

УДК 614.8

Ю. П. Ключка^{*}

В. И. Кривцова^{*}, д-р техн. наук

А. И. Ивановский^{**}, канд техн. наук

^{*} Национальный университет гражданской защиты Украины
(г. Харьков, e-mail: worlon@list.ru)

^{*} Национальный университет гражданской защиты Украины
(г. Харьков, e-mail: arbu@ Rambler.ru)

^{**} Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины
(г. Харьков, e-mail: arbu@ Rambler.ru)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТИ КОМПОЗИТНЫХ БАЛЛОНОВ СО СЖАТЫМ ГАЗОМ

Экспериментальным путем получены зависимости давления газа в баллоне при его нагревании. Показано, что отклонение теоретических значений, полученных ранее, составляет в среднем 6%.

Експериментальним шляхом отримані залежності тиску газу в балоні під час його нагрівання. Показано, що відхилення теоретичних значень, отриманих раніше, становить в середньому 6%.

Постановка проблемы

Водород в сжатом виде (до 70 МПа) является одним из основных способов его хранения в автомобиле [1]. Наряду с баллонами из стали или сплавов металлов применяются баллоны из композитных материалов [2]. Одной из проблем использования этих систем является их пожаровзрывоопасность, обусловленная свойствами водорода и самой системой хранения.

В связи с этим определение изменения характеристик композитного баллона с водородом и времени до его разрушения под воздействием внешнего источника тепла является актуальной проблемой.

Анализ последних достижений и публикаций

В работах [2, 3] приведены требования к эксплуатации баллонов и методы испытаний. В соответствии с [2] проводится испытание композитных баллонов на циклическую долговечность при экстремальных температурах. Баллон выдерживают 48 ч при температуре 65 °С и относительной влажности 95%. Затем при этих же условиях его нагружают гидравлическим давлением от не более 0,1 Р до не менее 1,3 Р с частотой не более 10 циклов в минуту. Количество циклов – 500. Затем тот же баллон, охлажденный до температуры минус 45 °С, нагружают гидравлическим давлением от не более 0,1 Р до рабочего давления с частотой не более трех циклов в минуту. Количество циклов – 500. После этого баллон должен иметь давление не менее 85% от расчетного давления разрушения при испытании на определение давления разрушения баллонов и лейнеров.

Также согласно [2] проводятся испытания баллонов воздействием пламени. Испытанию подвергаются баллоны в сборе с предохранительным устройством, заполненные природным газом или воздухом.

Источник огня должен иметь длину 1,65 м и ширину, обеспечивающую воздействие пламени на поверхность баллона по всему диаметру. В качестве источника огня может быть применено любое топливо в количестве, достаточном для достижения необходимой темпе-



Рис. 1. Фото баллона, используемого в эксперименте

ратуры испытаний и длительности горения до срабатывания предохранительного устройства. Баллон устанавливают горизонтально на расстоянии 100 мм от его нижней части до поверхности горючего. Предохранительные устройства должны быть защищены от прямого воздействия пламени металлическими экранами. Экраны не должны соприкасаться с предохранительными устройствами. Температуру поверхности баллона контролируют не менее чем тремя термопарами, расположенными вдоль нижней части баллона на расстоянии не более 0,75 м друг от друга. Через 5 мин после воспламенения температура поверхности баллона должна быть не менее 590 °С. Баллон должен выпустить газ через предохранительное устройство. После проведения испытаний баллоны должны быть утилизированы.

Несмотря на вышеперечисленное на сегодняшний день отсутствуют результаты испытаний баллонов в случае воздействия на них повышенных температур без учета истечения газа из баллона, что возможно, например, при ДТП, пожаре.

В работе [4] получены теоретические оценки значений времени до разрушения баллона с водородом под воздействием повышенной внешней температуры, а также построены регрессионные модели зависимости времени до разрушения баллона от температуры окружающей среды, характера ее изменения, плотности водорода и объема баллона. Однако в данных работах отсутствуют результаты экспериментальных исследований, которые бы позволили судить об адекватности приведенных моделей.

Основная часть

Целью данной работы является получение экспериментальным путем зависимостей изменения давления газа в композитном баллоне и времени до разрушения при его нагревании и сравнение с теоретическими значениями [4].

Для проведения эксперимента был использован композитный баллон объемом 4 л (рис. 1) и рас-

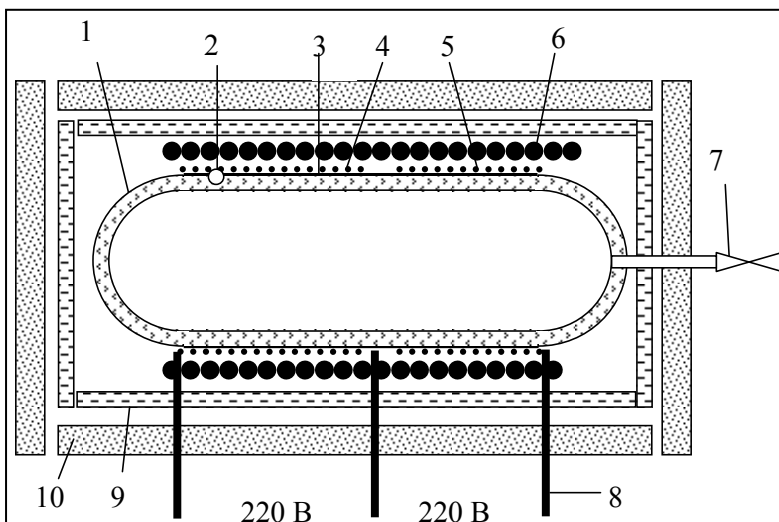


Рис. 2. Схема баллона, подготовленного к эксперименту:

1 – баллон; 2 – термопара; 3 – электроизоляционная слюда; 4 – нихромовая обмотка №1; 5 – нихромовая обмотка №2; 6 – асбестовый шнур; 7 – вентиль баллона; 8 – силовой электрокабель; 9 – асбестокarton; 10 – минеральный утеплитель

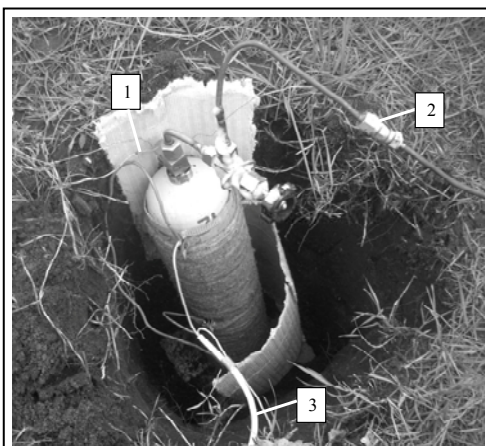


Рис. 3. Фото баллона:

- 1 – кабель термопары;
- 2 – магистральная линия к манометру;
- 3 – силовой электрокабель

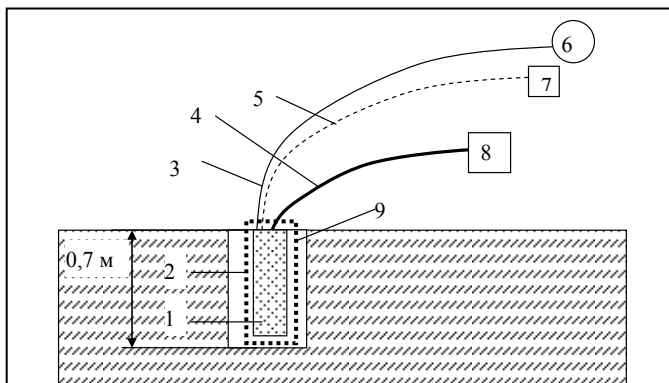


Рис. 4. Схема экспериментальной площадки:

- 1 – теплоизолированный баллон; 2 – яма; 3 – магистральная линия к манометру; 4 – силовой электрокабель; 5 – кабель термопары; 6 – манометр МТП-160; 7 – измеритель температуры ХК(L)-50±0±800; 8 – источник электропитания; 9 – теплоизоляция

считанный на рабочее давление 200 атм, проверочное 300 атм.

Для измерения температуры использовался прибор А565 ХК с погрешностью измерения температуры ±0,2% и хромель-копелевая термопара. Давление в баллоне измерялось с помощью манометра МТП-160 с диапазоном измерения (0÷40 МПа) и классом точности 1,5. Эксперимент проводился при температурах и временных диапазонах, которые возможны при пожаре [5].

Порядок подготовки баллона к эксперименту согласно схеме на рис. 2:

1. Композитный баллон 1 заполнялся до давления 13,5 МПа.
2. К внешней оболочке баллона крепилась термопара 2 и баллон в цилиндрической его части обматывался электроизоляционной слюдой 3.
3. На баллон наматывалась нихромовая проволока 4 и 5.
4. Поверх нихромовой обмотки наматывался асбестовый шнур 6.
5. Подключался силовой кабель 8 к обмоткам 4 и 5.

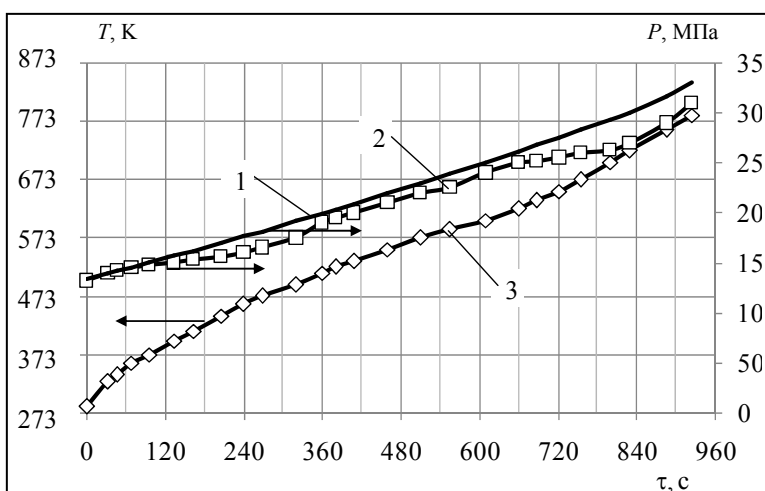


Рис. 5. Зависимость изменения температуры и давления в баллоне при его нагреве:

- 1 – расчетные значения давления в соответствии с [4]; 2 – экспериментальная зависимость изменения давления в баллоне от времени; 3 – экспериментальная зависимость изменения температуры на стенке баллона от времени

6. Теплоизолировался баллон с помощью асбестокартон 9 и минерального утеплителя 10.

На рис. 3 показан баллон в процессе подготовки к эксперименту.

Он был установлен вертикально в яме глубиной 70 см (рис. 4).

На рис. 5 приведены полученные результаты изменения температуры и давления в баллоне.

Из рисунка следует, что по истечении 720 секунд расчетные значения давления становятся немного выше, чем экспериментальные. Это можно объяснить изменением характеристик композитного ма-



Рис. 6. Взрыв баллона



Рис. 7. Фото баллона после эксперимента

териала в процессе нагрева, в частности деструкцией.

На рис. 6 показано взрыв баллона на экспериментальной площадке, а на рис. 7 – фото баллона после эксперимента.

На рис. 8 приведены зависимости относительной погрешности теоретического значения давления по отношению к экспериментальным данным от времени.

Из рисунка следует, что максимальное значение относительного отклонения составляет 12%, а среднее значение – около 6%, что позволяет говорить об адекватности модели, предложенной в работе [4].

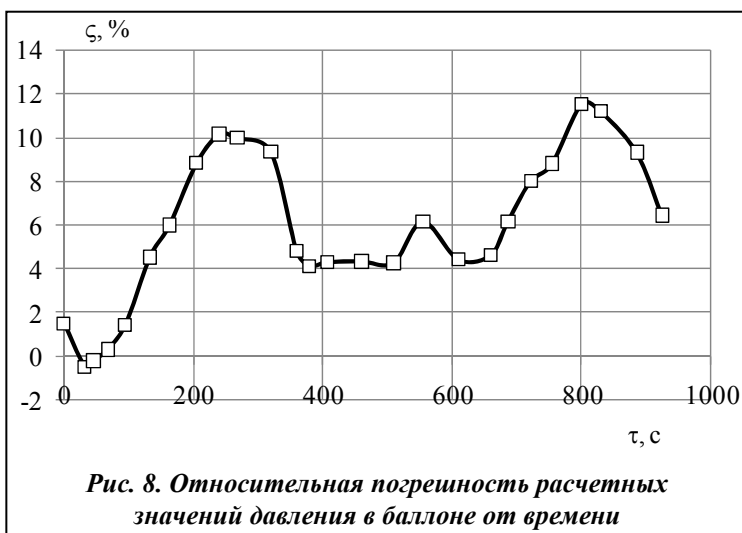


Рис. 8. Относительная погрешность расчетных значений давления в баллоне от времени

Выводы

Экспериментальным путем получены зависимости давления в баллоне при его нагревании. Эти значения позволили сделать вывод об адекватности теоретической модели, приведенной в [4]. Показано, что погрешность расчетных значений, полученных в соответствии с [4], составляет в среднем 6%.

Литература

1. Ключка Ю. П. Особенности использования водорода на автомобильном транспорте / В. И. Кривцова, Ю. П. Ключка // Пробл. пожар. безопасности. – 2009. – № 26. – С. 49–61.
2. Баллоны высокого давления для сжатого природного газа, используемого в качестве моторного топлива на автомобильных транспортных средствах. Общие технические условия: ГОСТ Р 51753-2001. – [Введен в действие 2001-05-29]. – М.: Гостстандарт России, 2001. – 20 с.
3. Gas cylinders – High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles: ISO 11439-2003. – [First edition 2000-09-15]. – ISO, 2003. – 80 p.
4. Борисенко В. Г. Определение времени разрушения баллона с водородом, обусловленного изменением температурных параметров окружающей среды / В. Г. Борисенко, В. И. Кривцова, Ю. П. Ключка // Пробл. пожар. безопасности. – 2010. – № 27. – С. 83–96.
5. Клаус Д. П. Роль естественно-научной криминалистики / Д. П. Клаус. – М., 1985. – 311 с.

Поступила в редакцию
25.10.11