

В.Н. Сырых, доцент Национального университета гражданской защиты Украины, кандидат технических наук, доцент,

А.В. Васильченко, доцент Национального университета гражданской защиты Украины, кандидат технических наук, доцент

АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ ПРИ ВЗРЫВЕ МЕТАНОВОГО БАЛЛОНА

Рассмотрены особенности взрыва 50- и 80-литровых метановых баллонов при различных эксплуатационных температурах. Рассчитаны параметры взрывов метано-воздушной смеси: радиус огневого шара, скорость его распространения, количество выделившейся тепловой энергии. Проанализирована пожарная опасность при повреждении метановых баллонов автотранспортных средств.

Ключевые слова: метан, баллон, метано-воздушная смесь, взрыв.

В Украине в последнее время наблюдается значительный рост использования метановых газовых баллонов для газотопливных систем транспортных средств. Метан используется как альтернативное топливо для автомобилей благодаря дешевизне и стабильным показателям качества. Хранится он в сжатом виде в баллонах металлических, металло-пластиковых или композитных объемом от 25 л до 80 л.

При интенсивной и длительной эксплуатации баллоны могут повреждаться в результате коррозии и механических воздействий, а также из-за ослабления контроля их состояния при эксплуатации. Это может быть причиной взрыва баллонов и возникновения пожара.

Опыт эксплуатации газовых баллонов со сжатым метаном на автомобильном транспорте показывает, что наиболее опасная операция – заправка газовых баллонов на газозаправочном узле [1]. Именно в этот момент зафиксированы взрывы метано-воздушной смеси с последующим

повреждением пожаром оборудования и строительных конструкций, как показано на рис. 1.

В связи с тем, что состояние баллонов не всегда можно надежно определить, актуальной проблемой становится оценка опасности при взрыве метанового баллона газотопливной системы транспортного средства в аспекте возникновения ударной волны и создания условий для возникновения пожара.

Прогнозированию и исследованию последствий аварийных взрывов, которые случаются при возгорании газозвушных смесей на производствах, посвящена работа [2]. При этом в качестве основных показателей последствий аварийных взрывов рассматриваются ожидаемый характер и объем разрушения строительных конструкций и зданий (сооружений).

В работе [1] рассмотрены особенности эксплуатации метановых баллонов на автотранспорте и основные требования к их безопасному применению.



Рис. 1. Повреждения в результате взрыва метано-воздушной смеси автотранспортных средств и строительных конструкций на многотопливном автозаправочном комплексе

Для определения требований по обеспечению безопасности при возможных взрывах баллонов со сжатым метаном, установленных на автомобилях, необходимо уточнить ожидаемый масштаб повреждений сооружений и оборудования.

Задачами данной работы являются анализ опасности возникновения ударной волны и возможности возгорания веществ и строительных материалов при взрыве метанового баллона газотопливной системы транспортного средства.

Взрыв баллона, в котором под давлением находится метан, относится к комбинированным взрывам. Эти взрывы сопровождаются выделением энергии в результате последовательного протекания физического и химического взрывов, работа которых полностью или частично суммируется. При этом физические процессы разрушения корпуса баллона и выделения энергии сопровождают выброс в окружающее пространство газа с образованием метано-воздушного облака (огневого шара), которое быстро сгорает. Температура в зонах возникновения данных явлений превышает температуру воспламенения почти всех горючих веществ.

Образование и быстрое горение метано-воздушного облака свойственно для дефлаграционного процесса, который характеризуется низкой генерацией волны давления. При скоростях распространения пламени менее 45 м/с ударные волны вообще не возникают [2].

Для выявления пожарной опасности горения метано-воздушного облака нужно сравнить такие параметры как количество выделившейся энергии, радиус распространения облака и радиус огневого шара с показателями пожарной опасности веществ и материалов, составляющих пожарную нагрузку автотранспортных средств и окружающих строительных конструкций.

Для расчета параметров горения метано-воздушного облака использовались методы из работ [2, 3, 4]. Определив количество метана (m_2), вышедшего наружу при разрушении баллона, по формуле:

$$m_2 = V_2 \cdot \rho_2, \quad (1)$$

где V_2 – объем газа метана, поступившего в окружающую среду при разрушении баллона при известной температуре окружающей среды, можно

рассчитать массовый нижний концентрационный предел распространения пламени метана (φ'_n), кг/м³:

$$\varphi'_n = \varphi_n \frac{M}{100 \cdot V_t}, \quad (2)$$

где φ_n – объемный нижний концентрационный предел распространения пламени по метано-воздушной смеси, $\varphi_n = 5,28$ %, M – молярная масса метана $M = 16,04$ кг/кмоль; V_t – объем, который занимает моль газа метана при температуре t , °С.

Количество энергии, выделившейся при сгорании метана вследствие разрушения баллона ($Q_{сум}$, МДж) равно:

$$Q_{сум} = m_2 \cdot Q_n, \quad (3)$$

где Q_n – массовая низшая теплота сгорания метана, МДж/кг.

Радиус зоны, образовавшейся при утечке метана из разрушенного баллона ($R_{зак}$, м) равен:

$$R_{зак} = 14,56 \left(\frac{m_2}{\rho_2 \cdot \varphi_n} \right)^{0,33}, \quad (4)$$

где ρ_2 – плотность газа метана при температуре t °С, кг/м³).

Радиус огневого шара ($R_{ок}$), м:

$$R_{ок} = 2,66 \cdot m_2^{0,327}. \quad (5)$$

В табл. 1 приведены результаты расчета параметров дефлаграционного взрыва при разрушении баллонов со сжатым метаном объемом 50 л и 80 л при различных температурах. Рабочее давление метана в сосуде 200 кгс/см².

По данным [5] газ метан имеет следующие характеристики: максимальная температура пламени при сгорании метана 1957 °С; нормальная скорость распространения пламени по метано-воздушной смеси 0,34 м/с;

температура самовоспламенения 537 °С; максимальное давление взрыва 706 кПа; максимальная скорость нарастания давления 18 МПа/с; теплота сгорания 49,8 МДж/кг, минимальная энергия зажигания 0,28 мДж.

Результаты расчета параметров поражения огневым шаром, который образуется при сгорании метано-воздушной смеси, показывают следующее. Огневой шар радиусом 5,32...6,80 м с температурой до 1957 °С (максимальная температура сгорания метана) в течение 1,75...2,20 с образуется и непосредственно контактирует со строительными конструкциями и оборудованием (скорость распространения $v \approx 3$ м/с).

Таблица 1. Параметры дефлаграционного взрыва при разрушении 50- и 80-литровых баллонов со сжатым метаном при различных эксплуатационных температурах

№	Наименование	Баллон 50 л			Баллон 80 л		
		20 °С	0 °С	-20 °С	20 °С	0 °С	-20 °С
1	Количество энергии ($Q_{сум}$), выделившейся при сгорании метана, МДж	415	463	543	664	741	879
2	Радиус зоны ($R_{газ}$), образовавшейся при утечке метана, м	19,35	19,59	20,22	22,60	22,89	23,62
3	Радиус огневого шара ($R_{ок}$), м	5,32	5,515	5,81	6,21	6,43	6,80
4	Время существования огневого шара ($\tau_{ок}$), с	1,75	1,81	1,9	2,02	2,09	2,20

В табл. 2 приводятся показатели пожарной опасности некоторых веществ и материалов, составляющих пожарную нагрузку автотранспортных средств и строительных конструкций.

Сравнивая показатели пожарной опасности газа метана и составляющих пожарной нагрузки транспортных средств и строительных конструкций можно констатировать, что тепловой энергии, которая выделяется при сгорании метано-воздушной смеси достаточно для возгорания веществ и строительных материалов, которые на момент взрыва находились на данном транспортном средстве.

При разрушении стального баллона образуются искры. Температура искр металлов находится в пределах температуры их плавления (около 1500 °С).

Таким образом, искры могут стать источником воспламенения метано-воздушного облака.

Таблица 2. Показатели пожарной опасности веществ и материалов, составляющих пожарную нагрузку автотранспортных средств и строительных конструкций

№	Материал	Температура воспламенения, °С	Температура самовоспламенения, °С	Минимальная энергия воспламенения, E_{min} , мДж
1	Лакокрасочные покрытия	250	400	–
2	Стеклопластик	250	480	–
3	Каучук синтетический (шины)	220	400	50
4	Пенополиуретан	440	480	20
5	Полиэтилен в изделиях	310	420	6-30
6	Масла	150	350	–

Из изложенного выше можно сделать вывод: при разрушении стального баллона со сжатым метаном образуется метано-воздушное облако радиусом до 23,6 м и искры, вызывающие дефлаграционный взрыв с возникновением огневого шара радиусом до 6,8 м. В связи с относительно небольшой скоростью распространения огневого шара (до 3 м/с) ударная волна не возникает, но тепловой энергии, которая выделяется при сгорании метано-воздушной смеси достаточно для возгорания веществ и строительных материалов, которые на момент взрыва находятся в зоне ее влияния.

Выявленные особенности динамики взрыва баллонов со сжатым метаном должны учитываться в системе обеспечения пожарной и техногенной безопасности объектов, на которых они эксплуатируются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Газобаллонные автомобили: Справочник / А. И. Морев, В. И. Ерохов, Б.А. Бекетов и др. – М.: Транспорт, 1992. – 175 с.
2. Таубкин С.И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы / С.И. Таубкин. – М.: Типография ВНИИПО МВД России, 1999. – 600 с.

3. Тарахно О.В. Теоретичні основи пожежовибухонебезпеки: Підручник / О.В. Тарахно. – Харків: АЦЗУ, 2006. – 395 с.

4. Тарахно О.В. Проблемні питання дослідження вибухів газоповітряних сумішей при проведенні пожежно-технічних експертиз / О.В. Тарахно, В.М. Сирих, Р.В. Тарахно // Проблемы пожарной безопасности. – Х.: УГЗУ, 2009.– Вып. 25. – С. 175-180.

5. Баратов А.Н. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения: Справ. Изд.: в 2 книгах / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. – М., Химия, 1990. кн. 1. – 496 с. кн. 2. – 384 с.

АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕКИ ПРИ ВИБУХУ МЕТАНОВОГО БАЛОНА

В.М. Сирих, О.В. Васильченко

Розглянуто особливості вибуху 50- і 80-літрових метанових балонів при різних експлуатаційних температурах. Розраховано параметри вибухів метано-повітряної суміші: радіус вогняної кулі, швидкість її поширення, кількість теплової енергії, що виділилася. Проаналізовано пожежна небезпека при пошкодженні метанових балонів автотранспортних засобів.

Ключові слова: метан, балон, метано-повітряна суміш, вибух.

ANALYZE OF DANGER AT EXPLOSION OF THE METHANE CYLINDER

V.N. Syryh, A.V. Vasilchenko

The features of explosion of the 50- and 80-litre cylinders of methane at different operational temperatures was considered. Parameters of explosions of methane-air mixture such as: the radius of fire ball, its speed, the amount of released thermal energy was calculated. Fire hazard if damaged methane cylinders of motor vehicles was analyzed.

Keywords: methane, gas cylinder, methane-air mixture, explosion.