

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ВЗРЫВА ГАЗОВОЗДУШНОГО ОБЛАКА ПРИ ВЫБРОСЕ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА В ОТКРЫТОЕ ПРОСТРАНСТВО

И. А. Тетерин¹, П. С. Копылов², С. Н. Копылов³, П. А. Леончук⁴

Аннотация: Кратко изложен анализ литературных данных по взрывоопасности сжиженного природного газа (СПГ). Недостатком существующей методики определения взрывоопасности СПГ является отсутствие возможности учитывать различный состав СПГ, который может изменяться в пределах основных горючих компонентов: метан, этан, пропан, бутан. На основании ранее экспериментально полученной линейной зависимости изменения давления взрыва от состава основных горючих компонентов СПГ разработана методика определения взрывоопасности СПГ при его аварийном выбросе в открытое пространство. Выполнен расчет давления взрыва для модельных составов различных марок СПГ по предложенной методике. Показано, что марка А может быть отнесена к 4-му классу по степени чувствительности к возбуждению взрывных процессов, а для более обогащенных составов гомологами метана необходимо применять дифференцированную методику или относить к 3-му классу по степени чувствительности к возбуждению взрывных процессов. Методика предполагает дефлаграционное горение: детонационный режим горения требует дополнительных исследований.

Ключевые слова: сжиженный природный газ; алканы; методика; давление взрыва

DOI: 10.30826/CE25180204

EDN: GXHGGP

Литература

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 16 марта 2021 г. № 640-р «Долгосрочная программа развития производства сжиженного природного газа в Российской Федерации». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400381407/>.
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 февраля 2021 г. № 350-р «План мероприятий («Дорожная карта») по развитию рынка малотоннажного сжиженного природного газа и газомоторного топлива в Российской Федерации на период до 2025 года». https://www.consultant.ru/document/cons_doc.LAW_377286/.
3. ГОСТ Р 57431–2017. Газ природный сжиженный. Общие характеристики (ISO 16903:2015 “Petroleum and natural gas industries — Characteristics of LNG, influencing the design, and material selection”). <https://docs.cntd.ru/document/1200144948>.
4. Mokhatab S., Mak J. Y., Valappil J. V., Wood D. A. Handbook of liquefied natural gas. — Oxford: Elsevier Inc., 2014. 589 p.
5. The Yellow book. Methods for the calculation of physical effects due to releases of hazardous materials. — 3rd ed. — Committee for the Prevention of Disasters, 2005. CPR 14E.
6. Jones J. C. The explosion phenomenology of liquefied natural gas // J. Loss Prevent. Proc., 2015. Vol. 38. P. 233.
7. Wang K., Liu Z., Qian X., Li M., Huang P. Comparative study on blast wave propagation of natural gas vapor cloud explosions in open space based on a full-scale experiment and PHAST // Energ. Fuel., 2016. Vol. 30. No. 7. P. 6143–6152.
8. Yang S., Sun W., Fang Q., Yang Ya., Xia C., Bao Qi. Investigation of a practical load model for a natural gas explosion in an unconfined space // J. Safety Science Resilience, 2022. Vol. 3. Iss. 3. P. 209–221.
9. Хуснутдинов Д. З., Мишуев А. В., Казеннов В. В., Комаров А. А., Громов Н. В. Аварийные взрывы газоздушных смесей в атмосфере. — М.: Московский государственный строительный университет, 2014. 80 с.
10. Карпов В. Л. Пожарная опасность аварийных выбросов горючих газов: Автореф. дис. . . . докт. техн. наук. — М.: ВНИИПО МЧС России, 2004. 48 с.
11. Тетерин И. А. Неопределенности расчета параметров взрыва газоздушного облака при аварийном выбросе сжиженного природного газа в открытом пространстве // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация, 2023. № 1. С. 44–50. doi: 10.25257/FE.2023.1.44-50.

¹Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны (ВНИИПО) МЧС России, ivan_teterin3@mail.ru

²Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны (ВНИИПО) МЧС России, pskopylov@mail.ru

³Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны (ВНИИПО) МЧС России, firetest@mail.ru

⁴Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны (ВНИИПО) МЧС России, pa.leonchuk@yandex.ru

12. Пожаробезопасное применение малотоннажных установок хранения и распределения сжиженного природного газа. Рекомендации. — М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2013.
13. Приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах». <https://base.garant.ru/196118/>.
14. Приказ Ростехнадзора от 28 ноября 2022 г. № 412 «Об утверждении руководства по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей». <https://docs.cntd.ru/document/1300506230>.
15. Dorofeev S. B. Blast effect of confined and unconfined explosions // Shock waves / Eds. B. Sturtevant, J. Shepherd, H. Hornung. — Singapore: Scientific Publishing Co., 1996. Vol. 1. P. 77–86.
16. Горев В. А., Мирошников С. Н., Трошин Я. К. Определение параметров сферической дефлаграции // Физика горения и взрыва, 1979. Т. 15. № 2. С. 73–80.
17. Комаров А. А., Грохотов М. А. Определение скорости распространения фронта пламени при аварийных дефлаграционных взрывах // Безопасность труда в промышленности, 2020. № 7. С. 7–13. doi: 10.24000/0409-2961-2020-7-7-13.
18. Chi M. H., Jiang H. Y., Lan X. B., Xu T. L., Jiang Y. Study on overpressure propagation law of vapor cloud explosion under different building layouts // ACS Omega, 2021. Vol. 6. P. 34003–34020.
19. Дорофеев С. Б., Сидоров В. П., Двойнишников А. Е., Кузнецов М. С., Алексеев В. И. Экспериментальные исследования параметров воздушных ударных волн и теплового излучения при детонации переобогащенных пропано-воздушных смесей др. — М.: РНЦ «Курчатовский институт», 1993. 31 с.
20. Dorofeev S. Evaluation of safety distances related to unconfined hydrogen explosions // Int. J. Hydrogen Energ., 2007. Vol. 32. No. 13. P. 2118–2124.
21. Molkov V. V., Makarov D. V., Schneider H. Hydrogen–air deflagrations in open atmosphere: Large eddy simulation analysis of experimental data // Int. J. Hydrogen Energ., 2007. Vol. 32. P. 2198–2205.
22. Гельфанд Б. Е., Сильников М. В. Объемные взрывы. — СПб: Центр научно-информационных технологий «Астерион», 2008. 374 с.
23. Гамера Ю. В., Петрова Ю. Ю. Оценка влияния различных компонентных составов природного газа на характеристики взрывных процессов // Вести газовой науки, 2022. № 2(51). С. 221–228.
24. Тетерин И. А., Копылов П. С., Сулименко В. А., Копылов С. Н. Определение взрывоопасности сжиженного природного газа // Безопасность труда в промышленности, 2023. № 8. С. 70–76. doi: 10.24000/0409-2961-2023-8-70-76.
25. Трошин К. Я., Никитин А. В., Борисов А. А., Арутюнов В. С. Определение задержек самовоспламенения метановоздушных смесей с добавками алканов C₂–C₅ // Горение и взрыв, 2016. Т. 9. № 2. С. 23–30.
26. Тетерин И. А., Копылов П. С., Копылов С. Н., Елтышев И. П., Голов Н. В. Концентрационные пределы распространения пламени сжиженного природного газа // Безопасность труда в промышленности, 2024. № 1. С. 21–27. doi: 10.24000/0409-2961-2024-1-21-27.
27. Абдурагимов И. М., Агафонов В. В., Баратов А. Н., Румянцев В. С. Некоторые оптимальные условия ускорения пламени газовых смесей на несплошных препятствиях в больших объемах // Физика горения и взрыва, 1983. Т. 19. № 4. С. 39–42.
28. Зельдович Я. Б. Избранные труды. Химическая физика и гидродинамика. Теория предела распространения тихого пламени. — М: Наука, 1984. С. 233–246.
29. Горев В. А. Режимы взрывного горения при аварийных взрывах газовых облаков в открытом пространстве // Безопасность труда в промышленности, 2022. № 8. С. 7–12. doi: 10.24000/0409-2961-2022-8-7-12.
30. Тетерин И. А., Сулименко В. А. Влияние загроможденности на избыточное давление взрыва паров сжиженного природного газа // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: Мат-лы VIII Международной научно-практической конф. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2024. С. 314–319.
31. Федорова Е. Б. Комплексное научно-технологическое обоснование производства сжиженного природного газа: Дис. . . . докт. техн. наук. — М., 2019. 360 с.
32. ГОСТ 34894-2022 Межгосударственный стандарт. Газ природный сжиженный. Технические условия. <https://docs.cntd.ru/document/1200193617>.
33. Приказ МЧС РФ от 26.06.2024 № 533 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах». <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202409030008>.
34. Гапонов С. А. О распространении пламени по заранее перемешанной газовой смеси с высокой турбулентностью // Тезисы XV Всероссийского семинара «Динамика многофазных сред» с участием иностранных ученых. — Новосибирск: Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН, 2017. С. 26–28.
35. Якуш С. Е. Гидродинамика и горение газовых и двухфазных выбросов в открытой атмосфере: Дис. . . . докт. физ.-мат. наук. — М., 2000. 337 с.

Поступила в редакцию 08.01.2025

После доработки 20.01.2025

Принята к публикации 04.02.2025