

УДК 629.039.58

АНАЛИЗ ВЕЛИЧИНЫ РАДИУСА ЗОНЫ РАЗРУШЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВА БАЛЛОНОВ

Николай Викторович Бучилин

кандидат технических наук, доцент

isk119@yandex.ru

Иван Павлович Криволапов

кандидат технических наук, доцент

ivan0068@bk.ru

Сергей Юрьевич Щербаков

кандидат технических наук, доцент

Scherbakov78@yandex.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. На сегодняшний день актуальной остаётся проблема безопасной эксплуатации газобаллонного оборудования, используемого на производствах и в сельском хозяйстве. В работе рассматриваются методы расчёта радиуса зоны разрушения при взрыве сосудов с пропаном, находящихся под избыточным давлением. Радиус взрыва определяется энергетическим потенциалом сосуда, а также классом зоны разрушения. Получаемые расчётные значения радиуса взрыва позволяют оценить вероятный ущерб, наносимый в результате разрыва сосуда.

Ключевые слова: газобаллонное оборудование, взрыв баллонов, разрушение баллонов, безопасная эксплуатация баллонов.

Газобаллонное оборудование с закачанным под высоким давлением газом является крайне взрывоопасным. На период с 2013 по 2017 годы на территории Российской Федерации произошло порядка 2000 случаев взрывов баллонов. В результате этих взрывов погибло более 300 человек [1-2]. Основные причины утечек газа из баллонов: установка сосудов с вышедшим сроком годности; несвоевременное переосвидетельствование ёмкости; нарушение сроков технического обслуживания; неправильная эксплуатация баллона; перегрев; коррозия металла (рисунок 1). При этом наиболее распространённой причиной взрыва баллонов с пропаном является нарушение правил эксплуатации. Чаще всего причиной взрыва становится недостаточно плотно закрытый вентиль, либо резкое увеличение температуры окружающей среды [3-4].

Основные правила по безопасной эксплуатации газобаллонного оборудования включают в себя: хранение и транспортировку баллонов с газом в строгом соответствии с инструкциями к газобаллонному оборудованию, обучение обслуживающего персонала правилам работы, хранение баллонов с газом в специальных помещениях вдали от радиаторов отопления и источников открытого огня на расстоянии более 5 метров [5-7].

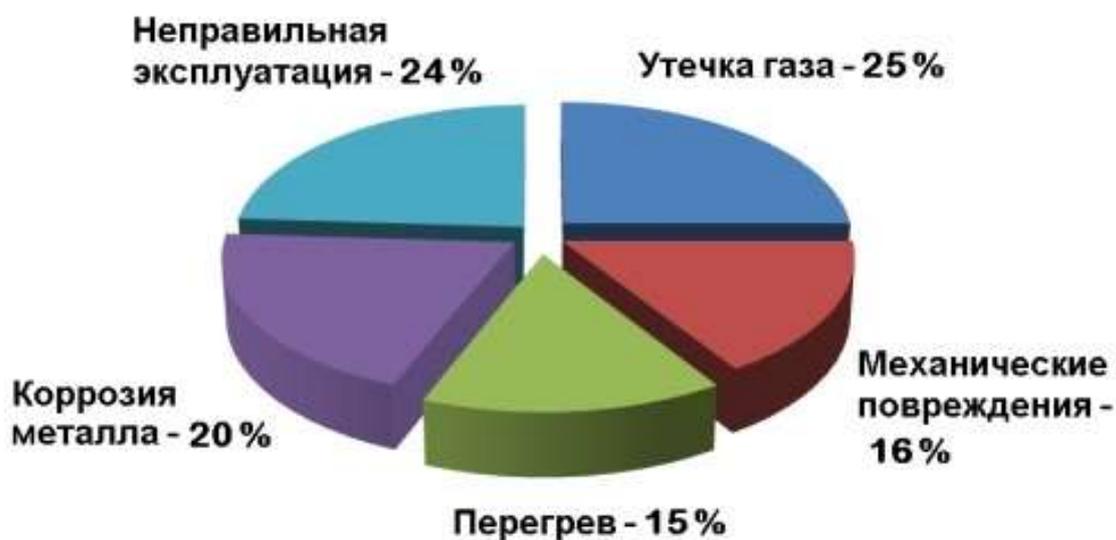


Рисунок 1 - Процентное соотношение причин взрывов баллонов в России за 2013-2017 гг.

При взрыве газобаллонного оборудования энергия взрыва преобразуется в ударную волну и кинетическую энергию осколков. Ударной волной называют узкую зону повышенного давления, вызванного быстрым выделением энергии или вещества в ограниченном объеме. Скорость движения ударной волны от зоны взрыва превышает скорость звука. Так при десятикратном подъеме давления во фронте ударной волны ее скорость распространения в 3 раза превышает скорость звука в воздухе (330 м/с).

Доля энергии взрыва, преобразованная в кинетическую энергию ударной волны, составляет 40-60 % от величины энергетического потенциала. Ударные волны представляют наиболее опасное последствие разрушения оборудования. При распространении в пространстве они производят разрушение окружающих зданий с последующим расширением масштабов аварии.

На основе промышленных взрывов и результатов бомбардировок городов в период Второй мировой войны была выведена формула для оценки повреждения типовых зданий, вызванных ударными волнами [8].

$$R_{II} = \frac{K \times E}{\left[1 + \left(\frac{3180}{E}\right)^2\right]^{\frac{1}{6}}} \quad (1)$$

где R_{II} – радиус зоны разрушения, м; K – коэффициент, характеризующий уровень разрушения; E – доля энергии взрыва, пошедшая на формирование ударной волны, выраженная в тротиловом эквиваленте, кг-экв

Таблица 1.

Зависимость безразмерного коэффициента – K от уровня разрушения зданий. ΔP – избыточное давление во фронте ударной волны

Класс зоны	K	ΔP , кПа	Уровень разрушения зданий
1	2	3	4
1	3,8	> 100	Полное разрушение
2	5,6	70	Тяжёлые повреждения (подлежит сносу)
3	14,0	28	Разрушения без обрушения (возможно восстановление)
4	28,0	14	Умеренное разрушение (разрушена кровля,

			выбиты двери)
5	56,0	≤ 2	Малые повреждения (выбиты стекла)

Представленные формулы и табличные значения коэффициентов классов зон позволяют производить оценку радиуса разрушения по энергетическому потенциалу гипотетического взрыва баллона, произошедшего в результате разгерметизации. При расчётах не учитывается энергетический эффект возможного неконтролируемого окисления пропана кислородом воздуха. Результаты расчётов радиуса разрушений по энергетическому потенциалу и объёму баллона представлены в таблице 2. При расчётах атмосферное давление принималось равным 101300 Па; давление пропана в баллоне – равным 10 МПа.

Таблица 2.

Расчётные значения радиуса взрыва баллонов с пропаном в зависимости от объёма сосуда.

Давление пропана в сосуде при расчётах было принято равным 10 МПа

Объём баллона, л	Тропиловый эквивалент, кг-экв	Радиус зоны тяжёлых повреждений (при $K = 5,6$), м	Радиус зоны разрушений без обрушения (при $K = 14,0$), м
100	0,5	0,2	0,6
200	1	0,4	1,0
300	1,5	0,5	1,2
400	2	0,6	1,5
500	2,5	0,7	1,8
1000	5	1,1	2,8
2000	10	1,8	4,4
5000	25	3,3	8,1

Из полученных данных видно, что при отсутствии экзотермической реакции окисления пропана кислородом воздуха, сопровождающейся детонацией, радиус зоны тяжёлых повреждений – достаточно малый и не превышает 1,1 м для баллона ёмкостью 1000 л (1 м³). Основную опасность при утечке любого горючего газа представляет детонация в результате возгорания. Представленная методика расчёта может быть использована для прогнозирования последствий взрывов газобаллонного оборудования. Для более точных расчётов необходимо учитывать энергию окисления пропана кислородом воздуха.

Список литературы:

1. Коломиец А.А., Манаенков К.А., Найденов А.А. Оценка показателей надежности автотранспортных средств // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 1. С. 47
2. Щербаков С.Ю., Криволапов И.П., Стрельников Д.И., Коробельников А.П. Характеристика методов проведения анализа риска // Наука и Образование. 2019. Т. 2. № 4. С. 253.
3. Клименко Н.Н., Нистратов А.В., Киселева К.И., Делицын Л.М., Сигаев В.Н. Применение вторичного углеродного волокна для армирования композиционного материала на основе щелочеактивированного доменного шлака // Стекло и керамика. 2020. № 11. С. 28-31.
4. Бучилин Н.В., Никитина В.Ю., Луговой А.А., Варрик Н.М., Бабашов В.Г. Получение высокопористых керамических материалов на основе алюмомагнезиальной шпинели // Стекло и керамика. 2020. № 10. С. 7-14.
5. Картечина Н.В., Макова Н.Е., Шацкий В.А., Дорохова А.М. Информационная модель учета сельскохозяйственной техники // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 1. С. 40
6. Строкова Я.А., Клименко Н.Н. Комплексная щелочно-щелочноземельная активация гранулированного доменного шлака // Успехи в химии и химической технологии. 2019. Т. 33. № 4. С. 130-132.
7. Щербаков С.Ю., Аксеновский А.В., Криволапов И.П., Куденко В.Б. Оценка уровня обеспеченности и повышение пожарной безопасности на складах хранения нефтепродуктов предприятий АПК // Сб. научн. Трудов, посвящённый 85-летию Мичуринского государственного аграрного университета. – Мичуринск. 2016. Т. 4. С. 110-114.
8. Брозгунова Н.П., Кузнецова А.П., Дорохова А.М. Технологии искусственного интеллекта и машинного обучения // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 1. С. 37

UDC 629.039.58

ANALYSIS OF THE DESTRUCTION ZONE RADIUS DEPENDING ON THE PARAMETERS OF THE EXPLOSION OF CYLINDERS

Nikolai V. Buchilin

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

isk119@yandex.ru

Ivan P. Krivolapov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

ivan0068@bk.ru

Sergey Yu. Sherbakov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Scherbakov78@yandex.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Abstract. To date, the problem of safe operation of gas cylinder equipment used in production and agriculture remains relevant. The paper discusses methods for calculating the radius of the destruction zone during the explosion of propane vessels under excessive pressure. The explosion radius is determined by the energy potential of the vessel, as well as the class of the destruction zone. The calculated values of the explosion radius obtained allow us to estimate the probable damage caused by the rupture of the vessel.

Key words: gas cylinder equipment, explosion of cylinders, destruction of cylinders, safe operation of cylinders

Статья поступила в редакцию 15.02.2022; одобрена после рецензирования 10.03.2022; принята к публикации 25.03.2022.

The article was submitted 15.02.2021; approved after reviewing 10.03.2022; accepted for publication 25.03.2022.

