

*В.И. Кривцова, д.т.н, профессор, НУГЗУ,
Ю.П. Ключка, д.т.н., ст. научн. сотр., нач. НИЛ, НУГЗУ*

ЭКСПРЕСС ОЦЕНКА ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОГИДРИДНЫХ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для экспресс оценки характеристик металлогидридной системы хранения водорода предложена математическая модель по описанию зависимости времени достижения давления от теплового потока и давления в системе.

Ключевые слова: водород, пожаровзрывоопасные характеристики, давление, время.

Постановка проблемы. В работах [1-3] показано, что одним из способов хранения водорода является хранение в связанном состоянии, в частности, в форме гидридов интерметаллидов. Проблема использования таких систем связана и с определением их уровня пожаровзрывоопасности при воздействии на них различных тепловых потоков.

Анализ последних достижений и публикаций. Изучению этой проблемы посвящено достаточно много работ [4-8]. В работах [4-7] приведены характеристики металлогидридных систем, динамика выделения водорода из гидрида, а также ряд их теплофизических характеристик в режиме хранения.

В работе [6] приведены экспериментальные значения давления в гидридном патроне при его нагревании в открытом пламени. В работе [8] приведены результаты экспериментов по нагреву гидридного патрона до момента его разрушения. В работе [7] представлены результаты экспериментальных исследований, которые позволяют оценить характеристики системы применительно к низким тепловым потокам ($q < 30$ кВт/м²). В процессе проведения экспериментов исследовалась динамика изменения температуры на внешней стороне оболочки гидридного патрона и давления водорода в нем при воздействии на гидридный патрон тепловых потоков. При этом нагрев гидридного патрона осуществлялся с помощью нихромовой нити диаметром 0,8 мм и удельным сопротивлением 2,2 Ом/м. При этом было проведено три серии экспериментов с подводимым напряжением к обмотке 70 В, 110 В и 150 В. На рис. 1 приведена схема подготовленного патрона к эксперименту.

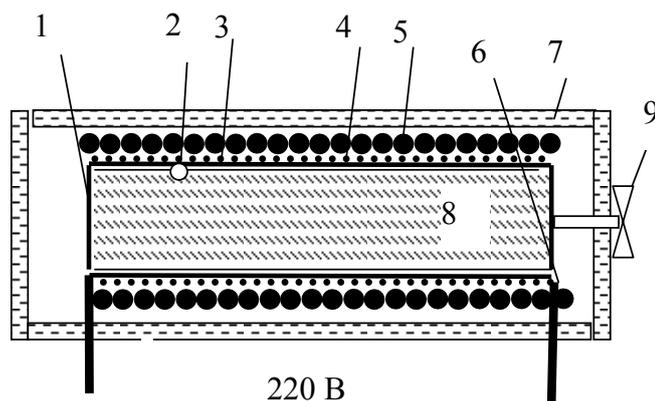


Рис. 1. Схема гидридного патрона, подготовленного к эксперименту [7]: 1 – гидридный патрон; 2 – интерметаллид; 3 – терморпара; 4 – электроизоляционная слюда патрона; 5 – нихромовая спираль; 6 – асбестовый шнур; 7 – силовой электрокабель; 8 – асбестокартон; 9 – вентиль баллона

На рис. 2 приведены усредненные результаты серии экспериментов по определению зависимости температуры на стенке патрона и давления водорода в патроне при его нагревании, с учетом процессов протекающих в гидриде.

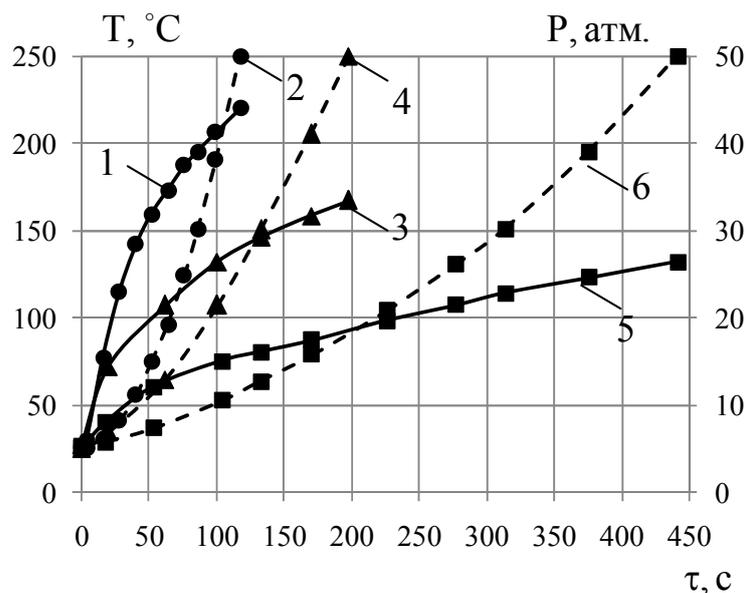


Рис. 2. Зависимость температуры на стенке патрона и давления водорода в патроне при его нагревании: 1 – T_{s1} ; 2 – P_{s1} ; 3 – T_{s2} ; 4 – P_{s2} ; 5 – T_{s3} ; 6 – P_{s3} ; 1, 2 – напряжение на обмотке $U=150В$; 3, 4 – $U=110В$; 5, 6 – $U=70В$

Из рисунка следует, что существенное влияние на значения температуры и давления оказывает тепловой поток (электрическое напряжение), подводимый к патрону.

Анализ [2, 4-6] показал, что теоретическое описание процессов, происходящих в металлгидридных системах, требует наличия сведений о процессах, протекающих в гидриде при изменении в патроне

температуры и давления. В частности, необходимо описание изменения таких параметров, как: теплопроводность, пористость, теплоемкость, параметры кристаллической решетки металлгидрида, значения α и β концентраций, интенсивность фильтрационного переноса теплоты, энтальпия и энтропия $\beta \rightarrow \alpha$ -перехода, коэффициент дилатации и другие параметры. Проблематичность определения данных зависимостей, а также сложность математических моделей и расчетов затрудняет их применение для экспресс оценки характеристик металлгидридной системы в широком диапазоне параметров.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является построение математической модели для экспресс оценки характеристик системы хранения водорода металлгидридного типа, в том числе и при проведении экспериментальных исследований.

Проведенный анализ полученных ранее результатов [6, 7] показал, что зависимости времени достижения заданного давления при проведении эксперимента, для различных значений электрического напряжения на обмотке, можно представить в виде (рис. 3)

$$\tau_{U=70 B} = 0,0032 \cdot P^3 - 0,3963 \cdot P^2 + 22,7310 \cdot P - 99,63, \quad (1)$$

$$\tau_{U=110 B} = 0,0020 \cdot P^3 - 0,2192 \cdot P^2 + 10,8635 \cdot P - 48,649, \quad (2)$$

$$\tau_{U=150 B} = 0,0019 \cdot P^3 - 0,2014 \cdot P^2 + 8,2023 \cdot P - 31,117. \quad (3)$$

Учитывая, что количество тепла, выделяемого обмоткой прямо пропорционально квадрату напряжения на данной обмотке ($Q \sim U_i^2$), введем относительный показатель времени, который определяется как

$$\tau_i^*(P) = \tau_i(P) \cdot U_i^2, \quad (4)$$

где U_i – напряжение на обмотке во время проведения i -го эксперимента.

На рис. 4 приведены зависимости $\tau^*(P)$ для трех режимов нагрева, а также усредненное значение $\tau_s^*(P)$

$$\tau_s^*(P) = 27,543 \cdot P^3 - 3041,896 \cdot P^2 + 1,424 \cdot P - 5,9233. \quad (5)$$

Определение относительных погрешностей выражения (5) в соответствии с

$$\varepsilon = \frac{\tau_s^*(P) - \tau_i(P) \cdot U_i^2}{\tau_i(P) \cdot U_i^2} \quad (6)$$

показало, что в интервале давлений (1÷5 МПа) среднее значение погрешности составляет около 10%. Следует отметить, что данный показатель является приемлемым для экспериментов такого типа.

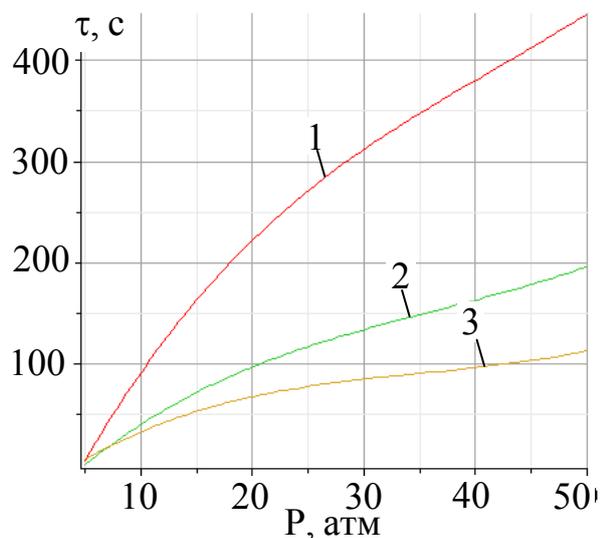


Рис. 3. Аппроксимированные экспериментальные данные времени достижения давления в системе при различных значениях напряжения на нагревательной обмотке: 1 – $U=70$ В; 2 – $U=110$ В; 3 – $U=150$ В

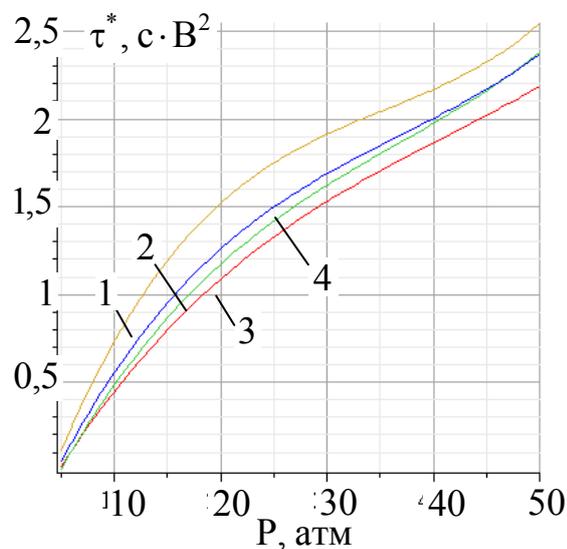


Рис. 4. Зависимости $\tau_i^*(P), \tau_s^*(P)$: 1 – $U = 150$ В; 2 – $U = 110$ В; 3 – $U = 70$ В; 4 – $\tau_s^*(P)$

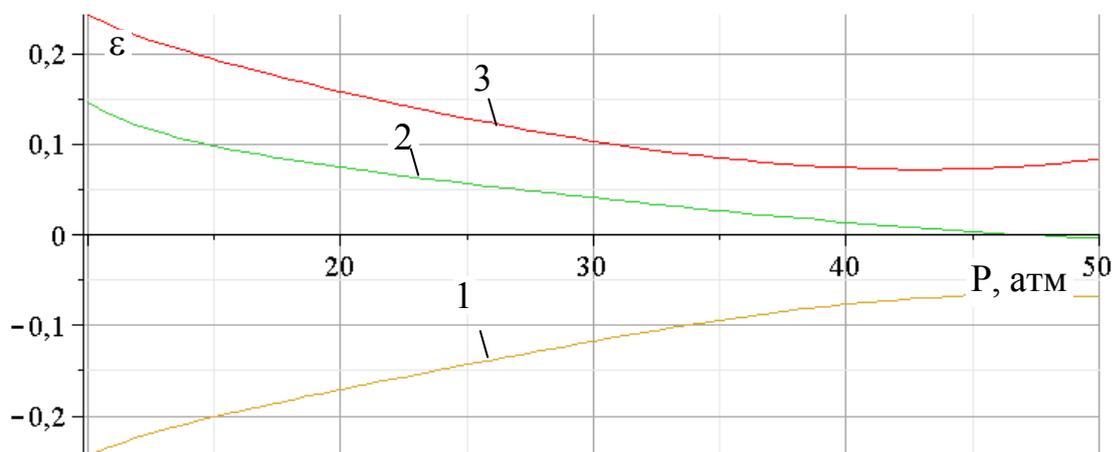


Рис. 5. Зависимость относительных погрешностей определения времени в соответствии с выражением (5): 1 – $U=70$ В; 2 – $U=110$ В; 3 – $U=150$ В

Тогда зависимость времени до достижения определенного давления (рис. 6) можно определить в соответствии с выражением

$$\tau_i(P) = \frac{\tau_s^*(P)}{U_i^2}, \quad U \in [70;150]. \quad (7)$$

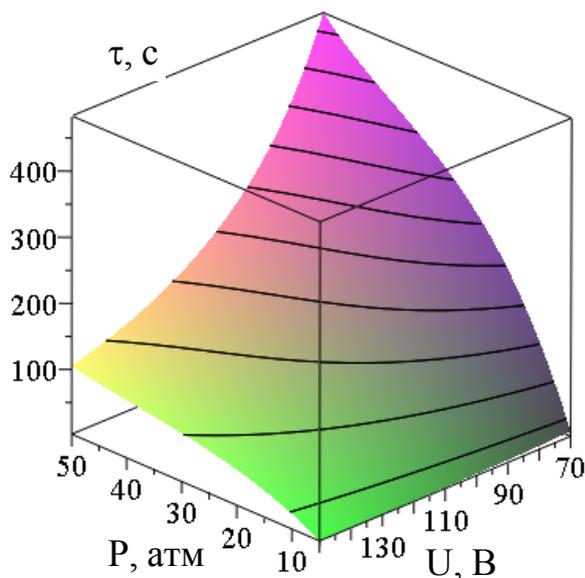


Рис. 6. Зависимость времени достижения давления от электрического напряжения на обмотке и давления в системе

Выводы. Таким образом, в результате проведенной работы предложена математическая модель для экспресс оценки характеристик металлгидридной системы хранения водорода уже после незначительного количества экспериментов (погрешность до 20%). Несмотря на то, что данная модель не является универсальной, а применима лишь к конкретной конструкции системы хранения водорода, данный подход может быть применим к аналогичным системам с иными геометрическими характеристиками, свойствами гидрида и нагревательного элемента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузык Б.Н. Россия: стратегия перехода к водородной энергетике / Б.Н. Кузык, Ю.В. Яковец; Авт. предисл. С.М. Миронов – М.: Институт экономических стратегий, 2007. – 400 с.
2. Евдокимов А. А. Высокие технологии, водородная энергетика, платиновые металлы: сборник документов и материалов традиционного "круглого стола", посвященного Дню космонавтики. МИРЭА, 12 апреля 2005 года / А. А. Евдокимов [и др.]. – Моск. гос. ин-т радиотехники, электроники и автоматики. – М.: АСМИ, 2005. – 288 с.
3. Ключка Ю.П. Особенности использования водорода на автомобильном транспорте / В.И. Кривцова, Ю.П. Ключка // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ, 2009. – № 26. – С. 49–61.
4. Черников А.С. Гидридные материалы, как аккумуляторы водорода / А.С. Черников, В.Н. Фадеев, В.И. Савин // Атомно-водородная энергетика и технология. – 1980. – Вып.3. – С.248–266.

5. Абрамов Ю.А. Системы хранения и подачи водорода на основе твердых веществ для бортовых энергетических установок / Ю.А. Абрамов, В.И. Кривцова, В.В. Соловей. – Харьков:2002. – 277 с.

6. Ключка Ю.П. Определение характеристик металлгидридных систем в процессе их нагрева / Ю.П. Ключка, В.И. Кривцова, А.И. Ивановский // Автомобильный транспорт: збірник наукових праць. - Харків : ХНАДУ. - 2012. - Вип. 30. – С. 108-111.

7. Ключка Ю.П. Экспериментальное исследование пожаровзрывоопасных характеристик металлгидридной системы хранения водорода / Ю.П. Ключка, В.И. Кривцова, А.И. Ивановский // Проблемы машиностроения: сб. науч. тр. - Харьков. - 2011. – Вип. 6. – С. 69-72.

8. Ключка Ю.П. Оценка воздействия открытого пламени на пожаровзрывоопасность металлгидридных систем хранения водорода / Ю.П. Ключка, В.И. Кривцова, В.Г. Борисенко // Вестник Харьковско-го национального автомобильно-дорожного университета: сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т. - Х. : ХНАДУ, 2011. – Вип. 55. – С. 158-160.

V.I. Krivtsova, Yu.P. Klyuchka

Експрес оцінка пожежевибухонебезпечних характеристик металогідридних систем зберігання водню при проведенні експериментальних досліджень

Для експрес оцінки характеристик металогідридної системи зберігання водню запропоновано математичну модель з опису залежності часу досягнення тиску від теплового потоку і тиску в системі.

Ключові слова: водень, пожежевибухонебезпечні характеристики, тиск, час.

V.I. Krivtsova, Yu.P. Klyuchka

The express evaluation of fire and explosion hazard for systems of keeping and supply the hydrogen on the basis of convertible hydrides of intermetallide in during experimental research

To evaluate the performance of Express metal hydride hydrogen storage system, a mathematical model for description of a pressure dependence of the achievements of heat flux and pressure in the system.

Keywords: hydrogen storage system, experimental studies, fire and explosion hazard.