

М.И. Баранов

**АНТОЛОГИЯ ВЫДАЮЩИХСЯ ДОСТИЖЕНИЙ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ. ЧАСТЬ 32:  
АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

*Наведено короткий науково-аналітичний огляд про стан і перспективи світового розвитку альтернативної енергетики, що включає вітроенергетику, сонячну енергетику, геотермальну енергетику, біогазову енергетику, приливну гідроенергетику, водневу енергетику і малу гідроенергетику.* Бібл. 30, рис. 28.

*Ключові слова:* альтернативна енергетика, стан і перспективи світового розвитку, огляд.

*Приведен краткий научно-аналитический обзор о состоянии и перспективах мирового развития альтернативной энергетики, включающей ветроэнергетику, солнечную энергетику, геотермальную энергетику, биогазовую энергетику, приливную гидроэнергетику, водородную энергетику и малую гидроэнергетику.* Библ. 30, рис. 28.

*Ключевые слова:* альтернативная энергетика, состояние и перспективы мирового развития, обзор.

**Введение.** Энергетика, как известно, является той одной из основных промышленных отраслей экономики любой страны мира, по уровню развития и потенциальным возможностям которой в социуме судят об экономической силе (мощи) страны. Несмотря на продолжающееся лидерство в настоящее время в мировой выработке электрической и тепловой энергии таких ее традиционных мощных источников как тепловых, атомных и гидроэлектростанций, в последние годы в промышленно развитых странах мира свои «обороты» набирает *альтернативная энергетика*, основанная на возобновляемых источниках энергии сравнительно небольшой мощности [1]. К таким перспективным возобновляемым источникам энергии следует отнести источники, базирующиеся, прежде всего, на использовании [1-8]: энергии ветра, энергии солнечного излучения, тепловой энергии ядра Земли, энергии биогаса от утилизации отходов, потенциальной энергии воды при установленной мощности гидроэлектростанций (ГЭС) до (5-30) МВт и энергии от применения водорода. Альтернативная энергетика в отличие от традиционной энергетики имеет для человечества почти неограниченные сырьевые ресурсы и потенциальные возможности. Кроме того, ее практическое использование не приводит к негативным экологическим последствиям для окружающей нас природы. Учитывая актуальность и важность энергетической проблемы для человечества, несомненный научно-технический интерес представляет краткий аналитический обзор современных достижений ученых и специалистов всего мира в решении насущных прикладных задач в области альтернативной энергетики.

**1. Ветроэнергетика.** Данный вид альтернативной энергетики стал на сегодня одним из основных научно-технических «локомотивов» в продвижении возобновляемых источников энергии на мировой энергорынок [2]. *Ветроэнергетика* (*wind power*) является той отраслью нетрадиционной энергетики, которая специализируется на преобразовании кинетической энергии воздушных масс, перемещающихся в нижних слоях атмосферы Земли, в электрическую, механическую, тепловую или в другую форму энергии [2]. Ветроэнергетика является сейчас бурно развивающейся во всем мире технической отраслью. Так, в 2014 г. количество электрической энергии, произведенной всеми ветрогенераторами мира, составило 706 ТВт·час (около 3 % от всего произведенного человечеством годового объема электроэнергии) [2]. В 2014 г. 85 стран мира использовали ветроэнергетику на коммерческой основе. Необ-

ходимо отметить, что некоторые страны особенно интенсивно развивают ветроэнергетику. Так, например, Дания в 2014 г. с помощью ветрогенераторов (при их установленной мощности 4845 МВт) выработала до 39 % от своего годового объема производства электричества [2]. По данным Европейской ассоциации ветроэнергетики Германия в 2005 г. имела установленную мощность ветроэнергетических установок (ВЭУ) в размере 18428 МВт. В 2014 г. эта установленная мощность ВЭУ составила в Германии уже 34250 МВт [2]. Что касается Украины, то в 2005 г. установленная мощность ее ВЭУ составляла 77 МВт, а в 2014 г. – 498 МВт [2]. Для сравнения отметим, что в 2005 г. Российская Федерация (РФ) имела установленную мощность своих ВЭУ всего 14 МВт, а в 2009 г. – 18 МВт [2]. Укажем и то, что в 2010 г. в Европе было сконцентрировано до 44 % от всех сооруженных в мире ветровых электростанций, в Азии – 31 %, а в Северной Америке – 22 % (оставшиеся 3 % приходились на все остальные материковые части земного шара) [2]. Согласно статистическим данным Всемирного совета по энергии ветра суммарная установленная мощность ветровых электростанций на нашей планете на начало 2011 г. составляла около 238 ГВт (к концу 2011 г. она увеличилась примерно на 25 %) [2]. Развитие ветроэнергетики на нашей планете в 21-ом столетии носит экспоненциальный темп роста. Причем так, что каждые три года суммарная установленная мощность ветровых электростанций мира удваивается [9]. На «лицо» научно-технические и коммерческие интересы общества к развитию и внедрению в практику ветроэнергетики.

**1.1. Виды и устройство ветроэнергетических установок.** Ветроэнергетика и применяемые в ней ВЭУ являются, по сути, техническим воплощением сравнительно новой технологии производства электроэнергии. Основными направлениями развития современной ветроэнергетики является автономная или «малая» ветроэнергетика, основанная на использовании единичных ВЭУ, и централизованная или «большая» ветроэнергетика, которая базируется на использовании ветровых электрических станций (ВЭС) [9]. По положению оси ротора ВЭУ делятся на горизонтально-осевые и вертикально-осевые [9]. На рис. 1 показан внешний вид «фермы» современных горизонтально-осевых ВЭУ установленной мощности до 250 кВт, сооруженных в полевых условиях в прибрежной

© М.И. Баранов

зоне запада РФ [10]. Заметим, что в РФ самой крупной ВЭС является станция «Зеленоградская» установленной мощностью 5,1 МВт (Калининградская обл.), состоящая из 21 ВЭУ датской компании «SEAS Energi Service A.S.» [2]. На рис. 2 в схематическом виде приведено устройство современной ВЭУ горизонтально-осевого исполнения, а на рис. 3 – общий вид современной ВЭУ вертикально-осевого исполнения [11].



Рис. 1. Общий вид современной горизонтально-осевой трехлопастной ВЭУ установленной мощностью до 250 кВт, размещенной на равнинной прибрежной территории [10]

Из данных (рис. 2) видно, что основными частями ВЭУ указанного вида является собственно ветрогенератор (турбина – *turbine*) и башня (*tower*), на которой расположен этот ветрогенератор. ВЭУ содержит комплекс сооружений и механизмов.

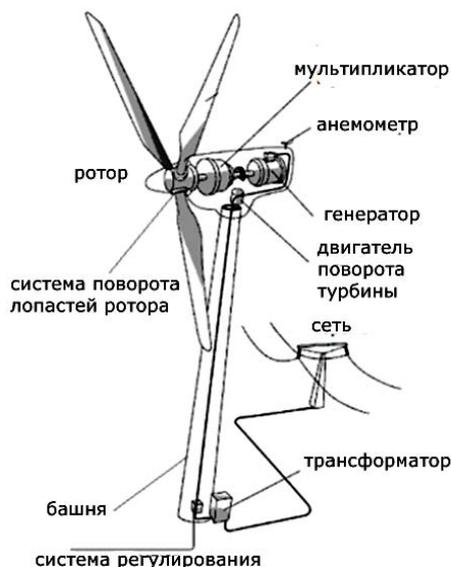


Рис. 2. Схематическое устройство современной ВЭУ [9, 10]

Указанные на рис. 2 составные части и механизмы ВЭУ необходимы для ее эффективной работы по промышленному производству электроэнергии за счет энергии ветра и ее дальнейшей передаче в электросеть. Турбина (*turbine*) ВЭУ состоит из ротора (*rotor*) и корпуса (*housing*), в котором находятся (см. рис. 2): анемометр (*anemometr*); мультипликатор (*gearbox*); генератор (*generator*); частотный преобразователь (*frequency converter*); механизмы поворота лопастей (*pitch system*) и турбиной (*yaw motor and yaw system*); системы охлаждения (*cooling system*); система регулирования (*control system*) и защиты (*safety system*) [9, 10]. Трансформатор (*transformer*) может размещаться прямо у подножья башни (*tower*) ВЭУ.



Рис. 3. Общий вид шотландской вертикально-осевой двухлопастной ВЭУ морского базирования с вертолетной площадкой в зоне ветрогенератора мощностью до 6000 кВт [11]

На рис. 4-6 в укрупненном виде показаны гигантские лопасти и турбины современных горизонтально-осевых трехлопастных ВЭУ установленной мощностью до 1500 кВт при проведении на них дорогостоящих ремонтно-восстановительных работ [9, 11].



Рис. 4. Укрупненный вид турбины современной горизонтально-осевой трехлопастной ВЭУ марки *NORDEX* установленной мощностью до 1500 кВт сухопутного базирования в период ее техобслуживания на высоте около 70 м [11]



Рис. 5. Редкое фотоизображение момента техобслуживания на высоте около 70 м лопастей и ротора турбины современной горизонтально-осевой трехлопастной ВЭУ установленной мощностью до 1500 кВт сухопутного базирования [11]



Рис. 6. Момент проведения с участием экипажа вертолета техобслуживания на высоте 80 м норвежской горизонтально-осевой трехлопастной крупнейшей ВЭУ с установленной мощностью до 5000 кВт сухопутного базирования [11]

Все современные ВЭУ по характеру своего размещения делятся на ветроустановки сухопутного (см. рис. 1, 4-6) и морского (рис. 3 и 7) базирования [9, 11].



Рис. 7. Момент подготовки к монтажным работам на современной горизонтально-осевой трехлопастной ВЭУ установленной мощностью до 600 кВт морского базирования [11]

**1.2. Технические характеристики ВЭУ и экономические аспекты ветроэнергетики.** Величина вырабатываемой ВЭУ электроэнергии существенно зависит от скорости ветра. Ветрогенератор начинает производить электрический ток при скорости ветра 3 м/с и автоматически отключается при скорости ветра более 25 м/с [2]. Установлено, что воздушные потоки у поверхности земли (моря) являются практически ламинарными – их нижележащие атмосферные слои тормозят расположенные выше [2]. Этот физический эффект в атмосфере Земли заметно снижается при высотах порядка 100 м и более. Поэтому мощные современные ВЭУ имеют высоту башни не менее 70 м.

Максимальная мощность ВЭУ достигается при скорости ветра в 15 м/с [2]. Из имеющихся данных следует, что современная крупная ВЭУ мощностью 2 МВт характеризуется [2]: высотой башни – 70 м; длиной лопастей – 37 м; весом ротора турбины – 52 т;

весом машинного отделения – 82 т. На сегодня ВЭУ с турбиной марки V90 мощностью 3 МВт производства датской фирмы «Vestas» имеет полную высоту – 115 м, высоту башни – 70 м и диаметр лопастей – 90 м [9].

На рис. 8 приведен внешний вид лопасти, предназначенной для использования в составе такой ВЭУ.



Рис. 8. Укрупненное изображение отдельной лопасти длиной 40 м современной горизонтально-осевой ВЭУ, размещенной на заводской площадке готовой продукции [2, 11]

Укажем, что в 2009 г. в современных ВЭУ турбины класса (1,5-2,5) МВт занимали до 82 % в мировой «большой» ветроэнергетике [2]. Кроме того, отметим то, что к началу 2015 г. общая установленная мощность всех производящих электроэнергию ветрогенераторов мира составляла около 369 ГВт [2]. При этом средний прирост в мире суммы мощностей ветрогенераторов, начиная с 2009 г., составляет до 40 ГВт за год. Он обусловлен, прежде всего, бурным развитием «большой» ветроэнергетики в США, Индии, КНР и Германии [2]. В индустрии ветроэнергетики в 2008 г. по всему земному шару было задействовано до 400 тыс. людей [2]. Себестоимость электричества, производимого в промышленных масштабах ветрогенераторами, в значительной мере зависит от скорости ветра. Так, при скорости ветра 8 м/с она составляет примерно 3,6 цента/(кВт·ч) [2]. Что касается стоимости строительства крупных ВЭУ, то она, например, для опытного образца, приведенного на рис. 6 и сооруженного недавно в Норвегии, составляет 67,5 млн. долларов США [11]. Из этого видно, что ВЭУ являются дорогой техникой. Расходы на ее приобретение окупаются в течение первых 7 лет эксплуатации (при расчетном сроке службы в 25 лет) [9, 11].

### 1.3. Недостатки и проблемы ветроэнергетики.

Рассматриваемый нами вид альтернативной энергетики является нерегулируемым источником энергии. Выработка электроэнергии при помощи ВЭУ существенно зависит от такого отличающегося большим непостоянством природного фактора как скорость ветра. Считается, что строительство ВЭС выгодно в таких регионах, где среднегодовая скорость ветра составляет не менее (5-6) м/с [1]. Поэтому для ВЭС характерна большая неравномерность выдачи электроэнергии в энергосистему. В этой связи ветроэнергетика требует определенного резервирования мощности в соответствующих энергосистемах. Эта особенность в работе ВЭУ существенно удорожает получаемую от них электроэнергию. Иногда дело доходило до того, что энергосистемы с большой неохотой подключали ветрогенераторы к энергосетям. В связи с чем в некоторых странах мира появились даже специальные законодательные акты, обязывающие диспетчеров энергосистем выполнять данные подключения ВЭУ [2].

Практика показала, что проблемы в электросетях и диспетчеризации энергосистем из-за нестабильности работы ветрогенераторов начинаются после достижения ими доли в (20-25) % от общей установленной мощности системы [2]. Что касается небольших по мощности единичных ВЭУ (случай «малой» ветроэнергетики), то они также могут иметь проблемы с сетевой инфраструктурой. Обусловлено это обстоятельство тем, что стоимость линии электропередачи и распределительного устройства для их подключения к энергосистеме могут оказаться слишком большими. Крупные по мощности ВЭУ испытывают значительные проблемы с ремонтом, поскольку замена крупной детали (лопасти, ротора и др.) на высоте порядка 100 м является сложным и дорогостоящим мероприятием.

Определенными недостатками данного вида альтернативной энергетики являются также создаваемый вращающимися лопастями шум вокруг работающих ВЭУ (из-за него зона отчуждения вокруг крупных ВЭУ составляет по радиусу не менее 300 м), низкочастотные вибрации грунта в зоне размещения мощных ВЭУ и технические сложности, возникающие при молниезащите крупногабаритных лопастей и турбин ВЭУ [2, 9]. В последнее время специалисты стали обращать внимание на ухудшение телевизионной связи в районах размещения ветряных электростанций [2, 9].

**1.4. Ветроэнергетика в Украине.** Современная энергетика Украины, хотя и медленным, но зато поступательным путем, движется в направлении развития экологически чистой энергетики на основе нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Государственные программы создают у нас благоприятные условия для развития новых энерготехнологий, включающих и ветроэнергетику. На рис. 9 приведена карта Украины с нанесенными на нее зонами средних за год скоростями ветра. Из данных рис. 9 и указанных в подразделе 1.3 сведений следует, что наиболее рациональными районами строительства ветряных электростанций в Украине являются Прикарпатье и всё причерноморское побережье, где среднегодовые скорости ветра достигают значений 5 м/с и более [2, 9]. Наиболее крупной ветровой электростанцией в Украине является станция «Новозаводская» с установленной мощностью до 23 МВт (Донецкая обл.) [2, 9].



Рис. 9. Карта Украины с зонами средних скоростей ветра [2]

Ветровая энергетика в последние годы стала одним из самых востребованных источников альтернативной энергии. При всех своих недостатках ветровая энергетика является экологически чистым способом получения энергии. Поэтому ей в современном обще-

стве уделяется повышенное внимание как со стороны правительственных институций, так и гражданских организаций. В заключение следует указать, что доля ветровой энергетики в системе энергоснабжения Украины может быть значительно увеличена за счет практической реализации масштабных общегосударственных мероприятий в области энергосбережения.

**2. Солнечная энергетика.** Данный вид энергетики является одним из перспективных направлений альтернативной энергетики, основанным на непосредственном использовании солнечного излучения для получения с его помощью энергии в виде электроэнергии или тепловой энергии [3]. Принято считать, что именно солнечная энергетика (*гелиоэнергетика*) может стать настоящим «преемником» у традиционной энергетики, способным подхватить у нее эстафету в обеспечении человечества энергией [12]. Современный ход развития нашей цивилизации обязывает людей взять под свой контроль поток солнечной энергии, сохраняя при этом уникальный земной климат. Известно, что на входе в атмосферу Земли плотность потока мощности солнечного излучения численно составляет в среднем  $1367 \text{ Вт/м}^2$  [3]. Следует напомнить читателю, что эта величина является солнечной постоянной [13]. Дойдя до поверхности земли, данная величина из-за поглощения и рассеяния атомами (молекулами) атмосферных газов, аэрозолями, каплями воды и кристаллами льда уменьшается и на экваторе составляет уже около  $1020 \text{ Вт/м}^2$  [3]. На сегодня имеются два основных физико-технических способа энергетического использования солнечного излучения [12]: первый – *фотоэлектрический*, обеспечивающий прямое получение электроэнергии с помощью фотоэлектрических элементов (ФЭЭ), облучаемых этим излучением; второй – *фототермический*, обеспечивающий получение тепловой энергии с помощью нагрева рассматриваемым излучением жидкого теплоносителя. В рамках данного обзора остановимся более подробно на первом способе практического применения солнечного излучения. Что касается второго способа преобразования энергии солнечного излучения, то в нем теплоноситель (как правило, вода) нагревается в коллекторе (системе светопоглощающих труб), устанавливаемом на крыше здания (рис. 10), до достаточно высокой температуры (около  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и используется в дальнейшем для отопления помещений.



Рис. 10. Общий вид солнечного коллектора при фототермическом способе использования энергии светового потока [3]

**2.1. Краткие основы физики фотоэлектрических элементов.** В качестве основы ФЭЭ может использоваться монокристаллический кремний с добавками в него других химических элементов, образующих в этом материале структуру с *p-n*- переходом [3]. Принцип работы полупроводникового кремниевого ФЭЭ (рис. 11) с учетом принятых на сегодня физических положений, изложенных в [13], заключается в следующем. В *p*- слое полупроводника создается «дырочная» (положительная) проводимость, а в *n*- слое – электронная (отрицательная). На границе этих слоев возникает потенциальный барьер, препятствующий перемещению носителей зарядов (электронов и «дырок») из одного слоя полупроводника в другой. Поэтому до воздействия на ФЭЭ солнечного излучения (потока фотонов) в указанном полупроводнике электрический ток будет отсутствовать. При падении же на ФЭЭ потока фотонов (квантов электромагнитной энергии) из-за поглощения этих квазичастиц будут создаваться пары электрон-«дырка». Эти пары будут подходить к границе указанных слоев и понижать потенциальный (энергетический) барьер между *p*- и *n*-слоями полупроводника. Тем самым в полупроводнике для его носителей зарядов (электронов и «дырок») будут создаваться условия для их беспрепятственного прохождения из слоя в слой. В результате в полупроводнике будет возникать наведенная электродвижущая сила (ЭДС) и полупроводник будет становиться источником электрического тока. Можно говорить о том, что способность производить электричество возникает в полупроводнике благодаря его особой химической структуре на субатомарном уровне и созданию в нем внутреннего электрического поля под внешним энергетическим действием на эту структуру электромагнитных квантов светового потока. Значение фото-ЭДС в полупроводнике будет тем больше, чем будет интенсивнее световой поток или поток фотонов [13].

**2.2. Типы фотоэлектрических элементов.** На сегодня в технике фотоэлектрических преобразователей принято различать следующие три поколения ФЭЭ [3]: *первое поколение* – кристаллические, включающие монокристаллические кремневые, поликристаллические (мультикристаллические) кремниевые и тонкослойные поликремневые элементы; *второе поколение* – тонкопленочные, включающие микрокристаллические, нанокристаллические, на основе теллурида кадмия и на основе диселенида-меди-индия-галлия элементы; *третье поколение* – фотосенсибилизированные красителем, органические (полимерные), неорганические и на основе каскадных структур элементы. Необходимо указать, что все указанные ФЭЭ в своей основе содержат *p-n*- переход [3].

Небезынтересна для любопытного читателя та информация, которая связана с физико-техническими особенностями получения *p-n*- перехода в монокристаллическом кремнии ФЭЭ, приведенного на рис. 11. Согласно указанной схеме построения такого ФЭЭ монокристаллический кремний, исторически доминировавший на начальном этапе производства в мире ФЭЭ (до 90 % рыночных объемов), в виде тонкой пластинки укладывается поверх металлической основы (нижнего базового контакта). Обе торцевые стороны полупроводниковой пластинки из кремния явля-

ются присадочными для изменения ее проводимости. С одной стороны эта пластинка легируется (обогащается) электронами для создания в полупроводнике *n*-слоя перехода путем добавления к кремнию химического элемента с более высоким числом валентных электронов (как правило, фосфора), а с другой противоположной стороны она легируется химическим элементом с малым количеством валентных электронов (как правило, бором) для создания в полупроводнике *p*-слоя перехода [14, 15]. В результате такого легирования монокристаллического кремния в нем и создается нужный нам *p-n*- переход. Затем на такой модифицированный полупроводник с *p-n*- переходом укладывается очень тонкая металлическая сеточка (верхний контакт) и сверху наносится антиотражающее покрытие (см. рис. 11). После присоединения к нижнему и верхнему металлическим контактам проводов внешней электрической цепи ФЭЭ готов к приему потока светового излучения и выработке за счет проявляющегося в нем *фотогальванического эффекта* [13, 16] на своем *p-n*- переходе фото-ЭДС.

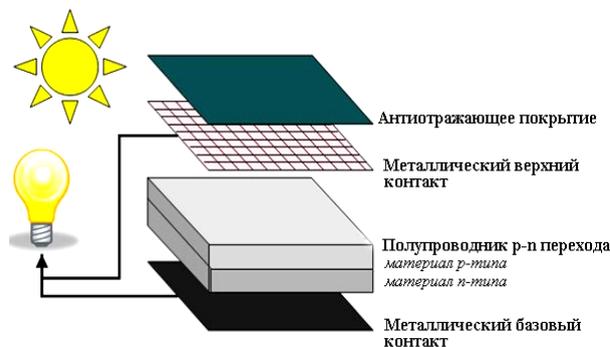


Рис. 11. Схематическое изображение ФЭЭ первого поколения с *p-n*- переходом, образованным монокристаллическим кремнием с примесями из других химических элементов [3]

Отметим и то, что в последнее время намечился определенный прогресс в создании ФЭЭ на основе оптических наноантенн, напрямую преобразующих электромагнитную энергию светового излучения в электрический ток [3, 17]. Перспективность наноантенн обусловлена их высоким теоретическим коэффициентом полезного действия (КПД), достигающим до 85 %, и потенциально более низкой стоимостью. При этом под КПД для ФЭЭ следует понимать параметр, который показывает какая часть электромагнитной энергии светового потока на уровне атомного строения его рабочего полупроводникового материала преобразовывается в электрическую энергию. В первой половине 20-го столетия КПД для сернисто-талиевых ФЭЭ составлял не более 1 % [3]. Для современных кремниевых ФЭЭ, а также изготовленных на основе арсенида галлия, их КПД достигает (10-20) % [15]. Большим научно-техническим достижением полупроводниковой промышленности стала разработка и создание кремниевых ФЭЭ с КПД до 40 %. Важным направлением в развитии мировой солнечной энергетики является создание более дешевых и удобных фотоэлектрических преобразователей, выполненных на основе ленточных поликристаллических кремниевых структур, тонких пленок аморфного кремния и других полупроводниковых материалов. Из новых полупроводниковых струк-

тур наиболее высокоэффективной для применения в составе ФЭЭ оказалась структура «алюминий-галлий-мышьяк», промышленное и коммерческое освоение которой только начинается на рынке гелиотехнологий [15]. Огромную перспективу в области солнечной энергетики открывают именно гетероструктурные (неоднородные по структуре) полупроводники, состоящие из ряда разных по химическому составу полупроводников [15]. На практике оказалось, что при их применении в составе ФЭЭ они в два раза эффективнее современных кремниевых полупроводников. Заметим, что за научное открытие, изучение и внедрение в область гелиоэнергетики, а также в лазерную технику подобных полупроводниковых гетероструктур наш соотечественник, академик РАН, директор Ленинградского физико-технического института РАН, профессор Алфёров Ж.И. был удостоен Нобелевской премии по физике за 2000 г. [3, 15].

**2.3. Способы технической реализации фотоэлектрических элементов.** Отдельный ФЭЭ, изготовленный на основе традиционного полупроводника из кристаллического кремния, способен вырабатывать постоянное электрическое напряжение сравнительно малого значения (до 0,5 В) [15]. Поэтому на практике отдельные ФЭЭ собирают в модули, а ряд модулей – в панели (батареи), выходное номинальное постоянное напряжение с которых может составлять 12, 24 и 48 В [3]. Солнечные батареи могут выполняться как жестко закрепленными на неподвижном основании (рис. 12), так и подвижными с отслеживанием места нахождения на небосклоне Солнца (рис. 13). В связи с тем, что используемые в быту и на производстве потребители электроэнергии адаптированы для питания от однофазной сети переменного напряжения номинальным уровнем 220 В или от трехфазной сети переменного напряжения номинальным уровнем 380 В, то для реального применения солнечных батарей между ними и потребителем электроэнергии должен размещаться *инвертор* – электротехническое устройство, преобразующее постоянное напряжение от нашего гелиоисточника в соответствующее переменное напряжение. Очевидно, что в светлое время суток солнечная панель будет работать и вырабатывать электричество, а в темное время суток – «отдыхать» [12].



Рис. 12. Внешний вид небольшой жестко закрепленной на крыше жилого дома неподвижной солнечной панели [15]

Так как потребителю электроэнергии требуется круглосуточное энергообеспечение, то в электросеть солнечной батареи необходимо вводить мощный накопитель электрической энергии – аккумулятор [12].



Рис. 13. Внешний вид небольшой подвижной солнечной панели с системой слежения (поворота) «за Солнцем» [15]

Заряд аккумуляторов от солнечных панелей требует соблюдения определённого алгоритма. Поэтому для управления процессом зарядки аккумуляторной батареи от гелиопанелей используется специальное электронное устройство – *контроллер* (рис. 14) [3, 12].

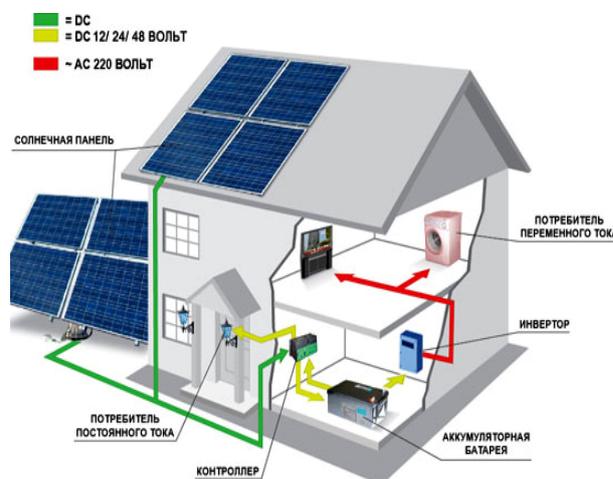


Рис. 14. Типовая схема подключения солнечных панелей к сетям постоянного и переменного токов жилого дома [3]

В настоящее время срок эксплуатации солнечных батарей доведен до 25 лет [12]. Изменение выходной мощности от солнечной батареи достигается путем добавления или демонтажа ее отдельных модулей. Стоимость солнечной батареи составляет сейчас около 1,5 долларов США за 1 ватт ее установленной мощности [12]. Эта стоимость из года в год падает. Монтаж в Украине на объекте «под ключ» солнечных панелей оценивается примерно в 4,5 \$ USA/Вт [12].

**2.4. Промышленное применение фотоэлектрических элементов и экономические аспекты гелиоэнергетики.** Для такого использования ФЭЭ необходимо создавать солнечные электростанции (СЭС), предназначенные для прямого преобразования солнечной радиации в электрическую энергию [18]. Отметим, что первая экспериментальная СЭС, использовавшая правда фототермический способ преобразования солнечного излучения, была построена в 1985 г. в СССР (г. Щёлкино, Крым). Ее пиковая установленная мощность составляла около 5 МВт [18]. Кстати, такую же мощность имел и ядерный реактор на первой в мире атомной электростанции (АЭС), построенной в 1954 г. также в СССР (г. Обнинск; научный руководитель работ – академик АН СССР И.В. Курчатов) и положившей начало

ядерной энергетике [19]. Так как энергосистема Крыма являлась дефицитной, то в этом регионе солнечная энергетика получила интенсивное развитие. Благодаря данному альтернативному источнику энергии в 2014 г. здесь с помощью СЭС вырабатывалось до 30 % от потребного объема электроэнергии [18]. Следует заметить, что в конце 2010 г. этот показатель собственно вырабатываемой электроэнергии для Крыма составлял лишь 7 %. В настоящее время мощность солнечных «парков» в Крыму составляет уже около 227,3 МВт [18]. Основу гелиоэнергетики Крыма составляют СЭС «Охотниково» установленной мощностью 80 МВт (рис. 15) и СЭС «Перово» установленной мощностью 100 МВт (рис. 16). Обе эти СЭС были построены фирмой «Activ Solar» [18]: станция «Охотниково» в 2011 г. на около 160 га и станция «Перово» в 2012 г. на 200 га.



Рис. 15. Общий вид фрагмента территории СЭС «Охотниково» с установленной мощностью 80 МВт (Крым) [18]

Солнечные батареи СЭС «Охотниково» состоят из примерно 365 тыс. модулей на базе поликристаллических ФЭЭ и могут вырабатывать до 100 ГВт·ч электроэнергии в год. Данная СЭС удовлетворяет потребности в электроэнергии для около 20 000 домохозяйств. Солнечные панели СЭС «Перово» состоят из 455 тыс. поликристаллических фотоэлектрических модулей, соединенных примерно 1500 км кабеля [18].



Рис. 16. Общий вид фрагмента территории СЭС «Перово» с установленной мощностью 100 МВт (Крым) [18]

СЭС «Перово», которая была по состоянию на июнь 2012 г. самой мощной солнечной электростанцией в мире, производит до 132,5 ГВт·ч экологически чистой электроэнергии в год. Укажем и то, что 1 августа 2015 г. в Крыму была запущена СЭС «Николаевка» с установленной мощностью 70 МВт, которая сейчас работает в режиме опытной эксплуатации [18].

Гелиоэнергетика активно развивается во всем мире. Темпы ее роста просто поразительны. Так, если в 2005 г. производство ФЭЭ в мире составляло около 1,65 ГВт, то в 2012 г. общая установленная мощность

мировых гелиоэнергетических установок превысила 100 ГВт [3, 18]. На начало 2014 г. данная мощность фотоэлектрических установок в мире оценивалась уже в 139 ГВт [18]. Лидером по установленной мощности здесь являются страны Евросоюза, в котором Германия имеет самые высокие показатели «на душу» населения по производству электроэнергии за счет использования мощностей гелиоэнергетики. В середине 2011 г. только в фотоэлектрической промышленности Германии было занято более 100 тыс. человек. Кроме того, в 2011 г. около 3 % электроэнергии, выработанной в Италии, было получено при помощи фотоэлектрических установок [18]. Согласно прогнозам, полученная на основе солнечного излучения энергия гипотетически сможет к 2050 г. обеспечить до (20-25) % потребностей человечества в электричестве. Это позволит резко сократить выбросы углекислоты в атмосферу Земли. Эксперты энергорынка считают, что процентное обеспечение потребностей мира к 2050 г. электроэнергией, полученной на СЭС, будет упираться в вопрос стоимости 1 кВт·ч при монтаже солнечных батарей гелиоустановок «под ключ». В 2013 г. цена 1 кВт·ч, выработанного на СЭС в регионах с большим количеством солнечного излучения (например, для Южной Калифорнии в США), составляла около 10 центов. Стоимость же 1 кВт·ч электроэнергии, вырабатываемой на АЭС, обходится сейчас примерно в 15 центов [18]. Годовая выработка электроэнергии в мире на СЭС в 2014 г. составила 185,9 ТВт·ч (около 0,79 % от ее всего произведенного за год объема) при годовом приросте в 38 % [3]. Что касается окупаемости средств, вложенных в гелиоэнергетику, то, например, для США при их среднем показателе энергоемкости солнечного излучения в 1700 кВт·ч/м<sup>2</sup> в год энергоокупаемость гелиоустановок с поликристаллическими кремниевыми модулями в их батареях с КПД в 12 % составляет около 4 лет [3, 18].

**2.5. Крупнейшие СЭС мира.** Укажем наиболее крупные из действующих гелиоэлектростанций мира:

- Гелиоэлектростанция «Million Solar Roofs» на 1000 МВт (1-я очередь – 2015 г., Калифорния, США);
- Гелиоэлектростанция с установленной мощностью 550 МВт (Мохаве, Калифорния, США);
- Гелиоэлектростанция с установленной мощностью 290 МВт (2012 г., Калиенте, Аризона, США);
- Гелиоэлектростанция с установленной мощностью 200 МВт (Голмуд, КНР);
- Гелиоэлектростанция с установленной мощностью 166 МВт (Шипкау, Германия);
- Гелиоэлектростанция с установленной мощностью 145 МВт (Нойхарденберг, Германия);
- Гелиоэлектростанция с установленной мощностью 100 МВт (2012 г., Перово, Крым);
- Гелиоэлектростанция с установленной мощностью 80 МВт (2011 г., Охотниково, Крым);
- Гелиоэлектростанция с установленной мощностью 70 МВт (2015 г., Николаевка, Крым).

Заметим, что крупнейшей в мире СЭС за полярным кругом является станция с установленной мощностью 1 МВт (Багагай, Якутия, РФ) [18]. Тем не менее, РФ многократно отстает от уровня генерации электроэнергии с помощью СЭС ведущими странами мира. Просто экзотически выглядит СЭС мощностью

100 кВт, введенная в строй в сентябре 2010 г. в Белгородской обл. (РФ) [18]. В сентябре 2014 г. была запущена в опытную эксплуатацию Кош-Агачская СЭС мощностью 5 МВт (Алтай, РФ). В ближайших планах РФ значится довести к 2020 г. суммарный объем установленных мощностей СЭС до 1500 МВт [18].

**2.6. Применение фотоэлектрических элементов на транспорте.** ФЭЭ могут устанавливаться на различных транспортных средствах: лодках, электромобилях, поездах, самолётах и др. [3]. Один из таких возможных вариантов использования солнечных батарей запечатлен на рис. 17. В этих случаях ФЭЭ вырабатывают электроэнергию, которая используется либо для бортового питания транспортного средства, либо для электродвигателей электротранспорта [3, 12].



Рис. 17. Беспилотный самолёт NASA «Pathfinder Helios» с ФЭЭ, установленными на его оригинальных крыльях [3]

В Японии и Италии уже имеются железнодорожные поезда с установленными на крышах их вагонов солнечными панелями, вырабатываемое электричество которыми используется для питания кондиционеров, освещения и аварийных систем [3]. В настоящее время компания «Solatec LLC» продаёт тонкоплёночные ФЭЭ толщиной 0,6 мм для их установки на крышу гибридного автомобиля марки Toyota Prius. Аэродинамика автомобиля от применения таких ФЭЭ не нарушается. Получаемое от ФЭЭ электричество в этом случае идет на подзарядку аккумуляторов автомобиля, что увеличивает его пробег примерно на 10 % [3]. В 2010 г. пилотируемый самолет «Solar Impulse» на ФЭЭ продержался в воздухе около суток, что вселяет надежду на использование таких аппаратов в качестве технического дополнения к спутникам [3].

**2.7. Изобретение гетерозлектроиков и новые перспективы гелиоэнергетики.** Последние научные открытия и изобретения в области ФЭЭ могут внести кардинальные изменения в область гелиоэнергетики. Российские ученые сообщили об открытии ими нового класса фотоэлементов – гетерозлектроиков и создании на их основе ФЭЭ нового поколения, а также изготовлении с их помощью высокоэффективной солнечной батареи – «звездной батареи» (рис. 18) [3, 15].

Основными составными частями «звездной батареи» являются гетерозлектроический фотоэлемент и гетерозлектроический конденсатор [15]. Гетерозлектроический фотоэлемент преобразует солнечную энергию в электрическую энергию, а гетерозлектроический конденсатор накапливает ее. «Звездная батарея» может функционировать и при отсутствии солнечного света, улавливая при этом режиме своей работы лишь инфракрасное излучение. При преобразовании видимого света ее эффективность составляет около 54 %, а при преобразовании инфракрасного излучения – около 31 % [15].



Рис. 18. Внешний вид революционного изобретения учеными РФ в области фотоэлементов – «звездной батареи» [15]

В «звездной батарее» фототок в четыре раза выше, чем в солнечной панели, а ее масса, приходящаяся на один ватт создаваемой мощности, практически в 1000 раз меньше. Отметим, что установленный в «звездной батарее» гетерозлектроический конденсатор имеет малые габариты и большую электрическую емкость. Так, при объеме всего в 180 см<sup>3</sup> емкость гетерозлектроического конденсатора в «звездной батарее» составляет около 0,11 Ф [15]. За счет чего же удалось добиться в «звездной батарее» таких выдающихся результатов? По-мнению авторов этого изобретения из Научного центра полупроводниковых изделий (РФ) – за счет явления *суперкогерентности*, возникающего в полупроводнике с предварительно введенными в него наночастицами других химических элементов при воздействии на него внешнего электромагнитного поля [15]. Благодаря явлению суперкогерентности у гетерозлектроиков появляется новое физическое свойство – способность объединять на одной частоте электромагнитные волны солнечного света, которые, как известно, характеризуются разными частотами и соответственно длинами [13]. Применение гетерозлектроиков («звездных батарей») в гелиоэнергетике сулит большие перспективы для развития этого вида альтернативной энергетики [3, 15].

**3. Геотермальная энергетика.** Данный вид альтернативной энергетики базируется на разности температур между кипящим жидкометаллическим ядром диаметром до 7000 км с температурой около 5000 °С нашей планеты и ее остывшей твердой поверхностью [20, 21]. Подземные воды в результате обусловленных указанной разностью температур тепловых процессов, протекающих в твердой коре Земли толщиной до 100 км, разогреваются до высоких температур. Порой эти температуры существенно выше температуры ее кипения. Считается, что температура пород и воды в земной коре, нагреваемых магмой Земли, редко превышает 370 °С [20]. Только в некоторых районах земного шара температура подземных вод оказывается достаточной для выработки с ее помощью электроэнергии. Эти районы находятся, как правило, в зонах разлома тектонических плит твердой коры. Поэтому практического использования и активного развития *геотермальной энергетики* следует ожидать именно в таких районах с низкозалегающими геотермальными ресурсами нашей планеты, сосредоточенных, прежде всего, в Исландии, РФ (на Камчатке) и США (в Калифорнии) [4]. Глубокозалегающие геотермальные

ресурсы Земли из-за большой стоимости при этом поисковых геолого-разведочных и буровых работ для рассматриваемых нами целей не подходят [4].

**3.1. Основные способы использования тепла ядра Земли.** По способу применения геотермальной энергии различают следующие две основные технологии [20]: *первая* – ее прямое использование, при котором выходящие с глубин к поверхности Земли горячая вода и пар применяются в системах отопления зданий, садоводстве и производственных процессах; *вторая* – производство с ее помощью электроэнергии, при котором тепло от ядра Земли используется для приведения в движение ротора турбины геотермальным паром. На рис. 19 приведена схема первого способа применения геотермального тепла [4].

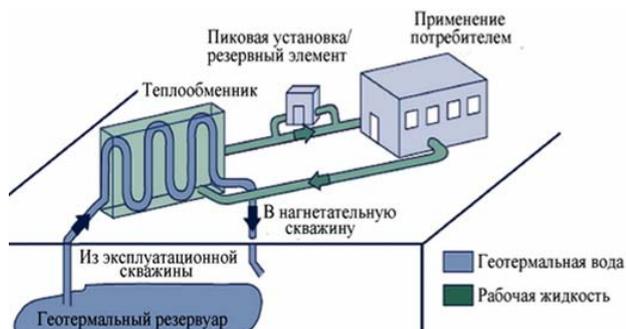


Рис. 19. Схематическое изображение первого способа использования геотермального тепла для отопления зданий [4]

В современных системах прямого использования рассматриваемого тепла в обнаруженный и обследованный специалистами геотермальный резервуар бурится скважина для обеспечения наземных устройств постоянным потоком с него горячей воды (см. рис. 18). В случае, когда геотермальная скважина не является артезианской для замкнутого резервуара подземных вод, находящегося под высоким положительным давлением, используется забойный насос. При глубинах геотермальных скважин более 250 м применяются погружные насосы, обеспечивающие подачу горячей геотермальной воды в теплообменник и далее в нагнетательную скважину. Нагретая в теплообменнике рабочая жидкость подается для обогрева помещений.

На рис. 20 показана возможная схема второго способа применения геотермального тепла. В этом случае поднятая с глубин по специальным жаростойким трубам горячая двухфазная смесь (воды и пара) подается в разделитель (см. рис. 19), с которого отобранный перегретый пар направляется на лопасти паровой турбины, вращающей ротор турбогенератора.

После разделителя горячая геотермальная вода, а также сконденсированный в конденсаторе турбины пар по нагнетательным скважинам направляются обратно в землю. В настоящее время существует два основных типа геотермальных энергетических технологий [20]: *первый тип* – «мгновенный пар»; *второй тип* – «сухой пар». На рис. 20 проиллюстрирована технология первого типа, в которой используется вытекающая под давлением из геотермальной скважины горячая вода с температурой выше 180 °С. В этом случае, из-за падения давления в поднятой геотермальной воде происходит ее частичное закипание и образование в разделителе «мгновенного пара», направляемого в турбину. Гео-

термальные электростанции (ГТЭС), использующие технологию второго типа, работают на подземных ресурсах «сухого пара» [20]. Так как подземные резервуары с залежами «сухого пара» отыскать трудно, то ГТЭС работают, как правило, в режиме технологии «мгновенного пара» [4, 20].

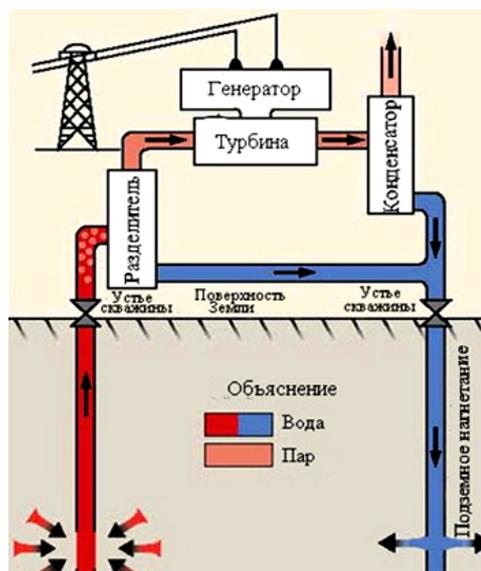


Рис. 20. Схематическое изображение второго способа использования геотермального тепла, предназначенного для выработки электроэнергии [4]

**3.2. Промышленное использование геотермальной энергии.** Осуществляется такое применение геотермального тепла при помощи ГТЭС. Первая в мире ГТЭС установленной мощностью 7,5 МВт была построена в Италии в 1911 г. [22]. Сегодня первое место в мире по количеству ГТЭС (77 станций) и объему вырабатываемой ими электроэнергии занимает США. Установленная мощность ГТЭС США в 2010 г. составляла около 3100 МВт [22]. Вырабатываемая в США на ее ГТЭС электроэнергия составляла в 2010 г. более 40 % от всех действовавших тогда в мире подобных мощностей [22]. При этом доля вырабатываемой электроэнергии ГТЭС на указанный период составляла от общей выработки электроэнергии в США лишь 0,3 % [22]. Больше всего геотермальной энергии «на душу» населения вырабатывается сейчас в Исландии, где около 95 % жилых домов отапливается за счет геотермальной энергии [4]. Согласно [20] в Исландии в настоящее время до 60 % всей потребляемой энергии берут из Земли. Мировая практика промышленного использования геотермального тепла показывает, что наибольшей эффективностью характеризуются те ГТЭС, у которых температура на глубине забора воды их геотермальных скважин составляет не менее 250 °С [23]. На рис. 21 приведен общий вид современной ГТЭС, построенной в Исландии [22].

На рис. 22 приведен общий вид крупнейшего на данный момент в РФ объекта геотермальной энергетики – Мутновской ГТЭС мощностью 50 МВт (Камчатка), запущенной в эксплуатацию в 2002 г. [22]. Годовая выработка электроэнергии данной ГТЭС по состоянию на 2010 г. составляла 360,5 млн. кВт·ч [4]. В настоящее время на ней ведутся работы по модернизации ГТЭС и увеличению ее мощности до 80 МВт.



Рис. 21. Внешний вид современной ГТЭС с установленной мощностью 100 МВт (2001 г., Несьявеллир, Исландия) [22]



Рис. 22. Внешний вид Мутновской ГТЭС с установленной проектной мощностью 50 МВт (2002 г., Камчатка, РФ) [22]

Отметим, что на начало 2009 г. суммарная мощность ГТЭС во всём мире выросла до 10,5 ГВт [22]. Для сравнения укажем, что на начало 2000 г. подобная цифра составляла около 6 ГВт. Прослеживается явная тенденция в годовом приросте установленных мощностей ГТЭС в мировом масштабе на 500 МВт. Главным достоинством геотермальной энергетики является практическая неиссякаемость её подземных ресурсов и полная независимость от условий окружающей среды, времени суток и года. По оценкам геофизиков скорость остывания ядра Земли равна примерно (300-350) °С за миллиард лет [22]. Перспективными источниками перегретых геотермальных вод обладают многочисленные вулканические зоны Земли, включая Камчатку, Курильские, Японские и Филиппинские острова, а также Кавказ, Новую Зеландию, территории Кордильер и Анд в Северной и Южной Америке [4]. Одним из недостатков рассматриваемого нами вида альтернативной энергетики является пока сравнительно высокая себестоимость вырабатываемого с помощью ГТЭС 1 кВт·ч электрической энергии. Сейчас она сопоставима с таковой для тепловых электростанций (ТЭС), для которых в российских условиях себестоимость производимой на ТЭС электрической энергии составляет до 1 руб./кВт·ч, но в 10 раз выше себестоимости выработки электроэнергии на ТЭС. Для справки укажем, что для ТЭС эта себестоимость в РФ достигает до 10 коп./кВт·ч [20].

**4. Биогазовая энергетика.** Мировой рынок возобновляемой энергии по экспертным оценкам стремительно развивается [1, 5]. **Биогазовая энергетика**, как небольшой сектор этого энергорынка, и биогазовые установки (БГУ) в настоящее время являются характерными элементами современного безотходного производства во многих областях сельского хозяйства и пищевой промышленности. Конечным продуктом в БГУ (рис. 23) является биогаз, содержащий в своем составе примерно 60 % метана [5].



Рис. 23. Общий вид современной биогазовой установки [5]

Сырьем для получения в БГУ биогаза является жидкий и плотный навоз от крупного рогатого скота (КРС), свиней и домашних птиц. Кроме того, БГУ могут работать на отходах производств предприятий пищевой промышленности и специально выращенных энергетических растениях (например, травы, кукурузы и подсолнечника), повышающих выход с них биогаза. На современных БГУ из одной тонны навоза КРС получают до (30-50) м<sup>3</sup> биогаза [5]. Кстати, одна корова способна обеспечить получение 2,5 м<sup>3</sup> биогаза в сутки. Полученный на БГУ биогаз в дальнейшем может использоваться как для производства с помощью газовых турбин электроэнергии, так и биотоплива для заправки автомобилей. В Швеции и Швейцарии биометан уже долгое время используется в городских автобусах и грузовых машинах [5]. Из одного м<sup>3</sup> биогаза можно выработать около 2 кВт·ч электроэнергии [5]. Отметим, что в настоящее время в Германии уже построено около 4200 БГУ, с помощью биогаза которые производят около 13000 ГВт·ч электрической энергии в год [5]. В перспективных планах Германии содержится увеличение к 2020 г. количества высокоэффективных БГУ нового поколения до 12 тыс., способных обеспечить годовую выработку экологически чистой электроэнергии до 39000 ГВт·ч [5].

**5. Приливная гидроэнергетика.** Сегодня нам хорошо известно, что грандиозному явлению в нашей природе, связанному с ритмичным в течение земных суток движением морских и океанических вод в виде приливов и отливов, способствуют силы гравитации Солнца и Луны [13, 19]. Дважды в сутки Солнце и Луна силой своего тяготения заставляют морскую воду то наступать на берег, то отходить от него назад. Это явление известно людям с давних времен, однако использовать его с целью получения электроэнергии человечество научилось лишь недавно. Именно **приливная гидроэнергетика** на реализацию этой физикотехнической цели и направлена. На практике эта цель воплощается с помощью приливных электростанций (ПЭС), принцип работы которых поясняет рис. 24 [6].

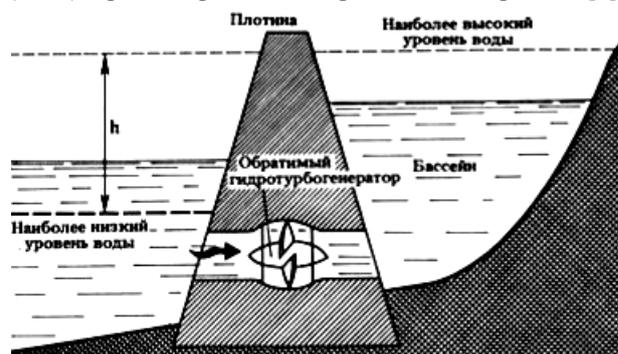


Рис. 24. Схема к пояснению работы современной ПЭС [6]

Режим работы ПЭС обычно состоит из нескольких технологических циклов. *Первый цикл* – период прилива, когда поступающая с моря вода наполняет бассейн ПЭС (см. рис. 24). В этот период движение «наступающей» на берег и соответственно на плотину ПЭС воды вращает установленные в основании бетонной плотины колеса капсульных агрегатов и электростанция вырабатывает переменный электрический ток. *Второй цикл* – период отлива, когда морская вода «отступает» от берега и соответственно от плотины ПЭС. Разность уровней воды в заполненном бассейне ПЭС при приливе и в «отступившем» при отливе море может максимально составлять до  $h \approx 19$  м [6]. Во время отлива вода, уходя из бассейна ПЭС в море (океан), опять вращает рабочие колеса гидротурбогенераторов, но теперь только в обратную сторону. И электростанция продолжает производить переменный электрический ток. Рабочие агрегаты современных ПЭС обеспечивают одинаково хорошую и надежную работу своих генерирующих гидротурбогенераторов при вращении их колес в любую из двух сторон. *Третий цикл* – период простоя колес гидротурбогенераторов, обусловленный «затишьем» морской воды («мертвая зона»). В этот период ПЭС прекращает выработку электроэнергии. Для исключения в течение этого цикла перебоев в подаче от ПЭС электроэнергии ее потребителям используются резервные мощности энергосистемы с работающими в ее составе ТЭС, АЭС, ГЭС, ГТЭС и ВЭС, к которой подключена ПЭС. Интересно, что первую в мире ПЭС построили в 1913 г. вблизи г. Ливерпуля (Шотландия) [24]. Установленная мощность этой ПЭС составляла 635 кВт. Ученые-гидрологи и энергетики подсчитали, что для эффективной работы ПЭС необходимо, чтобы перепад уровней морской воды между отливом и приливом составлял более четырех метров. Наиболее подходящим местом размещения ПЭС считается то, где приливы имеют свою наибольшую амплитуду и где береговой скальный рельеф позволяет создавать большой замкнутый бассейн для этого вида электростанции, наполняемый в период прилива морской водой [24]. В последние годы приливная гидроэнергетика получила свое дальнейшее развитие. Она пополняется принципиально новыми техническими решениями при создании в мире ПЭС. При этом их главным отличием является отсутствие дорогих железобетонных плотин. Вместо компактных гидротурбин электрогенераторы ПЭС нового поколения приводятся в движение крупными лопастями колес диаметром от 10 до 20 м [24].

На рис. 25 приведен внешний вид современной ПЭС установленной мощностью 240 МВт, размещенной на французском побережье [6]. Длина железобетонной плотины этой ПЭС, служащей одновременно и мостом на скоростной автотрассе, составляет 800 м.



Рис. 25. Общий вид ПЭС «Ля Ранс» мощностью 240 МВт (1967 г., река Ранс, Северная Бретань, Франция) [6]

Кстати, максимальная амплитуда прилива на севере Франции может составлять до 14,7 м [24]. Что касается рекордных в мире значений амплитуды прилива моря (океана), то они составляют около 19,5 м. Такие абсолютные уровни прилива были зарегистрированы в Канаде на ее Атлантическом побережье (в заливе Фанди) [24]. Важным фактором при создании ПЭС являются благоприятные геологические условия для основания ее перегораживающей плотины. Поэтому при строительстве ПЭС специалисты пользуются данными не только для амплитуд прилива, но и прочностными характеристиками грунтов, их сейсмичностью и надежностью при эксплуатации ПЭС.

На рис. 26 для сравнения с большой французской ПЭС приведена малая российская ПЭС с установленной мощностью по состоянию на 2009 г. в 1,7 МВт [6]. Еще в советское время был разработан проект строительства Пенжинской ПЭС (Пенжинская губа в Охотском море, Дальний Восток, РФ) [6]. Проектная мощность этой электростанции составляла 87 ГВт. Такой энергетический показатель выводил ее на уровень самой крупной ПЭС в мире [6]. В настоящее время статус этого заманчивого проекта по созданию гигантской ПЭС нам неизвестен. Следует заметить, что в зоне предполагаемого строительства в РФ Пенжинской ПЭС амплитуда морского прилива достигает наибольшего в бывшем СССР уровня в 11 м [24]. Из других крупных действующих в мире ПЭС следует указать электростанцию с установленной мощностью 254 МВт, построенную в 2011 г. в Южной Корее [6]. Эта ПЭС способна обеспечить электроэнергией город с населением в 500 тыс. человек. В планах правительства Южной Кореи значится запуск в ближайшее время ПЭС с установленной мощностью 812 МВт [6].



Рис. 26. Общий вид ПЭС «Кислогубская» мощностью 1,7 МВт (1968 г., Кислая губа, Кольский полуостров, РФ) [6]

Общий потенциал приливной энергетики во всем мире сейчас ориентировочно оценивается по установленной мощности в 1000 ГВт [24, 25]. Годовая выработка всеми ПЭС мира электрической энергии составляла на начало 2015 г. примерно 2000 млрд. кВт·ч, в том числе в РФ – до 250 млрд. кВт·ч [24, 25].

**6. Водородная энергетика.** Этот вид альтернативной энергетики относится к активно развивающейся сейчас отрасли энергетики [7]. Перед человечеством все отчетливее встает глобальный вопрос, касающийся изменения энергетического «фундамента» развития общества [26]. Основным энергетическим сырьем в мире сейчас являются нефть и природный газ, запасы которых могут создать перед людьми непреодолимые проблемы примерно через 50 лет [26]. Нефтегазовая энергетика уже сейчас создает немалые

экологические проблемы на нашей планете. Вот поэтому специалисты свой взор обратили на водород, запасы которого на Земле практически неисчерпаемы. **Водородная энергетика** базируется на использовании водорода в качестве средства для генерирования, аккумулялирования, транспортировки и потребления энергии людьми, транспортной инфраструктурой и различными производственными технологиями. Водород выбран здесь в качестве рабочего средства (энергоносителя) не случайно, а как наиболее распространенный химический элемент на поверхности нашей планеты и в космосе [13]. Кроме того, это вещество имеет достаточно высокую теплоту сгорания (около 143 МДж/кг, тогда как для каменного угля она составляет 29,3 МДж/кг [7, 13]), а продуктом его сгорания в кислороде является вода. Причем, образовавшаяся вода от такой химической реакции может вновь вводиться в оборот рассматриваемого вида альтернативной энергетики. На сегодня пока непреодолимой проблемой в области водородной энергетики остается неэкономичность промышленного производства водорода  $H_2$ .

**6.1. Основные технологии производства водорода.** К данным технологиям получения водорода  $H_2$  следует отнести на сегодня следующие [7, 27]: а) традиционная паровая конверсия природного газа; б) газификация угля; в) электролиз воды; г) термохимическая обработка биомассы; д) термическая обработка воды (термолиз) в солнечных концентраторах; е) нетрадиционная каталитическая конверсия природного газа от тепла высокотемпературного ядерного газоохлаждаемого реактора; ж) водно-щелочной электролиз под давлением с использованием электроэнергии АЭС. В настоящее время водород  $H_2$  производят, в основном (до 95 % от всего объема), путем традиционной конверсии природного газа (метан  $CH_4$  под давлением в присутствии катализатора и температуре в (700-1000) °С смешивают с водяным паром) [7]. Себестоимость такой технологии получения водорода  $H_2$  – до 5 \$ USA/кг [27]. Газификация угля является старейшим и сравнительно дорогим способом получения водорода  $H_2$ , при котором уголь нагревают с водяным паром при температуре (800-1300) °С без доступа воздуха [27]. Электролиз воды, основанный на протекании химической реакции  $2H_2O + \text{энергия} \rightarrow 2H_2 + O_2$ , характеризуется себестоимостью процесса производства водорода  $H_2$  до 7 \$ USA/кг [27]. Нагрев биомассы (отходов из древесины) без доступа кислорода при температуре (500-800) °С приводит к получению водорода  $H_2$ , окиси углерода  $CO$  и метана  $CH_4$ . При этом себестоимость производства водорода  $H_2$  составляет около 7 \$ USA/кг [27]. Прямой термолиз воды в концентраторах солнечной энергии (при температуре свыше 2500 °С вода разлагается на водород  $H_2$  и кислород  $O_2$ ) обеспечивает получение водорода при его себестоимости не менее 10 \$ USA/кг [27]. Применение с целью промышленного производства водорода  $H_2$  высокотемпературных ядерных газоохлаждаемых реакторов, обеспечивающих высокие температуры своего гелиевого теплоносителя (около 1000 °С), используемого при каталитической конверсии метана  $CH_4$ , и дешевой электроэнергии АЭС, вырабатываемой ею в ночное время суток, находится сейчас пока на стадии технологических разработок [27, 28]. Отметим, что в настоящее время в РФ новейшими техноло-

гиями промышленного производства водорода активно занимается РИЦ «Курчатовский институт» [26, 27].

**6.2. Применение водорода в топливных элементах для получения электрической и тепловой энергий.** Производство электрической и тепловой энергий с использованием водорода  $H_2$  реализуется в топливных элементах (ТЭ) [27, 28]. В ТЭ протекает химическая реакция вида:  $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + \text{энергия}$ . Видно, что эта реакция является обратной той, которая протекает при электролизе воды [7]. В конце 2006 г. во всем мире эксплуатировалось уже около 5000 малых стационарных водородных электростанций, базирующихся на ТЭ [27]. К середине 2008 г. только в Японии было установлено около 3000 бытовых стационарных энергетических установок (СЭУ) мощностью до 10 кВт на водородных ТЭ, а их стоимость снизилась до 19000 \$ USA за 1 кВт мощности [27]. Отметим, что в 2006 г. в мире было установлено около 800 СЭУ на водородных ТЭ мощностью свыше 10 кВт. Их суммарная мощность составляла 100 МВт [7]. Сейчас в мире бурно развивается рынок мобильных энергетических установок (МЭУ), использующих водородные ТЭ для подзарядки мобильных телефонов, ноутбуков и другой электронной аппаратуры [7, 27]. В 2008 г. мировое производство МЭУ с водородными ТЭ составило около 9000 шт. (основной потребитель этих легких и емких источников – армия США) [27].

Водородные ТЭ в настоящее время нашли свое определенное практическое применение на транспорте (рис. 27). Причем, стоимость автомобильных водородных ТЭ на рынке снизилась с 275 \$ USA за 1 кВт мощности в 2002 г. до 110 \$ USA/кВт в 2005 г. [7, 27].



Рис. 27. Пассажирский автобус марки Mercedes Benz Citaro, работающий на водородных ТЭ (2006 г., г. Лондон) [7]

Департамент энергетики США планирует довести к 2020 г. стоимость автомобильных водородных ТЭ до 30 \$ USA за 1 кВт их мощности [7, 27]. В июне 2008 г. компания «Matsushita Electric Industrial Co Ltd (Panasonic)» начала промышленное производство в Японии водородных ТЭ. Эта компания планирует к 2016 г. продать около 200 тыс. бытовых СЭУ и МЭУ на водородных ТЭ [27]. Следует указать и то, что водородные ТЭ производят энергию на борту шаттлов USA, начиная с 1981 г. [27]. В марте 2008 г. во время экспедиции STS-123 шаттла «Endeavour» водородные ТЭ производства компании USA «UTC Power» преодолели рубеж в 100 тыс. операционных часов работы в открытом космосе. В планах министерств Индустрии, Коммерции и Экономики Южной Кореи обозначена стратегическая цель – создание в обществе к 2040 г. водородной экономики, производящей на СЭУ

с водородными ТЭ до 22 % всей электроэнергии [27]. Это дает нам основание считать такие химические источники электрического тока как ТЭ, в которых идет прямое преобразование химической энергии в электрическую с высоким значением КПД (до 85 % [26]), «движителем» водородной энергетики [27, 28].

**7. Малая гидроэнергетика.** Малая гидроэнергетика получила в последние десятилетия определенное развитие в мире в основном из-за стремления людей избежать экологического ущерба, наносимого водохранилищами крупных ГЭС. Чаще всего к малым гидроэлектростанциям (МГЭС) относят энергообъекты, установленная мощность которых не превышает 5 МВт [8]. В тоже время согласно требованиям Европейской ассоциации малой гидроэнергетики МГЭС считаются такие, установленная мощность которых не превышает 10 МВт [8]. Отметим и то, что в СССР согласно требованиям СНиП 2.06.01-86 к МГЭС относились те ГЭС, установленная мощность которых составляла до 30 МВт, а диаметр рабочего колеса их турбины был до 3 м [8]. Из этих данных видно, что единые требования в мире к понятию МГЭС на сегодня отсутствуют. Тем не менее, во многих странах мира МГЭС имеют свою определенную энергонишу в годовом балансе выработки ими электроэнергии [29].

#### 7.1. Развитие малой гидроэнергетики в мире.

В Республике Беларусь по состоянию на 2010 г. действовало 36 МГЭС общей установленной мощностью 13,5 МВт с годовой выработкой свыше 33 млн. кВт·ч электроэнергии [8]. В Швеции действует 1350 МГЭС, которые вырабатывают до 10 % необходимой стране электроэнергии. В РФ, в которой в соответствии с требованиями действующего в ней стандарта ГОСТ Р51238-98 к МГЭС относят станции с мощностью до 30 МВт, работают около 100 подобных электростанций с суммарной установленной мощностью около 90 МВт [8]. Их объем выработки электроэнергии составляет примерно 200 млн. кВт·ч в год [29]. Укажем, что технический потенциал малой гидроэнергетики РФ составляет по экспертным оценкам около 360 млрд. кВт·ч в год (эта цифра близка к 30 % от потребляемого в РФ годового объема электричества) [8]. Отметим, что в 2006 г. суммарная установленная мощность МГЭС во всем мире составляла около 73 ГВт. Лидером здесь оказалась КНР (47 ГВт), а далее идут Япония (4 ГВт) и США (3,4 ГВт) [29]. Небезынтересно, что суммарные мировые инвестиции в малую гидроэнергетику в 2006 г. составили около 6 млрд. \$ USA.

**7.2. Малая гидроэнергетика в Украине.** Экономический гидропотенциал малых рек Украины экспертами оценивается сейчас в размере до 1,5 млрд. кВт·ч годовой выработки электроэнергии [30]. Приоткрывая страничку истории развития в нашей стране малой гидроэнергетики отметим, что в 1934 г. была введена в эксплуатацию Корсунь-Шевченковская ГЭС установленной мощностью 2,65 МВт [30]. Эта МГЭС по своим техническим показателям была одной из лучших станций своего времени. Вначале 1950-х годов число малых ГЭС, действовавших в Украине, составляло 956 единиц при их суммарной мощности около 30 МВт. Интересно отметить и то, что в конце 1929 г. количество подобных ГЭС на территории Украины было равным 150 единицам с общей мощностью 8,4 МВт [30]. В дальнейшем из-за концентрации

производства электроэнергии на мощных ГЭС и ТЭС строительство МГЭС было прекращено, а сотни МГЭС были остановлены. Одна часть из них была законсервирована, другая часть демонтирована, а оставшаяся часть просто разрушена. В итоге на сегодня в Украине сохранилось лишь 48 единиц МГЭС (рис. 28), большинство из которых требует реконструкции [30]. К ним относятся такие сравнительно мощные станции, как Теремле-Рикская, Гайворонская, Корсунь-Шевченковская, Стеблевская, Ладижинская и др.



Рис. 28. Общий вид плотины и машинного отделения отечественной МГЭС (2009 г., Украина) [30]

Безусловно, малая гидроэнергетика Украины из-за своего незначительного удельного веса (до 0,2 % [30]) в общем энергобалансе страны не может существенно влиять на условия ее энергообеспечения. Однако, эксплуатация МГЭС дает возможность вырабатывать ныне около 250 млн. кВт·ч электроэнергии в год. Этот объем эквивалентен ежегодной экономии до 75 тыс. тонн дефицитного органического топлива [8].

**Вывод.** Альтернативная энергетика, несмотря на свою малую долю (до 10 %) в нынешнем суммарном мировом годовом балансе выработки электроэнергии, из-за вынужденной смены в ближайшие 50 лет нефтегазового «фундамента» мировой энергетике на иной с большими сырьевыми, потенциальными и экологическими возможностями имеет большие перспективы в развитии и использовании обществом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://alt-energetic.ucoz.ru/index/0-10>.
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ветроэнергетика>.
3. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная\\_энергетика](https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_энергетика).
4. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Геотермальная\\_энергетика](https://ru.wikipedia.org/wiki/Геотермальная_энергетика).
5. <http://www.agro-t.de/Bio/biogas.html>.
6. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Приливная\\_электростанция](https://ru.wikipedia.org/wiki/Приливная_электростанция).
7. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Водородная\\_энергетика](https://ru.wikipedia.org/wiki/Водородная_энергетика).
8. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Малая\\_гидроэлектростанция](https://ru.wikipedia.org/wiki/Малая_гидроэлектростанция).
9. <http://altenergy.in.ua/category/vetryanaya-energiya>.
10. [http://www.molomo.ru/myth/wind\\_energy.html](http://www.molomo.ru/myth/wind_energy.html).
11. <http://masterok.livejournal.com/220814.html>.
12. [http://www.avante.com.ua/rus/library/lib\\_perspektiv\\_soln\\_energetiki.htm](http://www.avante.com.ua/rus/library/lib_perspektiv_soln_energetiki.htm).
13. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики / Отв. ред. В.К. Тартаковский. – К.: Наукова думка, 1989. – 864 с.
14. Алфёров Ж.И., Андреев В.М., Румянцев В.Д. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики // Физика и техника полупроводников. – 2004. – Том 38. – Вып. 8. – С. 937-948. doi: 10.1134/1.1787110.
15. <http://altco.in.ua/technology/solar-energy>.
16. Большой иллюстрированный словарь иностранных слов. – М.: Русские словари, 2004. – 957 с.
17. Краснок А.Е., Максимов И.С., Денисюк А.И., Белов П.А., Мирошниченко А.Е., Симовский К.Р., Кившарь Ю.С. Оптические наноантенны // Успехи физических наук. – 2013. – Том 183. – №6. – С. 561-589. doi: 10.3367/ufnr.0183.201306a.0561.

18. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная\\_электростанция](https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_электростанция).  
 19. Храмов Ю.А. История физики. – К.: Изд-во «Феникс», 2006. – 1176 с.  
 20. <http://re.energybel.by/geothermal-ru>.  
 21. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики. Том 3: Теория и практика электрофизических задач. – Х.: Изд-во «Точка», 2014. – 400 с.  
 22. <http://www.energyofnature.org/2387>.  
 23. Берман Э., Маврицкий Б.Ф. Геотермальная энергия. – М.: Мир, 1978. – 416 с.  
 24. <http://alternativenergy.ru/energiya/553-prilivnaya-elektro-stanciya-princip-foto.html>.  
 25. <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-2/2-5>.  
 26. <http://federalbook.ru/files/TEK/Soderzhanie/Tom%2010/V/Kovalchuk.pdf>.  
 27. <http://www.o8ode.ru/article/energy/energy.htm>.  
 28. Легасов В.А. Атомно-водородная энергетика и технология. – М.: Атомиздат, 1978. – 475 с.  
 29. <http://www.cleandex.ru/articles/2008/03/18/hydropower2>.  
 30. <http://alterpower.com.ua/energy-water/41-malaya-gidro-energetika-ukraini>.

#### REFERENCES

1. Available at: <http://alt-energetic.ucoz.ru/index/0-10> (accessed 11 July 2015). (Rus).  
 2. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Wind\\_power](https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_power) (accessed 25 October 2013).  
 3. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_energy](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy) (accessed 03 May 2014).  
 4. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal\\_energy](https://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal_energy) (accessed 08 June 2014).  
 5. Available at: <http://www.agro-t.de/Bio/biogas.html> (accessed 05 January 2014).  
 6. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Tidal\\_power](https://en.wikipedia.org/wiki/Tidal_power) (accessed 17 May 2015).  
 7. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen\\_economy](https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_economy) (accessed 20 February 2015).  
 8. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Small\\_hydro](https://en.wikipedia.org/wiki/Small_hydro) (accessed 20 March 2015).  
 9. Available at: <http://altenergy.in.ua/category/vetryanaya-energiya> (accessed 02 April 2015).  
 10. Available at: [http://www.molomo.ru/myth/wind\\_energy.html](http://www.molomo.ru/myth/wind_energy.html) (accessed 10 June 2015). (Rus).  
 11. Available at: <http://masterok.livejournal.com/220814.html> (accessed 10 May 2015). (Rus).  
 12. Available at: [http://www.avante.com.ua/rus/library/lib\\_perspektiv\\_soln\\_energetiki.htm](http://www.avante.com.ua/rus/library/lib_perspektiv_soln_energetiki.htm) (accessed 28 September 2014). (Rus).  
 13. Kuz'michev V.E. *Zakony i formuly fiziki* [Laws and formulas of physics]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1989. 864 p. (Rus).  
 14. Alferov Z.I., Andreev V.M., Rumyantsev V.D. Solar photovoltaics: Trends and prospects. *Semiconductors*, 2004, vol.38, no.8, pp. 899-908. doi: 10.1134/1.1787110.  
 15. Available at: <http://alteco.in.ua/technology/solar-energy> (accessed 20 October 2014).  
 16. *Bol'shoj illjustrirovannyj slovar' inostrannyh slov* [Large illustrated dictionary of foreign words]. Moscow, Russkie slovari Publ., 2004. 957 p. (Rus).  
 17. Krasnok A.E., Maksymov I.S., Denisyuk A.I. Belov P.A., Miroshnichenko A.E., Simovskii C.R., Kivshar Yu.S. Optical Nanoantennas. *Uspehi fizicheskikh nauk – Successes of physical sciences*, 2013, vol.183, no.6, pp. 561-589. doi: 10.3367/ufnr.0183.201306a.0561.  
 18. Available at: [https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic\\_power\\_station](https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic_power_station) (accessed 22 November 2014).  
 19. Khranov Yu.A. *Istoriia fiziki* [History of Physics]. Kiev, Feniks Publ., 2006. 1176 p. (Rus).  
 20. Available at: <http://re.energybel.by/en/geothermal/> (accessed 09 April 2014).

21. Baranov M.I. *Izbrannyye voprosy elektrofiziki. Tom 3: Teoriya i praktika elektrofizicheskikh zadach* [Selected topics of Electrophysics. Vol. 3: Theory and practice of electrophysics tasks]. Kharkiv, Tochka Publ., 2014. 400 p. (Rus).  
 22. Available at: <http://www.energyofnature.org/2387> (accessed 12 March 2013).  
 23. Berman E., Mavritskiy B.F. *Geotermal'naja energija* [Geothermal energy]. Moscow, Mir Publ., 1978. 416 p. (Rus).  
 24. Available at: <http://alternativenergy.ru/energiya/553-prilivnaya-elektro-stanciya-princip-foto.html> (accessed 18 May 2014). (Rus).  
 25. Available at: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-2/2-5> (accessed 27 November 2014). (Rus).  
 26. Available at: <http://federalbook.ru/files/TEK/Soderzhanie/Tom%2010/V/Kovalchuk.pdf> (accessed 27 November 2014). (Rus).  
 27. Available at: <http://www.o8ode.ru/article/energy/energy.htm> (accessed 04 March 2012). (Rus).  
 28. Legasov V.A. *Atomno-vodorodnaja energetika i tehnologija* [Atomic hydrogen energy and technology]. Moscow, Atomizdat Publ., 1978. 475 p. (Rus).  
 29. Available at: <http://www.cleandex.ru/articles/2008/03/18/hydropower2> (accessed 18 March 2008). (Rus).  
 30. Available at: <http://alterpower.com.ua/energy-water/41-malaya-gidro-energetika-ukraini> (accessed 07 May 2015). (Rus).

Поступила (received) 26.10.2015

Баранов Михаил Иванович, д.т.н., гл.н.с.,  
 НИПКИ «Молния»  
 Национальный технический университет  
 «Харьковский политехнический институт»,  
 61013, Харьков, ул. Шевченко, 47,  
 тел/phone +38 057 7076841, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua

M.I. Baranov  
 Scientific-&-Research Planning-&-Design Institute «Molniya»  
 National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,  
 47, Shevchenko Str., Kharkiv, 61013, Ukraine.

**An anthology of the distinguished achievements in science and technique. Part 32: Alternative energy: state and prospects of development.**

**Purpose.** Implementation of brief analytical review of the state and prospect of development in the modern world of alternative energy, including wind energy, sun energy, geothermal energy, biogas energy, flood-tide water energy, hydrogen energy and small water energy. **Methodology.** Scientific methods of collection, analysis and analytical treatment of scientific and technical information in area of the present state of world energy and ways of its further development. **Results.** A brief scientific and technical review is resulted about the state and prospects of world development of basic types of alternative energy. It is shown that, in spite of comparatively small stake (to 10 %) of this untraditional energy in general world balance of making of electric power, world association taking into account the necessary changing in the nearest 50 years of present oil-gas «foundation» of energy on other with large raw material, potential and ecological possibilities are forced to invest large financial means in development of the indicated directions of alternative energy. **Originality.** First on the basis of materials of separate magazine publications, scientific monographs and internet-reports on power problem the brief analytical review of the state and prospects of world development of basic types of alternative energy is executed. **Practical value.** Deepening and spread of the scientific and technical learnings in area of functioning and ways of development of modern energy. Scientific popularization of arising up before society claimed tasks from global and important for all of humanity of power problem. References 30, figures 28.

**Key words:** alternative energy, state and prospects of world development, review.