

Научная статья

УДК 614.8; DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-81-92

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ, ХРАНЕНИЮ, ОТГРУЗКЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА И СЖИЖЕННОГО УГЛЕВОДОРОДНОГО ГАЗА

Самигуллин Гафур Халафович;

✉Евлоев Зелимхан Бекханович.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия.

Шарапов Сергей Владимирович.

Санкт-Петербургский пожарно-спасательный колледж, Санкт-Петербург, Россия

✉euloeff.zel@yandex.ru

Аннотация. Проведен сравнительный анализ чрезвычайных ситуаций на объектах по производству, хранению, отгрузке сжиженного природного газа и сжиженного углеводородного газа. Целью настоящего исследования является обобщение и систематизация имеющихся сведений о процессах возникновения чрезвычайных ситуаций и выявление особенностей их развития для мелко-, средне- и крупнотоннажных производств. Аналитические исследования выполнялись с применением сценарного подхода на предприятиях, эксплуатирующих технологические установки различной производительности. Полученные аналитические результаты могут быть использованы для разработки и внедрения соответствующих мер безопасности на потенциально опасных объектах газохимии и газопереработки, в том числе с крупным оборотом сжиженного природного газа.

Ключевые слова: производства, сжиженный природный газ, сжиженный углеводородный газ, типовые сценарии развития аварий, чрезвычайные ситуации, нормативно-техническая база

Для цитирования: Самигуллин Г.Х., Евлоев З.Б., Шарапов С.В. Сравнительный анализ чрезвычайных ситуаций на объектах по производству, хранению, отгрузке сжиженного природного газа и сжиженного углеводородного газа // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 4 (72). С. 81–92. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-81-92.

Scientific article

COMPARATIVE ANALYSIS OF EMERGENCY SITUATIONS AT FACILITIES FOR THE PRODUCTION, STORAGE, AND SHIPMENT OF LIQUEFIED NATURAL GAS AND LIQUEFIED PETROLEUM GAS

Samigullin Gafur Kh.;

Evloev Zelimkhan B.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia.

Sharapov Sergey V.

Saint-Petersburg fire and rescue college, Saint-Petersburg, Russia

✉euloeff.zel@yandex.ru

Abstract. This article provides a comparative analysis of emergency situations at the facilities for production, storage, shipment of liquefied natural gas and liquefied petroleum gas. The purpose of this study is to summarize and systematize the available data on the processes of emergency situations and to identify the peculiarities of their development for small-, medium- and large-capacity production facilities. Analytical studies were carried out using the scenario approach at the enterprises operating process units of different capacities. The analytical results obtained

can be used to develop and implement appropriate safety measures at potentially hazardous gas chemical and gas processing facilities, including those with large liquefied natural gas turnover.

Keywords: production, liquefied natural gas, liquefied hydrocarbon gas, typical accident scenarios, emergency situations, regulatory and technical framework

For citation: Samigullin G.Kh., Evloev Z.B., Sharapov S.V. Comparative analysis of emergency situations at facilities for the production, storage, and shipment of liquefied natural gas and liquefied petroleum gas // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2024. № 4 (72). P. 81–92. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-4-81-92.

Введение

Газовая промышленность является одной из отраслей с огромным потенциалом для развития и модернизации, что позволяет ей обеспечивать мировой рынок необходимыми энергоресурсами и сырьем. С появлением новых инновационных технологий и альтернативных источников энергии газовая промышленность продолжает развиваться и адаптироваться к меняющимся рыночным условиям [1–2]. Важное место в сфере газовой промышленности занимают объекты по производству, хранению, отгрузке сжиженного природного газа (СПГ). Российские госкорпорации активно сотрудничают с ведущими международными организациями, чтобы обеспечить успешную реализацию проектов СПГ для экономического роста и развития технологий в нашей стране. Реализация будущих объектов по СПГ требует высоких технологических и инженерных решений и строгого соблюдения международных стандартов. С развитием данной отрасли возникает необходимость оценки и противодействия определенным рискам, связанным с хранением и транспортировкой СПГ [3].

Аналитическая часть

В практике обеспечения пожаровзрывобезопасности при работе с криогенными технологиями практически отсутствуют нормативные показатели и реальные варианты сценариев развития аварий на объектах с крупным оборотом СПГ при возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС) [4]. В связи с этим необходимо проанализировать нормативно-техническую базу знаний для выявления существующих недостатков при предотвращении и ликвидации возможных последствий ЧС, которые сопряжены с выбросами, пожарами и взрывами на потенциально опасных объектах СПГ. Далее представлен подробный анализ нормативно-технических документов, распространяющийся на производственные объекты СПГ.

Например, ГОСТ Р 55892–2013 «Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа. Общие технические требования» содержит перечень возможных причин аварийных ситуаций для объектов малотоннажного производства (рис. 1) и меры по их ликвидации, в то время как для среднетоннажных и крупнотоннажных производств СПГ они и вовсе отсутствуют (рис. 2, 3) [5–6]. Соответственно, применимость настоящего стандарта распространяется только на объекты малотоннажного производства СПГ и его ограничение в использовании по отношению к более крупным объектам невозможно в связи с масштабностью производств крупных объектов СПГ.

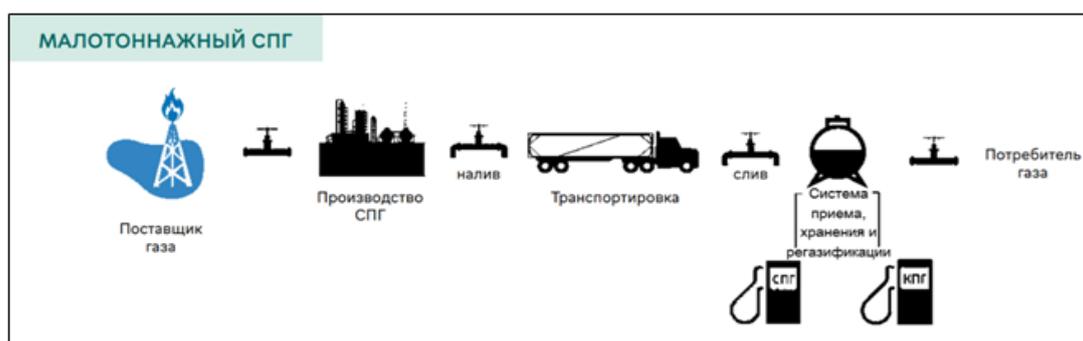


Рис. 1. Схема технологических операций малотоннажного производства СПГ

ГОСТ Р 56352–2015 «Нефтяная и газовая промышленность. Производство, хранение и перекачка сжиженного природного газа. Общие требования безопасности» регламентирует общие мероприятия по предупреждению аварийных ситуаций на объектах СПГ, но при этом без перечня возможных причин их возникновения [7]. Помимо национальных стандартов в нормативно-технической базе предусмотрены стандарты организации (СТО).

Одним из основополагающих стандартов является СТО Газпром 2-2.3-569–2011 по методическому руководству и расчету анализа рисков при эксплуатации объектов СПГ, предусматривает перечень наиболее вероятных типовых вариантов развития аварийных ситуаций на объектах СПГ [8].



Рис. 2. Схема технологических операций среднетоннажного производства СПГ

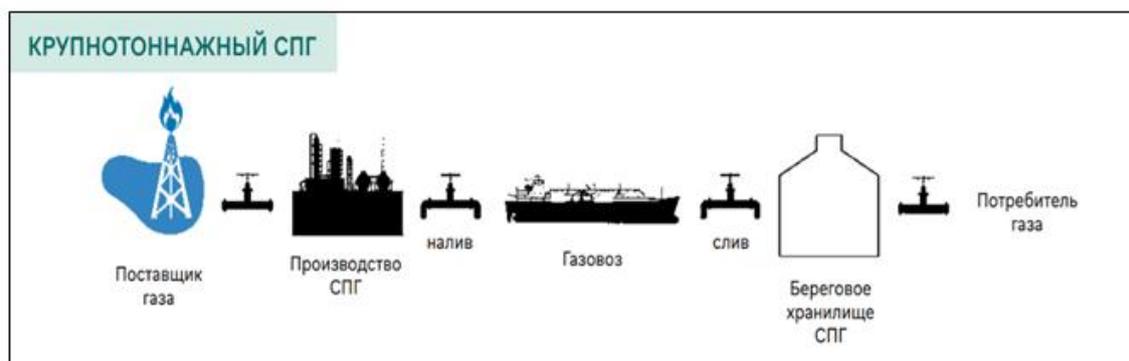


Рис. 3. Схема технологических операций крупнотоннажного производства СПГ

Действующий стандарт организации включает себя следующий перечень типовых аварийных ситуаций на производствах СПГ:

1. Утечка газа или жидкости из технологического оборудования (ёмкости, резервуара, технологического трубопровода, насоса) с последующим образованием взрывопожароопасной парогазовоздушной смеси, которая может перейти форму пожара колонного типа в загромождённом пространстве.

2. Утечка газа или жидкости из технологического оборудования (ёмкости, резервуара, технологического трубопровода, насоса) с последующим образованием площади пролития с интенсивным испарением и рассеиванием паров тяжелее воздуха вблизи поверхности земли по направлению ветра.

3. Воспламенение облака газа или жидкости от источника зажигания (искры, огонь, нагретое тело) на производственном участке или вне его с последующим распространением по всей территории.

4. Взрыв газа или жидкости из технологического оборудования (емкости, резервуара, технологического трубопровода, насоса) с последующим образованием барического воздействия и разлета осколков и последующего развития опасных поражающих факторов.

Настоящий стандарт организации включает наиболее распространенные типы развития возможных аварийных ситуаций на производствах СПГ, но в нем отсутствует конкретизация аварийной ситуации в случае утечки газа или жидкости без воспламенения с последующим возникновением опасных поражающих факторов токсической и термической угрозы поражения вследствие нарушения основных процессов в технологическом оборудовании производства. Кроме того, настоящий стандарт не предусматривает следующие типы взрывных явлений, характерных при возникновении аварий на объектах СПГ:

- взрыв газового облака с четкими границами;
- взрыв газового облака с размытыми границами «UVCE»;
- взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости «BLEVE» [9].

В рамках обеспечения надлежащей защиты объектов СПГ реализуется приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзора) от 11 декабря 2020 г. № 521 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности объектов сжиженного природного газа», в котором отражены общие меры обеспечения промышленной безопасности технологических процессов на опасных производственных объектах СПГ [10]. Упомянутый приказ не содержит информации о сценариях развития аварий на объектах СПГ, и его применимость по отношению к более масштабным производствам СПГ не конкретизирована существующей нормативно-технической базой.

Необходимо отметить, что вышеуказанные нормативно-технические документы специализированы для производственных объектов СПГ и применимы только по отношению к ним с учетом специфики и особенностей производств СПГ.

При этом имеются нормативно-технические документы общего характера, применимые для большинства производственных объектов (в том числе и объектов СПГ), например, приказ Ростехнадзора № 454 от 22 декабря 2022 г. «Об утверждении Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», включающий следующие группы сценариев:

- пожар в котловане (пожар колонного типа);
- пожар разлива;
- струевое пламя;
- рассеивание низкоскоростного шлейфа газа;
- рассеивание двух струй газа;
- рассеивание струй газа без воспламенения;
- утечка горючей жидкости без воспламенения [11].

Представленный анализ существующей нормативно-технической базы показывает, что имеются не все возможные типовые сценарии развития аварий на объектах СПГ из-за недостаточности данных о произошедших инцидентах в случаях ЧС. Поэтому для разработки и внедрения сценариев аварий для объектов с крупным оборотом СПГ необходимо провести детальный анализ произошедших ЧС путем сопоставления имеющихся данных на конкретных типовых случаях между производствами СПГ и сжиженного углеводородного газа (СУГ), так как для последнего они закреплены в приказе МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» для расчета величин пожарного риска на производственных объектах и частоты реализации пожароопасных ситуаций и последствий воздействий опасных поражающих факторов аварии для разных сценариев его развития [12].

Схожесть СПГ и СУГ заключается в том, что оба хранятся в жидком состоянии до момента перевода его газообразное состояние. Имея схожую структуру и параметры, оба типа газа отличаются между собой за счет физических и химических свойств. Основные физико-химические свойства СПГ и СУГ приведены в табл. 1 [13–15].

Таблица 1

Основные физико-химические свойства СПГ и СУГ

№ п/п	Параметры	СПГ	СУГ
		Значения	
1	Состав вещества	состав: 85 до 95 % – метан; остальные 5 % – этан, пропан, бутан, азот	состав: не менее 95 % – пропан, бутан и 1 % – непредельные углеводороды
2	Способ хранения	криогенные цистерны	газгольдеры
3	Нижний и верхний концентрационные пределы воспламенения	от 4,4 % до 17,0 %	пропан: от 1,7 % до 10,9 %; нормальный бутан: от 1,4 % до 9,3 %; изобутан: от 1,3 % до 9,8 %
4	Температура кипения	от -157 до -166 °С	пропан – -42,06 °С; нормальный бутан – -0,5 °С; изобутан – -11,7 °С
5	Температура самовоспламенения	600 °С	пропан – -470 °С; нормальный бутан – -372 °С; изобутан – -460 °С

Исходя из данных в табл. 1, основным и наиболее важным различием между СПГ и СУГ являются составы газов и их температурный режим хранения. Очевидно, что расхождение в температурных режимах обусловлено не только требованиями к технологическому оборудованию для хранения и транспортировки СПГ и СУГ, но и отличиями последствий при возникновении аварийных ситуаций. В табл. 2 приведен сравнительный перечень аварий, произошедших на производствах СПГ и СУГ [16–21].

Таблица 2

Сравнительный перечень аварий, произошедших на производствах СПГ и СУГ

Дата аварии	Место аварии	Последовательность развития аварии	Тип сценария аварии								
			ВБВ	ВСВ	СГФ	ПВ	ПП	ВГОСЧГ	UVCE	BLEVE	ОШ
1. Выброс без воспламенения											
--/--/1965	Алжир	Выброс СПГ → ВБВ	+								
25/02/1984	Бразилия	Выброс СУГ → ВБВ	+								
2. Выброс с воспламенением											
--/--/1964	Алжир	Выброс СПГ → ВСВ		+							
03/09/1968	США	Выброс СУГ → ВСВ		+							
3. Пожар											
15/03/1983	США	Выброс СУГ → ВСВ → ПП → ПВ			+	+	+				
25/09/1998	Австралия	Выброс СПГ → СГФ → ПВ			+	+					
--/--/2003	Малайзия	Выброс СПГ → ПП → ПВ				+	+				
15/06/2020	Россия	Выброс СУГ → СГФ			+						
4. Взрыв											
20/10/1944	США	Выброс СПГ → ВГОСЧГ						+			
04/01/1966	Франция	Выброс СУГ → BLEVE								+	
19/11/1984	Мексика	Выброс СУГ → UVCE							+		
11/01/1986	США	Выброс СПГ → ОШ									+
03/06/1989	Россия	Выброс СУГ → ОШ									+
14/09/1997	Индия	Выброс СУГ → ВГОСЧГ						+			
--/06/2002	Испания	Выброс СПГ → BLEVE								+	
--/--/2004	Алжир	Выброс СПГ → UVCE							+		

Примечание: ВБВ – выброс без воспламенения; ВСВ – выброс с воспламенением; СГФ – струйное горение факела; ПВ – пожар-вспышка; ПП – пожар пролив; ВГОСЧГ – взрыв газового облака с четкими границами; UVCE – взрыв газового облака с размытыми границами; BLEVE – взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости; ОШ – огненный шар

Приведенный перечень произошедших аварий на производствах СПГ и СУГ показывает, что причиной их возникновения в большинстве случаев является выброс в результате разгерметизации или разрушения при нарушении основных процессов производства, протекающих в технологическом оборудовании во время операции по переработке или

перекачке имеющихся легковоспламеняющихся веществ и горючих газов. Отличительной чертой между производствами СПГ и СУГ является то, что при достижении критической температуры СПГ может быстро расширяться, тем самым вызвав взрывопожароопасные явления, а в случае СУГ такое возможно при условии высоких температур, которые могут также аналогично представлять большую опасность. С учетом сложности специфики и особенностей потенциально опасных объектов СПГ, на основе анализа действующей нормативно-технической документации в области производства СПГ и СУГ, для производств СПГ можно выделить следующие характерные типовые сценарии развития аварий и перерастания их в ЧС, которые приведены в табл. 3.

Таблица 3

Схемы типовых сценариев развития аварий, характерные для производств СПГ

№ группы сценария	Ранжирование сценариев аварий по степени опасности	Описание сценария развития аварии
С.1 Выброс		
С.1.1	Выброс без воспламенения	Частичная разгерметизация или полное разрушение технологического оборудования с СПГ → Выброс → Термическое воздействие низких температур → Растекание и пролив → Испарение и образование парогазовоздушного облака → Выделение токсичных продуктов → Удушье продуктами испарения → Рассеивание паров без воспламенения → Экстренная эвакуация и спасение персонала
С.1.2	Выброс с воспламенением	Частичная разгерметизация или полное разрушение технологического оборудования с СПГ → Выброс → Термическое воздействие низких температур → Растекание и пролив → Испарение и образование парогазовоздушного облака → Воспламенение от нагретой поверхности или открытого источника огня → Последующее каскадное развитие аварии → Экстренная эвакуация и спасение персонала
С.2 Пожар		
С.2.1	Струйное горение факела	Частичная разгерметизация или полное разрушение технологического оборудования с СПГ → Выброс → Термическое воздействие низких температур → Растекание и пролив → Испарение и образование парогазовоздушного облака → Воспламенение от нагретой поверхности или открытого источника огня → Тепловое излучение → Деформация и обрушение строительных конструкций → Последующее каскадное развитие аварии → Экстренная эвакуация и спасение персонала
С.2.2	Пожар-вспышка	
С.2.3	Пожар-пролив	

№ группы сценария	Ранжирование сценариев аварий по степени опасности	Описание сценария развития аварии
С.3 Взрыв		
С.3.1	Взрыв газового облака с четкими границами	Частичная разгерметизация или полное разрушение технологического оборудования с СПГ → Выброс → Термическое воздействие низких температур → Растекание и пролив → Испарение и образование парогазовоздушного облака → Воспламенение от нагретой поверхности или открытого источника огня → Тепловое излучение → Деформация и обрушение строительных конструкций → Взрыв → Воздушная ударная волна → Барическое воздействие → Последующее каскадное развитие аварии → Экстренная эвакуация и спасение персонала
С.3.2	Взрыв газового облака с размытыми границами (UVCE)	
С.3.3	Взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости «BLEVE»	
С.3.4	«Огненный шар»	Частичная разгерметизация или полное разрушение технологического оборудования с СПГ → Выброс → Термическое воздействие низких температур → Растекание и пролив → Испарение и образование парогазовоздушного облака → Воспламенение от нагретой поверхности или открытого источника огня → Тепловое излучение → Деформация и обрушение строительных конструкций → Взрыв → Воздушная ударная волна → Барическое воздействие → Последующие каскадное развитие аварии → Экстренная эвакуация и спасение персонала → Разлет осколков → Последующее каскадное развитие аварии → Экстренная эвакуация и спасение персонала

Приведенные выше сценарии развития типовых аварий на производствах СПГ выделены и описаны в соответствии с характерными признаками основных поражающих факторов для каждого конкретного случая. В то же время отдельные сценарии можно рассматривать как составляющую часть более крупного и протяженного во времени сценария аварии [22].

Анализ представленной выше информации дает возможность констатировать, что крупные аварийные ситуации для предприятий по производству СУГ и СПГ имеют множество как общих признаков (например, причина возникновения), так и различий, особенно в части реализации аварийных ситуаций. При этом группа сценариев С.1 и С.2 в целом будет характерна для мало- и среднетоннажных производств, тогда как сценарии С3.1...С3.4 – для крупнотоннажных производств.

Соответственно, наличие на предприятиях условий для последующего развития аварии по каскадному характеру и значительный объем обращающихся горючих веществ будут обуславливать тяжелые последствия аварийных ситуаций и перерастания их в ЧС.

Заключение

Обобщая полученные данные, следует отметить, что существующая нормативно-техническая база в области обеспечения мер по безопасности для производств СПГ, как правило, не учитывает весь спектр возможных последствий при реализации рассмотренных типовых сценариев возникновения аварийных ситуаций. Соответственно, необходимо усовершенствовать данную базу за счет разработки и внедрения новых параметров и методов расчета оценки риска аварий, определения опасных факторов аварий для объектов с крупным оборотом СПГ.

Полученные результаты исследования могут быть полезны для регулирующих органов, специалистов нефтегазовой отрасли и исследователей, работающих над обеспечением мер безопасности в топливно-энергетическом секторе России. Развитие исследований в данной области может являться основой общей стратегии по обеспечению мер безопасности на потенциально опасных объектах СПГ и для минимизации возможных негативных последствий в случаях возникновения ЧС.

Список источников

1. Голубева И.А., Мещерин И.В., Дубровина Е.П. Производство сжиженного природного газа: вчера, сегодня, завтра // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2016. № 6. С. 4–13.
2. Ткаченко Е.С. Производство сжиженного природного газа: вчера, сегодня, завтра // Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России: сб. тезисов. М.: Рос. гос. ун-т нефти и газа (нац. исслед. ун-т) им. И.М. Губкина, 2018. С. 307.
3. Совершенствование нормативного правового регулирования пожарной безопасности для объектов нефтегазовой промышленности / Т.П. Сысоева [и др.] // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф. Иваново: Ивановская пож.-спас. акад. ГПС МЧС России, 2023. С. 430–434.
4. Пожаровзрыво-предотвращение крупных аварий на объектах СПГ и СУГ. Технологические подходы // Системы безопасности. URL: <http://lib.secuteck.ru/articles2/firesec/pozharovzryvo-predotvraschenie-krupnyh-avariy-na-obektah-spg-i-sug-tehnologicheskie-podhody> (дата обращения: 19.05.2024).
5. Ильина Е.В. Основные проблемы малотоннажного производства СПГ в России и пути их решения // Форум молодых ученых. 2018. № 12-2 (28). С. 760–766.
6. Справочные материалы. Карта российской СПГ отрасли 2024 // Экономическая лаборатория АлександрА КлиментьевА. URL: <https://ак-лаб.рф/lngmap> (дата обращения: 19.05.2024).
7. Мансурова А.М. Обеспечение безопасности при производстве сжиженного природного газа // Безопасность труда в промышленности. 2019. № 1. С. 26–30. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-1-26-30.
8. СТО Газпром 2-2.3-569–2011: метод. руководство по расчету и анализу рисков при эксплуатации объектов производства, хранения и морской транспортировки сжиженного и сжатого природного газа (утв. и введен в действие ОАО «Газпром» 26 мая 2011 г.). М.: Газпром экспо, 2012.
9. Хэйвенс Дж. Оценка потенциальных угроз общественным интересам в связи с планируемым размещением импортного терминала в порту Лонг-Бич: доклад / Калифорнийская комиссия по общественным делам. Калифорния, 2005.

10. Шевчук Е.В. Хранение сжиженного природного газа и проблемы обеспечения промышленной безопасности // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. № 11-4 (53). С. 141–143. DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.156.
11. Колесников Д.А. Методика мониторинга пожаровзрывобезопасности линейной части магистральных газопроводов: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2020. 169 с.
12. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах // *Пожаровзрывобезопасность*. 2009. Т. 18. № 8. С. 6–32.
13. LNG Safety and Security // Bureau of Economic Geology. URL: https://www.beg.utexas.edu/files/cee/legacy/LNG_Safety_and_Security_Update_2012.pdf#:~:text=LNG%20is%20odorless%2C%20non-toxic%2C%20non-corrosive%2C,and%20dissipate%20into%20the%20atmosphere (дата обращения: 03.10.2024).
14. Risk Assessment of Surface Transport of Liquid Natural Gas // Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration. URL: https://www.beg.utexas.edu/files/cee/legacy/LNG_Safety_and_Security_Update_2012.pdf#:~:text=LNG%20is%20odorless%2C%20non-toxic%2C%20non-corrosive%2C,and%20dissipate%20into%20the%20atmosphere (дата обращения: 03.10.2024).
15. Стаскевич Н.Л., Вигдорчик Д.Я. Справочник по сжиженным углеводородным газам. Л.: Недра, 1986. 543 с.
16. Маршалл В. МЗО Основные опасности химических производств: пер. с англ. М: Мир, 1989. 672 с.
17. Самигуллин Г.Х., Кадочникова Е.Н., Симонова М.А. Обзор крупных аварий на объектах получения и применения сжиженного природного газа // *Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы формирования культуры безопасности жизнедеятельности: приоритеты, проблемы, решения: материалы Всерос. науч.-практ. конф.* СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2018. С. 82–87.
18. Sunrise LNG in Timor-Leste: Dreams, Realities and Challenges a Report by La'o Hamutuk Timor-Leste Institute for Reconstruction Monitoring and Analysis February 2008 // Academia.edu. URL: https://www.academia.edu/71783544/With_assistance_from_Tibor_van_Staveren_and_Viriato_S_eac (дата обращения: 19.05.2024).
19. The risk of domino effect associated with the storage of liquefied petroleum gas (LPG) and the safety codes for accident prevention // Academia.edu. URL: <https://www.academia.edu/> (дата обращения: 19.05.2024).
20. Анализ риска аварий при обосновании безопасных расстояний от магистральных трубопроводов сжиженного углеводородного газа до объектов с присутствием людей: дис. ... канд. техн. наук. М., 2013. 121 с.
21. Архипова Н.В. Аналитический обзор аварий с пожарами и взрывами на объектах с обращением сжиженного природного газа // *Вестник науки*. 2023. Т. 4. № 6 (63). С. 1041–1047.
22. Шишкина Н.А. Сценарии развития аварийных ситуаций на мобильной установке подготовки нефти и газа // *Молодой ученый*. 2023. № 24 (471). С. 69–73.

References

1. Golubeva I.A., Meshcherin I.V., Dubrovina E.P. Proizvodstvo szhizhennogo prirodnogo gaza: vchera, segodnya, zavtra // *Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanyh kompanij*. 2016. № 6. S. 4–13.
2. Tkachenko E.S. Proizvodstvo szhizhennogo prirodnogo gaza: vchera, segodnya, zavtra // *Aktual'nye problemy razvitiya neftegazovogo kompleksa Rossii: sb. tezisov*. М.: Ros. gos. un-t nefti i gaza (nac. issled. un-t) im. I.M. Gubkina, 2018. S. 307.
3. Sovershenstvovanie normativnogo pravovogo regulirovaniya pozharnoj bezopasnosti dlya ob"ektov neftegazovoj promyshlennosti / Т.Р. Sysoeva [i dr.] // *Sovremennye pozharobezopasnye materialy i tekhnologii: sb. materialov VI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Ivanovo: Ivanovskaya pozh.-spas. akad. GPS MCHS Rossii*, 2023. S. 430–434.

4. Pozharovzryvo-predotvrashchenie krupnyh avariij na ob"ektah SPG i SUG. Tekhnologicheskie podhody // Sistemy bezopasnosti. URL: <http://lib.secuteck.ru/articles2/firesec/pozharovzryvo-predotvrashchenie-krupnyh-avariy-na-obektah-spg-i-sug-tehnologicheskie-podhody> (data obrashcheniya: 19.05.2024).
5. Il'ina E.V. Osnovnye problemy malotonnazhnogo proizvodstva SPG v Rossii i puti ih resheniya // Forum molodyh uchenyh. 2018. № 12-2 (28). S. 760–766.
6. Spravochnye materialy. Karta rossijskoj SPG otrasli 2024 // Ekonomicheskaya laboratoriya AleksandrA Kliment'evA. URL: <https://ak-lab.rf/lngmap> (data obrashcheniya: 19.05.2024).
7. Mansurova A.M. Obespechenie bezopasnosti pri proizvodstve szhizhennogo prirodnogo gaza // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2019. № 1. S. 26–30. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-1-26-30.
8. STO Gazprom 2-2.3-569–2011: metod. rukovodstvo po raschetu i analizu riskov pri ekspluatatsii ob"ektov proizvodstva, hraneniya i morskoy transportirovki szhizhennogo i szhatogo prirodnogo gaza (utv. i vveden v dejstvie OAO «Gazprom» 26 maya 2011 g.). M.: Gazprom ekspozitsiya, 2012.
9. Hejvens Dzh. Ocenka potencial'nyh ugroz obshchestvennym interesam v svyazi s planiruемым razmeshcheniem importnogo terminala v portu Long-Bich: doklad / Kalifornijskaya komissiya po obshchestvennym delam. Kaliforniya, 2005.
10. Shevchuk E.V. Hranenie szhizhennogo prirodnogo gaza i problemy obespecheniya promyshlennoj bezopasnosti // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2016. № 11-4 (53). S. 141–143. DOI: 10.18454/IRJ.2016.53.156.
11. Kolesnikov D.A. Metodika monitoringa pozharovzryvobezopasnosti linejnoj chasti magistral'nyh gazoprovodov: dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2020. 169 s.
12. Metodika opredeleniya raschetnyh velichin pozharnogo riska na proizvodstvennyh ob"ektah // Pozharovzryvobezopasnost'. 2009. T. 18. № 8. S. 6–32.
13. LNG Safety and Security // Bureau of Economic Geology. URL: https://www.beg.utexas.edu/files/cee/legacy/LNG_Safety_and_Security_Update_2012.pdf#:~:text=LN%20is%20odorless%2C%20non-toxic%2C%20non-corrosive%2C,and%20dissipate%20into%20the%20atmosphere (data obrashcheniya: 03.10.2024).
14. Risk Assessment of Surface Transport of Liquid Natural Gas // Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration. URL: https://www.beg.utexas.edu/files/cee/legacy/LNG_Safety_and_Security_Update_2012.pdf#:~:text=LN%20is%20odorless%2C%20non-toxic%2C%20non-corrosive%2C,and%20dissipate%20into%20the%20atmosphere (data obrashcheniya: 03.10.2024).
15. Staskevich N.L., Vigdorichik D.Ya. Spravochnik po szhizhennym uglevodorodnym gazam. L.: Nedra, 1986. 543 s.
16. Marshall V. MZO Osnovnye opasnosti himicheskikh proizvodstv: per. s angl. M: Mir, 1989. 672 s.
17. Samigullin G.H., Kadochnikova E.N., Simonova M.A. Obzor krupnyh avariij na ob"ektah polucheniya i primeneniya szhizhennogo prirodnogo gaza // Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problemy, perspektivy formirovanie kul'tury bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: priority, problemy, resheniya: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2018. S. 82–87.
18. Sunrise LNG in Timor-Leste: Dreams, Realities and Challenges a Report by La'o Hamutuk Timor-Leste Institute for Reconstruction Monitoring and Analysis February 2008 // Academia.edu. URL: https://www.academia.edu/71783544/With_assistance_from_Tibor_van_Staveren_and_Viriato_S (data obrashcheniya: 19.05.2024).
19. The risk of domino effect associated with the storage of liquefied petroleum gas (LPG) and the safety codes for accident prevention // Academia.edu. URL: <https://www.academia.edu/> (data obrashcheniya: 19.05.2024).

20. Analiz riska аварij pri obosnovanii bezopasnyh rasstoyanij ot magistral'nyh truboprovodov szhizhennogo uglevodorodnogo gaza do ob"ektov s prisutstviem lyudej: dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 2013. 121 s.

21. Arhipova N.V. Analiticheskiy obzor аварij s požarami i vzryvami na ob"ektah s obrashcheniem szhizhennogo prirodno gaza // Vestnik nauki. 2023. T. 4. № 6 (63). S. 1041–1047.

22. Shishkina N.A. Scenarii razvitiya аварийных ситуаций на mobil'noj ustanovke podgotovki nefi i gaza // Molodoj uchenyj. 2023. № 24 (471). S. 69–73.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 03.10.2024; одобрена после рецензирования: 10.10.2024; принята к публикации: 28.10.2024

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 03.10.2024; approved after review: 10.10.2024; accepted for publication: 28.10.2024

Сведения об авторах:

Самигуллин Гафур Халафович, профессор кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: samigullin.g@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5688-8921>, SPIN-код: 8830-4253

Евлоев Зелимхан Бекханович, адъюнкт факультета подготовки кадров высшей квалификации Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: euloeff.zel@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6179-0999>, SPIN-код: 5043-1137

Шарапов Сергей Владимирович, директор Санкт-Петербургского пожарно-технического колледжа (193315, Санкт-Петербург, пр. Большевиков, д. 52, к. 1, лит. К), доктор технических наук, профессор, e-mail: shcsv@mail.ru, SPIN-код: 7386-9524

Information about the authors:

Samigullin Gafur Kh., professor of the department of physico-chemical foundations of gorenje and extinguishing processes of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: samigullin.g@igps.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5688-8921>, SPIN: 8830-4253

Evloev Zelimkhan B., associate professor of the faculty of advanced training of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: euloeff.zel@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6179-0999>, SPIN: 5043-1137

Sharapov Sergey V., director of the Saint-Petersburg fire technical college (193315, Saint-Petersburg, Bolshevikov ave., 52, room 1, lit. K), doctor of technical sciences, professor, e-mail: shcsv@mail.ru, SPIN: 7386-9524