

В. И. КАЛАШНИКОВ, канд. техн. наук, проф. ГВУЗ «ДонНТУ»;
С. Н. ТКАЧЕНКО, канд. техн. наук, доц. ГВУЗ «ДонНТУ»;
П. А. ХИЖНЯК, ассистент ГВУЗ «ДонНТУ».

АВТОНОМНЫЕ МИКРОГРИД-СИСТЕМЫ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ, КАК ЭЛЕМЕНТ КОНЦЕПЦИИ SMART GRID. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Введение. Системы микрогрид с возобновляемыми источниками электроэнергии (например, солнечная энергия с использованием концентраторов, ветрогенератор вертикального расположения и водородная автономная установка), как элемент энергосистемы концепции Smart Grid [1-5], позволяют организовать весь цикл получения, использования и хранения электроэнергии. Что очень актуально для мест проживания или работы без доступа к центральной системе электроснабжения. По ряду причин один источник альтернативной энергии не способен в полной мере покрыть потребности даже отдельно взятого потребителя с учётом реальных ограничений (ограничения площади размещения оборудования, фундамент-крепление-развертывание установленного оборудования и массогабаритные показатели установки хранения-накопления электроэнергии). В связи с этим все работы по микрогрид-системам прорабатывают отдельные вопросы по оптимальному выбору составляющих, таких как время жизни аккумуляторов, площадь солнечных модулей, габариты ветрогенераторов или мощность водородной установки. Но также важен вопрос работы микрогрид-системы в целом, имея все три составляющих и полного отсутствия подпитки энергией из альтернативного контура электроснабжения (например, дизельного генератора) в течении длительного срока.

Постановка задачи. Целью данной работы является анализ перспектив развития энергосистем концепции Smart Grid, а также автономных микрогрид-систем с возобновляемыми источниками энергии.

Материалы исследования. Для практической реализации концепции Smart Grid необходимы высококвалифицированные специалисты со знанием особенностей работы возобновляемых источников энергии в единой энергетической системе. Это потребовало интеграции по изучению специфических знаний в области Smart Grid и возобновляемой энергетики в соответствующие учебные планы подготовки магистров электротехнических специальностей.

В Донецком национальном техническом университете (ДонНТУ) совместно с Магдебургским Отто фон Гёрике университетом (OVGU), начиная с 2000 года, ведутся научные исследования в области оптимизации режимов работы возобновляемых источников энергии. За основу взяты ветровые, солнечные и водородные электростанции, создан межкафедральный учебно-научный центр по возобновляемой энергетике «Smart Grid – ДонНТУ» [4, 5]. Задачей центра является проведение научных исследований в области:

- исследование динамики совместной работы классических и возобновляемых источников энергии с целью оптимизации работы системы в целом;
- исследование динамических процессов при коротких замыканиях и совместности работы устройств защиты в Smart Grid;
- исследование динамической компенсации реактивной мощности;
- моделирование, анализ и планирование режимов работы Smart Grid;
- подготовка и переподготовка персонала для отрасли возобновляемой энергетики.

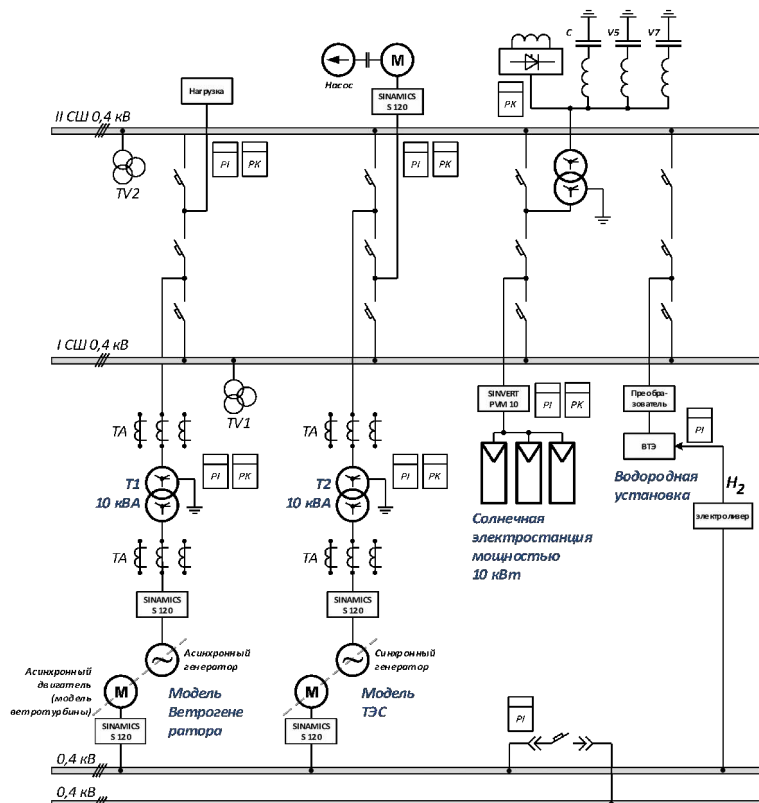


Рис. 1 – Схема главных электрических соединений учебно-научного центра «Smart grid - ДонНТУ»

Для решения этих задач создается экспериментальная база, функциональная схема которой приведена на рис. 1. Модель построена по блочному типу.

Создание физических моделей возобновляемых источников энергии позволяет в условиях ВУЗа проводить научные эксперименты, а также организовать учебный процесс, приближенный к реальным условиям. Магистрантам и аспирантам предоставляется возможность выполнять свои исследования в области повышения энергетической эффективности и надежности работы как отдельных источников возобновляемой энергетики, так и их объединения в единый энергетический комплекс, создается экспериментальная база для разработки методов расчета и прогнозирования краткосрочных и среднесрочных режимов работы ветро- и солнечной электростанций; совершенствовать систему управления преобразованием, распределением и накоплением энергии. Благодаря физическим моделям студенты смогут освоить теоретические основы и технологии комплексного использования возобновляемых источников энергии, обосновывать новые подходы строительства и архитектурные решения с учетом новых технологических принципов современной энергетики. А главное, создается возможность научить студентов научно мыслить, принимать оправданные инженерные решения как при моделировании, так и при проектировании новых источников возобновляемой энергетики, диагностике уже существующих, давать оценку ресурсного потенциала и вносить свои предложения по использованию возобновляемой энергетики на промышленных предприятиях и в быту.

Модель тепловой электростанции. Модель паровой турбины реализуется на симуляторе режимов работы паровой турбины, который выдает сигнал управления на частотно-регулируемый электропривод, что обеспечивает исследование статических и динамических режимов работы тепловой электростанции. Физическая модель генератора реализуется на реальном частотно-регулируемом приводе с устройствами защиты и управления, которые через шину PROFIBUS связаны с системой управления всей Smart Grid.

Модель ветровой электростанции. Модель ветровой электростанции, симулятор ветровой турбины и симулятор регулирования поворота лопастей выдают задание на частотно-регулируемые электроприводы, обеспечивающие изменение скорости ветровой турбины и регулирование её мощности в статических и динамических режимах при различной ветровой ситуации. Выполненные научные исследования на действующей модели ветровой электростанции подтвердили основные теоретические предпосылки создания подобного рода экспериментальной установки.

Модель солнечной электростанции. В качестве модели солнечной электростанции принята солнечная установка мощностью 10 кВт на базе преобразователя Sinvert™ фирмы Siemens®. Система автоматического управления солнечной электростанцией также через шину PROFIBUS соединена с общей системой управления Smart Grid. В настоящее время солнечная электростанция работает в режиме симуляции солнечной активности. Симулятор солнечной активности построен на базе регулируемого преобразователя постоянного тока

Simoreg™ Master Drive. Данная конструкция позволяет производить все виды наладочных работ, проводить научные исследования режимов работы солнечной электростанции на питающую сеть.

Модель водородной электростанции. Исходя из условий техники безопасности при производстве и хранении водорода, в качестве модели водородной электростанции предполагается использование учебной водородной установки «Nexa® Lernsystem» мощностью 1,2 кВт.

Компенсатор реактивной мощности. В качестве компенсатора реактивной мощности использованы разработки кафедры систем программного управления и мехатроники по созданию динамического компенсатора реактивной мощности на базе информации о мгновенной реактивной мощности [6].

В последнее время в мировой практике накоплен большой опыт создания MicroGrid (SmartHouse). Идея этих разработок сводится к главному – максимально обеспечить электроэнергией собственное потребление с минимальным потреблением-отдачей энергии в сеть. Особое место в этой проблематике занимают автономные системы энергоснабжения. Анализ литературных источников показывает, что наиболее перспективными являются автономные системы энергообеспечения, с использованием интегрированной солнечно-ветровой энергетической установки с накоплением энергии на основе водородного цикла [7]. Одним из новых мощных электропотребителей для автономных источников альтернативной энергии является электромобиль. При массовом внедрении электромобиля процесс его зарядки станет одним из основных требований к SmartHouse.

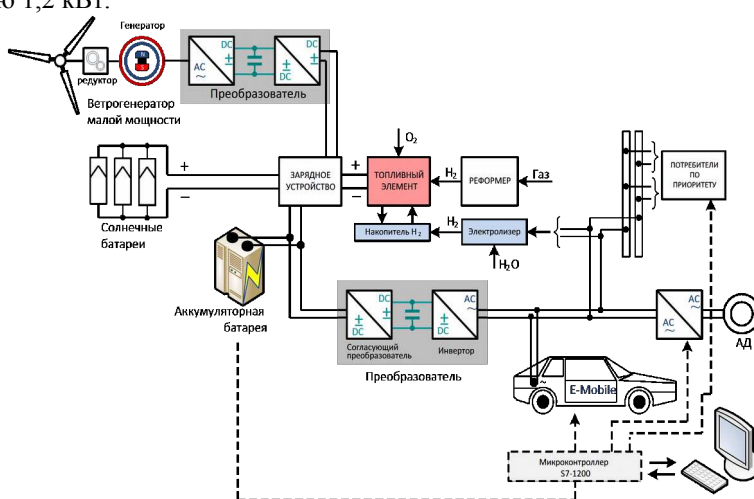


Рис. 2 – Функциональная схема автономной микрогрид-системы

Рассмотрим систему автономного комплекса обеспечения (рис.2) электроэнергией используя только три альтернативных источника электроэнергии (ветер, солнце и водород).

Зададимся, что работа установки происходит в неблагоприятных условиях (короткий солнечный день, безветренная погода), накопители энергии на начальный день работы показывают максимальный заряд, установка должна обеспечить бесперебойное электроснабжение потребителей в течение одного календарного месяца (30 дней), срок надежной эксплуатации установки более 10 лет.

Всегда необходимо помнить о суточном потреблении и суточном приросте (возобновлении) электроэнергии, максимальном пиковом потреблении, которое может обеспечить оборудование. В связи с чем многие работы [6-8] по данной теме уже раскрыли вопросы оптимального подбора компонентов энергосистемы: разработаны и реализованы системы учёта, прогнозирования и регулирования, распределения потребления в течение суток (статистическая информация, системы нечеткой логики и т.д.). На опыте данных работ можно обозначить, что основной проблемой внедрения автономной возобновляемой энергетики на данном этапе являются:

- отсутствие массовости внедрения;
- высокая удельная стоимость оборудования;
- низкий уровень предложений для каждого региона;
- проблемы внедрения на существующих потребителях;
- относительно низкая окупаемость оборудования;
- высокие темпы развития альтернативной энергетики.

Также необходимо выделить, что альтернативная энергетика ставит своей задачей генерирование больше энергии, чем потребляется, с тем, чтобы иметь возможность накапливать и перераспределять энергию между установками потребления энергии. А также обеспечить перераспределение энергии к мощным пиковым потребителям, как например, электромобилям в процессе зарядки, различного рода нагревательным элементам, двигательной нагрузке.

Возможности альтернативной энергетики, как накопление водорода, используя энергию ветра или солнца очень перспективны. И в настоящее время водород рассматривается как один из перспективных лидеров энергетического баланса и стабильности. Применяя водородный топливный элемент (ВТЭ) как основу в системе солнце-ветер-водород, мы избавляемся от проблем и недостатков солнечной и ветровой энергетики и раскрываем преимущества водородной. Новейшие разработки в направлении получения водорода сразу из солнечной энергии (фотоэлектрохимический метод), а также наработки по производству электролизёра высокого давления позволяют упростить всю систему в целом и сконцентрироваться на работе с водородом как топливом.

В настоящее время только традиционные источники и инфраструктура энергии сдерживают массовое внедрение и переход на альтернативные, компактные, индивидуальные источники энергии. Стремительное развитие микроэнергетики с применением достижений альтернативной энергетики составят весомое дополнение (а не замену) к существующей инфраструктуре энергетики. Особое внимание следует уделить вопросу обеспечения энергией удаленных регионов. Особенно там, где мощности не являются производственными (до 100 кВт), как например, метеорологические станции, ретрансляторы сигналов, небольшие удалённые поселения, личное жильё и др.

Так же одним из новых и актуальных веяний современности является электромобиль. Весомые перспективы раскрывает переход личного транспорта населения из разряда классического бензинового, газового или дизельного в разряд легко обслуживаемого и безопасного электромобиля. Единственным серьезным препятствие

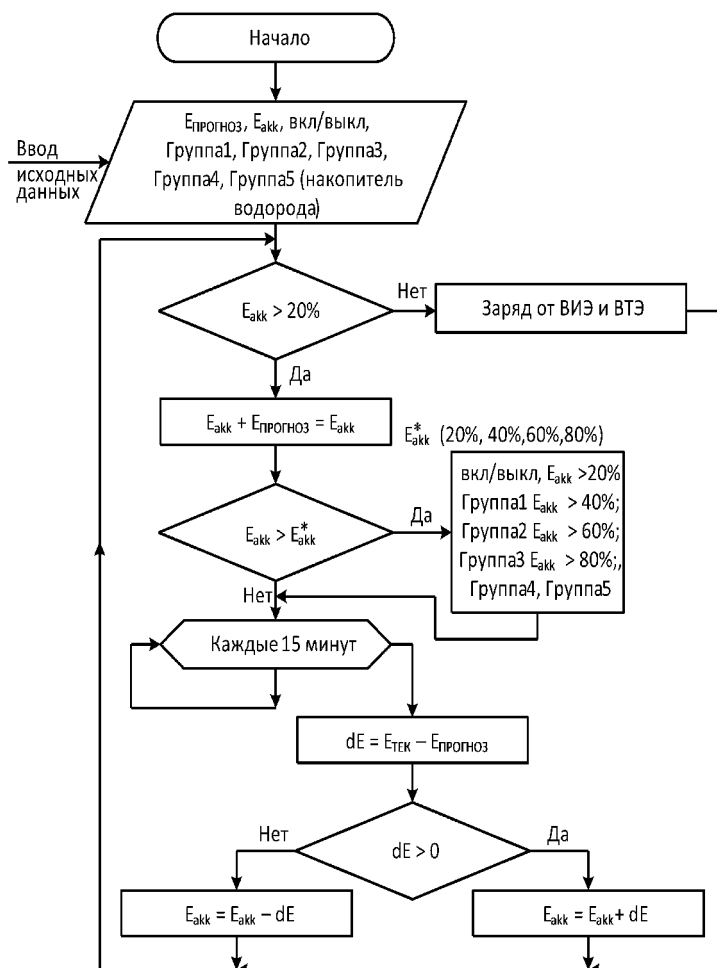


Рис.3 – Алгоритм управления автономной микрогрид-системой

является отсутствие инфраструктуры зарядных станций для электромобилей и не приемлемо возрастающей нагрузки на энергосистему при предъявлении таких требований, как быстрая зарядка (менее получаса, когда сейчас заряд аккумулятора мощностью 24 кВт/ч от обычной розетки происходит за 8 часов) и дистанция пробега электромобиля на одном заряде свыше 100 км. В связи с чем достижения в области возобновляемой энергетики и их применение в микрогрид, на каждой станции должны будут форсировать продвижение электромобилей в повседневной жизни.

Достижения в области использования возобновляемых источников энергии привели к тому, что сегодня возобновляемая энергетика стала составной частью электроэнергетических систем. Будущим в энергообеспечении являются интеллектуальные энергосистемы (Smart Grid) с оптимизацией совместной работы различных источников энергии, повышением энергоэффективности вдоль всей цепочки от источника до потребителя. Smart Grid позволяет оптимизировать использование возобновляемых источников энергии и минимизировать коллективное воздействие общества на окружающую среду. Европейский опыт показывает, что в первую очередь должны быть изменены концепции энергораспределения. Перераспределение будет идти в сторону системных услуг. Служба сетей частично будет передавать ответственность за надежность энергообеспечения и их управления на службу электроснабжения. При этом сети электроснабжения возьмут на себя не только задачи контроля, управления и обеспечения качества снабжения, но также и системные услуги, такие как поддержание частоты и напряжения, а также частично и распределение нагрузки. Все это делает необходимым контроль показателей качества. Устойчивое и надежное управление электрической сетью может быть обеспечено только при непрерывном измерении и устойчивой коммуникации при передаче параметров работы всей системы. Это позволяет своевременно обнаружить, какая часть системы перегружена и перенаправлять мощность для снижения перегрузки и предупредить аварийные отключения. Это достигается, прежде всего, за счет применения современных средств силовой электроники (высоковольтные линии постоянного тока, динамические компенсаторы реактивной мощности, тиристорные ограничители токов короткого замыкания и т.д.).

Однако, учитывая непредсказуемость погодных условий, обеспечить стабильную работу системы без накопителей энергии невозможно.

Одной из основных функций в автономных системах является система энергоменеджмента. При этом задача состоит не только в разумном распределении энергии в соответствии с приоритетами, но и с её прогнозированием. Зная распределение солнечной и ветровой ситуации, которые получены на протяжении многих лет наблюдений, можно утверждать, что в будущем, в тот же день или месяц будут аналогичные показатели. Тем самым можно предсказать количество энергии на следующий день и какую группу потребителей можно использовать в текущий день. Эти предпосылки положены в основу разработки программы энергоменеджмента с учетом прогноза погоды. Один из возможных алгоритмов работы приведен на рис. 3.

В начале алгоритма описываются все переменные, которые участвуют в его реализации. Из рисунка видно, что учитывается текущее значение энергии в аккумуляторе ($E_{акк}$), данные которые прогнозируют будущее значение энергии по дням ($E_{прогноз}$), текущее значение энергии солнца и ветра ($E_{тек}$) и ошибку в определении текущей и прогнозируемой энергии, задаются приоритеты потребителей, например, от 1 до 5.

Прежде чем распределять энергию между потребителями, требуется проверить наличие энергии в аккумуляторе ($E_{тек}$). Если энергии недостаточно, то система подзаряжается от солнечных батарей и от ветроустановки или дополнительно от водородных топливных элементов. В случае, когда энергии в аккумуляторе достаточно для включения группы потребителей требуется проверить, будет ли дополнительная энергия или нет. Для этого текущее значение получаемой в данный момент энергии солнца и ветра сравнивается с табличным значением ожидаемого прогноза. Сравнение данных происходит каждые 15 минут. Это время соответствует среднестатистическому изменению поступления возобновляемой энергии.

После проверки, зная результирующую энергию, видно какую группу потребителей можно включить. Потребители разбиты по приоритетам. При полном заряде аккумулятора (80-100%) можно включить все группы потребителей. При заряде аккумулятора от 80% до 40% четвертая группа (электрокипятильник, стиральная машина, электроинструмент и т.д.) будет заблокирована для включения. При достижении заряда аккумулятора меньше 20% система отключаются все группы потребителей кроме первой (система управления автономной установкой) и заряжается от солнца и ветра, либо от водородной установки. Так же в программе предусмотрена функция блокировки включения одновременно нескольких групп, которые содержат мощные потребители. Весь избыток полученной энергии используется для накопления водорода. Реализация данного алгоритма энергоменеджмента автономной установки реализована на контроллере Siemens® Simatic™ Basic S7-1200.

Выводы. В процессе проведения научных исследований по созданию как стационарных, так и мобильных автономных энергоустановок выявлено, что необходимы дальнейшие комплексные научные и практические исследования:

- выбор рационального соотношения мощностей отдельных составляющих энергоустановки;
- рациональный выбор комплектующих элементов энергоустановки;
- разработка методов контроля и диагностики работоспособности отдельных элементов и энергоустановки в целом;
- разработка архитектурных условий для размещения на вновь строящихся зданиях солнечных, ветровых

и водородных компонентов интегрированной энергосиловой установки;

- разработка средств коммуникации автономной энергоустановки с локальной электрической сетью;
- разработка концепции и содержания междисциплинарной подготовки и переподготовки специалистов в области возобновляемой энергетики.

Список литературы: 1. Сибикин Ю.Д. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - М.: КНОРУС, 2010. – 232 с. 2. Стычинский З. А. Возобновляемые источники энергии: Теоретические основы, технологии, технические характеристики, экономика / З. А. Стычинский, Н.И. Воропай – Magdeburg: Издательство Магдебургского университета имени Отто-фон-Герике (Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg). docupoint GmbH, 2010.– 209 с. 3. Стогній Б.С. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, С.П. Денисюк // Журнал «Технічна електродинаміка». – 2010, – №6. – С. 44-50. 4. Официальный сайт научно-учебного центра «Smart Grid - ДонНТУ». Режим доступа: <http://smartgrid.donntu.org>. 5. Ткаченко С.Н. Энергосистема будущего. Концепция Smart grid. Специфика реализации на Украине / Журнал «Электротехника та електроенергетика». – Випуск 1. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. – С. 68 – 73. 6. Авторское свидетельство SU 1494109 A1, Союз советских социалистических республик, 4H02J3/18. Способ управления статическим компенсатором реактивной мощностью / Калашников В.И., Калашников С.Н., Дикий Ю.А.; заявитель и правообладатель Донецкий политехнический институт и Всесоюзный научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт взрывозащищенного электрооборудования. – № 4205269; заявка 02.03.1987; опубл. 15.07.1989. 7. Андреев В.А. Интегрированная солнечно-ветровая энергетическая установка с накопителями энергии на основе водородного цикла / А.Г. Забродский, С.О. Когновицкий // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» АЭЭ № 2(46) . – 2007. – С.99-105. 8. Калашников В. И. Накопление возобновляемой электрической энергии – проблемы и перспективы развития / В.И. Калашников, А.В. Левшов, С.Н. Ткаченко // Журнал «Электротехнические и компьютерные системы». Образование, наука, производство. – 2014, – № 15 (91). – С.20-23.

Bibliography (transliterated): 1. Sibikyn Y.D., Sibikin M.Y. *Netradicionnie i vozobnovlyaemyie istochniki energii: uchebnoe posobie*, Moskva.: KNORUS, 2010. – 232 p. Print. 2. Stychysky Z.A., N.I. Voropay *Vozobnovlyaemyie istochniki energii: Teoreticheskiye osnovy, tehnologii. Technicheskie harakteristiki, ekonomika*. Magdeburg: Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg. docupoint GmbH, 2010. – 209 p. Print. 3. Stogniy B.S., Kyrylenko O.V., Denisyuk S.P. «Іntelektualnyy elektrichniy mererі elektroyenergetichnyh system ta yichne tehnologichne zabezpechennya». Journal «Technichna electrodynamika». 2010, №6. P. 44-50. Print. 4. Officialniy sait nauchno-uchebnogo centra «Smart Grid - DonNTU». 2015. Web. 10 August 2015 < <http://smartgrid.donntu.org>>. 5. Tkachenko S.N. «Energosystema budushego. Koncepcia Smart grid. Specifika realizacii na Ukraine». Journal «Elektrotehnika ta electroenergetika». Vypusk 1. Zaporigia ZNTU, 2014. P. 68-73. Print. 6. Avtorskoe svidetelstvo SU 1494109 A1, Souyz sovetskyh socialisticheskyyh respublik, 4H02J3/18. Kalashnikov V.I., Kalashnikov S.N., Dikiy Y.A. «Sposob upravleniya staticheskym kompensatorom reaktivnoy moshnostyu», zayavitel i pravoobladatel Donetskiiy politehnicheskiiy insitut i Vsesoyusniy nauchno-issledovatel'skiy, proektno-konstruktorskiy, i tehnologicheskiiy institut vzryvozashishennogo elektrooborudovania. № 4205269; zayavka 02.03.1987; opubl. 15.07.1989. Print. 7. Andreev B.A., Zabrodsky A.G., Kognovicky S.O. «Іntegrirovannaya solnechno-etrovaya enegiticheskaya ustanovka s nakopitelyami vodorodana osnove vodorodnogo cikla». Megdunarodny nauchniy journal «Alternativnaya energetika i ekologia» № 2(46). 2007. P.99-105. Print. 8. Kalashnikov V.I., Levshov A.V., Tkachenko S.N. «Nakoplenie vozobnovlyaemoy elektricheskoy energii – problemy i perspektivy razvitiya». Journal «Elektromehaniicheskie i komputernie systemy ». Orazovanie, nauka, proizvodstvo. 2014, № 15 (91). P.20-23. Print.

Поступила (received) 25.08.2015