

Отзыв официального оппонента

заместителя начальника отдела «Пожарной безопасности промышленных объектов, технологий и моделирования техногенных аварий» - начальника сектора «Моделирования техногенных аварий с пожарами» научно-исследовательского центра нормативно-технических проблем пожарной безопасности ФГБУ ВНИИПО МЧС России,

кандидата технических наук Мордвиновой Анны Витальевны
на диссертационную работу Битиева Рашида Борисовича:

«Параметры тушения пожара пролива сжиженного природного газа высокократной пеной», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки)

Современные тенденции развития промышленности во всем мире характеризуются увеличением масштабов и расширением области использования природного газа, в том числе сжиженного. Объекты с обращением сжиженного природного газа (далее – СПГ) обладают высоким уровнем пожарной опасности, что обусловлено большой концентрацией пожаровзрывоопасных веществ на относительно небольших площадях и специфическими особенностями СПГ, такими как: быстрообразующиеся пожаровзрывоопасные облака, распространяющиеся на большие расстояния, способные, кроме того, вызвать отравление или удушье человека; высокая среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени (для пожара пролива СПГ - до 220 кВт/м^2); высокотемпературный горящий факел, возникающий при истечении паровой и (или) жидкостной фазы СПГ; несоблюдение баланса тепло- и массообмена при хранении, приеме и выдаче СПГ, которое может привести к частичному или полному разрушению внутреннего резервуара и внешней оболочки и, как следствие, к катастрофической аварии; низкие температуры, приводящие при определенных условиях к потере прочности и функционального назначения материалов и конструкций резервуаров и технологического оборудования, что может привести к увеличению масштабов аварии; низкие температуры при аварийных выбросах, способные вызвать обморожение и гибель человека.

В связи с чем, вопрос обеспечения пожарной безопасности данных объектов остается актуальной задачей, а проведение исследований по поиску наиболее оптимальных средств и способов локализации и тушения возгораний, связанных с проливами СПГ в окружающее пространство, является наиболее значимым для

Вх № 6/40 от 01.04.2026

совершенствования действий пожарных подразделений при осуществлении борьбы с пожарами на объектах СПГ.

Кроме того, в соответствии с действующими нормативными требованиями при загорании пролитого на поверхность земли СПГ рекомендуется дать возможность ему гореть под контролем, принимая меры к перекрытию доступа газа к очагу пожара. После прекращения доступа природного газа к очагу пожара следует приступить к ликвидации возможного вторичного пожара имеющимися средствами пожаротушения. При этом в нормативных документах по пожарной безопасности не раскрывается понятие «горение под контролем» или «контролируемое выгорание», для осуществления которого представляется целесообразным установить параметры подачи огнетушащих веществ (далее – ОТВ) на пролив СПГ, при которых происходит ликвидация горения, что позволит разработать оптимальный способ подачи ОТВ.

Учитывая изложенное выше, **актуальность** темы рассматриваемой диссертационной работы, связанная с высокой пожарной опасностью объектов с обращением СПГ и недостаточной изученностью процессов тушения и локализации пожаров с горением СПГ, не вызывает сомнений. Представленная работа посвящена решению научной задачи по определению параметров тушения пожара пролива сжиженного природного газа пеной высокой кратности (далее – ВКП).

В первой главе диссертационной работы рассматриваются сведения о существующих производственных мощностях, применяющих технологию сжижения горючих газов и о перспективах ее развития. Выполнен анализ пожаров на объектах с обращением СПГ. Отмечается, что типичным сценарием развития аварийной ситуации является цепочка последовательных событий, сопровождающаяся проливом сжиженного природного газа и дальнейшим воспламенением паровоздушной среды. Тепловое воздействие от пламени рассматривается как наиболее неблагоприятный опасный фактор пожара, приводящий к каскадному развитию аварии. По результатам анализа установлено, что эффективным средством предотвращения каскадного развития аварии, является применение активных способов противопожарной защиты, таких, как, например, подача на поверхность пролитого СПГ высокократной воздушно-механической пены, что приводит к снижению интенсивности испарения СПГ, уменьшению высоты пламени и снижению интенсивности теплового потока. В мировой практике широко применяется способ, предполагающий чередование циклов подачи пены с перерывами без ликвидации пламенного горения. Способ

не позволяет определить параметры непрерывной подачи пены, при которых наступает тушение, поэтому параметры тушения проливов СПГ при помощи высокократной пены изучены недостаточно. По результатам анализа нормативных документов для создания методики определения времени тушения СПГ высокократной пеной соискателем предлагается использовать стандартизированное испытательное оборудование по ГОСТ Р 50588-2012.

Во второй главе проводится описание используемой методики определения зависимости времени тушения СПГ от интенсивности подачи пены.

Исследования проведены в три этапа. На первом этапе получены данные об интенсивности выгорания СПГ при свободном горении. Установлено, что ориентировочное время выгорания 25 л СПГ в модельных противнях при свободном горении находится в диапазоне от 284 до 368 с, а интенсивность выгорания составляет от 0,16 до 0,17 л/(м²·с). На втором этапе получены экспериментальные данные для оценки эффективности тушения пеной кратностью от 200 до 550 ед. при фиксированной интенсивности подачи. На третьем этапе получены экспериментальные данные времени тушения СПГ при различной интенсивности подачи пены кратностью 250 и 500 ед. В результате было установлено, что ликвидация пламенного горения происходит при использовании пены кратностью от 250 до 500 ед.

Научные наблюдения за протекающими процессами при проведении экспериментальных исследований выявили затруднительный поджог метановоздушной среды, фрагментацию пламени после подачи высокократной пены и продолжение выхода газообразного метана через пенный слой после тушения. Тщательные наблюдения за процессом тушения позволили в дальнейшем предложить механизм ликвидации пламенного горения при помощи применения высокократной пены.

Третья глава посвящена обработке и анализу результатов экспериментальных исследований. Для этого автором выполнена статистическая обработка полученных экспериментальных данных. Построены зависимости времени тушения и удельного расхода от интенсивности подачи пены. Важно отметить, что зависимости времени тушения от интенсивности подачи пены имеют традиционный вид кривых с вертикальной асимптотой, соответствующей критической интенсивности подачи пены. Зависимости удельного расхода от интенсивности проходят через экстремум, соответствующий оптимальной интенсивности подачи пены. Выполнен анализ полученных зависимостей и сделан ряд рассуждений позволяющих установить требуемое значение

минимальной толщины пенного слоя. По результатам анализа получены эмпирические зависимости позволяющие выполнить расчет минимальной толщины пенного слоя и установить взаимосвязь между основными параметрами тушения. Толщина пенного слоя при оптимальной интенсивности подачи пены кратностью 250 и 500 единиц должна составлять 0,62 и 1,44 метра. Толщина пенного слоя, рассчитанная по полученной эмпирической зависимости, составляет 0,67 и 1,43 метра соответственно.

Соискателем предложен механизм ликвидации пламенного горения пролива СПГ пеной высокой кратности за счет снижения температуры пламени от поступления холодного метана в зону горения сквозь толщину не застывшего слоя пены, что приводит к образованию внутри его полых конусообразных ледяных фигур, у вершин которых продолжается пламенное горение. При достижении толщины пенного слоя более 0,5 м, снижается высота пламени, а зона горения фрагментируется на несколько участков. Дальнейший рост толщины пенного слоя приводит к постепенному сужению вершин полых ледяных фигур. Это сопровождается усилением разбавления зоны горения холодным метаном и снижением температуры пламени. На определенном этапе подачи ВКП могут сложиться условия, приводящие к снижению температуры пламени до температуры потухания. После прекращения пламенного горения из вершин полых ледяных фигур продолжается беспрепятственный выход газообразного метана в окружающую среду. Обоснование предложенного механизма подтверждается сравнением результатов испытаний, выполненных в американском университете «Texas A&M University» с анализом расчетов температуры потухания, выполненных по методике, предложенной Я.Б. Зельдовичем.

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. Для контролируемого выгорания рекомендуется использование ВКП кратностью более 550 ед., а для ликвидации пламенного горения рекомендуется использование ВКП кратностью от 250 до 500 ед. Наиболее рациональным и безопасным, по мнению автора, 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. Даны пояснения о требуемых мерах, позволяющих предотвратить тушение пролива СПГ после подачи ВКП, если сценарием ликвидации аварийной ситуации тушение не предусматривается.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, представленных в диссертации, достигалась использованием поверенных средств измерений и аттестованного испытательного оборудования на базе существующих стандартизированных методик; применением для обработки полученных экспериментальных данных апробированных методов статистического анализа; внутренней непротиворечивостью результатов и их согласованностью с данными других исследователей; комплексом взаимодополняющих методов, адекватных цели, объекту, предмету и задачам исследования, приведенных в диссертационной работе; значительным количеством публикаций результатов диссертации в печати; согласованности полученных результатов с известными данными исследований в смежных областях.

Теоретическая и практическая значимость работы 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.

Замечания и предложения:

1. Из описания предложенного механизма следует, что ликвидация пламенного горения пролива СПГ возможна при наличии определенных условий. Автор считает, что основным условием является создание требуемой толщины пенного слоя и формирование в нем полых конусообразных ледяных фигур. При этом он не говорит о том, что значение указанной толщины пенного слоя будет справедливо при установленной интенсивности испарения СПГ. При изменении интенсивности испарения и при использовании СПГ другой марки толщина пенного слоя будет другой. Поэтому в итоговой эмпирической зависимости для расчета требуемой толщины пенного слоя потребуется ввести поправочный коэффициент, учитывающий влияние интенсивности испарения СПГ.

2. В разработанных рекомендациях не описана возможность применения пенообразователей и стандартного пожарно-технического вооружения подразделений пожарной охраны МЧС России для локализации и ликвидации

пламенного горения пролива СПГ на объектах защиты. Также не рассмотрен вопрос о необходимости перевооружения пожарных подразделений, участвующих в ликвидации аварийных ситуаций, связанных с пламенным горением пролива СПГ.

3. Известные свойства высокократной пены предполагают возможность создания пенного слоя на небольшой площади. Вязкость высокократной пены не позволяет произвести подачу пены на большие расстояния. В связи с этим на крупных площадях и при превышении максимальной глубины подачи потребуется расположение генераторов в нескольких точках. Автором не рассматривается такая схема подачи ВКП.

4. В диссертации не указаны, конструктивные особенности и напорно-расходные характеристики генераторов высокократной пены, учитывающие негативное влияние теплового потока от горящего пролива СПГ на сохранение их целостности

5. В диссертации подробно рассматривается вопрос о необходимости создания требуемой минимальной толщины пенного слоя, однако не предлагаются варианты ее обеспечения, что очень важно с практической точки зрения.

Заключение:

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации. Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод о том, что диссертационная работа Битуева Р.Б., на тему: «Параметры тушения пожара пролива сжиженного природного газа высокократной пеной» является актуальной и завершенной научно-квалификационной работой со значительным научным и практическим потенциалом. Работа содержит научные результаты, имеющее важное значение для развития науки в области пожарной безопасности нефтегазовой отрасли Российской Федерации.

Выполненная диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.10.1 – Пожарная безопасность (технические науки): п. 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»; п. 11 «Научное обоснование и разработка технологий тушения пожаров на объектах защиты пожарным оборудованием и мобильными средствами пожаротушения».

По содержанию, научной и практической значимости представленная диссертационная работа отвечает критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней (постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), а ее автор Битуев Рашид Борисович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки).

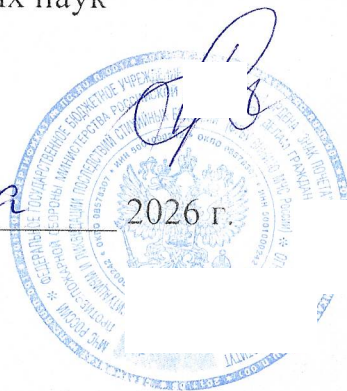
Официальный оппонент:

заместитель начальника отдела «Пожарной безопасности промышленных объектов, технологий и моделирования техногенных аварий» - начальник сектора «Моделирования техногенных аварий с пожарами» научно-исследовательского центра нормативно-технических проблем пожарной безопасности ФГБУ ВНИИПО МЧС России, кандидат технических наук

Анна Витальевна Мордвинова

«24» марта 2026 г.

Подпись Мордвиновой Анны Витальевны заверяю:
Ученый секретарь ФГБУ ВНИИПО МЧС России,
кандидат технических наук



Динара Магафуровна Нигматуллина

«24» марта 2026 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» (ФГБУ ВНИИПО МЧС России).

Адрес: 143903, Московская область, г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д.12, тел. +7 (495) 521-81-31

Официальный сайт: vniipo.ru, E-mail: vniipo@vniipo.ru