

УДК 621.313

Подзноев Г. П.

### **ВОЗМОЖНОСТИ РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В КРЫМУ**

*Розглянута можливість використання вітроелектроенергії непромислової якості для теплопостачання невеликих сільських селищ, знесолення сильно мінералізованої води й опріснення морської води. Обґрунтовується економічна доцільність використання автономних вітроенергокомплексів, обладнаних генераторами постійного струму без складних і дорогокоштовних інверторних систем.*

**Ключові слова:** вітроенергія, теплопостачання, опріснення й знесолення води, постійний струм.

*Рассмотрена возможность использования ветроэлектроэнергии непромышленного качества для теплоснабжения небольших сельских поселков, обессоливания сильно минерализованной воды и опреснения морской воды. Обосновывается экономическая целесообразность использования автономных ветроэнергокомплексов, оборудованных генераторами постоянного тока без сложных и дорогостоящих инверторных систем.*

**Ключевые слова:** ветроэнергия, теплоснабжение, опреснение и обессоливание воды, постоянный ток.

*The possibility of the usage of wind energy of non-industrial quality for small agricultural places is considered herein. Apart from that wind energy is used for demineralization highly mineralized water and for desalination of sea water. The author substantiates economic advantages of autonomous wind energy system which are equipped with direct current generators without complex, expensive inverted system.*

**Key words:** wind energy, heat supply, demineralization, desalination, direct current.

**Постановка проблемы.** На конец XX – начало XXI вв. приходится резкое возрастание масштабов использования углеводородного сырья как в сфере энергообеспечения, так и в сфере материального производства. И именно в этот период человечество начало понимать, что постепенно и неотвратно приближается к общемировому экологическому и энергетическому тупику. Во-первых, природные ресурсы углеводородов неотвратно истощаются, и уже в обозримом будущем будет ощущаться их дефицит. Во-вторых, использование углеводородов как энергоносителей приводит к серьезному ухудшению экологического состояния окружающей природной среды обитания человека и нарушению теплового баланса планеты.

**Анализ литературы.** Наиболее перспективными альтернативными направлениями решения проблемы признаны водородная энергетика и практически неиссякаемые возобновляемые энергетические ресурсы ветра, Солнца и внутреннего тепла Земли. Наиболее продвинутыми в плане практической реализации на настоящий момент является прямое преобразование энергии ветра в электроэнергию.

По результатам отчета за 2009 г. Всемирной Ветроэнергетической Ассоциации (WWEA) [1] годовое мировое производство электроэнергии с помощью ветроэлектростанций (ВЭС) за последнее десятилетие увеличилось более чем в шесть раз, а их установленная мощность на конец 2009 г. достигла 159,2 ГВт. По общей установленной мощности (МВт) на конец 2009 г. в тройку наиболее продвинутых стран вошли США (35159), Китай (26010) и Германия (25777). Китай лидирует по приросту мощностей за 2009 г. – 13800 МВт. Товарооборот ветроэнергетики в 2009 г. превысил 50 млрд. евро.

На конец 2009 г. в мире ветроэлектростанциями выработано 340 ТВт/ч электроэнергии, или 2% от общего электропотребления. Наиболее высокая доля ветроэнергетики в общем электроснабжении в Дании (20%), Португалии (25%), Испании (14%) и Германии (9%).

В соответствии с прогнозами, сделанными «World Wind Energy Report 2008», представители финансового сектора стали понимать, что ветроэнергетика – это инвестиции с низкой степенью риска.

Украина пока занимает последнее место по использованию ветровой энергии в Европе и 37-ое место в мире, хотя обладает мощными ресурсами ветровой энергии на 20% своей территории с общим энергопотенциалом до 500–800 ГВт·ч. Наиболее перспективным в этом отношении является Крымский полуостров со среднегодовой скоростью ветра 5 м/с и более. Тем более что Крым на 90% использует электроэнергию, генерированную в континентальной Украине и поступающую на полуостров по трем межсистемным линиям электропередач. При этом при транспортировке теряется до 25% электроэнергии.

Цена электроэнергии, получаемой на ВЭС, по оценкам института EPRI (США) в регионах со среднегодовыми скоростями ветра 5–6 м/с уже сегодня составляет 5–7 цент/кВт·ч и сравнима с таковой традиционных электростанций (5–9 цент/кВт·ч на АЭС, 4–5 цент/кВт·ч на ТЭС, работающих на угле и газе, 5–20 цент/кВт·ч на ГЭС различной мощности. По суммарным затратам на обслуживание, ремонт, исходное топливо и др. (1,4 цент/кВт·ч) ВЭС оказываются предпочтительнее угольных ТЭС (2 цент/кВт·ч), газовых ТЭС (2,9 цент/кВт·ч), мазутных ТЭС (3,2 цент/кВт·ч). При более высоких среднегодовых скоростях ветра экономическая эффективность ВЭС возрастает. Прогнозируется, что к 2015 г. стоимость электроэнергии ВЭС станет ниже таковой для традиционных электрогенерирующих предприятий.

В Украине еще в 2001 г. в Верховной Раде была одобрена Концепция энергетической стратегии на период до 2030 г., однако ее реализация, особенно в части инновационной альтернативной энергетики, практически не осуществлялась ни в организационном, ни в инвестиционном плане. И лишь в самые последние годы наметился серьезный прорыв в этом направлении.

Основные факторы, стимулирующие развитие ветроэнергетики:

- почти нулевая стоимость сырьевого (ветер) практически неисчерпаемого источника для производства электроэнергии;
- отсутствие каких-либо технологических газообразных, жидких или твердых отходов;
- высокий уровень экологической совместимости с окружающей средой, так как допускается хозяйственное использование земель, занимаемых ВЭС, в частности, под овцеводство и сельхозпосевы;
- низкий уровень эксплуатационных расходов ввиду отсутствия затрат на топливо и трудозатраты (численность персонала 300 МВт модуля 16 человек), то в себестоимости электроэнергии основная составляющая будет формироваться из амортизационных отчислений и налогов;
- высокая степень автоматизации и компьютеризации управления основным технологическим процессом.

Кроме этого, ветроэнергокомплекс установочной мощностью, например, 1000 МВт даст возможность, согласно Киотского протокола, снизить выбросы до 90 млн. тонн углекислого газа в год, что при цене квоты \$71 за 1 тонну выбросов CO<sub>2</sub>, доход составит около \$6,5 млрд. в год. Это позволит снизить существенную часть затрат на его строительство.

В то же время основным недостатком ВЭС, замкнутых на централизованные энергосистемы, являются:

- высокая капиталоемкость возведения (начальные затраты);
- неравномерный характер выработки электроэнергии вследствие неравномерности потока ветра.

Это требует применения инвертора (~ 50% стоимости всей установки) для преобразования переменного или постоянного тока получаемого от ветрогенератора и его приведения к промышленным стандартам в ~ 220 В 50 Гц и синхронизации его по фазе с внешней сетью при параллельной работе генератора. Это ограничивает возможность автономного использования установок в децентрализованных энергосистемах без поддержки иных источников генерации (дизель-генераторов, аккумулирующих систем и т. д.).

В последние годы широкомасштабные проекты по внедрению ветроэнергии планируются и в Крыму [2]. Группа инвесторов из Греции планирует в рамках подписанного соглашения о сотрудничестве между Совмином и греческой компанией Preneson S. A. построить в Крыму современный ветропарк мощностью 1000 МВт в Первомайском, Раздольненском, Краснопере-

копском и Ленинском районах. Кроме этого, на полуострове в разных стадиях реализации находятся проекты ООО «ЕвроУкрВинд», а также компания ООО «Нова-Эко» с инвестициями \$1,13 млрд. в создание Тарханкутской ВЭС мощностью 300 МВт и «Западнокрымской ВЭС» мощностью 250 МВт в Черноморском районе. На стадии финансирования находятся два проекта ООО «Конкорд Групп» – «Казантская ВЭС» мощностью 100 МВт и «Сивашская ВЭС» мощностью 350 МВт. Начаты работы для проектов ООО НПО «ПланЭко» строительства «Краснопереконской ВЭС и «Джанкойской ВЭС» мощностью 200 МВт. Подготовкой технико-экономического обоснования проектов занято ООО «Крым-Эол», собирающееся построить сразу 4 ВЭС: «Солнечная долина» в Судаке (100 МВт), «Бахчисарайская ВЭС» (200 МВт), «Тургеневская ВЭС» (200 МВт) и «Холмогорская ВЭС (200 МВт). Четыре площадки зарезервировал под строительство ВЭС ВЕТЕН Ingenierie International – французский инвестор, который уже во второй половине 2010 г. был намерен приступить к реализации проекта.

Ветроэлектроэнергия планируется поставлять в единую энергетическую систему Украины по цене 11,8 евроцента за 1 кВт/ч.

Как следует из краткого обзора, упор в развитии ветроэнергетики делается на ее жесткой привязке к традиционным схемам потребления с жесткими технологическими характеристиками, что в значительной степени сохраняет и присутствующие таким энергосистемам системные недостатки.

**Цель статьи** – обосновать возможность использования нетрадиционного варианта энергообеспечения с помощью ветроэнергетики с системами непромышленного качества производимой электроэнергии.

**Изложение основного материала.** Для значительной категории потребителей электроэнергии в зоне действия ВЭС совершенно не обязательно использовать электроэнергию общепринятого промышленного качества. В ряде случаев экономически целесообразнее получение не синхронизированного по частоте и напряжению постоянного или переменного тока.

Для условий Крыма подобный вариант может быть использован в следующих случаях.

1. Использование не синхронизированной электроэнергии ВЭС с последующим преобразованием его с помощью ТЭНов в тепло для обогрева жилья и получения горячей воды; эта схема имеет несколько преимуществ:

- отопление является одним из основных энергопотребителей любого дома, особенно в зимнее время;

- схема ветрогенератора и управляющей автоматики кардинально упрощается, а стоимость снижается наполовину;
- схема автоматики может быть в самом простом случае построена на нескольких тепловых реле;
- в качестве аккумулятора энергии можно использовать обычный бойлерный накопитель с водой (например, централизованный) для отопления и горячего водоснабжения группы зданий или отдельного поселка;
- потребление тепла не так требовательно к качеству и бесперебойности, поскольку температуру воздуха в помещении можно поддерживать при ТЭНовой системе в широком диапазоне (19–25°C), а в накопительных бойлерах горячего водоснабжения 60–97°C.

2. Другим важным направлением нецентрализованного использования ветроэнергии могут стать системы электродиализного обессоливания и опреснения воды. Как известно проблема питьевой воды (а также и поливной) является острой проблемой Крыма, особенно в сельской местности. Ветроэнергетика промышленного качества дает возможность кардинальным образом решить эту проблему, так как при электродиализе используется постоянный ток, а сам процесс происходит в рамных электролитических ячейках небольшой толщины, группируемых в многокамерные блочные (касетные) конструкции с последовательным и параллельным подключением к источнику – ветрогенератору постоянного тока. Система позволяет автоматически отключать часть электродиализных блоков в режим ожидания при снижении поступления электричества от ветрогенератора и подключать их вновь при его повышении без ущерба для технологического процесса опреснения или обессоливания. Это качество весьма удобно в условиях непостоянства ветровой нагрузки. Непрерывность потребления качественной питьевой воды легко достигается с помощью накопительного резервуара, наполняющегося в периоды активной ветровой нагрузки.

Метод электродиализа технологически прост, относительно экономичнее в эксплуатации и экологически чист. Главное достоинство технологии электродиализа – возможность обессоливания как морской, так и минерализованной артезианской воды без использования химических реагентов при минимальных энергетических, эксплуатационных и капитальных затратах.

В отличие от обратноосмотических систем обессоливания электродиализ не требует больших затрат электроэнергии на создание высоких давлений, мембраны не нуждаются в периоди-

ческой очистке и замене, не используют для обслуживания дорогостоящие химические реагенты, концентрация рассола на выходе аппаратов в разы выше, объем обессоленной воды составляет до 90% от исходного объема воды на входе, значительно ниже капитальные затраты.

Наиболее широко электродиализные установки применяются для опреснения морской воды при получении питьевой и/или технической (поливной) воды. Но чаще процесс электродиализа с предварительной фильтрацией через активированный уголь применяют для очистки воды, содержание растворенных солей в которой составляет примерно 10 г/л и менее. В этом случае процесс электродиализа является более экономичным по сравнению с обратным осмосом или выпариванием. При помощи электродиализа можно получать также высококонцентрированные растворы солей, используемые при производстве поваренной соли и других солей из морской воды (бром, йод и, особенно, литий). Электродиализ применяется также для предпочтительной очистки воды для теплоэнергетических установок. Наиболее продвинутыми считаются системы с комбинированием электродиализа и обратного осмоса.

Очистка морской воды с помощью опреснительных установок в промышленных масштабах к 2007 г. уже достигло 50 млн. м<sup>3</sup> чистой воды. Практическая реализуемость масштабного опреснения морской воды наглядно подтверждается весьма крупным проектом, осуществленным в Израиле, где 17 мая 2010 г. введена в строй одна из крупнейших в мире опреснительных установок с ежегодным производством способом мембранной очистки 127 миллионов кубометров воды, что составляет почти 20% потребностей страны в питьевой воде [3; 4].

Опресненная вода после дополнительной реминерализации попадает непосредственно во Всеизраильский водопровод, а оттуда – в южные регионы страны. Для работы опреснительного комплекса затрачивается 50 мегаватт электроэнергии. Проект стоимостью \$250 млн реализован объединенными усилиями французской компании Veolia (часть Vivendi Group) и израильской IDE Technologies. Последняя уже построила 350 опреснительных установок по всему миру, из них 65 – только в Испании. Полученная питьевая вода поступает в государственную компанию «Мекорот» (отвечающей за водоснабжение страны) по цене 52,7 цента за кубометр – самой низкой в мире для опресненной воды. В ближайшие годы в стране, страдающей от дефицита водных ресурсов, планируется таким способом производить уже всю питьевую воду в Израиле (800 млн. м<sup>3</sup> в год).

Учитывая, что Крым также остро нуждается в пресной воде и в то же время практически со всех сторон окружен морем, и существуют давно апробированные промышленные технологии опреснения морской воды, следует признать весьма перспективной концепцию использования ветроэнергии в варианте получения более дешевого непромышленного постоянного тока для опреснения морской и избыточно минерализованной подземной воды для питьевых, технических и технологических нужд. В этом случае нет необходимости в сложных и дорогих выпрямительных системах, что значительно снижает как капитальные, так и эксплуатационные расходы, а следовательно, и себестоимость целевого продукта.

3. Избыточная электроэнергия, вырабатываемая ВЭС в варианте непромышленного качества может быть использована для электролиза имеющейся в неограниченном количестве в Крыму морской воды с целью получения водорода, технического кислорода и солевого концентрата. В этом случае водород может подаваться в существующие газопроводные системы природного газа, повышая его калорийность при сжигании, или использоваться в экологически чистых газотурбинных установках для производства электроэнергии с предварительной аккумулярованием в металлгидридной форме и последующим его извлечением в периоды отсутствия ветра.

Как и в случае с электродиализным опреснением, электролиз морской воды может быть достаточно легко адаптирован к постоянному электрическому току непостоянных технологических характеристик.

Наиболее перспективным решением проблемы накопительного хранения водорода может стать использование гидридов металлов, стабильных в пределах температурных условий их возможной эксплуатации (от 0 до +200° С) [5; 6]. Например, из 1 м<sup>3</sup> гидрида алюминия при его реакции с водой можно получить 296 кг (~3300 м<sup>3</sup> при 0,1 МПа) водорода общей энергоемкостью 35520 МДж, что превышает теплотворную способность 1 м<sup>3</sup> бензина или почти 1000 м<sup>3</sup> природного газа. При сжигании же 1 м<sup>3</sup> AlH<sub>3</sub> может быть получено уже около 58600 МДж, энергетически адекватных 16300 кВт, что в 1,7 раза больше теплотворной способности 1 м<sup>3</sup> бензина и равноценно сжиганию почти 1570 м<sup>3</sup> природного газа или около 2,0 т антрацита.

Весьма важным принципиальным отличием металлгидрида от углеводородов или угля является то, что продукты сгорания последних безвозвратно теряются, рассеиваясь в окружающей среде и загрязняя ее, а при сгорании метал-

логидрида образуется оксид металла, пригодный для многократной повторной регенерации.

Весьма интересен также с энергетической точки зрения комплексный железо-титановый гидрид (FeTiH<sub>2</sub>), 1 м<sup>3</sup> которого при атмосферном давлении может вмещать в себе около 98,5 кг (почти 1100 м<sup>3</sup>) водорода с потенциальным энергосодержанием 11800 МДж (3278 кВт), что в 3,0 раза меньше, чем у гидрида алюминия при его гидролизе, но адекватно энергоемкости 320 м<sup>3</sup> природного газа.

В то же время при сжигании 1 м<sup>3</sup> железо-титанового гидрида теоретически может быть получено уже до 84770 МДж тепловой энергии, эквивалентной 23500 кВт, что значительно превосходит энергопотенцию гидрида алюминия и адекватно сжиганию 2300 м<sup>3</sup> природного газа или почти 3 т антрацита.

Однако более важной особенностью FeTiH<sub>2</sub> является его способность равномерно выделять водород при нагревании выше 60°С и вновь аккумулялировать его при последующем нагнетании под давлением 5–10 атм без изменения матричного носителя – порошка твердого композита FeTi. То есть, служить своего рода накопительно-расходной емкостью многократного действия, в которой водород может стабильно сохраняться при обычном атмосферном давлении, но по объемной плотности соответствовать газообразному водороду под давлением 1100 атм.

Ниже приводится концептуальная обобщенная схема использования ветроэнергетического потенциала для решения насущных проблем Крыма (рис. 1).

Примерный укрупненный расчет вышеприведенной схемы использования ветроэлектроэнергии непромышленного качества, получаемой с помощью ветроэлектростанций, для условного варианта обособленного поселка на 5000 человек (см. рис. 1) показывает следующие результаты.

Если принять среднегодовую потребность в тепловой энергии для отопления и горячего водоснабжения на одного человека равной 2 кВт/ч в эквиваленте электроэнергии, общая годовая потребность в выработке последней составит 87600 МВт (315360 ГДж). Такое количество электроэнергии может быть сгенерировано ВЭС с установочной мощностью около 35 МВт и коэффициентом использования установочной мощности в пределах 0,3. Энергетически адекватное количество природного газа с учетом коэффициента полезного использования его теплового потенциала 0,4 составит около 17520 т (около 26935000 м<sup>3</sup>). При условной стоимости газа 0,6 грн. за 1 м<sup>3</sup> затраты на потребление газа составят около 16,16 млн. грн./год (\$2,02 млн.)

или 3232 грн. на человека. Поскольку в ветроэнергостановке для производства непромышленной электроэнергии не нужен дорогой конвертор, то ее стоимость снизится почти в два раза.

В этом случае на ВЭС серийного отечественного производства установочной мощностью 33,3 МВт потребуется около \$18,0 млн., которые могут окупиться за 6–7 лет с учетом почти двукратного прогнозного подорожания природного газа за эти 10 лет при стабильности условной себестоимости ветроэнергии. Кроме этого, использование ветроэнергии позволит только в данном варианте снизить годовые выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу в объеме 26,6 млн. м<sup>3</sup> или 48180 т, что адекватно экономии \$3,4 млн. по Киотскому протоколу. При этом также на 89200 ГДж снижается количество неиспользуемой теплоты, сберегается почти 53,5 млн. м<sup>3</sup> кислорода и зна-

чительно повышается экологическая безопасность использования энергоресурса. Еще более значимый эффект достигается в сравнении с использованием антрацитового угля, для получения адекватной тепловой энергии которого потребуется 28,160 тыс. т в год при коэффициенте полезного использования его энергетического потенциала 0,4. При его условной усредненной рыночной стоимости в Крыму – 1500 грн./т затраты на его потребление составят 42,24 млн. грн. в год (8450 грн. на человека) или \$5,28 млн. В этом случае окупаемость ветроэнергостанции сокращается до 3–4 лет, а с учетом неминуемого подорожания угля – до 2–3 лет. Кроме этого, снижаются годовые выбросы углекислого газа на 57,0 млн. м<sup>3</sup>, или 103,25 тыс. т. (адекватных экономии \$7,3 млн./год по Киотскому протоколу), 189200 ГДж неиспользуемой теплоты и сберегаются 51,4 млн. м<sup>3</sup> кислорода.

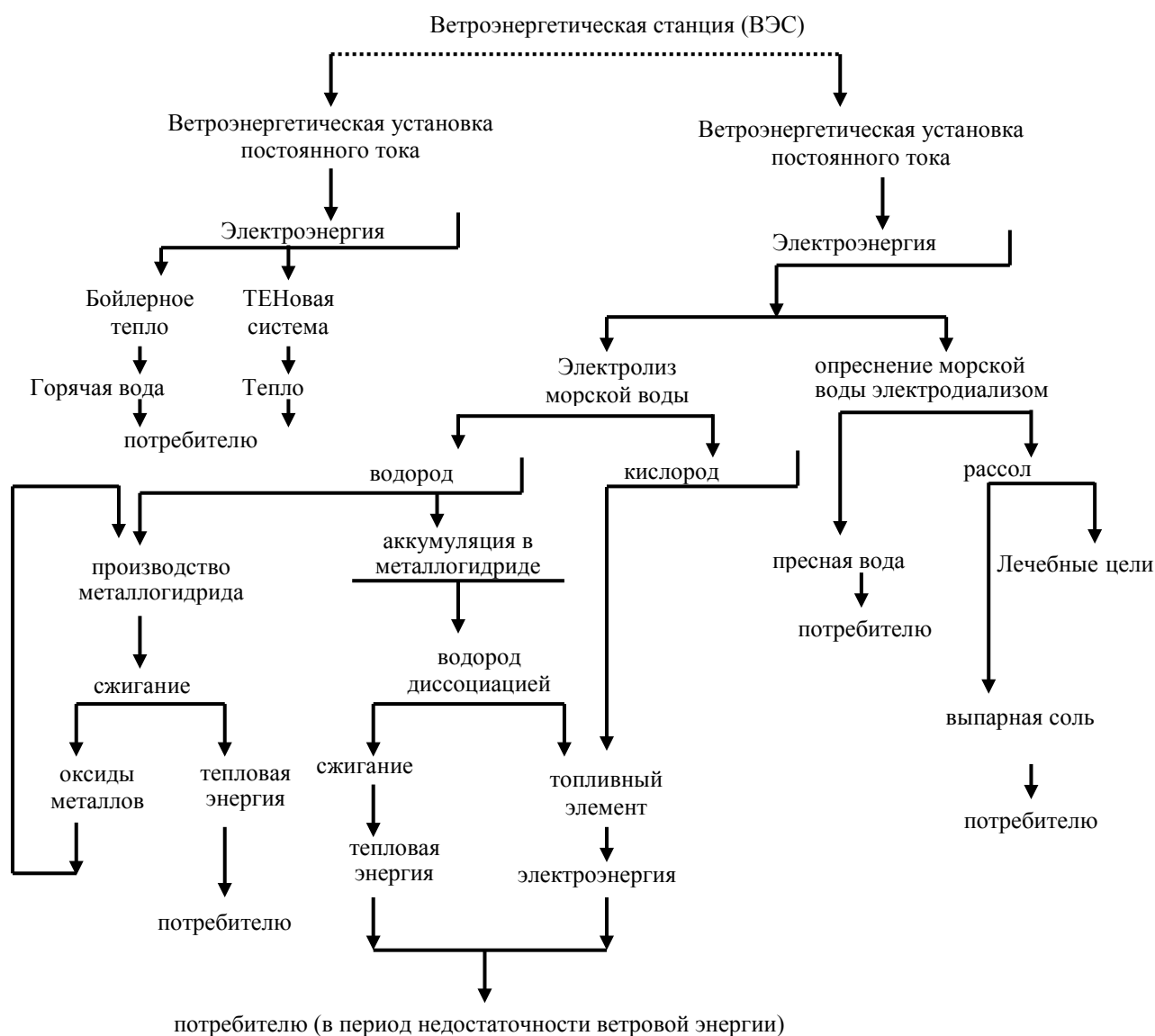


Рис. 1. Концептуальная структурная схема технологической системы энергообеспечения жизнедеятельности человека на основе использования ветроэнергетики непромышленного качества.

**Выводы и рекомендации.** Как следует из вышеизложенного материала, Крымский полуостров обладает значительным природным энергетическим потенциалом ветровой энергии, одним из перспективных направлений использования которого могут быть локальные и в значительной степени автономизированные технологические системы на основе использования генерируемой ими электроэнергии непрямого качества.

Наиболее актуальными и перспективными направлениями использования непрямого ветроэлектроэнергии могут стать:

- решение проблемы теплообеспечения и горячего водоснабжения небольших населенных пунктов в сельской местности, что позволит в значительной степени снять проблему газоснабжения для этих целей;
- решение проблемы качественного питьевого и технического водоснабжения с помощью электродиализных опреснителей, работающих на постоянном токе;
- развитие систем аккумуляции ветровой энергии путем получения экологически чистого энергоносителя – водорода – путем электролиза морской воды и его временного хранения в металлгидридной форме для использования в периоды отсутствия ветровой нагрузки.

Развитие этих направлений даст возможность значительно повысить экологическую устойчивость Крыма и качество жизни, как его населения, так и приезжающих отдыхающих.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. World Wind Energy Report 2009 // 9th World Wind Energy Conference & Exhibition Large-scale Integration of Wind Power. – Istanbul, Turkey, 15–17 June 2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.wwec2010.com](http://www.wwec2010.com).
2. Перспективы ветроэнергетики в Крыму – Новости Крыма, 26 сен. 2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [e-crimea.biz/info/news/view101.html](http://e-crimea.biz/info/news/view101.html).
3. Израиль запустил крупную станцию опреснения морской воды. 17 мая 2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [eco.rian.ru/nature/20100517/235241979](http://eco.rian.ru/nature/20100517/235241979).
4. MIGnews / Экономика / В Израиле открыт самый мощный в мире опреснитель [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.mignews.com/news/economics/world/](http://www.mignews.com/news/economics/world/).
5. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение : справочник / [Д. Ю. Гамбург, В. П. Семенов, Н. Ф. Дубовкин, Л. Н. Смирнова]. – М. : Химия, 1989. – 642 с.
6. Подзноев Г. П. Гидридные аккумуляторы водорода для автотранспортных и тепло-энергетических систем / Г. П. Подзноев, У. А. Абдулгасис // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков : «ХАИ», 2004. – С. 32–36.