

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

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДА В ГИДРИДЕ ИНТЕРМЕТАЛ- ЛИДА НА ВРЕМЯ ДО РАЗРУШЕНИЯ СИСТЕМЫ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНИХ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ**

Идентифицированы погрешности определения концентрации водорода в гидриде, как функции давления, с учетом погрешности манометра. Получены зависимости изменения времени до разрушения системы хранения водорода от погрешности определения концентрации водорода в гидриде.

**Ключевые слова:** водород, гидрид, концентрация, вероятность, разрушение, время, система хранения водорода.

**Постановка проблемы.** В силу своих характеристик водород является перспективным экологически чистым энергоносителем для транспорта будущего [1-2]. Одним из способов его хранения является хранение в форме гидридов интерметаллидов.

Учитывая, что в процессе использования таких систем, возможно их разрушение и образование пожаровзрывоопасной среды, например, под воздействием внешних источников тепла, необходимо обладать информацией о вероятности их разрушения и, соответственно, времени до разрушения.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Существует ряд работ посвященных изучению свойств металлгидридных систем [3-6], в том числе и при воздействии на них источников тепла [4-5].

На основе предложенной математической модели равновесного состояния [3], в работе [4] предложена математическая модель по оценке нестационарных параметров данных систем.

В работе [5] получены зависимости времени до разрушения СХВ от начальной концентрации водорода в гидриде и от радиуса баллона (рис. 1).

Анализ рисунка показывает, что увеличение радиуса баллона на 33% может повлечь за собой увеличение времени до его разрушения и выделения всей массы водорода на 50%. Следует отметить, что при начальных концентрациях водорода в гидриде ниже 0,8, уменьшение концентрации приводит к существенному увеличению времени до разрушения.

Кроме того, в работе [6] получены законы распределения плотности вероятности разрушения СХВ в зависимости от характеристик СХВ и внешнего температурного воздействия.

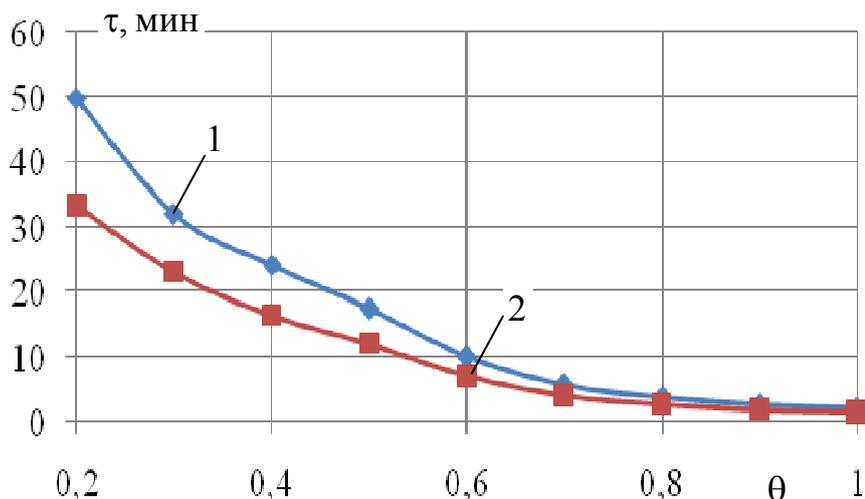


Рис. 1 – Зависимость времени до разрушения [6]: 1 – радиус баллона  $R=0,164$  м; 2 –  $R=0,12$  м

Однако, на сегодняшний день, отсутствуют сведения о влиянии погрешности определения параметров водорода в СХВ, в частности концентрации водорода в гидриде, на время до разрушения.

**Постановка задачи и ее решение.** Целью данной работы является оценка влияния погрешности определения концентрации водорода в гидриде на время до разрушения системы хранения водорода под воздействием внешних тепловых потоков.

Определение концентрации водорода в гидриде можно производить как прямым путем, так и косвенным, исходя из давления газообразного водорода. При этом зависимость равновесного давления можно записать в виде [3, 4]

$$P_{\theta} = P_{H_2}^{(PL)}(T) \cdot e^{2[\beta\mu_H^+(\theta, T) - \beta\mu_H^+(PL)(T)]}, \quad (1)$$

где  $P_{H_2}^{(PL)}(T)$  – зависимость давления на уровне плато; химический потенциал  $\beta\mu_H^+(\theta, T)$  определяется в соответствии с выражением

$$\beta\mu_H^+(\theta, T) = \ln \frac{\theta}{1-\theta} + \frac{W_1\theta}{T(1+\alpha c_s\theta)} + \frac{W_2\theta^2}{T^2(1+\alpha c_s\theta)^2}, \quad (2)$$

где:  $\alpha$  – коэффициент дилатации;  $c_s$  – максимальное количество атомов водорода, поглощаемого одной молекулой интерметаллида;  $W_1$ ,  $W_2$  – параметры модели.

Определение химического потенциала  $\beta\mu_H^+(PL)(T)$  проводится путем решения следующего уравнения

$$0 = P_H^{(\beta)} - P_H^{(\alpha)} = \frac{c_s}{\Omega} \int_{\theta_\alpha}^{\theta_\beta} [\beta\mu_H^{+(PL)} - \beta\mu_H^+(\theta)] d\theta, \quad (3)$$

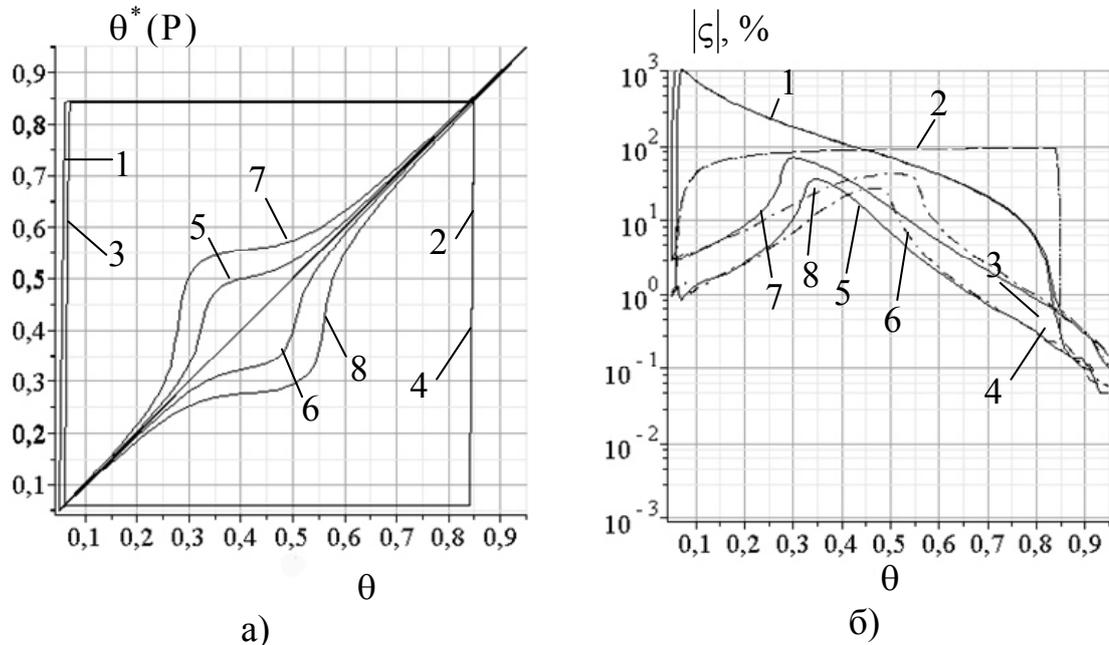
где  $\Omega$  - удельный объем металлической матрицы (на атом металла)

Тогда зависимость концентрации водорода в гидриде с учетом погрешности определения давления можно записать в виде

$$\theta^* = \varphi(P^*), \quad (4)$$

где  $P^* = P \pm \Delta P$ .

В соответствии с (1–4) на рис. 2 приведены зависимости концентрации и относительной погрешности определения концентрации водорода в гидриде с учетом погрешности манометра.

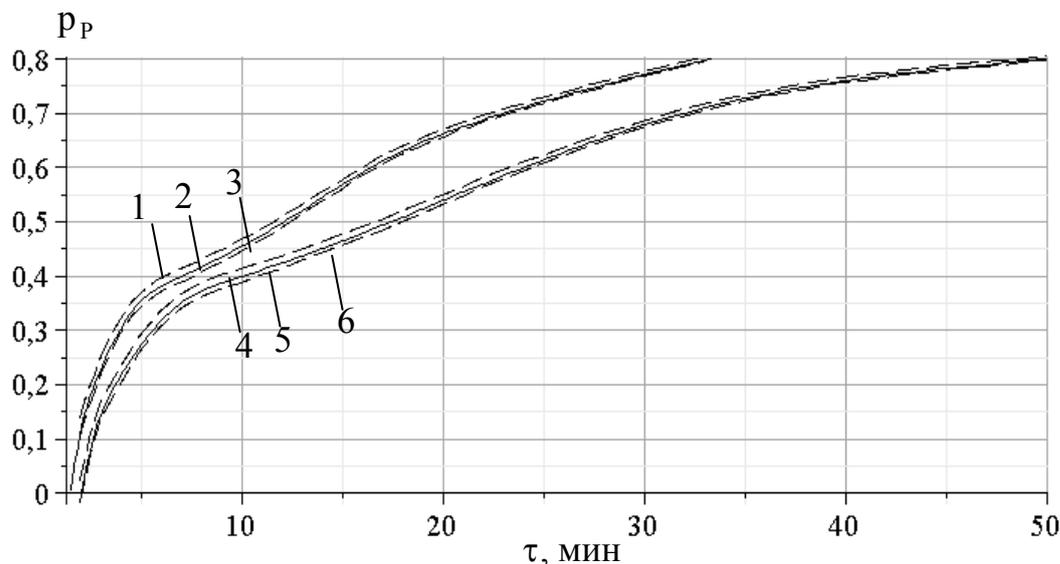


**Рис. 2 – Зависимость концентрации (а) и относительной погрешности определения концентрации (б) водорода в гидриде, как функции концентрации от давления, при различных значениях погрешности манометра: 1 –  $T=298$ ,  $\xi_p=4\%$ ; 2 –  $T=298$ ,  $\xi_p=-4\%$ ; 3 –  $T=298$ ,  $\xi_p=1,5\%$ ; 4 –  $T=298$ ,  $\xi_p=-1,5\%$ ; 5 –  $T=450$ ,  $\xi_p=1,5\%$ ; 6 –  $T=450$ ,  $\xi_p=-1,5\%$ ; 7 –  $T=450$ ,  $\xi_p=4\%$ ; 8 –  $T=450$ ,  $\xi_p=-4\%$**

Анализ рис. 2а показывает, что изменение погрешности измерения давления практически не влияет на изменение погрешности определения концентрации водорода в гидриде в соответствии с выражением (1). При этом, изменение температуры оказывает существенное влияние на величину относительной и абсолютной погрешности (рис. 2б). Следует отметить, что при низких температурах (в области широ-

кого диапазона наличия плато) значение погрешности изменения давления практически не влияет на максимальное значение относительной погрешности определения давления, которое может достигать 1000%.

В соответствии с (1)-(4) и [4-6] получены зависимости вероятности разрушения СХВ с учетом погрешности определения концентрации водорода в гидриде (рис. 3).



**Рис. 3 – Зависимость вероятности разрушения СХВ от времени до разрушения системы: 1, 4 –  $\xi\theta = 2\%$ ; 2, 5 –  $\xi\theta = 0$ ; 3, 6 –  $\xi\theta = -2\%$ ; 1-3 – радиус баллона  $r=0,12$  м; 4-6 –  $r=0,164$  м**

На рис. 4 приведены зависимости абсолютной и относительной погрешности времени до разрушения системы от вероятности разрушения при различных значениях погрешности определения концентрации водорода в гидриде.

Анализ зависимостей показывает, что наибольшее значение относительной погрешности достигается при вероятности разрушения равной 0,37. При увеличении погрешности определения концентрации согласно рис. 2б, относительная погрешность может достигать более 100%. При этом максимальное значение абсолютной погрешности характерно для вероятности разрушения 0,77.

В целом, можно сделать вывод, что погрешность определения концентрации водорода оказывает существенное влияние на определение вероятности разрушения системы хранения водорода в форме гидридов интерметаллидов, изменение времени до разрушения. Особенно это проявляется при определении концентрации водорода косвенным путем, т.е. через давление в системе, что связано с наличием инвариантности давления к росту концентрации водорода в гидриде в зоне  $\alpha$ - $\beta$  фазы.

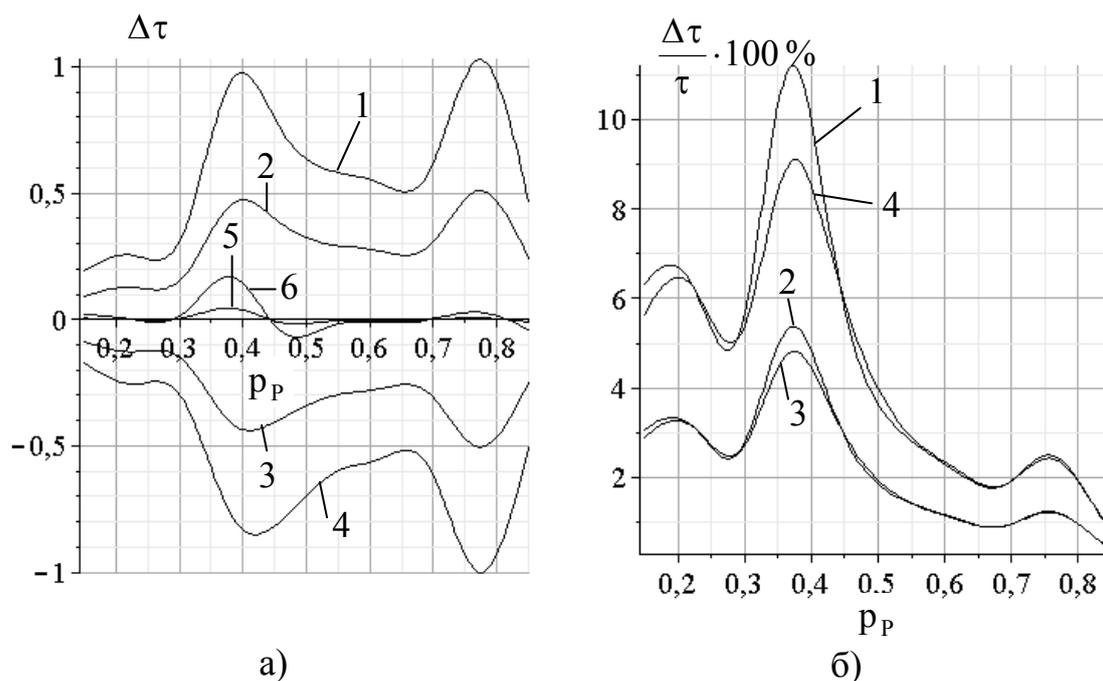


Рис. 4 – Зависимость абсолютной (а) и относительной (б) погрешности времени до разрушения системы от вероятности разрушения при различных значениях погрешности определения концентрации водорода в гидриде: 1 –  $\xi_0 = 2\%$ ; 2 –  $\xi_0 = 1\%$ ; 3 –  $\xi_0 = -1\%$ ; 4 –  $\xi_0 = 2\%$ ; 5 –  $\Delta\tau_1 + \Delta\tau_4$ ; 6 –  $\Delta\tau_2 + \Delta\tau_3$

**Выводы.** В результате проведенной работы получены оценки погрешности определения концентрации водорода в гидриде, как функции давления, с учетом погрешности манометра. Получены зависимости изменения времени до разрушения системы хранения водорода при различных значениях погрешности определения концентрации водорода в гидриде.

## 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. Маринин В.С. Моделирование РСТ – диаграмм металлгидридов в области неупорядоченных фаз / В.С. Маринин, К.Р. Умеренкова, Ю.Ф. Шмалько // Вопросы атомной науки и техники, Сер. Физика радиац. повреждений и радиац. материаловед. – 2003. – №6. – С.40 – 46.

4. Ключка Ю.П. Математическая модель равновесного состояния в системе хранения водорода на основе гидридов интерметаллидов / Ю.П. Ключка // Системи управління, навігації та зв'язку: збірник наукових праць. – Київ, 2011. – Вип. 4(20). – С. 86–88.

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

6. Ключка Ю.П. Развитие научных основ обеспечения пожаровзрывобезопасности систем хранения водорода на автотранспортных средствах: Дис... д-ра техн. наук: 21.06.02 / Национальный университет гражданской защиты Украины. – Х., 2012. – 321 с.

nuczu.edu.ua

V.I. Krivtsova, Yu.P. Kluchka

**Оцінка впливу похибки визначення концентрації водень в гідридах інтерметалідів на час до руйнування системи під впливом зовнішніх теплових потоків**

Ідентифіковано похибки визначення концентрації водню в гідриді, як функції тиску, з урахуванням похибки манометра. Отримано залежності зміни часу до руйнування системи зберігання водню при різних значеннях похибки визначення концентрації водню в гідриді.

**Ключові слова:** водень, гідрид, концентрація, ймовірність, руйнування, час, система зберігання водню.

V.I. Krivtsova, Yu.P. Kluchka

**Evaluation of error determination of hydrogen hydride intermetallics time to failure system by external heat flow**

Identified the error in determining the concentration of hydrogen in the hydride as a function of pressure, given the uncertainty gauge. The dependences of the time change to the destruction of hydrogen storage at different error in determining the concentration of hydrogen in the hydride.

**Keywords:** hydrogen, hydride, concentration, the probability of destruction, time, storage of hydrogen.