

УДК 620.91, 536.24, 621.576.5

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНОЙ МЕТАЛЛОГИДРИДНОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГО- АККУМУЛИРОВАНИЯ НА БАЗЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Ю. М. Мацевитый,
академик НАН Украины
ORCID: 0000-0002-6127-0341

Н. А. Черная, канд. техн. наук
nataliyachernaya7@gmail.com
ORCID: 0000-0002-9161-0298

А. А. Шевченко
ORCID: 0000-0002-6009-2387

Институт проблем
машиностроения
им. А. Н. Подгорного
НАН Украины,
61046, Украина, г. Харьков,
ул. Пожарского, 2/10

Водород является одним из самых энергоемких и экологически чистых энергоносителей, поэтому его использование для работы топливных элементов (ТЭ) позволяет создавать эффективные системы автономного энергообеспечения. Энергоустановки на базе ТЭ характеризуются высоким коэффициентом полезного действия и экологической безопасностью. Особый интерес представляют энергоустановки на основе низкотемпературных щелочных ТЭ мощностью от 1 до 20 кВт, которые могут найти широкое применение в качестве источников автономного питания для потребителей жилого сектора. Размещение таких автономных установок предполагается в непосредственной близости от потребителя энергии, что требует от систем топливообеспечения высокого уровня безопасности, надежности и экологичности. Этим требованиям отвечают системы хранения водорода на основе обратимых металлгидридов (МГ), способных поглощать и выделять водород. Одним из основных компонентов автономной системы энергообеспечения является металлгидридный аккумулятор водорода многократного действия. Для эффективности работы системы «ТЭ – МГ аккумулятор водорода» необходимо разработать методику определения основных ее технических характеристик еще на этапе создания и в процессе исследования этих характеристик. В статье представлена разработанная схема ветроэнергетической установки с водородным накопителем энергии, выбран ТЭ и проведен анализ работы ТЭ с МГ системой аккумулялирования водорода. Полученные результаты позволили определить закономерность между количеством отобранного тепла от ТЭ для десорбирования водорода с последующим его использованием для прироста мощности топливного элемента и обеспечения характеристик сети потребителя. Показано, что применение комплексного подхода к изучению перспективной схемы аккумулялирования и использования энергии ветра позволит решить проблему сглаживания неравномерности поступления энергии от возобновляемых источников.

Ключевые слова: топливные элементы, металлгидридный аккумулятор водорода, энергообеспечение.

Введение

Поскольку водород является энергоемким, экологически чистым и технологически гибким энергоносителем, его использование в ТЭ позволяет создавать эффективные системы автономного энергообеспечения. Энергоустановки на базе ТЭ характеризуются высоким КПД и экологической безопасностью [1–3]. Особый интерес представляют энергоустановки на основе низкотемпературных щелочных ТЭ, т.к. они являются самыми дешевыми в производстве, катализатором на электродах может быть любое вещество, более дешевое, чем используемые в качестве катализаторов вещества в других топливных элементах. Кроме того, щелочные ТЭ работают при относительно низкой температуре, характеризуются высоким КПД, бесшумностью в работе, высокими плотностью энергии, удельной производительностью и экологической чистотой.

Энергоустановки на базе топливных элементов мощностью от 1 до 20 кВт могут найти широкое применение в качестве источников автономного и бесперебойного питания таких потребителей, как узлы телекоммуникаций, центры различных компаний. Размещение автономных установок мощностью до 20 кВт предполагается в непосредственной близости от потребителя энергии, что требует от систем топливообеспечения высокого уровня безопасности, надежности и экологичности.

Этим требованиям отвечают системы хранения водорода на основе обратимых МГ, способных поглощать и выделять водород. В этих системах водород поглощается МГ при отводе тепла и выделяется при нагревании, причем через значительный тепловой эффект реакции возникает довольно сильная зависимость равновесного давления водорода от температуры. Для низкотемпературных

систем это давление изменяется до величин порядка 10 атм при температуре от 20 до 80–90 °С, что позволяет проводить процессы поглощения и выделения водорода за счет имеющихся в системе энергообеспечения горячей и холодной воды и осуществлять безмашинное сжатие газообразного водорода с использованием низкопотенциального тепла.

Постановка проблемы

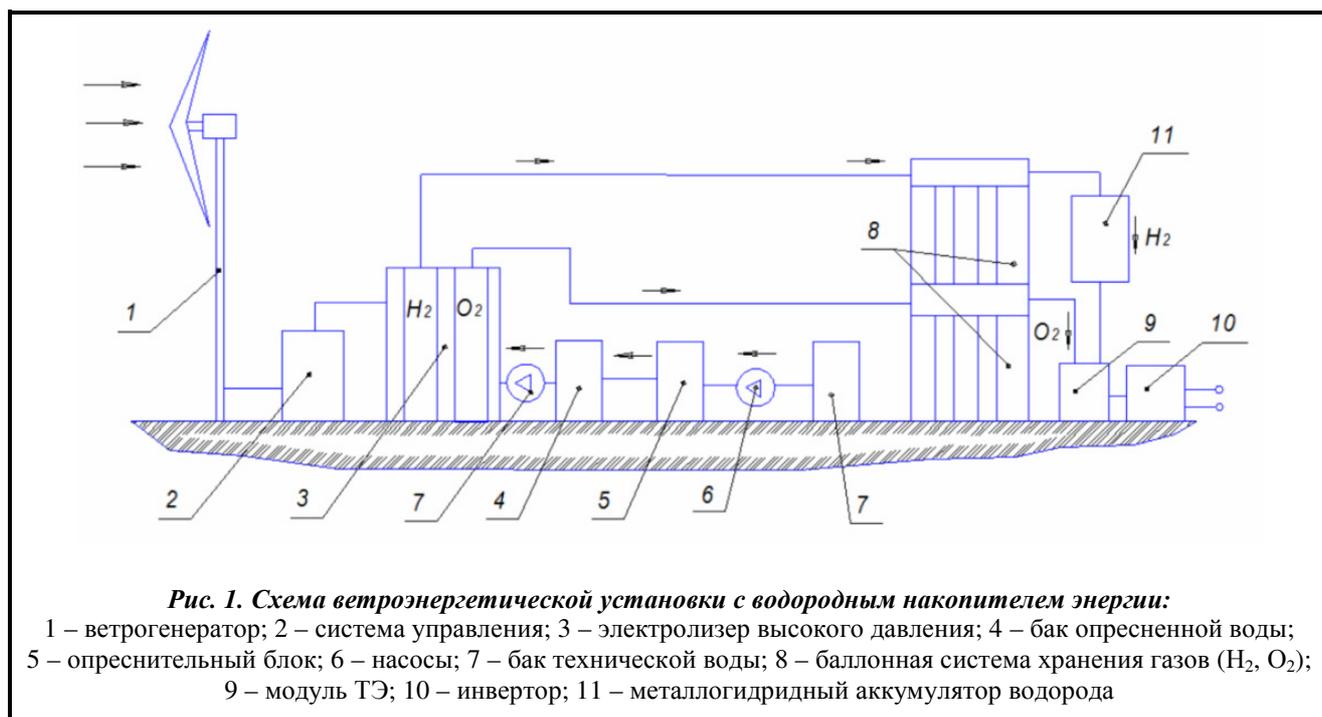
Одним из основных компонентов автономной системы энергообеспечения является металлгидридный аккумулятор водорода многократного действия, обладающий высоким объемным содержанием водорода (выше, чем в криогенном сжиженном состоянии), широким интервалом рабочих давлений и температур, постоянством давления при гидрировании-дегидрировании, возможностью регулирования давления и скорости выделения водорода при разных температурах. Металлогидридные аккумуляторы водорода просты, надежны, безопасны в эксплуатации, бесшумны, компактны и выделяют высокочистый водород [4–6].

С целью обеспечения эффективности работы системы «ТЭ – металлгидридный аккумулятор водорода» необходимо разработать методику определения основных ее технических характеристик еще на этапе создания и в процессе исследования этих характеристик. В связи с этим основными задачами исследования является разработка технологической схемы металлгидридной системы энергообеспечения на базе топливных элементов, выбор ТЭ и проведение анализа работы ТЭ с металлгидридной системой аккумулирования водорода.

Результаты исследования

Для исследования металлгидридных технологий накопления и хранения водорода в щелочных ТЭ разработана схема ветроэнергетической установки (рис. 1).

В процессе работы ветрогенератора выработанная электроэнергия порядка 5 кВт·ч через систему управления подается на электролизер высокого давления. Для эксплуатации электролизера используется технологическое оборудование, обеспечивающее его непрерывную и устойчивую работу. В процессе реакции электрохимического разложения жидкого щелочного электролита полученные кислород и водород поступают в баллонную систему хранения газов, которые используются для работы модуля ТЭ. Для преобразования полученного напряжения постоянного потенциала в переменное применяется инвертор. Затем преобразованная электроэнергия подается потребителю. В часы, когда мощность ветрогенератора избыточна, осуществляется накопление водорода в металлгидридном аккумуляторе совместно с газобаллонной системой хранения.



Таким образом, происходит аккумулярование энергии ветра для последующего автономного энергоснабжения потребителей. В часы пиковых нагрузок (утреннее и вечернее время), а также в случае резкого продолжительного снижения скорости ветра водород и кислород из системы хранения расходуется на генерирование дополнительной электроэнергии с помощью модуля щелочных ТЭ [7, 8].

Для проведения расчетных исследований автономной системы энергообеспечения на рис. 2 представлена структура и основные этапы ее работы.

Важным этапом проектирования этих систем является определение расхода водорода для обеспечения питанием ТЭ. В качестве рабочего материала для металлгидридного аккумулярования водорода выбран LaNi_5 , преимуществом которого является невысокая чувствительность к примесям кислорода и влаги, что позволяет использовать технический или электролизный водород.

Для ветроэнергетической установки мощностью 5 кВт·ч с расходом водорода $1,28 \text{ м}^3/\text{ч}$ рассмотрены и проанализированы щелочные топливные элементы, представленные в таблице.

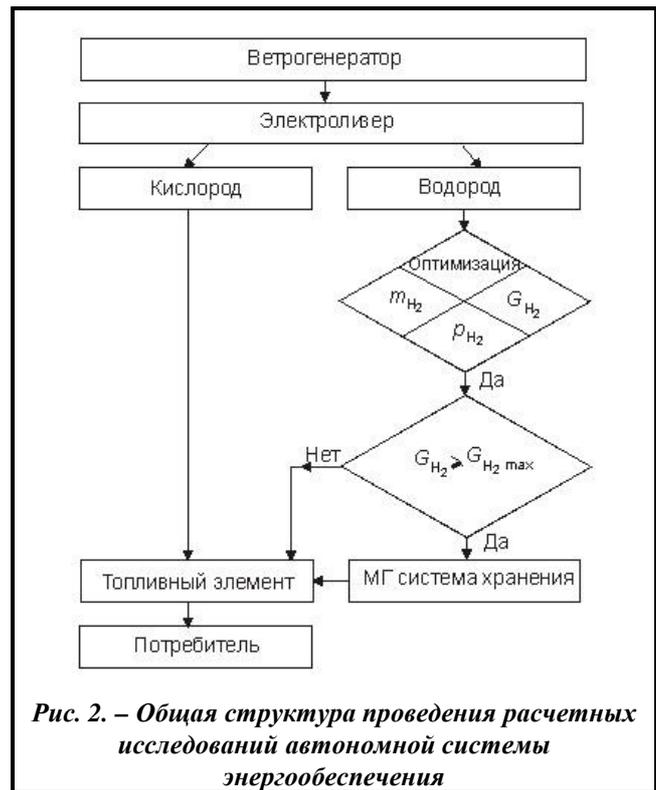


Рис. 2. – Общая структура проведения расчетных исследований автономной системы энергообеспечения

Основные технические характеристики щелочных ТЭ [9]

ТЭ	Мощность ТЭ, кВт·ч	Давление H_2 , бар	Поток H_2 , л/мин	Требования к чистоте H_2 , %	Длительность работы, мин
Dantherm Power DBX 2000	1,676	5,0	25,0	99,95	213
ReliOn E2500	2,50	0,55–0,83	30,0	99,95	180
Dantherm Power DBX 5000	5,00	5,0	72,5	99,95	73

В результате выбран ТЭ ReliOn E2500 мощностью 2,5 кВт·ч, обеспечивающий заданные характеристики ветроэнергетической установки с водородным накопителем энергии. Для подобранного топливного элемента исследовано влияние разности температур между температурой теплоносителя и окружающей среды ΔT на изменение количества водорода, поступающего в ТЭ (рис. 3) и на его мощность (рис. 4).

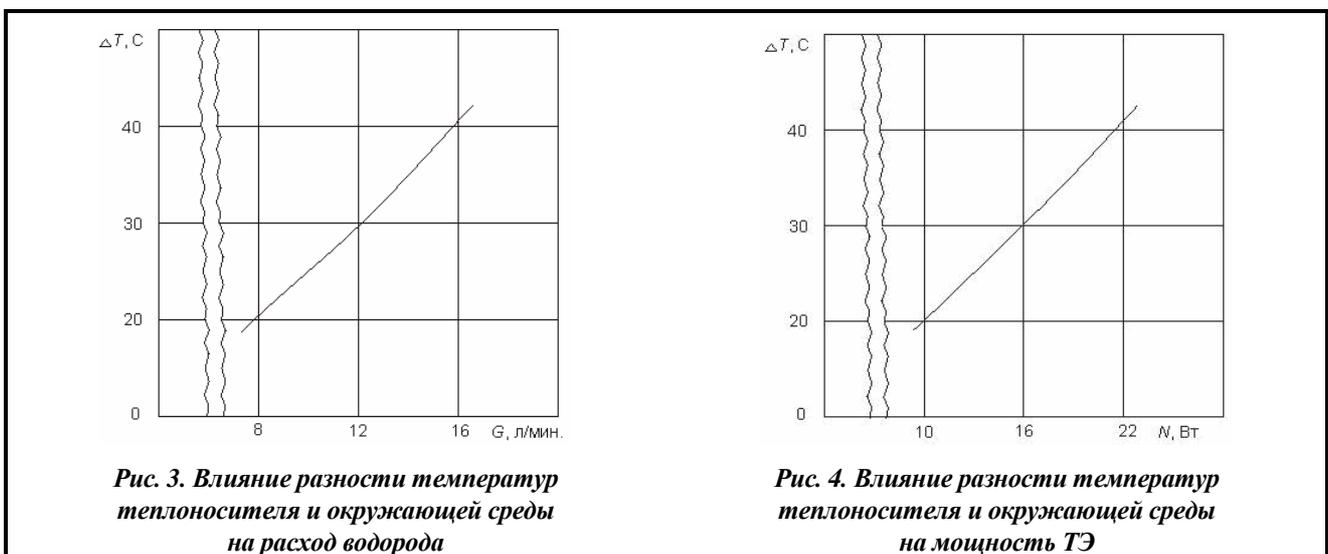


Рис. 3. Влияние разности температур теплоносителя и окружающей среды на расход водорода

Рис. 4. Влияние разности температур теплоносителя и окружающей среды на мощность ТЭ

Полученные результаты позволили определить закономерность между количеством отобранного тепла от ТЭ для десорбирования водорода с последующим его использованием для прироста мощности топливного элемента и обеспечения характеристик сети потребителя.

Выводы

Для автономной системы энергообеспечения подобран топливный элемент и проведен термодинамический анализ комплексной системы «ТЭ – МГ аккумулятор водорода». Показано, что применение комплексного подхода к изучению перспективной схемы аккумулирования и использования энергии ветра решит проблему сглаживания неравномерности поступления энергии от возобновляемых источников, а использование в составе ветроэнергетического комплекса оригинальной электролизной технологии обеспечивает следующие преимущества:

– снижение энергозатрат при производстве целевых продуктов на 10–15% по сравнению с существующими аналогами (удельное энергопотребление составляет 3,8–4,1 кВт·ч при генерации 1 м³ водорода и 0,5 м³ кислорода);

– генерацию газов с давлением, ограниченным лишь прочностью конструкции корпусных элементов;

– повышение надежности и безопасности эксплуатации системы при отсутствии разделительных мембран;

– уменьшение стоимости основного оборудования за счет того, что в электрохимическом генераторе водорода и кислорода высокого давления не используются редкоземельные металлы и металлы платиновой группы, что повышает его конкурентоспособность на рынке технических средств, ориентированных на получение водорода.

Литература

1. Ma Zh., Eichman J., Kurtz J. Fuel cell back up power system for grid-service and micro-grid in telecommunication applications. *ASME 12th Intern. Conf. on Energy Sustainability* (June 24–28, 2018, Lake Buena Vista, FL, USA). 2018. P. 1–9. <https://doi.org/10.1115/es2018-7184>.
2. Tarasov B. P. Metal-hydride accumulators and generators of hydrogen for feeding fuel cells. *Int. J. Hydrogen Energy*. 2011. Vol. 36. No 1. P. 1196–1199.
3. Чорна Н. А. Розробка водневої системи резервування та акумулювання енергії на основі металогідридних систем зберігання водню. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доп. XXVII міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2019: у 4 ч., 15–17 травня 2019 р. Ч. I*. 2019. С. 273.
4. Соловей В. В., Шмалько Ю. Ф., Лотоцкий М. В. Металлогидридные технологии. Проблемы и перспективы. *Пробл. машиностроения*. 1998. Т. 1. № 1. С. 115–132.
5. Мацевитый Ю. М., Соловей В. В., Черная Н. А. Повышение эффективности металлогидридных элементов теплоиспользующих установок. *Пробл. машиностроения*. 2006. Т. 9. № 2. С. 85–93.
6. Соловей В. В., Кошельник А. В., Черная Н. А. Моделирование тепломассообменных процессов в металлогидридных теплоиспользующих установках. *Пром. теплотехника*. 2012. Т. 34. № 2. С. 48–53.
7. Solovey V., Khiem N. T., Zipunnikov M. M., Shevchenko A. Improvement of the membrane-less electrolysis technology for hydrogen and oxygen generation. *French-Ukrainian J. Chemistry*. 2018. Vol. 6. No. 2. P. 73–79. <https://doi.org/10.17721/fujcV6I2P73-79>.
8. Solovey V., Kozak L., Shevchenko A., Zipunnikov M., Campbell R., Seamon F. Hydrogen technology of energy storage making use of wind power potential. *J. Mech. Eng.* 2017. Vol. 20. No. 1. P. 62–68. <https://doi.org/10.15407/pmach2017.01.062>.
9. M&M (MarketsandMarkets), (Dallas, TX Market Research Company and Consulting Firm). Аналитический отчет «Fuel Cell Technology Market: By Applications (Portable, Stationary, Transport), Types (PEMFC, DMFC, PAFC, SOFC, MCFC), Fuel (Hydrogen, Natural Gas, Methanol, Anaerobic Digester Gas) & Geography – Global Trends and Forecast to 2018»; <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/fuel-cell-market-348.html>.

Поступила в редакцию 13.11.2019

Розробка перспективної металогібридної системи енергоакумулювання на базі паливних комірок для вітрової енергетики**Ю. М. Мацевитий, Н. А. Чорна, А. А. Шевченко**Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України,
61046, Україна, м. Харків, вул. Пожарського, 2/10

Водень є одним з найбільш енергоємних і екологічно чистих енергоносіїв, тому його використання для роботи паливних комірок (ПК) дозволяє створювати ефективні системи автономного енергозабезпечення. Енергоустановки на базі ПК характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії та екологічною безпекою. Особливий інтерес становлять енергоустановки на основі низькотемпературних лужних ПК потужністю від 1 до 20 кВт, які можуть знайти широке застосування як джерела автономного живлення для споживачів комунально-житлового сектора. Розміщення таких автономних установок передбачається в безпосередній близькості від споживача енергії, що вимагає від систем паливозабезпечення високого рівня безпеки, надійності та екологічності. Цим вимогам відповідають системи зберігання водню на основі обернених металогібридів (МГ), здатних поглинати і виділяти водень. Одним з основних компонентів автономної системи енергозабезпечення є металогібридний акумулятор водню багаторазової дії. З метою забезпечення ефективності роботи системи «паливна комірка – металогібридний акумулятор водню» необхідно розробити методику визначення основних її технічних характеристик ще на етапі створення і в процесі дослідження цих характеристик. У зв'язку з цим основними задачами дослідження є розробка технологічної схеми металогібридної системи енергозабезпечення на базі паливних комірок, вибір ПК і проведення аналізу їх роботи з металогібридною системою акумулювання водню. На основі системного аналізу запропонованого варіанта технічної схеми отримано результати, які дозволили визначити закономірність між кількістю відібраного тепла від ПК під час десорбції водню з подальшим його використанням для збільшення потужності паливної комірки і забезпечення пропускної здатності мережі споживача. Визначено, що застосування комплексного підходу до вивчення перспективної схеми акумулювання і використання енергії вітру дозволить вирішити проблему згладжування нерівномірності надходження енергії від поновлюваних джерел, а використання в складі вітроенергетичного комплексу оригінальної електролізної технології підвищує її конкурентоспроможність на ринку технічних засобів, орієнтованих на отримання водню.

Ключові слова: паливні комірки, металогібридний акумулятор водню, енергозабезпечення.