

УДК 629.039.58

## АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА РАЗРУШЕНИЯ БАЛЛОНОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

**Николай Викторович Бучилин**

кандидат технических наук, доцент

[isk119@yandex.ru](mailto:isk119@yandex.ru)

**Иван Павлович Криволапов**

кандидат технических наук, доцент

[ivan0068@bk.ru](mailto:ivan0068@bk.ru)

**Сергей Юрьевич Щербаков**

кандидат технических наук, доцент

[Scherbakov78@yandex.ru](mailto:Scherbakov78@yandex.ru)

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** Проблема безопасной эксплуатации газобаллонного оборудования, используемого на производствах и в сельском хозяйстве, является актуальной. По данным на период с 2014 по 2017 гг. в России произошло свыше 2000 аварий газобаллонного оборудования. В результате этих аварий пострадало свыше 700 человек. В работе рассматриваются методы расчёта энергии взрывов сосудов с пропаном, находящихся под избыточным давлением. Энергетический потенциал сосуда определяется давлением газа, объёмом сосуда, а также показателем адиабаты. Получаемые расчётные значения энергетического потенциала сосуда позволяют оценить вероятный ущерб, наносимый в результате взрыва сосуда.

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

На сегодняшний день правила по безопасной эксплуатации газобаллонного оборудования регламентируются Приказом Ростехнадзора № 116 от 25.03.2014 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением» [1]. 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 [2-4].

Тем не менее, газобаллонное оборудование периодически взрывается из-за неправильной эксплуатации. Так, на период с 2013 по 2017 годы на территории Российской Федерации произошло порядка 2000 случаев взрывов баллонов [5-6]. В результате этих взрывов погибло более 300 человек (рисунок 1).



Рисунок 1 - Статистика взрывов баллонов в России 2013-2017 гг.

Основные причины утечек пропана из баллонов: использование б/у компонентов; низкое качество деталей; монтаж баллона без крепления (протираание ёмкости); установка сосудов с вышедшим сроком годности; несвоевременное переосвидетельствование ёмкости; нарушение сроков технического обслуживания. 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 [7-8]. Также причиной взрыва становятся старые и уже непригодные баллоны. Со временем от высокого давления в стенках баллона образуются микротрещины, которые при незначительном повреждении корпуса преобразуются в макротрещины, по которым происходит дальнейшее разрушение.

При разрушении оборудования часть внутренней энергии веществ, находящихся внутри оборудования и называемой энергетическим потенциалом, реализуется в виде энергии взрыва. Энергия взрыва сосуда, находящегося под избыточным давлением, рассчитывается как работа адиабатического расширения сжатого газа по формуле:

$$E_{\Pi} = \frac{P_c \times V_c}{\beta - 1} \times \left[ 1 - \left( \frac{P_{cp}}{P_c} \right)^{\frac{\beta-1}{\beta}} \right] \quad (1)$$

где  $E_{\Pi}$  – энергетический потенциал технологического оборудования, Дж;  $P_c$  – абсолютное давление в сосуде, Па;  $P_{cp}$  – абсолютное давление внешней среды, Па;  $V_c$  – объём сосуда, м<sup>3</sup>;  $\beta$  – показатель адиабаты, равный отношению удельных теплоёмкостей газа при постоянном давлении –  $C_p$  и постоянном объёме  $C_v$ .

Для сведения разнообразных взрывных процессов к единому показателю оценку энергетического потенциала принято выражать в тротиловом эквиваленте. Расчёт тротилового эквивалента ведётся по оценке энергии взрыва технологического объекта, приведённой к энергии взрыва 1 кг тринитротолуола (ТНТ)

$$Z = \frac{E_{\Pi}}{4520 \times 10^3} \quad (2)$$

Здесь  $4520 \times 10^3$  Дж/кг энергия взрыва 1 кг ТНТ

Масса сжатого газа в сосуде определяется по уравнению состояния идеального газа:

$$m = \frac{P_c \times V_c \times M}{R \times T} \quad (3)$$

где  $M$  – молярная масса газа;  $T$  – температура сжатого газа в сосуде;  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = 8,314$ .

Представленные формулы позволяют производить оценку энергетического потенциала и тротилового эквивалент гипотетического взрыва баллона по его объёму и давлению газа, находящемуся в нём. При расчётах не учитывается энергетический эффект возможного неконтролируемого окисления пропана кислородом воздуха. На практике в баллон стандартного объёма 40 литров помещается порядка 5 кг пропана. В нормальном состоянии пропан занимает собой около 67-70 % всего объёма газового баллона.

Результаты расчётов энергетического потенциала и массы пропана в зависимости от давления в баллоне представлены в таблице 1. При расчётах атмосферное давление принималось  $P_{cp} = 101300$  Па; показатель адиабаты  $\beta = 1,30$ ; молярная масса  $C_3H_8$   $M = 44$  г/моль.

Таблица 1.

Расчётные значения энергетического потенциала баллона в зависимости его объёма и давления  $C_3H_8$ .

Давление пропана в баллоне		Объём баллона	Энергетический потенциал	Тротиловый эквивалент	Масса пропана в баллоне
МПа	Атм.				
5	49,3	40	395	0,09	3,6
10	98,7	40	871	0,19	7,2
20	197,4	40	1879	0,42	14,4
5	49,3	60	593	0,13	5,4
10	98,7	60	1306	0,29	10,8
20	197,4	60	2818	0,62	21,7
5	49,3	100	989	0,22	9,0
10	98,7	100	2178	0,48	18,1

20	197,4	100	4697	1,04	36,1
----	-------	-----	------	------	------

Из полученных данных видно, что расчёты хорошо согласуются с фактическими данными. Представленная методика расчёта может быть использована для прогнозирования последствий взрывов газобаллонного оборудования. Для более точных расчётов массы газа в баллоне в уравнении состояния идеального газа необходимо учитывать поправки собственного объёма молекул, а также поправки на взаимные столкновения молекул в газе.

### Список литературы:

1. Клименко Н.Н., Колокольчиков И.Ю., Михайленко Н.Ю., Орлова Л.А., Сигаев В.Н. Новые строительные материалы с повышенной прочностью на основе отходов металлургии // Стекло и керамика. 2018. № 5. С. 44-48.

2. 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

3. 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.

4. 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.

5. Брозгунова Н.П., Кузнецова А.П., Дорохова А.М. Технологии искусственного интеллекта и машинного обучения // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 1. С. 37

6. Скоркин А.С., Астафьева М.В. Обозначение шероховатости поверхности на рабочих чертежах // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 1. С. 36

7. Бучилин Н.В., Никитина В.Ю., Луговой А.А., Варрик Н.М., Бабашов В.Г. Получение высокопористых керамических материалов на основе алюмо-магнезиальной шпинели // Стекло и керамика. 2020. № 10. С. 7-14.

8. Щербаков С.Ю., Фокин А.А., Заборских А.А. Основные принципы математического моделирования в техносферной безопасности // Наука и Образование. 2020. Т. 3. № 2. С. 59.

**UDC 629.039.58**

## **ANALYSIS OF THE DESTRUCTION ENERGY POTENTIAL OF CYLINDERS USED IN AGRICULTURE**

**Nikolai V. Buchilin**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

[isk119@yandex.ru](mailto:isk119@yandex.ru)

**Ivan P. Krivolapov**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

[ivan0068@bk.ru](mailto:ivan0068@bk.ru)

**Sergey Yu. Sherbakov**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

[Scherbakov78@yandex.ru](mailto:Scherbakov78@yandex.ru)

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

**Annotation.** The problem of safe operation of gas cylinder equipment used in production and agriculture is urgent. According to the data for the period from 2014 to 2017, over 2000 accidents of gas cylinder equipment occurred in Russia. As a result of these accidents, over 700 people were injured. The paper discusses methods for calculating the energy of explosions of propane vessels under excessive pressure.

The energy potential of the vessel is determined by the gas pressure, the volume of the vessel, as well as the adiabatic index. The calculated values of the energy potential of the vessel obtained allow us to estimate the probable damage caused by the explosion 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.