

УДК 613.313

**В. И. Калашников, А. В. Левшов, С. Н. Ткаченко**, кандидаты техн. наук

## НАКОПЛЕНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ – ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

**Аннотация.** Статья посвящена проблематике и перспективам развития систем накопления возобновляемой электрической энергии. Рассмотрены способы развития научных исследований и создание экспериментальных установок долгосрочного накопления энергии с использованием водородных технологий. Отмечена необходимость внедрения систем накопления в интеллектуальных энергосистемах с большой долей возобновляемых источников.

**Ключевые слова:** системы накопления, электрическая энергия, возобновляемые источники энергии, интеллектуальные энергетические системы, экспериментальные установки

**V. Kalashnikov, Ph.D., A. Levshov, Ph.D., S. Tkachenko, Ph.D.**

## ACCUMULATION OF RENEWABLE ELECTRICAL ENERGY – PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT

**Abstract.** Article is devoted to a perspective and prospects of development of accumulation systems of renewable electrical energy. Ways of scientific researches and creation development of long-term energy accumulation experimental installations with use of hydrogen technologies are considered. Necessity of implementation of accumulation systems for intellectual power supply systems with a big part of renewable sources is noted.

**Keywords:** accumulation systems, electrical energy, renewable energy sources, intellectual power supply systems, experimental installations

**В. И. Калашников, О. В. Левшов, С. М. Ткаченко**, кандидаты техн. наук

## НАКОПИЧЕННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ – ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

**Анотація.** Присвячено проблематиці та перспективам розвитку систем накопичення відновлюваної електричної енергії. Розглянуто способи розвитку наукових досліджень та створення експериментальних пристроїв довгострокового накопичення енергії з використанням водневих технологій. Наголошено на необхідності впровадження систем накопичення в інтелектуальних енергосистемах з великою часткою відновлювальних джерел.

**Ключові слова:** системи накопичення, електрична енергія, поновлювані джерела енергії, інтелектуальні енергетичні системи, експериментальні пристрої

**Введение.** Развитие возобновляемой энергетики в основном обусловлено бурным развитием ветровой и солнечной энергетики. Для обеспечения стабильной работы энергосистемы необходимо непрерывно обеспечивать равновесие между производством и потреблением электрической энергии. Для этого необходимо, во-первых, создание мощной европейской транспортной энергосистемы. Такие транспортные системы позволяют более интенсивный обмен энергией по всей Европе с учетом географических и погодных условий производства и потребления энергии. Другим направлением решения проблемы является создание эффективной системы энергоменеджмента как на региональном уровне (виртуальные электростанции), так и на уровне потребителей электрической энергии.

При этом речь идет не столько об уменьшении энергопотребления, сколько о временном сдвиге для уменьшения пиковых нагрузок. Однако, учитывая непредсказуемость погодных условий, обеспечить стабильную работу энергосистемы без накопительной энергии невозможно. В настоящее время имеются значительные научные наработки в области энергонакопительных технологий.

К этим технологиям относятся, прежде всего, гидроаккумулирующие станции, накопители на аккумуляторах, накопители на основе топливных элементов, накопители на основе сжатого воздуха, накопители по технологии «энергия-газ» [1,2]. Проблема состоит в том, что в настоящее время повсеместное использование накопительной энергии наталкивается на отсутствие технического и экономического обоснования как в жилищно-коммунальном хозяйстве, так и в промышленности.

Поэтому возникает потребность в дальнейшем развитии научных исследований, а также в создании опытно-промышленных установок по накоплению энергии.

По экспертным оценкам в Украине имеются возможности установить около 16000 МВт ветровых электростанций. Перспективным направлением развития возобновляемой энергетики является солнечная энергетика. Среднегодовое число часов солнечного излучения в Украине составляет 2000 часов при средней плотности потока солнечного излучения 130 – 210 Вт/м<sup>2</sup>. Украина располагает большими запасами редкоземельных металлов, что обеспечивает собственное производство высокоэффективных солнечных и топливных элементов. Научно-технический потенциал Украины позволяет на первом этапе производить со-

временные промышленные установки на базе зарубежных комплектующих с последующим переходом на собственное производство.

**Накопление электрической энергии.** Рассмотрим некоторые технологии и способы накопления энергии.

• *Гидроаккумулирующие электростанции*

На сегодняшний день гидроаккумулирующие станции являются наиболее экономичным решением накопления энергии. При избытке энергии вода перекачивается в более высоко расположенный резервуар. При недостатке энергии вода через турбину поступает в нижний бьеф, производя при этом недостающую энергию. Коэффициент полезного действия такой аккумулирующей установки составляет порядка 77 %. Однако геологические условия накладывают ограничения на количество и расположение таких установок.

• *Накопители на аккумуляторных батареях*

При избытке электрической энергии осуществляется зарядка аккумуляторной батареи. При очень большой плотности энергии в аккумуляторе и прогрессе в увеличении срока службы до 20 лет обеспечивается существенное снижение затрат на накопление энергии. В долгосрочной перспективе ожидается широкое внедрение накопителей на ионно-литиевых батареях.

• *Накопители на суперконденсаторах*

Накопление энергии осуществляется в конденсаторах с двойным слоем. Коэффициент полезного действия может достигать 98 %. Суперконденсаторы особенно подходят для кратковременного накопления энергии.

• *Накопители на базе преобразования энергии в газ*

Избыточная энергия ветровых или солнечных энергоустановок используется для получения водорода, а затем его преобразования в метан с последующим накоплением в газотранспортной системе. Этот процесс на сегодняшний день имеет еще низкий коэффициент полезного действия, порядка 50 %.

**Долгосрочные и автономные накопители энергии.** Все технологии накопления энергии можно разбить на два больших класса: кратковременные накопители энергии (минуты-часы) и долгосрочные накопители энергии (месяцы). Кратковременные накопители энергии имеют высокий цикловый коэффициент полезного действия, в тоже время имеют небольшой объем накопленной энергии. К ним относятся

гидроаккумулирующие станции, аккумуляторные накопители, накопители на сжатом воздухе, суперконденсаторы. Долговременные накопители энергии, как правило, имеют невысокий цикловый коэффициент полезного действия (накопление-отдача), однако обеспечивают большой объем накопленной энергии, как например, электрохимическое накопление водорода или метана.

При недостатке энергии в сети накопленный газ снова может быть превращен в электрическую энергию с помощью топливных элементов или с помощью газовых турбин. Наличие газотранспортной системы и больших подземных хранилищ в Украине создает все предпосылки для развития современных технологий накопления энергии возобновляемой энергетики. В [3 – 6] рассмотрен пилотный проект «Энергия-газ» (Power-to-Gas). Это одна из перспективных технологий интеграции возобновляемой энергетики в существующую энергетическую инфраструктуру. На рис. 1 приведена концепция создания интегрированной энергетической установки по схеме «Энергия-газ». Объединение в единую систему ветроэлектрических и фотоэлектрических станций позволяет повысить эффективность работы установки «Энергия-газ» благодаря тому, что среднедневные суммы солнечной радиации имеют ярко выраженный максимум в летнее время, в то время как средняя скорость ветра более интенсивна в зимнее время. Это обеспечивает более стабильное среднегодовое производство электрической энергии [7].

Особый интерес вызывает создание автономных энергоустановок, работающих только на возобновляемых источниках энергии с долгосрочным накопителем энергии на основе водородного цикла «Электроэнергия – водород электроэнергия» [8, 9].

Это особенно важно для надежного электроснабжения отдаленных от энергосистемы потребителей электроэнергии [1, 2, 10] (фермерские хозяйства, энергоустановки в чрезвычайных ситуациях, дачные участки и т.д.). В Донецком национальном техническом университете совместно с ООО «Донтехпром» ведутся разработки опытной мобильной энергоустановки с пиковой мощностью 5 кВт, что позволит решить ряд научных и технологических проблем создания промышленных автономных энергоустановок. Общий вид автономной мобильной установки в рабочем положении представлен на рис. 2.

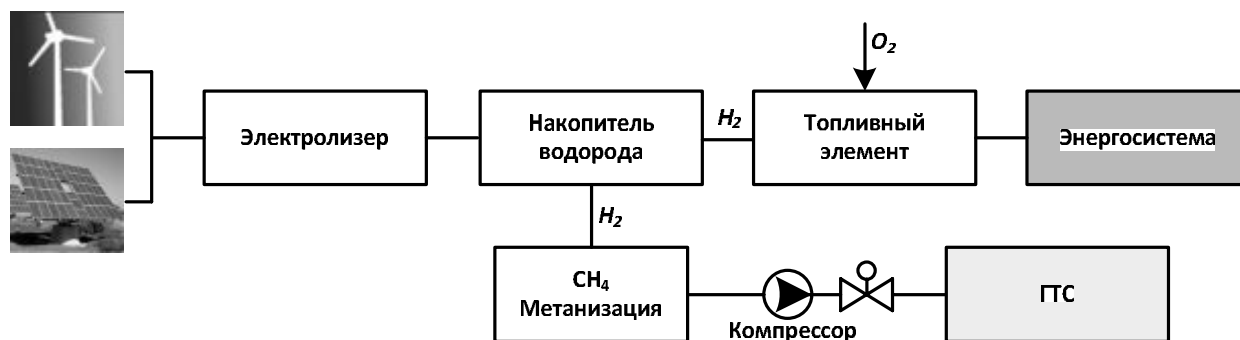


Рис. 1. Структурная схема получения и преобразования водорода

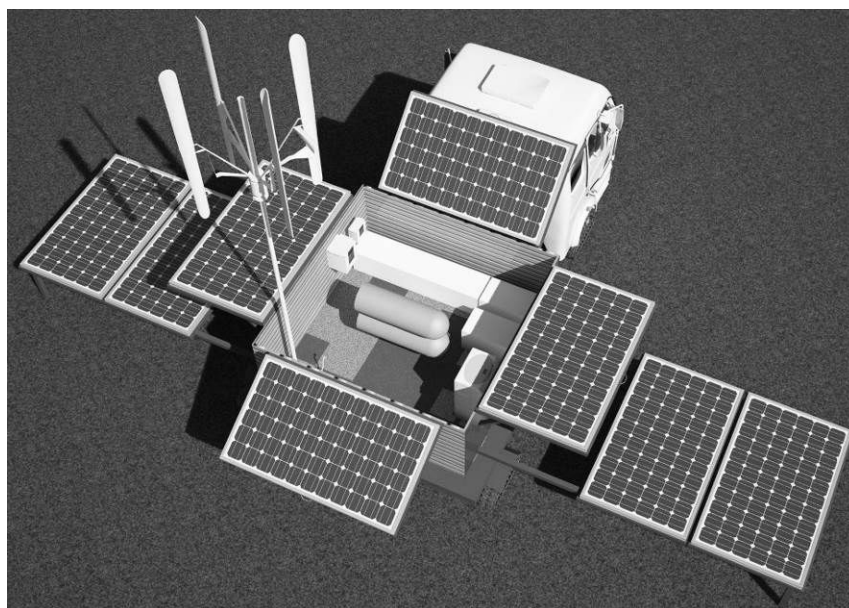


Рис. 2. Общий вид автономной мобильной установки в рабочем положении

**Выводы.** Развитие научных исследований и создание экспериментальных установок долгосрочного накопления энергии с использованием водородных технологий является актуальной проблемой возобновляемой энергетики будущего.

#### Список использованной литературы

1. Стычинский З. А. Возобновляемые источники энергии: Теоретические основы, технологии, технические характеристики, экономика / З. А. Стычинский, Н. И. Воропай – Magdeburg : Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg docupoint GmbH, 2010. – 209 p.
2. Сибикин Ю. Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Ю. Л. Сибикин, М. Ю. Сибикин. – М. : КНОРУС, 2010. – 232 с.
3. Hartmut Krause Gert Müller-Syring Power-to-Gas. Entwicklung von Anlagen-konzepten im Rahmen der DVGW-Innovationsoffensive, (2013), Mitteldeutsche Mitteilungen 22. Jahrgang 14/2013., pp. 19 – 20.
4. Kreuer Klaus-Dieter, (2013), Fuel Cells. Selected Entries from the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology, (Ed. VI), Springer Publ., 801 p. (In English).
5. Germany Trade and Invest Official Website. Power to Gas Technology. Available at: <http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/EN/Invest/Industries/Smarter-business/Smart-energy/power-to-gas.html> (Accessed 10.07.2014).
6. Power-to-Gas: Bridging the Power Grid and Natural Gas System. Official Website of Hydrogenise @ Company. Available at: <http://www.hydrogenics.com/products-solutions/energy-storage-fueling-solutions/power-to-gas> (Accessed 10.07.2014).
7. Андреев В. М. Интегрированная солнечно-ветровая энергетическая установка с накопителем энергии на основе водородного цикла / В. М. Андреев, А. Г. Забродский, С. О. Когновицкий // Физико-

технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН, Ветроэнергетика. – М. : – 2007. – С. 99 – 105.

8. Левшов А. В. Автономная мобильная система энергообеспечения на основе возобновляемых источников энергии / А. В. Левшов, В. И. Калашников, Н. А. Виногорадов // Промэлектро. – 2014. – № 2 (86). С. 19 – 29.

9. Попель О. С. Автономные энергоустановки на возобновляемых источниках энергии / О. С. Попель // Институт высоких температур РАН, Энергоснабжение. – 2006. – № 3. – С. 70 – 75.

10. The Official Website of SkyBuilt Power Company. Available at: <http://globenewswire.com/news-release/2011/10/11/458144/234463/en/SkyBuilt-Power-Wins-2-1M-Contract-to-Provide-Solar-Wind-Power-Stations-for-the-U-S-Navy.html> (accessed 10.07.2014).

Получено 11.07.2014

#### References

1. Stychinsky Z.A., and, Voropai N.I. Vozobnovlaemye istochniki energii: Teoreticheskie osnovi, tehnologii, technicheskie charakteristiki, economica [Renewable Energy Sources: Theoretical Bases, Technologies, Specifications, Economics], (2010), *Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg Docupoint GmbH*, Magdeburg, 209 p. (In Russian).
2. Sibikin Y.D., and M.Y. Sibikin Netradicionnye i vozobnovlyaemye istochniki energii [Alternative and Renewable Energy Sources, Tutorial], (2010), Moscow, Russian Federation, *KNORUS*, 232 p. (In Russian).
3. Hartmut Krause Gert Müller-Syring Power-to-Gas. Entwicklung von Anlagen-konzepten im Rahmen der DVGW-Innovationsoffensive, (2013), Mitteldeutsche Mitteilungen 22 *Jahrgang* 14/2013, pp. 19 – 20 (In Deutsch).
4. Klaus-Dieter Kreuer Fuel Cells, (2013), Selected Entries from the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology, (Ed. VI), *Springer Publ.*, 801 p. (In English).

5. Germany Trade and Invest Official Website. Power to Gas Technology. Available at: <http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/EN/Invest/Industries/Smarter-business/Smart-energy/power-to-gas.html> (accessed 10.07.2014).

6. Power-to-Gas: Bridging the Power Grid and Natural Gas System. Official website of Hydrogenics@ Company. Available at: <http://www.hydrogenics.com/products-solutions/energy-storage-fueling-solutions/power-to-gas> (accessed 10.07.2014).

7. Andreev V.M., Zabrodsky A.G., and Kognovicky S.O. Integrirovannaya solnechno-ventrovaya energeticheskaya ustanovka s nakopitelem energii na osnove vodorodnogo cikla [Integrated Solar wind Power Plant with Storage of Energy on the Basis of the Hydrogen Cycle], (2007), *Physico-Technical Institute Publ. AF Ioffe RAS, Wind Power*. Moscow, Russian Federation (In Russian).

8. Levshov A.V. Kalashnikov V.I., and Vinogradov N.A. Avtonomnaya mobilnaya sistema energoobespecheniya na osnove vosobnovlyaemykh istochnikov energii [Autonomous Mobile Power Supply System Based on Renewable Energy Sources], (2014), *Journal "Promelektro"*, Vol. 2 (86) (In Russian).

9. Popel O.S. Stand-alone power plants using renewable energy sources [Avtonomnie Energoustanovki na Vosobnovlyaemykh Istochnikah Energii], (2006). *Proceedings of Institute of Higher Temperatures RAS, "Power Supply"*, Vol. 3, pp. 70 – 75 (In Russian).

10. The official Website of SkyBuilt Power Company. Available at: <http://globenewswire.com/news-release/2011/10/11/458144/234463/en/SkyBuilt-Power-Wins-2-1M-Contract-to-Provide-Solar-Wind-Power-Stations-for-the-U-S-Navy.html> (accessed 10.07.2014).



Калашников  
Виктор Иванович, проф.,  
канд. техн. наук, Лауреат  
Государственной премии в  
области образования, зав.  
каф. систем программного  
управления и мехатроники  
ГВУЗ Донецкий нац. техни-  
ческий ун-т.  
г. Донецк, ул. Артема, 58,  
Украина.  
Тел.: (062) 304 71 31.  
E-mail:  
viktor.kalashnikov@ukr.net



Левшов  
Александр Васильевич,  
проф., канд. техн. наук, про-  
ректор по научно-педагоги-  
ческой работе, зав. каф. элек-  
троснабжения промышлен-  
ных предприятий и городов  
ГВУЗ Донецкий нац. техни-  
ческий ун-т.  
г. Донецк, ул. Артема, 58,  
Украина.  
Тел.: (062) 304 00 42.  
E-mail:  
levshov@donntu.edu.ua



Ткаченко  
Сергей Николаевич, канд.  
техн. наук, доц. каф. элек-  
трические станции, декан  
Немецкого технического фа-  
культета Донецкого нац. тех-  
нического ун-та.  
г. Донецк, ул. Артема, 58,  
Украина.  
Тел.: (062) 304 71 31.  
E-mail: tsn1981@mail.ru