

---

УДК 621.39  
ББК 31.2  
Б 94

**Бучацкий П.Ю.**

*Старший преподаватель кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления инженерно-физического факультета Адыгейского государственного университета, Майкоп, тел. (8772) 59-39-11, e-mail: butch\_p99@mail.ru*

## **Перспективные технологии преобразования возобновляемой энергии** (Рецензирована)

### **Аннотация**

*Рассмотрены перспективные технологии преобразования возобновляемой энергии (солнечной, ветровой, био, волновой, приливной). Их применение позволит существенно сократить стоимость получаемой энергии и тем самым вовлечь в энергетическую систему региона природные ВИЭ. В условиях противоположной тенденции роста цен на традиционные энергоресурсы многие технологии использования ВИЭ становятся все более конкурентоспособными.*

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, перспективные технологии преобразования возобновляемой энергии

**Buchatskiy P.Yu.**

*Senior Lecturer of Department of Automated Systems of Information Processing and Management of Engineering-Physics Faculty, Adyge State University, Maikop, ph. (8772) 59-39-11, e-mail: butch\_p99@mail.ru*

## **Promising technologies of renewable energy transformation**

### **Abstract**

*The paper discusses the promising technologies of renewable energy transformation (solar, wind, bio, wave and tidal). Their application will allow significant reduction of the cost of the obtained energy and involvement of natural renewable energy sources in a power system of the region. A lot of technologies using renewable energy sources become more and more competitive in the conditions of an opposite tendency of price rising for traditional energy resources.*

**Keywords:** renewable energy sources, promising technologies of renewable energy transformation.

Для эффективного использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергетической системе региона важную роль играют технологии преобразования возобновляемой энергии. Их высокая стоимость, а как следствие и высокая стоимость получаемой энергии, зависит от небольшой плотности энергетических потоков, их непостоянства во времени и необходимости значительных затрат на оборудование, обеспечивающее сбор, аккумуляцию и преобразование энергии. Поэтому применение перспективных технологий преобразования энергии позволит существенно сократить стоимость получаемой энергии и тем самым вовлечь в энергетическую систему региона природные ВИЭ [1].

На основе анализа различных источников информации установлены наиболее перспективные технологии преобразования основных видов возобновляемой энергии (солнечной, ветра, биомасс, приливов и волн) (табл. 1) [2-4].

В результате определено, что основные исследования в области развития ВИЭ направлены на снижение себестоимости преобразователей за счет повышения их КПД, снижения потребления материалов, повышения энергоемкости, использования органических материалов взамен дефицитного сырья.

## Перспективные технологии преобразования возобновляемой энергии

Вид возобновляемой энергии	Недостатки вида ВИЭ и технологии его преобразования	Перспективные технологии преобразования
Солнечная	<p>Непостоянность и непредсказуемость основного источника энергии; зависимость от погодных и климатических условий; необходимость в накопителях энергии или дополнительных источниках энергии; высокая стоимость фотоэлектрических систем (ФЭС) с учетом необходимости в накопителях и обратных преобразователях переменного тока; сравнительно низкий КПД; низкая энергоемкость, вследствие чего под ФЭС требуются большие территории.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• усовершенствованные неорганические тонкопленочные фотоэлектрические модули (ФЭМ) – сферические ФЭМ на основе селенида меди-индия (CIS) и тонкопленочные поликристаллические кремниевые ФЭМ;</li> <li>• органические ФЭМ (в том числе фотосенсибилизированные красителем ФЭМ на основе органических полимеров);</li> <li>• термо-фотоэлектрические (TPV) ячейки с узкой запрещенной зоной (low gap-band).</li> </ul>
Ветровая	<p>Непостоянность ветра, как источника энергии; нарушение эстетического пейзажа; сложности с подключением к существующим сетям (ввиду удаленности наиболее благоприятных территорий); стоимость ветряной турбины.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• увеличение генерирующего потенциала (увеличение размеров турбин, высоты турбинных башен, использование оффшорных ветров и ветров на больших высотах);</li> <li>• улучшение материалов (снижение зависимости башенных конструкций от стальных элементов, снижение веса пропеллеров (использование углеродных волокон и высокоинтенсивного углепластика));</li> <li>• улучшение системы привода (редуктор, генератор, электроника) (развитие технологии сверхпроводников для более легких и эффективных электрогенераторов, использование постоянных электромагнитов в электрогенераторах);</li> <li>• использование новых видов ветряных турбин: летающих и турбин с вертикальной осью;</li> <li>• генерация на ветрах низких скоростей.</li> </ul>

Вид возобновляемой энергии	Недостатки вида ВИЭ и технологии его преобразования	Перспективные технологии преобразования
Биоэнергия	Необходимость земельных и водных ресурсов для выращивания (конкурирует с производством пищевых продуктов); вредные выбросы при сжигании ( $\text{NO}_2$ , сажа, зола, $\text{CO}$ , $\text{CO}_2$ ); сезонный характер роста некоторых культур; проблемы масштабирования генерирующих мощностей.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• совместное сжигание смесей биомассы с традиционными видами топлива;</li> <li>• использование новых видов топлива из биомасс, включая различные бытовые и промышленные отходы;</li> <li>• переоборудование существующих генерирующих мощностей на углеводородном топливе под использование биомасс;</li> <li>• повышение теплоотдачи пеллет биомассы за счет сушки;</li> <li>• интегрированная газификация биомасс с топливными ячейками.</li> </ul>
Приливная и волновая энергии	Высокие капитальные затраты на строительство; географическая привязка к береговой линии и удаленность от существующих электрических сетей; негативное влияние на окружающую среду; зависимость от природных явлений; дороговизна и сложность техобслуживания; быстрый износ генерирующего оборудования под воздействием воды.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• использование мостов в качестве приливных электростанций;</li> <li>• колеблющееся подводное крыло (применяется вместо вращающихся элементов плавники (крылья), которые приводятся в движение течением);</li> <li>• системы с использованием трубки Вентури;</li> <li>• магнитогидродинамические системы (МНД) (используют криогенно охлажденную сверхпроводящую электромагнитную катушку, размещенную на морском дне, где проходящие приливные волны);</li> <li>• использование волновых аттенюаторов – преобразователей волновой энергии в виде змеевидных устройств, наполовину погруженных в воду;</li> <li>• волновые генераторы на принципе обратного маятника, генераторы с жидким / газообразным рабочим телом.</li> </ul>

Рассмотрим основные технологии преобразования энергии, получаемой от ВИЭ. Широкое применение в разных странах находят фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), в развитии которых выделяют три поколения, представленных в таблице 2.

Таблица 2

## Поколения фотоэлектрических преобразователей

	I-е поколение		II-е поколение (тонкопленочные)		III-е поколение				
	Моно- и поликристаллический кремний	Аморфный кремний	Теллурид кадмия	Селенид меди (индия) галлия (CIGS)	Микро и нанокремний	Фотосенсибилизированные красителем (DSSC-ячейки Гретцеля)	Органические	Концентрирующие ФЭМ A <sup>III</sup> B <sup>V</sup> мульти-соединения	Термо-ФЭМ с запрещенной зоной
Текущий КПД ФЭМ	11-19%	4-8%	10-11%	7-12%	7-9%	2-4%	4-6%	≈ 25%	
Площадь, на 1 кВт	7-8 м <sup>2</sup>	15 м <sup>2</sup>	10 м <sup>2</sup>	10 м <sup>2</sup>	12 м <sup>2</sup>				
Потенциальный КПД	22%	10%	16%	20%	13%	8-12% (до 24%)	8-10%	Выше 40%	30%

Кристаллические фотоэлектрические преобразователи (ФЭП) первого поколения, обладая максимальным показателем КПД, характеризуются высокой себестоимостью, хрупкостью, долгой капиталоемкой и энергоемкой производственной цепочкой. Тонкопленочные ФЭП, несмотря на увеличение доли рынка, не смогли обогнать кристаллические модули по показателю цена/качества. В ближайшей перспективе наиболее эффективная на сегодняшний момент тонкопленочная технология – CdTe – рискует столкнуться с экологическим барьером в форме директивы ЕС RoHS и попасть под запрет на крупнейшем европейском рынке.

Указанные факторы привели к необходимости разработки новых видов ФЭП («третьего поколения»), предусматривающих использование материалов, которые дружелюбны природе (подвергаются рециклингу по окончании срока службы), отличаются низкой себестоимостью (полимеры, титановые белила и проч.) и наносятся печатными или другими методами с низкой себестоимостью. Органические ФЭП (OPV) наравне с фотосенсибилизированным красителем ФЭП (DSC) в настоящее время рассматриваются как наиболее близкие к коммерциализации и перспективные технологии третьего поколения.

Анализ изменения КПД различных типов ФЭП с момента их появления, а также экстраполяция полученных зависимостей до 2050 года приведены на рисунке 1.

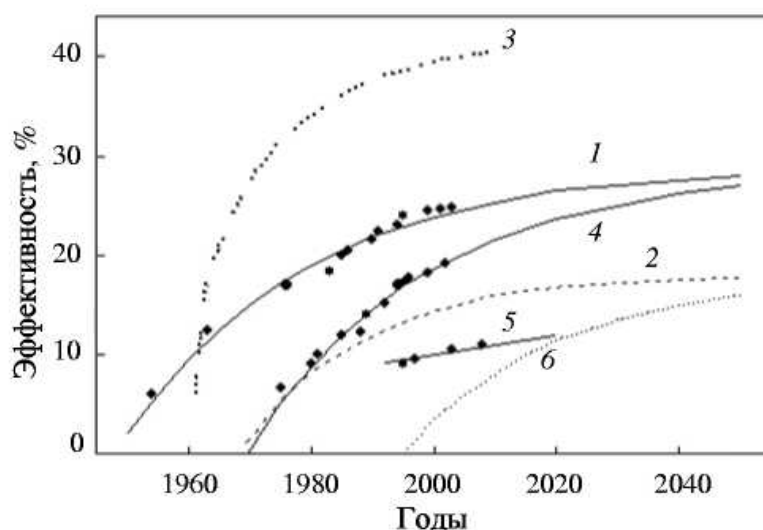


Рис. 1. Изменение эффективности (КПД) различных типов полупроводниковых преобразователей солнечной энергии:  
 1 – кристаллический Si; 2 – аморфный Si; 3 – A<sup>III</sup>B<sup>V</sup> ФЭП (включая тандемные);  
 4 – ФЭП CIS (CdInSe); 5 – ячейки Гретцеля; 6 – органические СФЭ

Графики построены на основании опубликованных материалов и доклада Д. Кахена. Из рисунка 1 видно, что наибольшие значения КПД солнечных фотоэлементов были достигнуты для систем на основе материалов A<sup>III</sup>B<sup>V</sup>, в то время как для остальных полупроводников КПД в настоящее время не превышает 20-25%.

Сходные результаты были опубликованы в официальном бюллетене EPRI (Electric Power Research Institute), на основе данных Департамента энергетики США [2].

Ветроэнергетика является одним из наиболее популярных и быстро развивающихся направлений альтернативной энергетики. Тем не менее, ее распространение так же ограничивается непостоянностью ветра, как источника энергии, нарушением эстетического пейзажа ввиду установки огромных 100-метровых ветровых мельниц и сложностями с подключением к существующим сетям ввиду отдаленности наиболее

---

благоприятных территорий для установки ветрогенераторов от существующей инфраструктуры [3].

Ветроэнергетические установки (ВЭУ) обеспечивают преобразование энергии ветрового потока в механическую энергию вращающегося ветроколеса, а затем в электрическую энергию. Известны две основные конструкции ветроагрегатов: горизонтально-осевые и вертикально-осевые ветродвигатели. Оба типа ВЭУ имеют примерно равный КПД, однако наибольшее распространение получили ветроагрегаты первого типа. Мощность ВЭУ может быть от сотен ватт до нескольких мегаватт [3].

Технологии сетевой ветроэнергетики развиваются в направлении увеличения единичной мощности ВЭУ, сооружения крупных ветропарков с единой инфраструктурой, а также все более активным освоением шельфовых зон и выносом ветропарков в море. Все эти направления могут объясняться стремлением снизить удельные капитальные вложения в ВЭУ и ВЭС и снизить себестоимость производства электроэнергии. За 25 лет единичная мощность серийных ВЭУ возросла с 30 до 7000 кВт (в 200 раз), диаметр ветроколеса увеличился с 15 до 126 метров (более чем в 8 раз), годовое производство электроэнергии одним агрегатом увеличилось в 600 раз. Значительные изменения с течением времени претерпели компоновочные решения по размещению оборудования в гондоле. В отличие от редукторных все большее распространение получают безредукторные схемы соединения ветроколеса и генератора, а также схемы выдачи мощности с частотным регулированием, что позволяет более эффективно управлять ВЭУ. Кроме того, имеются примеры ВЭУ с редуктором и ротором на постоянных магнитах (WWD-3 MW).

Удельные капитальные вложения в ВЭУ снизились примерно в 2 раза и составляют сейчас около 1000-1300 евро/кВт для наземных ветропарков и около 2000 евро/кВт для морских ВЭС, а себестоимость энергии снизилась в 3-4 раза и составляет около 5 евроцентов за кВт/ч для наземных ВЭС и около 7 евроцентов для морских.

Широкое распространение в ряде стран получило производство и использование биотоплив, производимых из возобновляемых видов сырья. Преимуществами биотоплив являются:

- использование возобновляемых видов сырья;
- возможность получить экологически более чистое топливо (снижение вредных выбросов почти в 2 раза по сравнению с традиционным нефтяным топливом);
- уменьшение зависимости от импорта дорожающей нефти.

Биотопливо отличается хорошими эксплуатационными характеристиками; его использование в смеси с традиционным топливом практически не требует изменений в инфраструктуре топливопотребления.

Во многих странах мира развернуты исследования и разработки в области технологий получения биотоплива второго поколения, а именно, из биомассы (целлюлоза, отходы лесной и деревообрабатывающей промышленности, сельскохозяйственные отходы, водоросли, лигнин и т.п.) [4].

Среди технологий второго поколения называют пирогазетическую переработку древесины; анаэробные процессы; весьма перспективный процесс BTL (biomasse to liquide), состоящий из стадий спекания биомассы посредством низкокислородного пиролиза, газификации полученных методом спекания гранул, каталитического синтеза по Фишеру-Тропшу, а также получение биоэтанола из биомассы древесины путем ферментации или гидролиза с последующим дегидрированием биоэтанола в биобутанол и др. [4].

Весьма перспективным энергоносителем являются морские волны, которые способны развивать наибольшую для возобновляемых источников удельную мощность.

---

Так средняя величина потока энергии набегающей волны, зависящей от амплитуды и частоты волн, при периоде 7-10 с и сравнительно небольшой высоте 2 м в расчете на 1 м фронта волны составляет 40-50 кВт. В отдельных акваториях на средних широтах обоих полушарий Земли волновая активность характеризуется величинами удельных потоков 70-100 кВт/м.

Основные трудности, с которыми приходится иметь дело разработчикам волновых энергоустановок, исходят из необходимости создания преобразователей волновой энергии, пригодных для эффективной работы в условиях непостоянства амплитуд, фаз и направлений распространения волн, а также некоторого характерного спектра частот возбуждающих сил. При этом устройства должны обладать совершенными конструктивными и эксплуатационными характеристиками, быть надежными и экономически приемлемыми. Несмотря на то, что пока волновые энергоустановки не достигли технического уровня, при котором возможно их массовое практическое применение, целесообразно продолжать исследования и разработки в этом направлении [3].

Стоимость энергии, получаемой от ВИЭ, в течение последних лет стремительно снижается, и в условиях противоположной тенденции роста цен на традиционные энергоресурсы многие технологии использования ВИЭ становятся все более конкурентоспособными. Это относится к быстро прогрессирующим технологиям использования биомассы для производства тепла и электроэнергии, солнечным водонагревателям, фотопреобразователям, мини- и микро-ГЭС, ветроустановкам, теплонасосным системам теплоснабжения. Наивысшую конкурентоспособность они проявляют в децентрализованных системах тепло- и электроснабжения. Вместе с тем, во многих случаях ВИЭ пока еще уступают технологиям, основанным на использовании традиционных видов топлива, прежде всего, из-за сравнительно высоких начальных капитальных затрат.

#### Примечания:

1. Симанков В.С., Бучацкий П.Ю. Оценка эффективности вовлечения нетрадиционных возобновляемых источников энергии в энергобаланс региона // Вестник Адыгейского государственного университета. Сер. Естественно-математические и технические науки. 2012. № 2 (101). С. 123-132. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>
2. Паращук Д.Ю., Кокорин А.И. Современные фотоэлектрические и фотохимические методы преобразования солнечной энергии // Российский химический журнал 2008. Т. LII, № 6. С. 107-116.
3. Попель О.С. Возобновляемые источники энергии: роль и место в современной и перспективной энергетике // Российский химический журнал 2008. Т. LII, № 6. С. 95-106.
4. Брагинский О.Б. Альтернативные моторные топлива: мировые тенденции и выбор для России // Российский химический журнал 2008. Т. LII, № 6. С. 137-146.

#### References:

1. Simankov V.S., Buchatskiy P.Yu. Efficiency assessment of involvement of nonconventional renewable energy sources in energy balance of the region // The Bulletin of the Adyghe State University. Series Natural-Mathematical and Technical Sciences. 2012. Iss. 2 (101). P. 123-132. URL: <http://vestnik.adygnet.ru>
2. Parashchuk D.Yu., Kokorin A.I. Modern photoelectric and photochemical methods of transformation of solar energy // Russian chemical journal. 2008. Vol. LII, No. 6. P. 107-116.
3. Popel O.S. Renewable energy sources: role and place in modern and perspective energetics // Russian chemical journal. 2008. Vol. LII, No. 6. P. 95-106.
4. Braginskiy O.B. Alternative motor fuels: world tendencies and choice for Russia // Russian chemical journal. 2008. Vol. LII, No. 6. P. 137-146.