

UDC 620.9

Power Facilities on the Basis of Renewable Energy Resources and Electrochemical Systems with Hydrogen Store *¹Sergei A. Grigor'ev²Viktor I. Kostin³Aleksandr S. Grigor'ev

¹Russian Research Center "Kurchatov Institute", Russian Federation
Dr. (Technical), Assistant Professor
E-mail: sergey.grigoriev@outlook.com

²Russian Research Center "Kurchatov Institute", Russian Federation

³Russian Research Center "Kurchatov Institute", Russian Federation
PhD (Technical)
E-mail: grig@dserver.dhtp.kiae.ru

Abstract. The article considers the aspects of power facilities on the basis of renewable energy resources with the use of electro-chemical systems with hydrogen store for energy accumulation. It was shown that energy storage in the form of hydrogen – high-efficiency energy source is considerably superior in capacity to traditional accumulator batteries and enables to smooth both daily and seasonal voltage variation from renewable energy resources.

Keywords: power plant; renewable energy source; electrochemical system; energy storage; hydrogen.

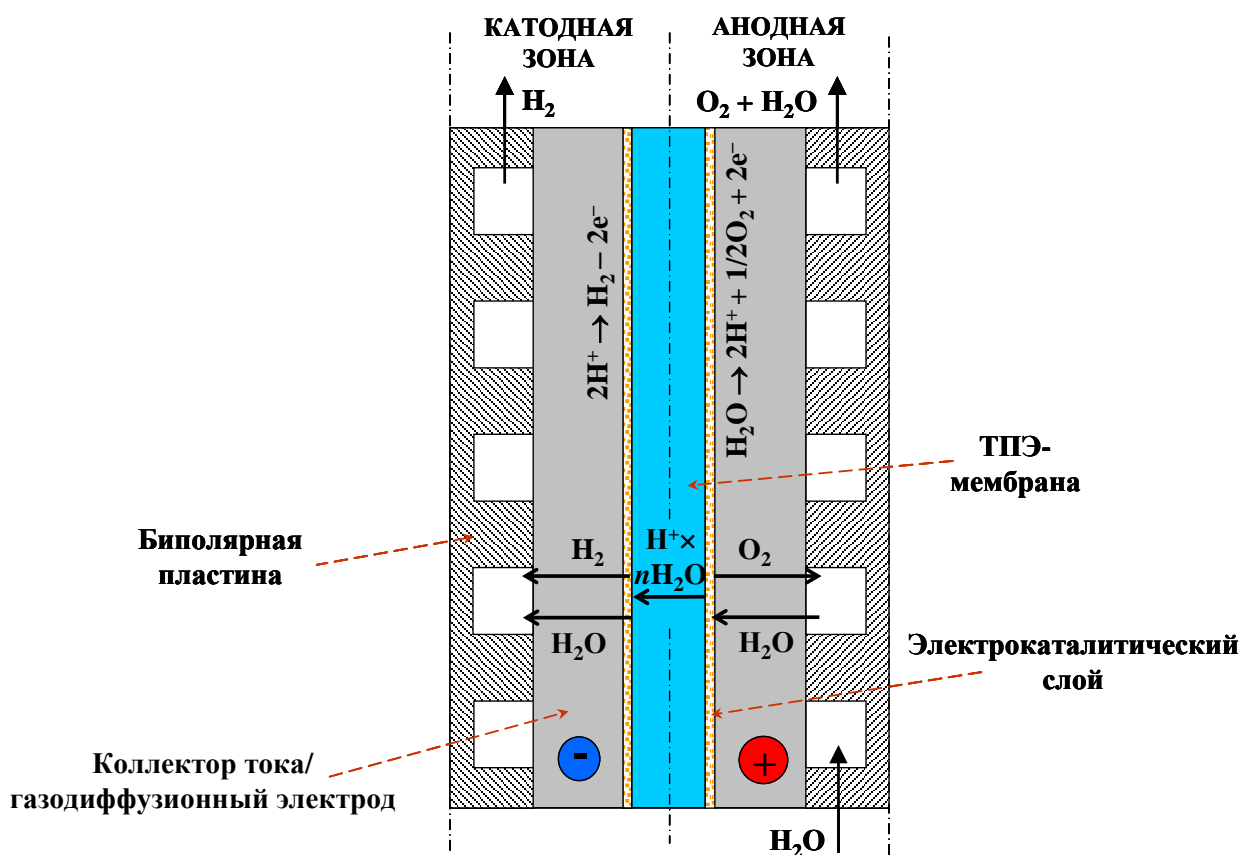
Введение. В последние годы во всем мире значительно возрос интерес к использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [1]. Дополнительный импульс к широкомасштабному внедрению энергоустановок на основе ВИЭ дала авария на Фукусимской АЭС (2011 г.), после которой ряд стран приняли решение о сворачивании атомных электростанций и их замене энергосистемами на основе ВИЭ. Так, уже сегодня в Германии доля энергии, производимой солнечными фотопанелями (24 %), практически сравнялась с энергией, производимой атомными станциями (25 %), и скоро ее превзойдет (к 2050 г. планируется полностью перейти на возобновляемую энергетику и отказаться от атомной). Для России масштаб задачи создания автономных энергоустановок и локальных энергетических сетей на основе ВИЭ можно оценить по тому факту, что приблизительно 70 % территории нашей страны, на которой проживает до 20 млн населения, не имеют возможности присоединения к централизованным электросетям [2] и получают электроэнергию от дизель-генераторов ограниченной мощности. Завоз дизельного топлива в такие регионы затруднен из-за чего финансовые затраты на его закупку постоянно растут.

В качестве первичных источников энергии для установок на основе ВИЭ, как правило, используется энергия солнца и ветра [3]. Причем в первом случае потребитель может быть обеспечен как электрической (от фотопанелей [4]), так и тепловой энергией (от солнечных коллекторов [5]). Однако график выработки энергии такими установками, как правило, не совпадает с графиком потребления энергии. Одним из путей решения этой проблемы является разработка систем, позволяющих аккумулировать энергию на пиках выработки с последующим пополнением дефицита энергии на пиках потребления. Наиболее распространенным и традиционным является использование электрохимических аккумуляторов электроэнергии (на основе свинцово-кислотных, никель-кадмиевых и литий-ионных батарей). Однако, несмотря на значительный технический прогресс в этой области, указанные аккумуляторы по-прежнему имеют определенные ограничения, такие как недостаточная емкость, срок службы и количество циклов заряда-разряда, обусловленные

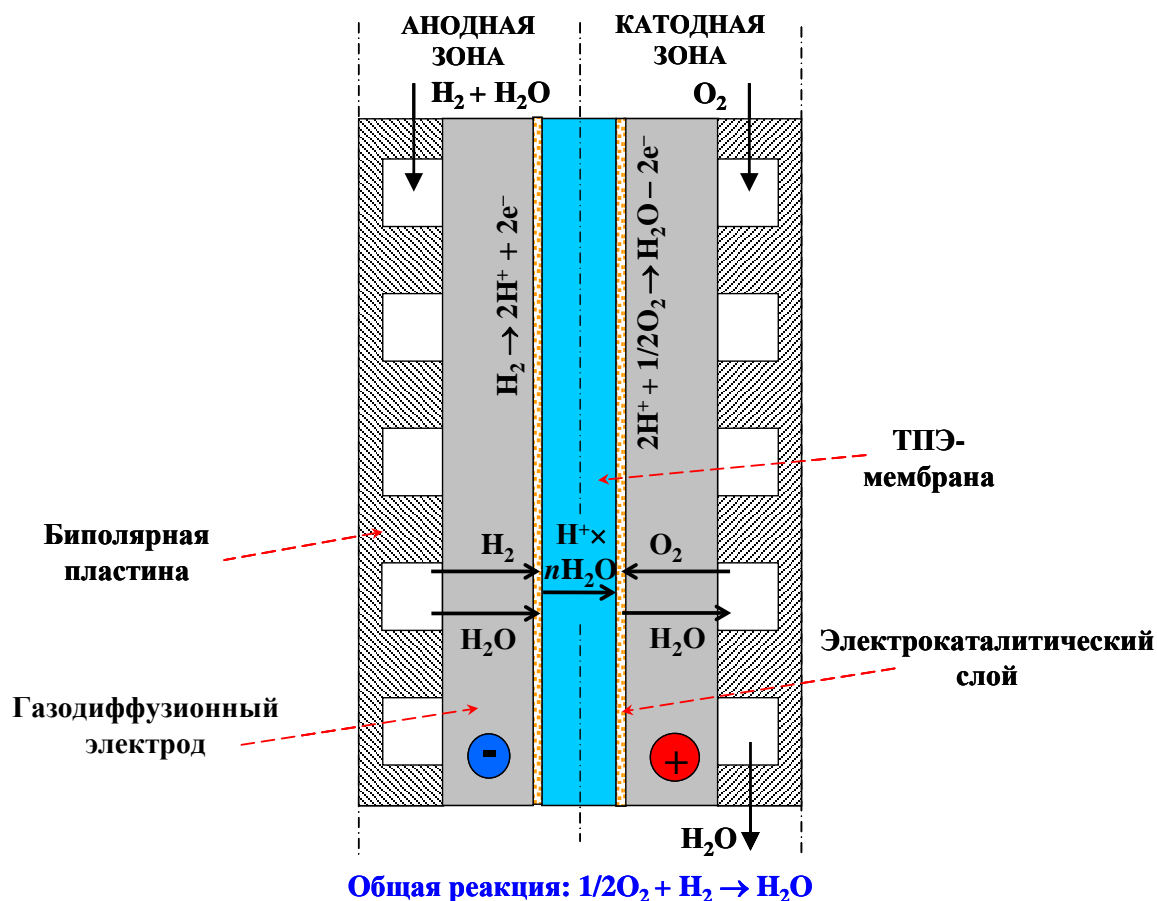
* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» (государственный контракт № 14.516.11.0044).

необратимыми изменениями их электрохимических свойств, особенно в условиях нерегламентированного графика нагрузки и глубоких разрядов [6]. В результате их замена требуется ранее, чем это необходимо для других узлов установки на основе ВИЭ. Это является негативным фактором, поскольку децентрализованные энергоустановки на основе ВИЭ располагаются зачастую в труднодоступных территориях и доставка оборудования может быть осуществлена или в определенный период года, или на вертолете.

Одним из перспективных путей создания систем хранения энергии является использование водородных электрохимических систем с накопителями водорода [7-8]. В этом случае в состав энергоустановки включается электролизер воды, в котором осуществляется преобразование электрической энергии от ВИЭ в химическую энергию водорода [10-12]. Для последующего накопления и хранения водорода могут быть использованы газовые баллоны, металлгидридные системы и т.п. [13]. В период, когда ВИЭ в силу их непостоянства природного характера недоступны, или потребителю требуется дополнительная энергия, из запасенного водорода посредством топливных элементов производится электроэнергия и тепло. Здесь необходимо подчеркнуть, что среди различных видов электролизеров воды и топливных элементов с системами на основе ВИЭ наиболее удачно komponуются низкотемпературные электрохимические устройства с твердым полимерным электролитом (ТПЭ) (рис. 1). Для обозначения такого типа электрохимических систем в англоязычной литературе используется аббревиатура PEM (Proton Exchange Membrane) или SPE (Solid Polymer Electrolyte).



Электролизер воды



Водородный топливный элемент

Рис. 1. Схемы электрохимических систем с ТПЭ и основных процессов в них

Электрохимические системы с ТПЭ стали активно разрабатываться с 1950-х годов. Первыми устройствами этого типа были топливные элементы, созданные компанией General Electric в рамках американских космических программ Gemini и Apollo. Значительный прогресс в области создания ТПЭ-систем связан с разработкой в середине 1960-х годов компанией DuPont de Nemours перфторированной протонообменной мембраны марки Nafion®. Основными достоинствами электрохимических систем с ТПЭ являются высокая эффективность и экологическая чистота, а также низкая инерционность, высокий ресурс, достаточно высокий уровень взрывопожаробезопасности. Системы с ТПЭ компактны, могут быть сконструированы в различных геометрических конфигурациях, малочувствительны к ударам, вибрации, радиации, могут использоваться в условиях вакуума и невесомости. Электрохимические системы с ТПЭ характеризуются высокими значениями удельной мощности и электрического КПД (около 50 % для топливных элементов и 80 % для электролизеров), минимальным временем старта (в том числе, при отрицательных температурах).

В отличие от элементов с жидким электролитом, в системах с ТПЭ отсутствует необходимость регенерации электролита в ходе работы (нет разбавления электролита продуктом реакции – водой, и электролит не реагирует с углекислым газом, как в случае щелочного электролита). Отсутствие жидкого щелочного электролита резко снижает коррозию металлических частей оборудования. Возможно проведение процесса при значительных перепадах давления между анодной и катодной камерами (до нескольких десятков и даже сотен атмосфер). Хотя ТПЭ-мембрана тонка, она обладает низкой газопроницаемостью, что снижает вероятность смешения реагентов, по сравнению, например, со щелочными элементами. Снижение расстояния между электродами до

толщины мембраны (так называемый, zero-gap design) приводит к уменьшению омических потерь. В системах с ТПЭ используются высокодисперсные порошковые катализаторы, имеющие высокие значения удельной активной поверхности.

Поскольку ТПЭ-системы имеют модульную конструкцию, и возможно как параллельное, так и последовательное соединение отдельных электрохимических ячеек и батарей на их основе, они могут быть скомпонованы в соответствии с теми или иными требуемыми электрическими параметрами, принятыми в системах с солнечными фотопанелями, ветрогенераторами [14] и другими ВИЭ. И, наоборот, системы на основе ВИЭ, солнечных панелей и ветрогенераторов могут быть адаптированы для обеспечения оптимального режима работы электролизера воды. За счет такой модульной архитектуры можно, в принципе, отказаться от использования инверторов и трансформаторов или свести их количество и мощность к минимуму. Пример такой электрохимической подсистемы, встроенной в автономную энергосистему на основе ВЭИ, показан на рис. 2.

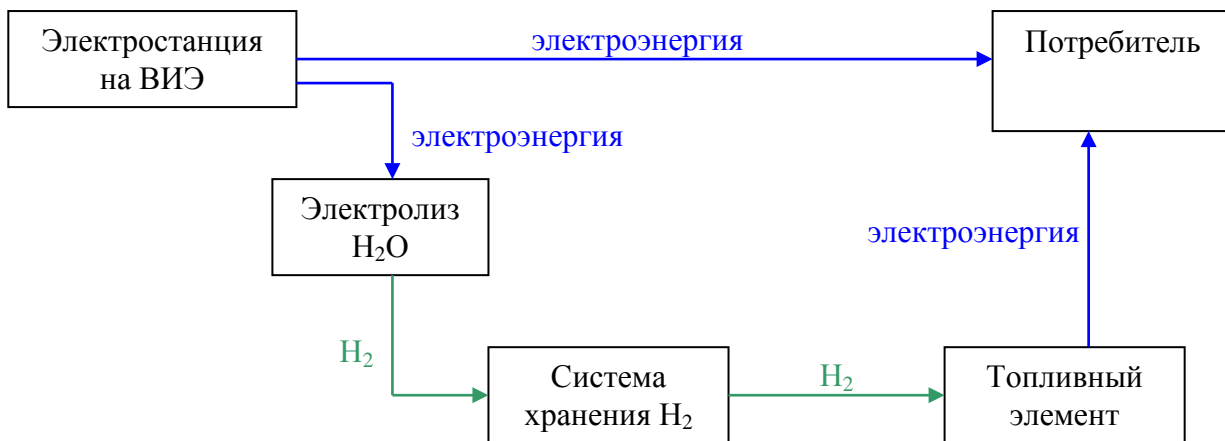


Рис. 2. Схема энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии, электрохимических систем и системы хранения водорода

Недостатком системы энергоснабжения, схема которой приведена на рис. 2, являются значительные энергопотери, обусловленные тем, что тепло, выделяющееся в процессе работы электрохимических модулей, не используется. Так, электрический КПД электролизера составляет около 80 %, а топливного элемента – около 50 %. Следовательно, общий электрический КПД системы хранения энергии составит около 40 %. В этом случае оставшиеся 60 % выделяются в виде тепла, которое целесообразно утилизировать для отопительных и пр. целей, как показано на рис. 3.

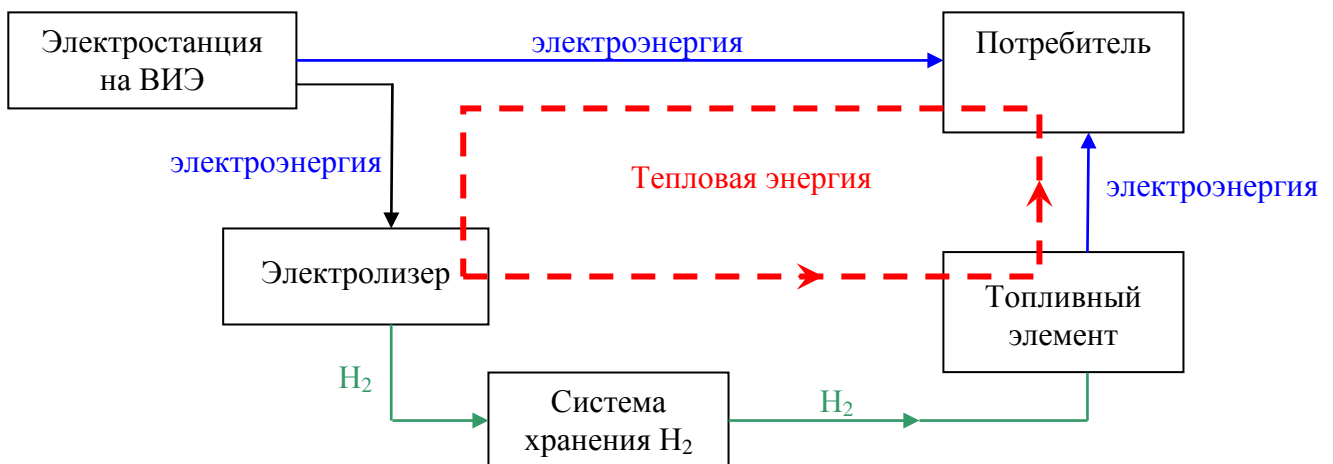


Рис. 3. Схема энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии, электрохимических систем и системы хранения водорода с утилизацией тепла

Однако, учитывая, что потребность в тепловой энергии может превышать тепловыделения в электролизерах и топливных элементах (в частности, зимними короткими днями в северных широтах), и, кроме того, имеет свой график потребления, наиболее перспективной представляется схема энергоснабжения, предусматривающая возможность получения тепловой энергии за счет сжигания части водорода в котельной (рис. 4).

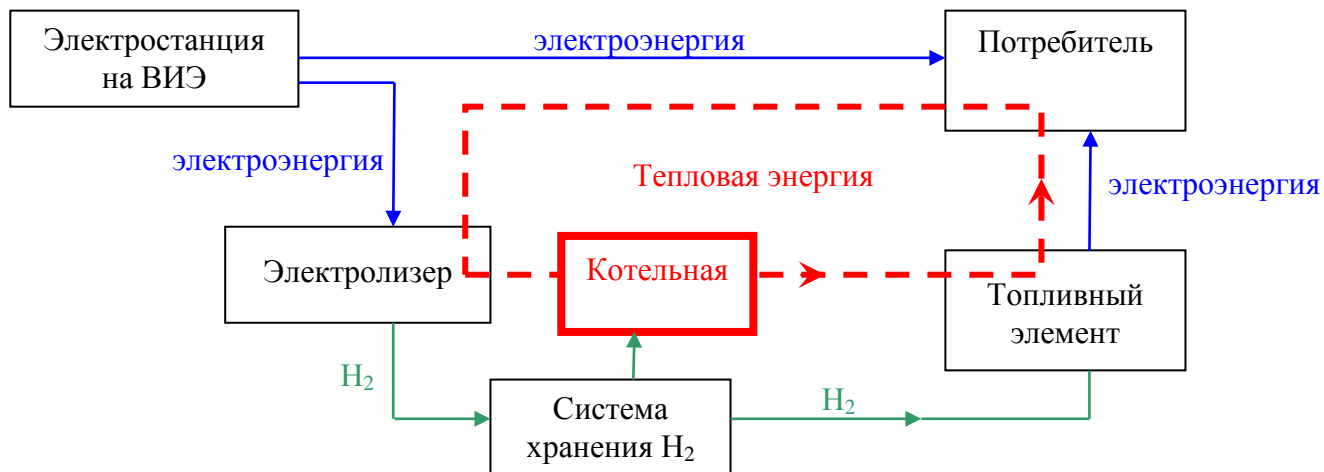


Рис. 4. Схема энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии, электрохимических систем и системы хранения водорода с утилизацией тепла и сжиганием части водорода в бойлере

Заметное преимущество предлагаемых энергоустановок с водородными накопителями по массогабаритным показателям особенно существенно при создании систем в удаленных и/или труднодоступных районах. Другим важным преимуществом является возможность наращивания энергоемкости водородного накопителя путем подсоединения дополнительных газовых баллонов или использования газгольдеров большей емкости. Также несомненным преимуществом водородных накопителей по отношению к традиционным электрохимическим аккумуляторам является простота утилизации и отсутствие при этом токсичных компонентов. Немаловажными преимуществами водородных электрохимических систем являются отсутствие саморазряда, самобалансированность, модульная архитектура, обратимость процесса и большое количество циклов заряда-разряда. Примечательно, что с ростом емкости хранения падает удельная стоимость системы, т.к. для запасаания дополнительной энергии требуется только дополнительный объем для хранения водорода. Снижение стоимости, массы и габаритов системы возможно посредством объединения электролизера воды и топливного элемента в бифункциональное (обратимое) электрохимическое устройство [15], работающее попеременно то в режиме электролизера (вырабатывая водород), то в режиме топливного элемента (вырабатывая электрическую энергию и тепло).

НИЦ «Курчатовский институт» ведет разработку систем на основе ВИЭ, в том числе, с водородными накопителями энергии. Созданы эффективные технические решения по использованию электрохимических водородных систем с ТПЭ в локальных энергетических системах. Разработаны новые мембранные, электродные и электрокаталитические материалы для низкотемпературных водородных электрохимических систем.

Примечания:

1. Фортов В.Е. Энергетика в современном мире / В.Е. Фортов, О.С. Попель. Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2011. 168 с.

2. Андреев В.М. Интегрированная солнечно-ветровая энергетическая установка с накопителем энергии на основе водородного цикла / В.М. Андреев, А.Г. Забродский, С.О. Когновицкий // Альтернативная энергетика и экология. 2007. №2. С. 99–105.

3. Елистратов В.В. Использование возобновляемой энергии. Учебное пособие. С.-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 2008. 224 с.
4. Григорьев А.С. Выбор критериев оптимизации при разработке гибридных установок на основе солнечных модулей для электропитания локальных удаленных потребителей промышленно-бытового назначения / А.С. Григорьев, С.А. Григорьев, Ю.В. Кухмистров, Ю.А. Нечаев // Альтернативная энергетика и экология. 2011. №12. С. 39–48.
5. Григорьев А.С. Моделирование нестационарных процессов в системе теплоснабжения на базе возобновляемых источников энергии / А.С. Григорьев, С.А. Григорьев, В.В. Скорлыгин // Альтернативная энергетика и экология. 2013. №6. в печати.
6. Груздев А.И. Опыт создания батарей на базе литий-ионных аккумуляторов большой емкости / А.И. Груздев // Электрохимическая энергетика. 2011. №3. С. 128–135.
7. Hebling C. The Role of Hydrogen in Renewable Energy Economy // Proceedings of Intersolar Europe 2012, June 11-15, Munich.
8. Gahleitner G. Hydrogen from renewable electricity: An international review of power-to-gas pilot plants for stationary applications / G. Gahleitner // International Journal of Hydrogen Energy. 2013. Vol. 38. P. 2039–2061.
9. Григорьев А.С. Аккумуляция энергии с использованием электролизёров и топливных элементов в установках на основе возобновляемых источников энергии / А.С. Григорьев, С.А. Григорьев, Д.В. Павлов // Альтернативная энергетика и экология. 2012. №11. С. 55–64.
10. Кулешов Н.В. Низкотемпературные электролизеры воды для автономных энергоустановок с водородным накоплением энергии / Н.В. Кулешов, С.А. Григорьев, В.Н. Кулешов, А.А. Терентьев, В.Н. Фатеев // Альтернативная энергетика и экология. 2013. №6. С. 23–27.
11. Grigoriev S.A. Pure hydrogen production by PEM electrolysis for hydrogen energy / S.A. Grigoriev, V.I. Porembsky, V.N. Fateev // International Journal of Hydrogen Energy. 2006. Vol. 31. P. 171–175.
12. Millet P., Grigoriev S. Water electrolysis technologies / Chapter of book Renewable Hydrogen Technologies. Production, Purification, Storage, Applications and Safety. Edited by: Luis M. Gandia, Gurutze Arzamendi and Pedro M. Dieguez, Elsevier, 2013, P. 19–41.
13. Козлов С.И. Водородная энергетика: современное состояние, проблемы, перспективы / С.И. Козлов, В.Н. Фатеев. Под ред. Е.П. Велихова. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2009, 520 с.
14. Григорьев А.С. Учет характеристик при разработке гибридных установок солнечных модулей и ветрогенераторов / А.С. Григорьев, С.А. Григорьев, Ю.В. Кухмистров, Ю.А. Нечаев, Д.В. Павлов, Е.А. Пунина // Новое в российской электроэнергетике. 2012. №1. С. 5–20.
15. Джусь К.А. Разработка и исследование обратимого топливного элемента с твердым полимерным электролитом / К.А. Джусь, А.С. Глухов, С.А. Григорьев // Альтернативная энергетика и экология. 2011. №11. С. 21–28.

УДК 620.9

Энергоустановки на основе возобновляемых источников энергии и электрохимических систем с водородными накопителями

¹Сергей Александрович Григорьев

²Виктор Иванович Костин

³Александр Сергеевич Григорьев

¹Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Россия
123182, г. Москва, пл. Академика Курчатова, 1

Доктор технических наук, доцент, начальник отдела

E-mail: sergey.grigoriev@outlook.com

² Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Россия
123182, г. Москва, пл. Академика Курчатова, 1

Начальник группы

³ Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", Россия
123182, г. Москва, пл. Академика Курчатова, 1

Кандидат технических наук, начальник отдела

E-mail: grig@dserver.dhttp.kiae.ru

Аннотация. В статье рассматриваются аспекты создания энергоустановок на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) с использованием электрохимических систем с водородным накопителем для аккумуляции энергии. Показано, что хранение энергии в виде водорода – высокоэффективного энергоносителя – значительно превосходит по своим емкостным показателям традиционные аккумуляторные батареи и позволяет сглаживать не только суточную, но и сезонную неравномерность поступления энергии от ВИЭ.

Ключевые слова: энергоустановка; возобновляемый источник энергии; электрохимическая система; хранение энергии; водород.