

А.П. ЧУГУЕВ, вед. науч. сотр., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.; А.В. МОРДВИНОВА, нач. сектора, канд. техн. наук; А.Н. СЫЧЕВ, науч. сотр., магистр техн. наук; М.В. ФЕДОРИНОВ, ст. науч. сотр. (ФГБУ ВНИИПО МЧС России)

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТАХ СО СЖИЖЕННЫМИ ГОРЮЧИМИ ГАЗАМИ

Расширение производств сжиженных горючих газов и в значительном объеме сжиженного природного газа, направленное на обеспечение энергобезопасности страны, требует повышения уровня обеспечения пожарной безопасности производства и использования сжиженных горючих газов. В этой связи в целях совершенствования пожарной безопасности в работе проведен анализ данных новых научных исследований, отечественных и зарубежных стандартов по обеспечению безопасности при обращении с сжиженными горючими газами, способных содействовать решению задач предотвращения и ликвидации аварий с пожарами сжиженных горючих газов.

Ключевые слова: жидкий водород (H_2), сжиженный природный газ (СПГ), сжиженный углеводородный газ (СУГ), пожарная безопасность, тушение, порошковое средство тушения, жидкий азот, автомобиль газового тушения, водяная завеса

Обеспечение и совершенствование пожарной безопасности технологических объектов с горючими газами, такими как жидкий водород (H_2), сжиженный природный газ (СПГ), сжиженный углеводородный газ (СУГ) обусловлено выполнением положений современных российских нормативных документов и учетом зарубежных стандартов, не противоречащих отечественным требованиям, регламентирующих вопросы применения наиболее эффективных методов и средств предотвращения и ликвидации аварийных ситуаций с пожарами на объектах с обращением сжиженных горючих газов. Кроме того, для совершенствования пожарной безопасности таких объектов актуальным является изучение и применение на практике результатов современных научных исследований, способствующих повышению уровня обеспечения пожарной безопасности.

В рамках этих задач в России были разработаны и введены в действие такие нормативные документы, как своды правил [1–3]. Особое внимание указанных документов обращено на выполнение требований по обеспечению пожарной безопасности объектов с обращением сжиженных горючих газов.

Анализируя зарубежные стандарты и руководящие документы [4–13], в которых отражены вопросы комплексного обеспечения безопасности объектов с использованием СПГ, СУГ и H_2 , следует отметить, что различными документами [4–8] устанавливаются требования пожарной безопасности к объектам с наличием сжиженных газов, а стандартами [4, 5, 12] рекомендуется для целей пожаротушения применение порошковых средств тушения. В этой связи этими стандартами регламентируется использование первичных средств пожаротушения – переносных и передвижных порошковых огнетушителей. Переносные порошковые огнетушители заполняются реагентом на основе гидрокарбоната калия или натрия в количестве 9 кг. Такие огнетушители должны обеспечивать

скорость выпуска состава 0,45 кг/с. Передвижные порошковые огнетушители заправляют реагентом в количестве ~57 кг и они должны иметь скорость выпуска состава 0,9 кг/с.

Следует также отметить, что в работе [14] более подробно проанализирован зарубежный опыт применения систем порошкового пожаротушения для оборудования с горючими газами.

Кроме порошковых систем в упомянутых зарубежных нормативных документах [8, 12] для уменьшения последствий аварий применяются меры по снижению масштабов пролива сжиженного газа путем ограничения его поступления в атмосферу, как с помощью штатных запорных устройств и пенных огнетушащих средств, снижающих скорость испарения СПГ при проливе, так и с использованием воды на охлаждение оборудования при пожаре. Локальное тушение горящего газа на открытом воздухе рекомендуется осуществлять в том случае, когда возникающий очаг пожара невозможно ликвидировать перекрытием арматуры, и утечка газа после тушения не приведет к большей опасности, связанной с загазованностью и последующим возможным взрывом.

Данные по использованию порошковых составов для тушения СУГ представлены в отечественных исследованиях [15]. Тушение СУГ на площадях горения $4 \div 30 \text{ м}^2$ при расходе порошка ПСБ (на основе бикарбоната натрия) до 4 кг/с достигалось за 15–20 с. В частности, эффективное тушение пожара СУГ на площади 18 м^2 достигалось при интенсивности подачи порошка $0,22 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$ и общем расходе – 80 кг.

Для тушения пожаров СУГ отечественные документы [16] рекомендуют специальные пожарные автомобили АП-3 (130), способные обеспечить подачу порошка ПСБ ручным стволом с расходом до 1,2 кг/с, при использовании лафетного ствола расход порошка следует увеличить до 20 кг/с. При этом полезный объем порошковой установки, вмещающей примерно 3 т порошка ПСБ, составляет $3,5 \text{ м}^3$.

Анализ литературных данных по тушению горючих сжиженных газов показал ограниченность информации о возможном использовании для тушения сжиженных горючих газов жидкого азота. В то же время исследования, проведенные в ФГБУ ВНИИПО МЧС России [17], показали высокую огнетушащую эффективность жидкого азота при тушении различных очагов горения сжиженных газов.

Исследования, изложенные в работе [17] показали, что минимальная норма подачи азота для тушения СПГ оказалась в 1,5 раза меньше чем для пропана и составила $2,2\text{--}2,4 \text{ кг/м}^2$. Это различие, по мнению исследователей, зависит от физических свойств газов, в первую очередь от разности температур кипения сжиженных газов и жидкого азота. Более мощный тепловой поток от пропана за счет значительной разности температур кипения приводит к интенсификации процесса испарения азота и увеличению его расхода на тушение горючей жидкости.

В рамках этих исследований были проведены опыты по тушению СПГ твердой (хлопьевидной) углекислотой наибольших очагов горения. Оказалось, что расходы углекислоты по сравнению с жидким азотом на тушение аналогичных очагов СПГ были в $2 \div 2,5$ раза больше. Этот результат подтверждает значительный вклад жидкого азота в процесс тушения за счет низкой температуры кипения и охлаждающего эффекта испаряющегося азота и одновременно показал возможность тушения СПГ с использованием диоксида углерода в твердой фазе.

Существенным вкладом в использовании жидкого азота в качестве огнетушащего вещества является созданный в ФГУП «ОКБ Гранат» автомобиль газового тушения АГТ-4000, вмещающий 4000 кг жидкого азота и обеспечивающий его расход от 2 до 30 кг/с. Это открывает широкие возможности для его применения при ликвидации различных аварийных ситуаций с пожарами. Испытание АГТ-4000, проведенные в ФГУП «ОКБ Гранат» и ФГБУ ВНИИПО МЧС России, показали высокую эффективность автомобиля газового тушения при ликвидации опытных пожаров горючих газов и жидкостей, как поверхностным, так и объемным способами тушения [17].

Для тушения газоконденсатных пожаров на газодобывающих скважинах в ФГУП «ОКБ Гранат» (г. Москва) создана передвижная установка для тушения и флегматизации скважин – (изделие «Штурм» [18]), способная обеспечить тушение пожара на скважине с дебитом до 10 млн м³ в сутки.

В качестве основного огнетушащего средства на установке используется жидкий азот (масса заправляемого азота – 4700 кг), расход азота в режиме залпового выброса – 100 кг/с, и дополнительно используется огнетушащий порошок с зарядом 50 кг. Длительность залпового выброса азота составляет 1–5 с.

Для снижения пожаровзрывоопасности проливов СПГ и Н₂ зарубежные нормативные стандарты (документы) рекомендуют использование водяных завес, однако конкретных данных о нормах подачи воды в этих стандартах не приведено.

В этой связи ВНИИПО на межведомственной полигонной базе совместно со смежными организациями провели полевые опыты по влиянию водяных завес на формирование газоздушных облаков, образующих при проливе Н₂ и СН₄, и горение этих смесей при изменении масштабов пролива и интенсивности водяных завес.

Оценивая результаты экспериментов по использованию водяных завес для сжижения опасности проливов сжиженных Н₂ и СПГ важно отметить, что применение струй воды для снижения последствий аварийных проливов, особенно жидкого водорода, приводит к интенсификации процессов смесеобразования, горения и взрыва горючих смесей, образующихся при проливе сжиженных газов. В некоторых случаях применение струй воды и водяных завес может быть оправдано использованием в целях ограничения масштаба загазованности и снижения как суммарного давления взрыва, так и давления в заданном месте пространства методом деления взрывоопасного объема на отдельные части. Использование водяных завес с параметрами интенсивности подачи воды 3,5 кг/с на пог. м длиной 12 м и высотой 8 м, как отмечено в опытах, обеспечивало заметное снижение масштаба загазованности при проливах СПГ и Н₂ с расходами соответственно 2 кг/с и 1,5 кг/с.

В заключение следует отметить, что проведенный анализ зарубежных нормативных документов по средствам тушения загораний сжиженных газов (СПГ, СУГ и Н₂) показал, что наиболее эффективным средством их тушения являются порошковые средства (на основе гидрокарбоната калия или натрия), применение которых допускается в основном для защиты определенного оборудования, и в первую очередь с использованием порошковых огнетушителей, где тушение пожара является принципиально важным и безопасность не может быть обеспечена иными способами. Такие ситуации должны быть обоснованы на этапе проектирования объекта.

Указанные выше стандарты NFPA во избежание последствий взрыва допускают также «контролируемое горение» сжиженных газов до момента устранения источника утечки.

Для тушения локальных загораний паров сжиженных газов в отечественной практике в настоящее время могут быть рекомендованы порошковые составы, газообразный азот и диоксид углерода. Для локализации и ликвидации развившегося пожара могут использоваться передвижные средства пожаротушения, к которым относятся названные выше пожарные автомашины порошкового тушения.

Экспериментальные работы ФГБУ ВНИИПО МЧС России заметно расширили диапазон средств, пригодных для тушения СУГ и СПГ за счет использования для этих целей сжиженного азота. При этом выявлены особенности тушения и определены нормативные расходы жидкого азота при локальном тушении сжиженных горючих газов:

- жидкий азот (экологически безопасный криоинерт) может успешно использоваться для поверхностного тушения пожаров сжиженных горючих газов, снижая при этом опасность возникновения взрыва за счет флегматизации горючих паров азотом;

- нормы расхода криоинерта для тушения пожаров таких сжиженных горючих газов, как СПГ и пропан составляют 3–5 л/м² (2,5–3,5 кг/м²);

- критическая интенсивность подачи жидкого азота при поверхностном тушении названных сжиженных горючих газов составляет 0,3–0,4 кг/м² · с.

В дополнение следует также отметить, что полученные по результатам исследования данные могут содействовать рациональному выбору средств предотвращения и ликвидации аварийных ситуаций с пожарами сжиженных горючих газов, а также выбору направлений исследований по дальнейшему поиску и совершенствованию наиболее эффективных средств по повышению пожарной безопасности объектов с использованием сжиженных горючих газов.

Список литературы

1. СП 240.1311500.2015. Хранилища сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности.
2. СП 162.1330610.2014. Требования безопасности при производстве, хранении, транспортировании и использовании жидкого водорода.
3. СП 326.1311500.2017. Объекты малотоннажного производства и потребления сжиженного природного газа. Требования пожарной безопасности.
4. NFPA 59A (2013). Production, storage, and handling of liquefied natural gas (LNG). 2013.
5. NFPA 59. Utility LP-gas plant code. 2015.
6. NFPA 58. Installations of LP gas systems. 2014.
7. API 2510. Design and construction of LPG installations. 2001.
8. API 2510A. Fire-protection considerations for the design and operation of liquefied petroleum gas (LPG) storage facilities. 1996.
9. API 625. Tank system for refrigerated liquefied gas storage. 2010.
10. BS EN 1473:2007. Installation and equipment for liquefied natural gas – Design of onshore installations.
11. 49 CFR 193 Ch. I. Part 193. Liquefied natural gas facilities: federal safety standards. 2004.
12. NFPA 55. Compressed gases and cryogenic fluids code. 2013.
13. СН-IV Corporation «Рекомендации по безопасности обращения с СПГ».
14. Зарубежный опыт тушения оборудования с горючими газами системами порошкового пожаротушения / С.С. Воевода, Д.М. Гордиенко, Ю.Н. Шебеко, А.Ю. Шебеко, А.Ю. Лагозин, А.В. Мордвинова // Пожарная безопасность. 2015. № 4. С. 130–140.

15. Розв Э.Д. Пожарная защита объектов хранения и переработки сжиженных газов. М.: «Недра», 1980.

16. Повзик Я.С., Ключ П.П., Матвейкин А.М. Пожарная тактика. М.: «Стройиздат», 1990.

17. Газообразные и сжиженные инертные газы – эффективные и экологически безопасные средства пожаротушения / А.П. Чугуев, А.Ю. Лагозин, И.А. Болодьян, А.Н. Сычев // Пожарная безопасность. 2017. № 3. С. 70–75.

18. Самоходная установка для тушения пожаров фонтанов на газовых, нефтяных и газонефтяных скважинах: пат. 2050870 Рос. Федерация №5014106/12; заявл. 16.12.1991; опубл. 27.12.1995. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2050870C1_19951227.pdf (дата обращения: 20.05.2020).

Материал поступил в редакцию 25.03.2020 г.

Чугуев Анатолий Петрович – ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Тел. (495) 524-82-12. E-mail: mr.chuguev@list.ru; **Мордвинова Анна Витальевна** – начальник сектора, кандидат технических наук. Тел. (495) 524-82-03. E-mail: mordvinova_vniipo@mail.ru; **Сычев Александр Николаевич** – научный сотрудник, магистр технических наук. Тел. (495) 521-92-65. E-mail: alexsychev89@mail.ru; **Федоринов Максим Викторович** – старший научный сотрудник. Тел. (495) 521-92-65. E-mail: makson-fed@yandex.ru (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)), г. Балашиха, Московская область, Россия.

A.P. Chuguev, A.V. Mordvinova, A.N. Sychev, M.V. Fedorinov

ANALYTICAL REVIEW OF FIRE SAFETY EQUIPMENT FOR OPERATIONS WITH LIQUEFIED COMBUSTIBLE GASES

The expansion of production of liquefied combustible gases and especially of liquefied natural gas, aimed to ensuring the energy security of the country requires an increase in fire safety level of production and usage of liquefied combustible gases. In order to improve fire safety there is carried out the analysis of recent research findings, as well as national and international standards for liquefied combustible gases application. These findings can contribute prevention and elimination of accidents related with liquefied combustible gas fires.

Keywords: *liquid hydrogen (H₂), liquefied natural gas (LNG), liquefied petroleum gas (LPG), fire safety, extinguishing, powder extinguishing agent, liquid nitrogen, gas extinguishing vehicle, water curtain*

Anatoly P. Chuguev – Leading Researcher, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher. Phone: (495) 524-82-12. E-mail: mr.chuguev@list.ru; **Anna V. Mordvinova** – Chief of Sector, Candidate of Technical Sciences. Phone: (495) 524-82-03. E-mail: mordvinova_vniipo@mail.ru; **Alexander N. Sychev** – Researcher, Master of Technical Sciences. Phone: (495) 521-92-65. E-mail: alexsychev89@mail.ru; **Maksim V. Fedorinov** – Senior Researcher. Phone: (495) 521-92-65. E-mail: makson-fed@yandex.ru.

All-Russian Research Institute for Fire Protection (VNIIPO), Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (EMERCOM of Russia), Balashikha, Moscow region, Russia.