

Раздел восьмой

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

8.3. Солнечные электростанции и системы теплоснабжения

8.3.5. Аналитические материалы

8.3.5.1. Обзор развития солнечных электростанций и систем теплоснабжения по состоянию на 2014 г.

М.П. Роганков, Э.Э. Микушевич, В.М. Микушевич, ООО «Экополис», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Во всем мире наблюдается бум развития солнечных источников электрической и тепловой энергии. Согласно [1] мощности ВИЭ (без всех ГЭС) в 2013 г. составили в мире 560 ГВт, из них фотоэлектрических преобразователей – 139 ГВт_т (или 25%), а также солнечных концентраторов – 2,5 ГВт. В 2013 г. прирост фотоэлектрических мощностей составил 38 ГВт_т (или +37,6%) В КНР ежегодно вводится 7...9 ГВт_т фотопреобразователей, а в 2013 г. этот показатель достиг 11,3 ГВт_т. По объему ввода новых солнечных электростанций (СЭС) второе место занимает Япония, достигшая показателя 6,9 ГВт_т. Там в основном применяют солнечные панели, которые монтируются на крышах домов, однако все больше появляется больших фотоэлектрических комплексов. Мировой лидер по количеству действующих фотоэлектрических станций – Германия, где достигнута мощность 36 ГВт_т.

Мощность солнечных панелей для нагрева воды достигла в мире 326 ГВт_т (в 2012 г. – 282 ГВт_т, т.е. рост составил 16%).

Эксперты Международного энергетического агентства (МЭА) предсказывают, что через 40 лет с совершенствованием технологий солнечные источники смогут вырабатывать около 9 тыс. ТВт•ч или 20...25% всей электроэнергии [3].

В настоящее время в РФ объемы производства электричества и тепла с использованием солнечной энергии крайне незначительны в силу ряда причин, среди которых и возможность использования этой энергии преимущественно в южных регионах, и общие проблемы распространения ВИЭ в РФ (см. обзорную статью по ВИЭ), и высокие сроки окупаемости систем с солнечными преобразователями. Однако уже ближайшие планы развития внушают некоторый оптимизм: в РФ резко расширяется производство солнечных панелей, к реализации принято несколько крупных проектов. Например, на Алтае в 2014 г. запущена СЭС мощностью 4,5 МВт, первая из 5 запланированных, в Астраханской области до конца 2015 г. намечено соорудить 6 СЭС общей мощностью свыше 90 МВт, [4].

В настоящей статье не рассматриваются вопросы сырьевой и ресурсной базы для производства солнечных панелей и технологии их производства, поскольку это направление является самостоятельной подотраслью.

В статье использованы материалы из первой редакции 2011 г. раздела 8 по возобновляемым источникам энергии ОИС НДТ в энергетике России (<http://osi.ecopower.ru>), подготовленные ОАО ЭНИН [2], и более поздние материалы.

1. ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И ИХ МОДУЛИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Краткое описание

Фотоэлектрические преобразователи обеспечивают прямое преобразование солнечной энергии в электрическую, используя фотоэлектрический эффект.

Наибольшее распространение в мировой практике получили фотоэлектрические установки (ФЭУ), работающие в системе автономного и локального электроснабжения, а среди них преобладают т.н. «солнечные крыши». Это в основном наборы плоских фотоэлектрических модулей (ФЭМ), размещаемых на крышах зданий и жилых домов. Имеется много конструктивных решений т.н. встроенных установок (“building integrated pho-

tovoltaic”). Сеть таких установок способна обеспечивать потребности поселка или района. При избытке мощности электроэнергия передается в сеть, при недостатке – поступает из нее. Схема такой установки следующая: постоянный ток от фотоэлектрической установки поступает в инвертор, а из него переменный ток – в сеть и параллельно к потребителю. Такая технология признана наиболее рациональной, использующей всю вырабатываемую электроэнергию без ее аккумуляции, она нивелирует естественный недостаток несовпадения во времени производства электроэнергии ФЭУ и ее потребления. При автономном производстве и потреблении электроэнергии в схеме между ФЭУ и инвертором необходимо встроить аккумулятор; при этом необходимо также иметь дублирующий источник электроэнергии.

Для солнечных фотоэлектрических электростанций применяют два типа ФЭМ: плоские модули, использующие радиацию естественной плотности, как правило, неподвижные и ФЭМ с концентрацией радиации с системой слежения за положением солнца. Простейшие концентраторы обладают, как правило, небольшой степенью концентрации, что позволяет частично или полностью исключить необходимость слежения за положением солнца, и имеют воздушную систему охлаждения солнечных элементов.

В настоящее время встроенные в здания ФЭУ (“building integrated photovoltaic”), отдельно стоящие ФЭУ и солнечные фотоэлектрические электростанции конструктивно и планировочно доведены до типовых решений, и основная задача проектировщиков состоит в выборе типов солнечных элементов и модулей, анализе их эффективности, долговечности, стоимости и окупаемости. О них далее и пойдет речь.

Типы и мощности энергетического оборудования, на котором рекомендуется или возможно применение рассматриваемой технологии

Принято различать три поколения ФЭП:

кристаллические (первое поколение):

- монокристаллические кремниевые;
- поликристаллические (мультикристаллические) кремниевые;
- технологии выращивания тонкостенных заготовок: EFG (Edge defined film-fed crystal growth technique), S-web (Siemens), тонкослойный поликремний (Apex).

тонкопленочные (второе поколение):

- кремниевые: аморфные, микрокристаллические, нанокристаллические, CSG (crystalline silicon on glass);
- на основе теллурида кадмия (CdTe);
- на основе селенида меди-индия-(галлия) (CI(G)S);

ФЭП третьего поколения:

- фотосенсибилизированные красителем (dye-sensitized solar cell, DSC);
- органические (полимерные) ФЭП (OPV);
- неорганические ФЭП (CTZSS);
- ФЭП на основе каскадных структур.

КПД промышленных солнечных элементов составляет 12...17 %, в некоторых случаях достигая 20 %, и это еще не предел на ближайшую перспективу, о чем свидетельствуют многочисленные НИОКР во многих странах мира и результаты испытаний опытных образцов.

Более 90 % объема производства солнечных элементов составляют плоскостельные модули из кристаллического кремния.

По данным Solarbuzz [5] наибольший рост доли рынка в 2014 г. прогнозируется в сегменте использования передовых технологий поликремния, он вырастет с 23,8 в 2013 г. до 27,2 % в 2014 г. В то же время доля высокоэффективных модулей с кристаллами кремния моно типа снизится с 29,6 в 2013 г. до 29,3 % в 2014 г., но объем производства в 2014 г. вырастет на 2,8 ГВт благодаря росту отрасли в целом. Тонкопленочное производство продолжит терять долю рынка с 9,4 в 2013 г. до 8,9 % в 2014 г. Инвестиции в новое тонкопленочное производственное оборудование в 2013 г. снизились до восьмилетнего минимума, но прогнозируется их значительное увеличение в 2015 г. Тонкопленочные элементы хотя и обладают некоторыми преимуществами перед монокристаллическими за счет сниженного потребления материалов на изготовление (в первую очередь, кремния), гибкости, малого веса и пониженного температурного коэффициента снижения мощности при повышении температуры, но имеют низкий КПД и заметное ухудшение параметров во времени.

Дорогостоящие пока еще панели 3-го и 4-го поколений, несмотря на очень высокие заявленные КПД (находят применение в специфических областях, например, космосе), пока еще не могут конкурировать с указанными выше на рынке бытового и промышленного применения ФЭМ.

Для примера здесь приведены некоторые технические характеристики «ходовых» панелей, производимых двумя компаниями из числа ведущих зарубежных и российских. Компания Yingli (КНР) [6] произвела около 40 млн панелей, установленных в 40 странах мира. Компания предлагает широкий спектр моно- и поликристаллических элементов с базовыми габаритами 1310×990×40 мм и пиковой мощностью 190...225 Вт. В РФ ООО «Солнечный ветер» предлагает следующий типоразмерный ряд панелей с КПД до 17 %, соответствующих всем мировым стандартам [7]:

Марка	Мощность, Вт	Габариты, мм	Кристалл	Напряжение, В
MSW-250	250...260	1650×990×38	моно	30
MSW-240-3D	230...240	1650×990×38	мульти	30
MSW-200	190...200	1575×807×46	моно/мульти	36
MSW-150	140...150	1480×682×46	то же	18
MSW-100	95...100	1185×550×46	то же	18
MSW-75	65...75	776×682×46	то же	18
MSW-50	40...50	546×682×46	то же	18

Производители оборудования

Производителей ФЭМ за рубежом огромное количество. Из них крупнейшие (по состоянию на 2012 г.):

- Yingli (КНР) — 2300 МВт;
- First Solar (США) — 1800 МВт;
- Trina Solar (КНР) — 1600 МВт;
- Canadian Solar (Канада) — 1550 МВт;
- Suntech (Швеция) — 1500 МВт;
- Sharp (Япония) — 1050 МВт;
- Jinko Solar (КНР) — 900 МВт;

- SunPower (США) — 850 МВт;
- REC Group (Норвегия) — 750 МВт;
- Hanwha SolarOne (КНР) — 750 МВт.

Два крупнейших поставщика «First Solar» и «Solar Frontier» в 2014 г. произведут почти 85 % всех тонкопленочных модулей.

В РФ среди основных производителей ФЭМ:

- ООО «Солнечный ветер» (<http://www.solwind.ru>);
- Рязанский завод металлокерамических приборов (<http://www.rmcp.ru>);
- ОАО «НПП Квант» (<http://www.npp-kvant.ru>);
- ВИЭСХ (<http://www.viesh.ru>);
- ЗАО Телеком-СТВ (<http://www.telstv.ru>);
- Компания "Хевел", основанная в 2009 году ГК «Ренова»;
- ОАО «Роснано», как первый в России производитель тонкопленочных ФЭМ.

Диапазон применимости

Согласно данным [1] в регионах с наилучшей солнечной обеспеченностью на 1 м² площади ФЭМ оптимально ориентированная к солнцу ФЭУ с КПД 15 % способна выработать 230...250 кВт·ч электроэнергии. Там же в [1] можно найти карту РФ с указанием солнечной обеспеченности регионов. Указанные условия можно считать оптимальными для применения ФЭМ в России. Хотя применение ФЭМ и в иных условиях, конечно же, тоже не исключается.

Ограничения на применение технологий:

- низкая солнечная обеспеченность в месте установки ФЭУ;
- для автономных ФЭУ – необходимость дублирующего источника электроэнергии.

Достоинства и недостатки

Достоинства:

- общие достоинства, характерные для всех ВИЭ (предотвращение выбросов загрязняющих веществ, парниковых газов, диверсификация источников энергии в энергосистеме, экономия органического топлива, имиджевые аспекты и т.п.);
- простота эксплуатации и низкие эксплуатационные издержки (порядка 0,005 евро/кВт·ч).

Недостатки:

1. Очень высокие удельные капиталовложения на кВт установленной мощности и стоимость производимой электроэнергии несмотря на их существенное ежегодное снижение. Так, за 2011 г. стоимость электроэнергии уменьшилась на 50 %, а с 2008 г. падение цены составило 75 %. В 2011 г. стоимость 1 кВт·ч электроэнергии впервые упала ниже 1 долл. США. В 2013 г. цена 1 кВт·ч в солнечных регионах (Северная Африка или Южная Калифорния) составляла менее 10 евроцентов. Однако в РФ эти показатели существенно хуже. Согласно [1] конкурентоспособность ФЭУ с традиционными источниками может быть достигнута при снижении удельных капиталовложений с нынешних 4000...5000 евро/кВт_{пик} до 1500...2000 евро/кВт_{пик}, повышении КПД ФЭМ до 20...24 % и продлении ресурса ФЭМ до 40...50 лет.
2. Необходимость применения специальных методов утилизации отработавших элементов, содержащих теллурид кадмия (CdTe).

Объекты внедрения в РФ:

- на Алтае в 2014 г. запущена СЭС мощностью 4,5 МВт, первая из 5 запроектированных;

- в Астраханской области до конца 2015 г. намечено соорудить 6 СЭС общей мощностью свыше 90 МВт, [4];
- многочисленные маломасштабные ФЭУ непромышленного назначения.

Сведения о наличии/отсутствии авторских прав на применяемую технологию, разработчиках и/или правообладателях технологии

В процессе создания и совершенствования фотоэлектрических элементов получено большое количество патентов.

2. СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ (ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ)

В восьмидесятые годы XX века в США, Франции, Японии и СССР (где имелась ликвидированная ныне СЭС-5 в Крыму) были построены экспериментальные солнечные паротурбинные электростанции башенного типа мощностью от 1 до 10 МВт. Концентрирующая солнечную энергию система состоит из поля плоских зеркал-гелиостатов, фокусирующих излучение на паровом котле. В силу разных причин в России эта технология не получила распространения, а за рубежом – весьма ограниченное (суммарная мощность составила 2,5 ГВт в 2013 г.). Однако НИР по этому направлению продолжаются. Так, например, в ОАО ЭНИН разработана с применением фотобатарей комбинированная установка производства электроэнергии и тепла, сочетающая прямое преобразование солнечного излучения в электроэнергию и утилизацию тепла жидкости, охлаждающей гелиостаты в традиционном паротурбинном цикле. Предполагается, что КПД такой установки может составить 26...27 %.

Системы горячего водоснабжения

Системы горячего водоснабжения с использованием солнечной энергии ввиду технической простоты получили широкое распространение еще в XX веке. Мощность солнечных панелей для нагрева воды достигла в мире в 2013 г. 326 ГВт_т (в 2012 г. – 282 ГВт_т, т.е. рост составил 16 %). В РФ солнечные коллекторы вырабатывают более 40 тыс. Гкал тепла, что пока еще ничтожно мало в общем балансе систем теплоснабжения РФ.

Краткое описание

Системы солнечного теплоснабжения могут быть классифицированы по различным критериям: по назначению:

- системы горячего водоснабжения (ГВС);
- системы отопления;
- комбинированные системы;

по виду используемого теплоносителя:

- жидкостные;
- воздушные;

по продолжительности работы:

- круглогодичные;
- сезонные;

по техническому решению схемы:

- одноконтурные;
- двухконтурные;
- многоконтурные.

Центральным элементом систем солнечного водоснабжения является плоский солнечный коллектор. В коллектор встроена поглощающая солнечное излучение зачерненная металлическая (как правило) панель с каналами для теплоносителя. Панель помещена в теплоизолированный короб, закрытый сверху защитным стеклом. Коллекторы включены, как правило, в двухконтурные

схемы с естественной или принудительной (насосной) циркуляцией. В первом контуре циркулирует жидкость (часто антифриз), проходящая через панели, во втором – вода, нагреваемая в баке аккумулятора-теплообменнике. Но все еще существуют и сезонные одноконтурные системы.

Возможные режимы работы установок:

- участие в покрытии нагрузки отопления и ГВС (режим теплоснабжения);
- участие в покрытии нагрузки только ГВС в течение всего года (режим круглогодичного горячего водоснабжения);
- участие в покрытии нагрузки только ГВС и только в неотапительный период (режим сезонного горячего водоснабжения).

Реализации первых двух режимов возможна только при использовании установок по двухконтурной схеме.

Типы и мощности энергетического оборудования, на котором рекомендуется или возможно применение рассматриваемой технологии

Отопительная нагрузка определяется для каждого конкретного объекта, так как зависит от объема здания, его конфигурации, термического сопротивления стен и перекрытий и других факторов. Климатические данные – это средние за месяц значения суммарной и рассеянной радиации на горизонтальную поверхность и среднемесячная температура воздуха. Естественно, что определяющими являются и характеристики коллекторов, используемых в данной установке.

Для примера приводим технические данные солнечных коллекторов типа «Сокол» (достаточно характерных), выпускаемых ОАО «ВПК НПО Машиностроение»:

- габариты: 2021x1014x98 мм;
- площадь: 2,05 м²;
- апертура 1,9 м²;
- масса: 49 кг;
- объем каналов: 1,5 л;
- рабочее давление теплоносителя: 0,7 МПа;
- коэффициент поглощения покрытия: 0,92...0,95;
- степень черноты: 0,05...0,10;
- прозрачная изоляция: закаленное стекло, стойкое к любым внешним воздействиям толщиной 4 мм.

Ориентировочные диапазоны производительности и применяемые для их реализации варианты систем:

Производительность по горячей воде, л/день	Тип системы	Описание системы
< 150	«моно-блок»	Простейшая система, в которой солнечный коллектор (СК), бак-аккумулятор (БА) и трубопроводы объединены в единую установку полной заводской готовности и, как правило, неразъемны. Применяется для сезонного ГВС в бытовых целях и на объектах, действующих только в летнее время.
150...300	малая безнасосная («термосифонная»)	Система, в которой движение теплоносителя в коллекторном контуре осуществляется за счет разности плотности теплоносителя, нагреваемого в СК, и охлаждающего его в БА. В таких системах БА всегда расположен выше СК и расстояние между ними мало. Наиболее часто применяется для сезонного ГВС.

Производительность по горячей воде, л/день	Тип системы	Описание системы
300...500 (750)	малая насосная	Система с принудительной циркуляцией теплоносителя, в коллекторном контуре которой имеется насос и система автоматического управления им. Расположение БА относительно СК – произвольное. Может применяться как для сезонной (ГВС), так и круглогодичной эксплуатации (ГВС + отопление).
> 1000	большая многоконтурная («промышленная»)	Системы с принудительной циркуляцией теплоносителя. Применяются для теплоснабжения объектов с большой тепловой нагрузкой в режиме сезонной или круглогодичной эксплуатации.

Стоимость солнечных коллекторов отечественного производства составляет около 4000 руб./м², а удельные капвложения в расчете на 1 м² коллектора – около 6000 руб. Стоимость тепла в южных регионах России – около 900 руб./Гкал. Согласно [1] при капитальных и эксплуатационных затратах 500 евро на 1 кВт_{пик} установленной мощности и 0,005 евро/кВт•ч соответственно, сроке службы системы 20 лет, КПД 70...75 % себестоимость выработанной энергии составит в среднем за весь период эксплуатации на уровне 2,1...2,3 евро/м³ горячей воды.

Производители оборудования

Среди производителей солнечных панелей как отечественные компании (ведущим является ОАО «ВПК НПО Машиностроение» – <http://www.promash.ru>), так и из ближнего и дальнего зарубежья (украинская ООО ПКК «Синтек» – www.sintsolar.com.ua, немецкая Vaillant – www.vaillant.ru, китайские компании).

Диапазон применимости:

- в регионах с достаточной солнечной обеспеченностью; согласно [1] гарантированная экономическая эффективность может быть обеспечена на широте городов Орла, Тамбова и южнее;
- при наличии на проектом объекте традиционной системы теплоснабжения (если установка не сезонного типа).

Ограничения на применение технологии:

- недостаточная солнечная обеспеченность;
- отсутствие дублирующей традиционной системы теплоснабжения (если установка не сезонного типа).

Достоинства и недостатки

Достоинства:

- общие достоинства, характерные для всех ВИЭ (предотвращение выбросов загрязняющих веществ, парниковых газов, экономия органического топлива, имиджевые аспекты и т.п.);
- серийно выпускаемое оборудование компаниями РФ, типовые схемы, доступные цены на коллекторы;

- системы автоматизированы;
- простота эксплуатации и низкие эксплуатационные расходы.

Недостатки.

Суточная зависимость от интенсивности солнечного излучения и сезонная зависимость (минимальная производительность системы при максимальной потребности в тепле в зимнее время).

Объекты внедрения в РФ

Достаточно многочисленны в южных областях Российской Федерации. Несколько примеров только по Краснодарскому краю:

- тепловая станция в г. Тихорецке с площадью коллекторов 96 м²;
- база отдыха «Рассвет» в станице Благовещенская (39 м²);
- автотранспортное предприятие ООО «Круг-98» (28,5 м²);
- гостиница в пос. Архипо-Осиповка (26,2 м²);
- пансионат «Магадан» в поселке Лоо (30 м²);
- база отдыха «Маяк» в пос. Веселовка (47 м²);
- база отдыха «Лесная Поляна» в г. Новороссийск (60 м²);
- котельная городской больницы в г. Анапа (413 м²);
- солнечно-топливная котельная в поселке Солоники (268 м²);
- гелиоустановка котельной №35 в станице Анастасиевская (32,1 м²);
- гелиоустановка котельной №32 на хуторе Нещадимовский (32,1 м²).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. **Перспективы развития** возобновляемых источников энергии в России. Программа Европейского Проекта TACIS для Российской Федерации. М., 2009. Изд. «Атмограф»
2. **В.А. Васильев, Б.В. Тарнижевский.** Раздел 8 «ВИЭ» ОИС НДТ в энергетике России, 2011 (<http://osi.ecopower.ru>, версия 2011)
3. www.iea.org
4. www.cleandex.ru
5. www.solarbuzz.com
6. www.yinglisolar.com
7. <http://www.solwind.ru>
8. **В. Шершнев, Н. Дударев,** ФГУП «НПО машиностроения», журнал Строительная инженерия.
9. **Временные строительные нормы** ВСН 52–86 «Установки солнечного горячего водоснабжения. Нормы проектирования». // Госгражданстрой СССР, 1987.
10. **ГОСТ Р 51594-2000.** Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Термины и определения. (www.gostexpert.ru)
11. **ГОСТ Р 51597-2000** Нетрадиционная энергетика. Модули солнечные фотоэлектрические. Типы и основные параметры. (www.gostexpert.ru)