

УДК 621. 357. 669

**Б.И.Байрачный**, докт.техн.наук, **Г.Г.Тулский**, докт.техн.наук, **Ю.А.Желавская**, канд.техн.наук,  
**В.Б.Байрачный**, канд.техн.наук, **А.А.Олейник** (Национальный технический университет  
 "Харьковский политехнический институт", Харьков)

### Перспективы использования солнечных батарей в водородной энергетике для автономного обеспечения тепловой энергией

*Изучены особенности электросинтеза водорода в диафрагменных и мембранных электролизерах при использовании солнечных батарей. Рассчитаны удельные электрические параметры солнечных батарей, обеспечивающие заданный режим электросинтеза водорода. Приведены данные зависимости расхода водорода и полученного тепла от удельной мощности солнечных батарей. Обоснована целесообразность использования водорода, полученного от возобновляемых источников энергии, в энергетике.*

**Ключевые слова:** солнечные батареи, электролиз, водородная энергетика, потенциал катода, напряжение на ячейке.

*Вивчено особливості електросинтезу водню в діафрагмових і мембранних електролізерах при використанні сонячних батарей. Розраховано питомі електричні параметри сонячних батарей, що забезпечують заданий режим електросинтезу водню. Наведено дані залежності витрати водню й отриманого тепла від питомої потужності сонячних батарей. Обґрунтовано доцільність використання водню, отриманого від поновлюваних джерел енергії, в енергетиці.*

**Ключові слова:** сонячна батарея, електроліз, воднева енергетика, потенціал катода, напруга на комірці.

Превращение солнечными батареями световой энергии в электрическую широко используется в энергетике. Одним из перспективных направлений применения энергии от солнечных батарей является электрохимический синтез водорода с последующим превращением его энергии в тепловую [1].

Снижение стоимости синтеза водорода возможно при его получении от возобновляемых источников энергии (солнечных батарей) с использованием мембранного электролиза водных или твердых электролитов. Электросинтез водорода реализуется в электролизерах, напряжение на которых ( $U_a$ ) выражается уравнением:

$$U_a = (E_+ + \eta_+) - (E_- - \eta_-) + j \cdot R_s + j \cdot R_{\Pi},$$

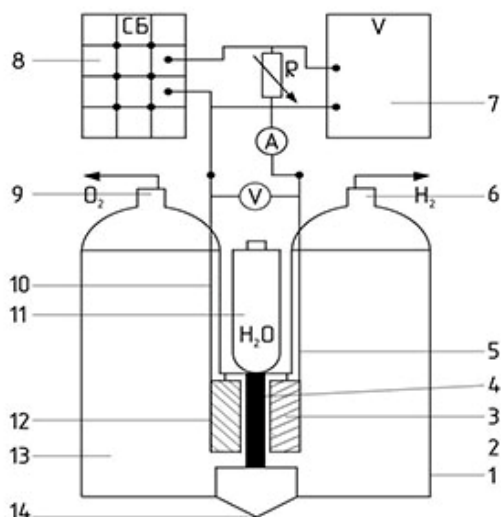
$$R_{\Pi} = R_{\Pi 1} + R_{\Pi 2},$$

где  $E_+$  и  $E_-$  – стационарные потенциалы анода и катода, В;  $\eta_+$  и  $\eta_-$  – перенапряжение выделения кислорода и водорода, В;  $j$  – плотность тока, А/дм<sup>2</sup>;  $R_s$  – омическое сопротивление электролита, Ом;  $R_{\Pi 1}$  – сопротивление проводников;  $R_{\Pi 2}$  – сопротивление поверхностных слоев на рабочих электродах.

В данной работе для электросинтеза водорода

использована установка, приведенная на рис. 1. Она состоит из двухкамерного корпуса (1) с разделенной катодной (2) и анодной (13) камерами. Между камерами расположена мембрана (4), к которой непосредственно примыкает катод (3) и анод (12). К электродам подводится ток через токоподводы (5) и (10). Жидкий электролит или вода поступают на мембранную диафрагму из емкости (11). Избыток электролита отводится через трубопроводы (14). Образующийся при электролизе водород  $H_2$  и кислород  $O_2$  отводятся через патрубки (6) и (9). Электрическая схема состоит из солнечной батареи (8), амперметров, вольтметров и сопротивлений. Измерительная схема включает ламповый высокоомный вольтметр (7), хлорсеребряный электрод сравнения, электролитические ключи и проводники.

От солнечной батареи регулируемая сила тока подается на электроды, где на катоде выделяется  $H_2$ , а на аноде  $O_2$ . Потенциалы катода и анода, падение напряжений на мембране и в цепи регистрируются вольтметром и выводятся на компьютер для записи. Электролит или вода подаются из емкости на мембрану, а избыток электролита выводится из нижней части камер через трубопроводы.



**Рис. 1.** Мембранный электролизер синтеза водорода  $H_2$  и кислорода  $O_2$ : 1 – корпус; 2 – катодная камера; 3 – катод; 4 – мембрана; 5 – токоподвод катода; 6 – патрубок для отвода  $H_2$ ; 7 – высокоомный вольтметр; 8 – солнечная батарея; 9 – патрубок для отвода  $O_2$ ; 10 – токоподвод анода; 11 – емкость с водой; 12 – анод; 13 – анодная камера; 14 – трубопровод для отвода электролита.

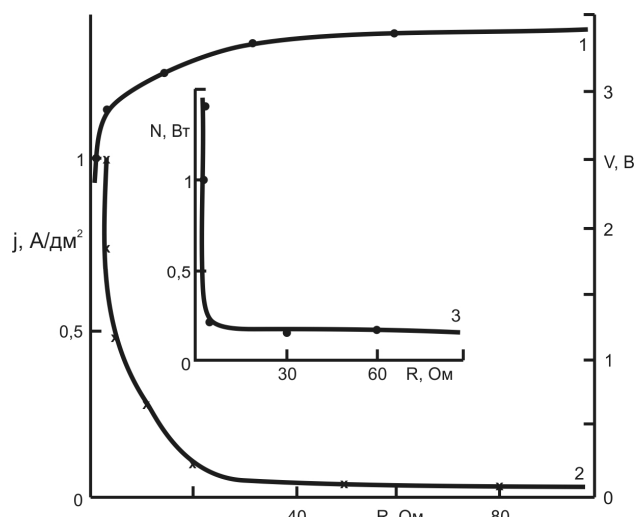
Электросинтез водорода осуществляется в диафрагменных или мембранных электролизерах с использованием как водных, так и твердых электролитов в интервале напряжений на ячейке 1,7-2,5 В с плотностями тока 0,5-10 А/дм<sup>2</sup> при температуре 20-50°C.

При использовании солнечных батарей в качестве источников электрической энергии необходимо произвести предварительный расчет их вольт-амперных параметров и реальную мощность, отдаваемую батареей для проведения электролиза. Электрические характеристики батареи определяются путем снятия вольт-амперных зависимостей и расчета ее мощности в интервале изменений сопротивлений, имеющих место при работе электролизера [2].

Для экспериментального реактора, используемого в работе (рис. 1), была выбрана солнечная батарея УН 21, имеющая следующие электрические параметры: рабочее напряжение 3,35-3,5 В; ток короткого замыкания 1 А; мощность 1,2-2,5 Вт.

На рис. 2 приведены зависимости изменения напряжения (1), тока (2) и мощности (3) от сопротивления внешней цепи. Из приведенных зависимостей видно, что при постоянной освещенности в интервале сопротивлений 50-500 Ом электрические параметры батареи изменяются

незначительно. Падение напряжения до 1 В отмечается при сопротивлении 5 Ом. Ток, отдаваемый фотобатареей, приближается к току короткого замыкания. При этом сопротивлении батарея отдает максимальную мощность. Кривая (3) отражает изменение количества энергии, отдаваемой солнечной батареей, и свидетельствует о допустимых интервалах плотностей тока, отдаваемых ею во внешнюю цепь.



**Рис. 2.** Зависимости напряжения (1), плотности тока (2) и мощности (3) от омического сопротивления солнечной батареи площадью 1,2 дм<sup>2</sup> с номинальным напряжением 3,5 В.

Рабочие параметры электросинтеза водорода и кислорода определялись путем изучения поляризационных зависимостей никелевых катода и анода, а также падения напряжения на катионной мембране.

На рис. 3 показаны хронопотенциограммы катодной (а) и анодной (б) поляризации никелевых электродов солнечной батареи в течение 1 часа. Они отражают скачки потенциалов, пропорциональные плотности тока в начальной стадии поляризации. Величина катодной поляризации после включения тока составляет:  $\Delta E_k = -0,7 - (-0,8)$  В. Затем, спустя 2-5 мин, потенциал катода стабилизируется и остается постоянным в течение длительного времени. Потенциалы анодов после включения поляризации в первые 2-3 минуты также смещаются в область положительных значений пропорционально плотности тока на величину  $\Delta E_a = 0,6 - 0,9$  В. В дальнейшем потенциал анода стабилизируется и остается постоянным на протяжении заданного времени электролиза.

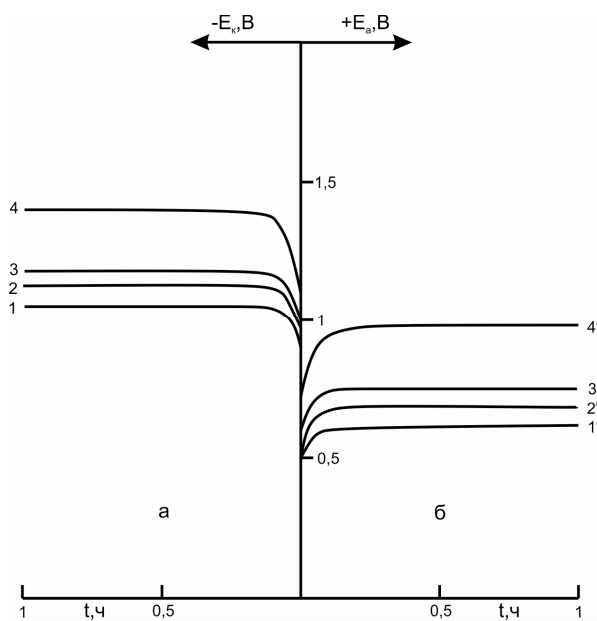


Рис. 3. Хронопотенціограми катода (а, 1, 2, 3, 4) и анода (б, 1', 2', 3', 4') при плотностях тока, А/дм<sup>2</sup>: 1, 1' – 0,7; 2, 2' – 1,7; 3, 3' – 2,8; 4, 4' – 5,0.

Величины основных параметров электролиза сведены в табл. 1, где приведены расчетные данные по объему выделившегося водорода и количеству полученного тепла от его сжигания в удельных величинах, учитывающих поверхность солнечной батареи, плотность тока, которую она генерирует при фиксированной разности потенциалов и напряжении на ячейке (рис. 1).

На рис. 4 показаны зависимости объема выделившегося водорода (1) и полученной теплоты (2) от его сжигания в воздушной среде от удельной плотности тока в течение 1 часа для солнечной батареи площадью 1,2 дм<sup>2</sup>.

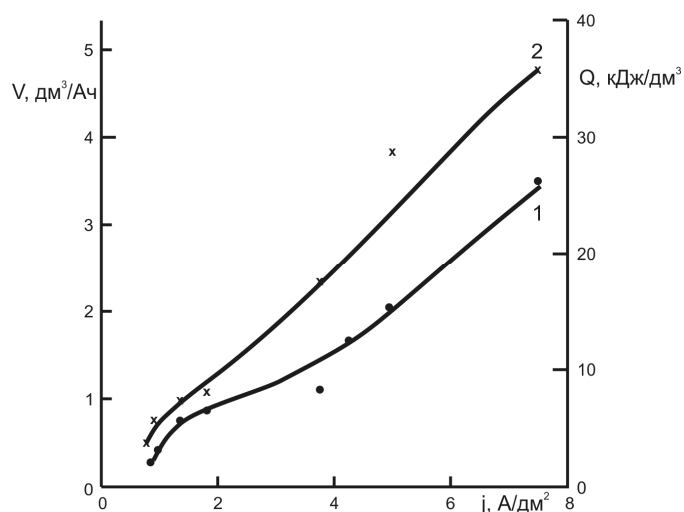


Рис. 4. Объем ( $V$ ) водорода (1), полученного при электролизе в течение 1 часа с использованием солнечной батареи площадью 1,2 дм<sup>2</sup> и количество тепла ( $Q$ ), выделившегося при его сжигании (2).

Приведенные данные подтверждают эффективность получения тепловой энергии и использования ее в автономных объектах жизнедеятельности. Продуктом реакции сжигания водородного топлива является вода, обеспечивающая максимальную безопасность превращения солнечной энергии в тепловую при наличии аккумуляторов накопления водорода.

При электросинтезе водорода в электролизере с мембраной типа МК-40 возможно получить 2-3 дм<sup>3</sup>/А·ч водорода от солнечной батареи с площадью поверхности 1,2 дм<sup>2</sup> при плотности тока 5-7 А/дм<sup>2</sup>.

Таблица 1. Основные параметры электролиза и расчетные удельные величины объема водорода и выделившегося тепла от его сжигания

№	$U_6$ , В	$J$ , А/дм <sup>2</sup>	$E_{к\tau}$ , В	$E_{a\tau}$ , В	$U_{я\text{ теор}}$ , В	$P$ , Вт/дм <sup>2</sup>	$V_{H_2}$ , дм <sup>3</sup> /А·ч	$Q$ , кДж/А·ч	$U_{я\text{ изм}}$ , В	Примечание
1	3,35	0,7	-1,06	0,62	1,68	0,0175	0,294	3,741	1,71	V <sub>H<sub>2</sub></sub> приведен к нормальным условиям
2	3,32	0,8	-1,08	0,65	1,74	0,02	0,336	4,268	1,76	
3	3,26	0,9	-1,11	0,66	1,77	0,0225	0,378	4,740	1,77	
4	3,22	1,2	-1,12	0,68	1,80	0,03	0,504	6,320	1,81	
5	3,20	1,7	-1,14	0,69	1,83	0,0425	0,714	8,954	1,84	
6	3,10	2,8	-1,18	0,75	1,93	0,07	1,176	14,747	2,15	
7	3,09	3,8	-1,22	0,82	2,04	0,095	1,596	20,014	2,23	
8	3,05	5,0	-1,30	0,90	2,20	0,125	2,110	26,334	2,29	
9	3,03	5,5	-1,32	0,96	2,28	0,1375	2,310	28,967	2,30	
10	3,01	10,0	-1,41	1,20	2,61	0,25	4,100	52,668	2,70	

При использовании в электролизерах протон-проводящих мембран, обладающих свойствами твердых электролитов, их производительность можно увеличить в 3-4 раза. В таких электролизерах источником водорода является вода, которая образуется после сжигания водорода, обеспечивая замкнутый цикл генерации энергии [3].

**Выводы.** 1. Установлены удельные технологические параметры электролиза водорода от солнечных батарей в условиях изменения освещенности и плотности тока электролиза.

2. Рассчитаны энергетические параметры водорода и установлена их зависимость от удельных электрических характеристик солнечных модулей. Количественным показателем эффективности превращения световой энергии солнеч-

ной батареи в тепловую является удельная мощность батареи, снимаемая с единицы площади ее поверхности.

3. Определены соотношения между электрическими характеристиками солнечной батареи, количеством водорода и тепловой энергией в условиях генерации электрической энергии для автономных устройств.

1. Козин Л.Ф., Волков С.В. Современная энергетика и экология. Проблемы и перспективы. – К: Наукова думка, 2006. – 772 с.

2. Колтун М.М. Оптика и метрология солнечных элементов. – М: Наука, 1985. – 280 с.

3. Твайделл Дж., Уэйр Л. Возобновляемые источники энергии. – М: Энергоиздат, 1990. – 390 с.

УДК 544.522:541.138:621

**В.Д.Добровольський**, канд.фіз.-мат.наук, **О.Г.Єршова**, канд.техн.наук, **Ю.М.Солонін**, чл.-кор. НАН України (Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України, Київ)

### **Дослідження впливу способу отримання та витримки на повітрі $MgH_2$ на його термічну стійкість та кінетику десорбції з нього водню**

*Методом ізобаричної термодесорбційної спектроскопії (ТДС) досліджено вплив способу отримання і витримки на повітрі на термічну стійкість та кінетику десорбції водню з гідридних фаз  $MgH_2$  композитів, одержаних різними способами, зокрема, методом реактивного механічного сплавлення (РМС) та прямого гідрування із газової фази (ГГФ). Досліджено методом XPS механізм вказаного впливу і роль у ньому поверхні гідриду. Встановлено, що зі збільшенням часу помелу і ступеня механічного диспергування порошку Mg зменшується погіршення кінетики і підвищення температури початку десорбції водню з гідридної фази  $MgH_2$  композиту внаслідок дії повітря на нього. Встановлено, що чим більший ступінь отруєння каталітичними ядами поверхні часток гідриду  $MgH_2$  за певний час витримки на повітрі, тим більшого підвищення термічної стійкості і температури початку десорбції водню з нього при нагріванні слід очікувати.*

**Ключові слова:** гідридна фаза, термічна стабільність, кінетика, термодесорбційна спектроскопія, фотоелектронна спектроскопія, дисоціативна хемосорбція.

*Методом изобарической термодесорбционной спектроскопии (ТДС) исследовано влияние способа получения и выдержки на воздухе на термическую стойкость и кинетику десорбции водорода из гидридной фазы  $MgH_2$  композитов, полученных разными способами – методом реактивного механического сплавления (РМС) и прямым гидрированием из газовой фазы (ГГФ). Методом XPS исследован механизм указанного влияния и роль в нём поверхности гидрида. Установлено, что с увеличением времени размолу и степени механического диспергирования порошка Mg уменьшается ухудшение кинетики и повышение температуры начала десорбции водорода из гидридной фазы композита вследствие воздействия на него воздуха. Установлено, что чем больше степень отравления каталитическими ядами поверхности частиц гидрида  $MgH_2$  за время выдержки на воздухе, тем большего повышения термической стойкости и температуры начала десорбции водорода из него следует ожидать при нагревании.*

**Ключевые слова:** гидридная фаза, термическая стабильность, кинетика, термодесорбционная спектроскопия, фотоелектронная спектроскопия, диссоциативная хемосорбция.