объективно оценить методики.

Отмеченные замечания не снижают общую положительную оценку диссертации и являются скорее пожеланиями для дальнейших исследований.

Заключение.

Диссертация Тетерина Ивана Александровича «Методика определения давления взрыва газоздушного облака при аварийных выбросах сжиженного природного газа с учетом его состава» является актуальной, завершенной, самостоятельной научно-квалификационной работой, имеющей научную новизну и практическую значимость. 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».

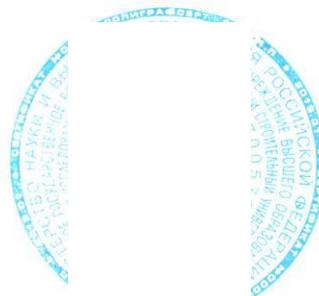
По содержанию, научной и практической значимости представленная диссертационная работа отвечает критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года), а ее автор, Тетерин Иван Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки).

Заведующий лабораторией «Газодинамики
и взрыва» научно-исследовательского центра
«Взрывобезопасность» Института
комплексной безопасности в строительстве
ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ»
кандидат технических наук
«11» августа 2025 г.

Громов Н.В.

Подпись Громова Николая Викторовича заверяю

Начальник отдела
кадрового делопроиз-
водства УРП
А.В. ПИНЕГИН
14.08.2025



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ) 129337, Москва, ул. Ярославское шоссе, д. 26. E-mail организации: kanz@mgsu.ru; телефон организации: +7 (495) 781-99-88
E-mail Громова Н.В.: n.gromov@ikbs-mgsu.ru; телефон: 8 (926) 597-60-65