

РАСЧЕТ СЦЕНАРИЯ СГОРАНИЯ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ОТКРЫТОМ ПРОСТРАНСТВЕ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА КРИОГЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ЗАПРАВОЧНОЙ СТАНЦИИ

Клименко Д.А., Адамов А.П.

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Москва, Россия

Аннотация. Использование сжиженного природного газа в качестве моторного топлива на автозаправочных станциях представляется перспективным по ряду следующих причин: по оценкам различных ведомств и коммерческих структур сжиженный природный газ дешевле своего нефтяного аналога, выбросы вредных веществ в атмосферу при работе техники на сжиженном природном газе значительно ниже, и как следствие нанесение ущерба окружающей природной среде, ниже по сравнению с иным моторным топливом (бензины, дизельное топливо), оборудование, предназначенное для обращения с сжиженным природным газом, имеет преимущественно компактное исполнение, что способствует его размещению на действующих или строящихся автозаправочных станциях, оборудование, предназначенное для обращения с сжиженным природным газом, имеет более высокие уровни безопасности. По своим физико-химическим свойствам СПГ является наиболее безопасным топливом. Аварийные ситуации, обусловленные выбросами СПГ, имеют ряд специфических особенностей, которые определяются физико-химическими свойствами газа. В результате аварийных разливов и выбросов СПГ возможно проявление дополнительных опасных факторов в сравнении с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями: быстроразвивающиеся пожар взрывоопасные облака, распространяющиеся на большие расстояния, высокая среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени паровой и (или) жидкостной фазы СПГ, низкие температуры, которые могут привести в определенных случаях к утере прочности и функционального назначения материалов и конструкций емкостей, и оборудования, низкие температуры, которые могут вызвать обморожение человека или его гибель, в результате выброса продукта. Процессы проектирования и строительства станций для заправки автотранспорта сжиженным природным газом связаны с отсутствием проработанной нормативной документации в части требований к размещению указанных объектов относительно окружающих зданий, сооружений и т.д., а также отсутствием опыта широкого применения СПГ. В связи с изложенным вопросы прогнозирования последствий чрезвычайных ситуаций на криогенной заправочной станции имеют важное значение.

Ключевые слова: метан, СПГ, природный газ, альтернативный вид топлива, экология.

CALCULATION OF THE GAS-AIR MIXTURE COMBUSTION SCENARIO IN AN OPEN SPACE AT EMERGENCY SITUATION AT A CRYOGEN CAR FILLING STATION

Klimenko D. A., Adamov A.P.

Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

Moscow, Russia

Annotation. The use of liquefied natural gas as a motor fuel at gas stations seems promising for several of the following reasons: according to various departments and commercial structures, liquefied natural gas is cheaper than its oil counterpart, the emission of harmful substances into the atmosphere when using liquefied natural gas equipment is much lower, and how consequence of damage to the environment, lower than other motor fuels (gasolines, diesel), equipment designed for tions with the liquefied natural gas is advantageously compact design that facilitates its placement at the operating or under construction refueling equipment for handling liquified natural gas, has higher safety levels. By its physical and chemical properties, LNG is the safest fuel. Emergencies caused by LNG emissions have a number of specific features, which are determined by the physicochemical properties of the gas. As a result of accidental spills and LNG emissions, additional hazardous factors can occur in comparison with flammable and combustible liquids: rapidly developing fire, explosive clouds spreading over long distances, high average surface density of thermal radiation of a flame of a vapor and (or) liquid LNG phase, low temperatures that may lead in certain cases to the loss of strength and functional purpose of materials and structures of containers and equipment, low temperatures, which can cause human frostbite or death as a result of product emissions. The processes of designing and constructing stations for refueling vehicles with liquefied natural gas are associated with the lack of elaborated regulatory documentation regarding the requirements for the location of these facilities relative to surrounding buildings, structures, etc., as well as the lack of experience in the widespread use of LNG. In connection with the foregoing, the issues of forecasting the consequences of emergencies at a cryogenic gas station are important.

Key words: methane, LNG, natural gas, alternative fuels, ecology.

Введение

КриоАЗС относится к опасным производственным объектам, обладает повышенной опасностью, так как на сравнительно небольших площадях концентрируется большое количество легковоспламеняющихся и горючих жидкостей/газов. В результате анализа физико-химических свойств веществ, обращающихся на объекте, условий ведения производственных операций и изучения опыта аварий на других предприятиях установлено, что основную опасность на КриоАЗС представляют ЧС, которые могут сопровождаться пожарами и (или) взрывам [1]. Указанные опасности могут проявляться совместно, т.е. утечка сжиженного природного газа может сопровождаться пожаром, а пожар, в свою очередь, приводит к взрыву и разрушению оборудования. Если в зоне действия опасных факторов находятся люди, то возможно их поражение [2]. При нарушении герметичности резервуара с СПГ создается опасность образования взрывоопасных концентраций ГВС, что при наличии источника инициирования взрыва может обусловить взрыв ГВС в резервуарном парке и создать условия для дальнейшего развития аварии на КриоАЗС. Рассмотрим наиболее опасный сценарий – сценарий сгорания ГВС [3].

Основная часть

Избыточное давление взрыва при сгорании взрывоопасной газовой смеси, рассчитывается с использованием методики, приведенной в ГОСТ Р 12.3.047-2012.

Избыточное давление, развиваемое при сгорании газовой смеси в открытом пространстве

$$\Delta P = P_o \left(\frac{0,8m_{np}^{0,33}}{r} + \frac{3m_{np}^{0,66}}{r^2} + \frac{5m_{np}}{r^3} \right), \quad (1)$$

где P_o - атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа); m_{np} - приведенная масса газа, кг; r - расстояние от геометрического центра газовой смеси облака, м.

Определение приведённой массы СПГ

$$m_{np} = \left(\frac{Q_{сг}}{Q_o} \right) \cdot m_z Z, \quad (2)$$

$$m_{np} = \left(\frac{Q_{сг}}{Q_o} \right) \cdot (\alpha \rho_{сг} V_{PE3}) \cdot Z,$$

$$m_{np} = \left(\frac{4,85 \cdot 10^7}{4,52 \cdot 10^6} \right) \cdot (0,95 \cdot 415 \cdot 36) \cdot 0,1 = 15229,21 \text{ кг}$$

где $Q_{сг}$ - удельная теплота сгорания СПГ, Дж/кг; Z - коэффициент участия, который

допускается принимать равным 0,1; Q0 - константа равная 4,52-106 Дж/кг; mг - масса горючих СПГ поступившего в результате аварии в окружающее пространство, кг; α - степень заполнения емкости по объему(95%); рспг - плотность СПГ, кг/м3 ; VPEЗ - объем резервуара (3х12), м3 .

Определение импульса волны давления

$$i = 123m_{np}^{0,66} / r, \tag{3}$$

где mпр - приведенная масса газа, кг; r - расстояние от геометрического центра газовоздушного облака, м.

Результаты расчета приведены в таблице 1 и рисунках 1 и 2.

Табл. 1. Значение импульса волны давления на различных расстояниях от резервуара

r, м	50	100	150	200	400	450	500	650	700	750	950	1000	1050	1100
mг, кг	14193	14193	14193	14193	14193	14193	14193	14193	14193	14193	14193	14193	14193	14193
mпр, кг	15229,21	15229,21	15229,21	15229,21	15229,21	15229,21	15229,21	15229,21	15229,21	15229,21	15229,21	15229,21	15229,21	15229,21
I, кПа·сек	1417,43	708,72	472,48	354,36	177,18	157,49	141,74	109,03	101,25	94,5	74,6	70,87	67,5	64,43
ΔP, кПа	170,15	44,54	22,97	15,02	6,06	5,26	4,64	3,43	3,15	2,91	2,24	2,12	2,01	1,91

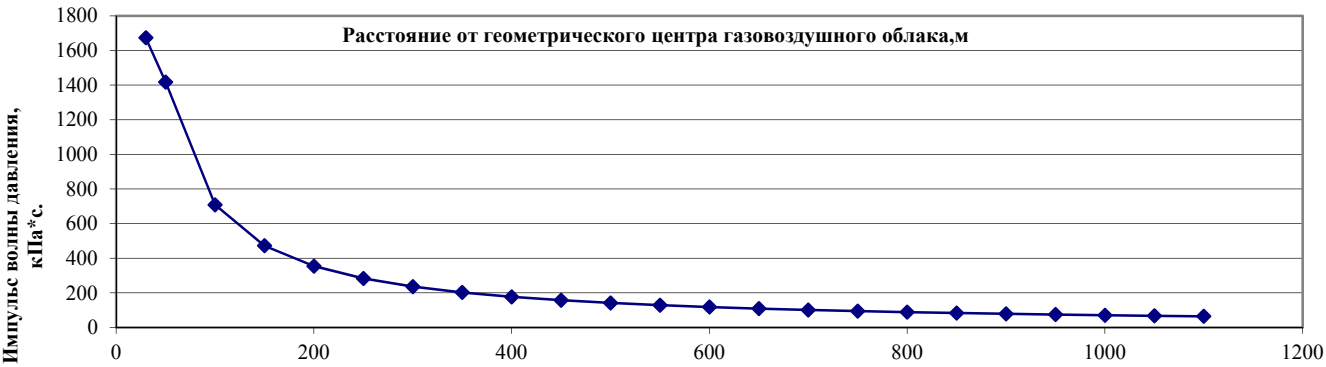


Рис. 1. Импульс волны давления при сгорании газовоздушной смеси на открытом пространстве, кПа·с.



Рис. 2. Избыточное давление, развиваемое при сгорании газовоздушной смеси на открытом пространстве, кПа

Возможная обстановка при воздействии волны избыточного давления взрыва

При чрезвычайной ситуации, связанной с процессом сгорания газовой смеси в открытом пространстве опасность будут представлять:

волна давления при сгорании ГВС в открытом пространстве (последствия воздействия избыточного давления представлены в таблице 2);

осколки, образующиеся в процессе разрушения резервуара и другого технологического оборудования.

Избыточное давление принимает опасное значение в течении нескольких секунд. В таких условиях эвакуация обслуживающего персонала не возможна [4].

Размеры зон поражения

Табл. 2. Последствия воздействия избыточного давления

Степень поражения	Избыточное давление, кПа	Расстояние от разрушающегося резервуара, м
Полное разрушение зданий	128-54	1-89
50% разрушение зданий	53-29	90-129
Среднее повреждение зданий	28-13	130-222
Умеренное повреждение зданий (повреждение внутренних перегородок, рам, дверей и т.п.)	12-6	223-403
Нижний порог повреждений человека давлением	5-4	404-568
Малые повреждения (разбита часть остекления)	3	569-732

Заключение

Исходя из полученных при расчетах характеристик зон возможного поражения, следует, что персонал, водители транспортных средств, жители прилегающих зданий получат следующие поражения в зависимости от удаления места аварии:

- несмотря на соблюдение нормативов в случае надземного размещения резервуара при сгорании ГВС наблюдается нижний порог повреждения человека давлением, на расстоянии более 500 метров [5].

Для снижения риска возникновения ЧС на КриоАЗС, вызванных авариями с взрывом ТВС, предусматриваются следующие мероприятия:

- усиление контроля качества при сборке
- усиление контроля качества при сборке резервуаров;
- регулярная проверка знаний обслуживающего персонала;
- возведение защитных ограждений;
- усиление охраны территории.

Для снижения тяжести ущерба от ЧС, вызванных авариями с взрывом ТВС, предусматриваются следующие мероприятия:

-наличие у ремонтных и аварийных бригад, а также в каждом автомобиле аптечек для оказания первой помощи при травмах, вызванных барическим и термическим поражениями, а также поражениями осколками стекол.

- наличие в каждом автомобиле средств первичного пожаротушения (огнетушители);

- немедленная эвакуация персонала ремонтных бригад, а также людей и автотранспорта в безопасное место, в связи с опасной пожарной обстановкой вблизи ЧС, вызванной взрывом ГВС.

Список литературы

1. Кобулашвили Ш.Н. (ред.) Холодильная техника. Энциклопедический справочник. Том 2. Применение холода в промышленности и на транспорте – М.: Госторгиздат, 1961.
2. «Расширение использования природного газа в качестве моторного топлива» (подготовлен Минтрансом России 18.04.2017) // ООО «НПП «ГАРАНТ-СЕРВИС» URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/56608756/#review> (дата обращения: 15.12.2018).
3. Голубенко Н. В. Об использовании природного газа в качестве моторного топлива в целях экологизации автотранспорта // Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2015): сборник статей VII Международной научно-технической конференции / редкол.: Е.В. Агеев (отв. ред.) [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2015. С. 32-34.
4. Григорьев В.А., Зорин В.М. (ред.) Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. Справочник / Под общ. ред. чл.-корр. АН СССР В. А. Григорьева, В. М. Зорина. — 2-е изд., перераб. — М.: Энергоатомиздат, 1988.
5. N 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"