

УДК 621.311.24

Вопросы эффективности применения гелиосистем малой мощности*

В.В. ХАНАЕВ

664033, РФ, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 130, Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН), кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: venven@list.ru

Системы гелиоэнергетики получают все большее и большее применение. В силу целого ряда экономических и социальных причин они прочно вошли в структуру электроэнергетики большинства промышленно и экономически развитых стран. Не остается в этом вопросе и Россия. При этом предпочтение отдается гелиосистемам малой мощности, способным обеспечивать потребности в электроэнергии «мелкомоторных» потребителей и в частном секторе. Зачастую установка и эксплуатация оборудования осуществляются без предварительной оценки эффективности, что отрицательно сказывается на экономическом эффекте от его использования. Таким образом, объективная оценка эффективности применения гелиоустановок требует разработки определенных методик, одной из которых может стать определение стоимости вырабатываемой с ее помощью электроэнергии и последующее сопоставление полученного результата с аналогичными показателями централизованного электроснабжения или иных альтернативных источников электроэнергии. В статье приводится обзор наиболее распространенных в настоящее время гелиосистем: состав оборудования, требования к его эксплуатации. В основной части работы даются предложения по оценке эффективности использования гелиосистем и предлагается способ определения стоимости вырабатываемой ими электроэнергии. Предлагаемая методика, основывающаяся на соотношении затрат на строительство и последующую эксплуатацию гелиоустановки со сроком ее эксплуатации, тестируется на конкретных примерах – определении эффективности использования гелиоустановок малой мощности в условиях Иркутской области и Бурятии – областей с одним из наибольших значений инсоляции на территории Российской Федерации. В соответствии с полученными результатами делается заключение о том, что в настоящее время массовая эксплуатация систем гелиоэнергетики в условиях России пока еще экономически невыгодна. Дополнительные сложности создает проблема сезонной эксплуатации гелиоустановок. Так, в зимний период, когда потребность в электроэнергии на нужды освещения и обогрева возрастает, из-за сокращения светлого времени суток значительно снижается возможность задержания и накопления солнечной энергии, в летний же период наблюдается ее избыток, который остается невостребованным. Тем не менее с учетом совершенствования технологий производства наиболее дорогих составляющих гелиоустановки – солнечных панелей и аккумуляторов – это оборудование имеет хорошие перспективы для широкого применения и в дальнейшем способно составить значительную конкуренцию промышленной генерации.

* Статья получена 12 февраля 2015 г.

Ключевые слова: солнечная энергетика, гелиосистема, солнечная панель, установленная мощность, издержки, коэффициент полезного действия, стоимость электроэнергии, эффективность, окупаемость

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-2-98-107

ВВЕДЕНИЕ

Производство электроэнергии с помощью гелиосистем [1] постепенно переходит из области высоких «космических» технологий в разряд общедоступных. При этом интерес к солнечной энергетике проявляют не только страны с дефицитом генерирующих мощностей, например Китай, но и государства с исторически сложившейся и хорошо развитой «традиционной» электроэнергетикой. Процесс формирования гелиоэнергетики обусловлен различными экономическими, экологическими и социальными причинами, но уже сейчас дает заметные результаты. В частности, Германия в 2012 г. поставила мировой рекорд по получению электроэнергии от солнечных батарей. В солнечные полуденные часы 25 и 26 мая 2012 г. немецкая энергосистема получила 22 ГВт · ч «солнечной» электроэнергии [2]. Это составило примерно треть полуденного потребления страны в рабочий день и почти половину потребления в выходной день. Таким образом, Германия доказала, что возобновляемые источники энергии могут покрывать существенную часть потребностей даже такой крупной индустриальной страны. После аварии на АЭС «Фукусима-1» в Японии были остановлены для профилактического осмотра все 54 ядерных реактора, дававшие 30 % необходимой стране электроэнергии. Если в краткосрочном периоде без запуска хотя бы части АЭС Японии не обойтись, в дальней перспективе японцы решительно переориентировались на альтернативные источники. Для поддержки этого направления был принят новый закон о субсидиях для производителей «чистой энергии». В течение двадцати лет Япония будет субсидировать альтернативную энергетику в размерах вдвое больших, чем Германия, что, скорее всего, выведет ее в новые лидеры в этой области [3].

Интерес к гелиоэнергетике наблюдается и в России [4, 5]. Удорожание электроэнергии от централизованной сети и ограничения по подключениям к ней вынуждают потребителей искать альтернативные варианты электроснабжения. В связи с этим в последние годы наблюдается значительный рост количества материалов, посвященных солнечной энергетике. Основная суть этих работ, зачастую имеющих рекламный характер, сводится к тому, что «мелкомоторная» солнечная энергетика – это крайне выгодное с финансовой точки зрения энергоэффективное мероприятие, рекомендуемое к повсеместному применению. Несмотря на значительные финансовые вложения, которые необходимо сделать на этапе проектирования и строительства гелиосистемы, получаемая в дальнейшем с ее помощью электроэнергия практически бесплатна, что определяет быструю окупаемость понесенных затрат. К сожалению, в большинстве случаев такое утверждение не подкрепляется экономическими расчетами. Таким образом, объективная оценка эффективности применения гелиоустановок требует разработки определенных методик, одной из которых может стать определение стоимости вырабатываемой

с ее помощью электроэнергии и последующее сопоставление полученного результата с аналогичными показателями централизованного электроснабжения или иных альтернативных источников электроэнергии.

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕЛИОСИСТЕМ

В упрощенном виде современная солнечная электростанция представляет совокупность следующего оборудования [6, 7] (рис. 1):

- солнечные панели, улавливающие солнечное излучение и преобразующие его в электроэнергию;
- аккумуляторные батареи, обеспечивающие накопление вырабатываемой электроэнергии до «товарных» объемов;
- контроллер – устройство, обеспечивающее согласованную работу солнечных панелей и аккумуляторов;
- инвертор, предназначенный для преобразования получаемого на выходе с аккумуляторных батарей постоянного тока низкого напряжения в переменный ток с необходимым для питания потребителей напряжением.

Более сложные конструкции гелиоустановок включают в себя устройства поворота солнечных панелей для слежения за траекторией движения солнца, системы линз и зеркал для концентрации и направления потока солнечного излучения, а также различные конструктивные элементы, электрощитовое оборудование и резервные генераторы [8, 9]. Нередко гелиоустановка дополняется ветрогенератором, позволяющим увеличить использование альтернативной энергии и частично сгладить провалы выработки, обусловленные темным временем суток или погодными явлениями.



Рис. 1. Состав оборудования гелиосистемы (солнечной электростанции)

Коэффициент полезного действия (КПД) солнечных панелей зависит от материала и сырья, из которого они изготовлены, технологии их изготовления, чистоты поверхности и правильности установки [10].

На сегодняшний день наибольшее распространение получили два вида панелей – из поликристаллического и монокристаллического кремния. Панели из монокристаллического кремния имеют большую эффективность и, как следствие, больший КПД, но значительно дороже поликристаллических батарей.

Помимо типа исходного сырья значительное влияние на КПД панелей оказывает и технология их изготовления. Так, тонкопленочные технологии имеют целый ряд преимуществ, позволяющих повысить эффективность панели, но характеризуются значительными ценовыми показателями. Аморфные же кремниевые технологии позволяют значительно снизить цену изделия, но и его энергетическая эффективность в результате будет существенно ниже.

В плане правильности установки следует отметить такие факторы, как ориентация панелей по сторонам света и по углу наклона по отношению к углу падения солнечных лучей; их постоянное или сезонное затенение соседними конструкциями или деревьями и температурные режимы эксплуатации, значительно влияющие на эффективность улавливания излучения. Как правило, площадь панелей выбирают со значительным запасом, позволяющим компенсировать воздействие этих факторов. Для обеспечения необходимой установленной мощности гелиоустановки при определении типа и площади солнечных панелей руководствуются значением их КПД. Таким образом, КПД солнечных панелей влияет на стоимость гелиоустановки и для современных солнечных панелей варьируется в диапазоне от 12 до 20 %. Перспективные разработки в области гелиоэнергетики позволяют надеяться на увеличение КПД панелей до 30 % [11].

Несмотря на постепенное укрупнение мощности электрических гелиостанций, наиболее распространенными в эксплуатации по-прежнему остаются сравнительно небольшие установки мощностью от двух до пяти кВт, позволяющие отдельно взятому небольшому объекту (малое предприятие, частный дом, ферма) в качестве основного источника электроснабжения закрыть основные потребности в электроэнергии. Такая тенденция может сохраниться еще достаточно долго под влиянием таких факторов, как значительная дороговизна оборудования гелиоустановок, ограничивающая объемы их применения, а также потребность наличия и фактического отчуждения больших земельных участков под размещение солнечных панелей.

По исполнению гелиоустановки малой мощности можно разделить на два типа:

– безынверторные, в основном предназначенные для питания светодиодных ламп электроосвещения, охранных систем и прочих маломощных устройств постоянного тока и низкого напряжения;

– инверторные – более универсальные системы, позволяющие эксплуатировать различные электроприемники переменного тока и стандартного напряжения (электроинструмент, бытовая и вычислительная техника и т. д.).

Специфика гелиоустановки как источника электроснабжения (зависимость от погоды, времени суток, возможностей аккумуляирования получаемой

электроэнергии и т. д.) накладывает на режим электропотребления некоторые ограничения, отсутствующие при использовании внешней электросети. Эти проблемы решаются с помощью перераспределения времени использования электроприборов и отслеживания эффективности использования электроэнергии. В целом же, как показывает практика, потребитель после небольших изменений своих привычек и бытового распорядка не испытывает существенных неудобств от использования получаемой с помощью гелиоустановки электроэнергии по отношению к привычному энергопользованию от централизованной сети электроснабжения.

Как и любой другой источник электроэнергии, гелиоустановка характеризуется такими параметрами, как установленная мощность, срок эксплуатации, затраты (издержки) на строительство и последующую эксплуатацию, а также КПД. Если издержки на строительство и эксплуатацию гелиоустановки соотнести со сроком ее эксплуатации, то применительно к стоимости вырабатываемой электроэнергии зависимость между этими параметрами можно представить в виде выражения:

$$C = \frac{И}{P \cdot 8760 \cdot N \cdot \eta}, \quad (1)$$

где C – стоимость электроэнергии, вырабатываемой с помощью гелиоустановки, руб/кВт · ч; $И$ – издержки на строительство и дальнейшую эксплуатацию гелиоустановки, руб.; P – установленная мощность установки, кВт; 8760 – число часов в году; N – срок эксплуатации установки, лет; η – КПД установки в целом, определяемый продолжительностью циклов ее заряда и разряда, а также величиной сопутствующих им потерь электроэнергии на стадиях аккумуляирования и обратной выдачи в систему электроснабжения, отличный от ранее учтенного КПД солнечных панелей, влияющего на их подбор.

В общем случае $И$ определяют по формуле (2), где, в свою очередь, $И_{\text{пост}}$ – постоянные издержки, отражающие затраты на строительство установки; $И_{\text{перем}}$ – ежегодные переменные издержки или эксплуатационные затраты:

$$И = И_{\text{пост}} + \sum_{t=1}^N И_{\text{перем}} \cdot \quad (2)$$

КПД установки в упрощенном виде может характеризоваться выражением (3), определяющим отношение суточного числа часов использования установленной мощности гелиоустановки $t_{\text{исп}}$ к оставшемуся числу часов в сутках, в свою очередь отражающему общее время заряда установки и ее возможного простоя в разряженном состоянии при отсутствии возможности подзарядки:

$$\eta = \frac{t_{\text{исп}}}{24 - t_{\text{исп}}}. \quad (3)$$

При этом на величину $t_{\text{исп}}$ действует ограничение (4), отражающее зависимость $t_{\text{исп}}$ от среднесуточного числа часов инсоляции τ , определяемого в

зависимости от географического местоположения гелиоустановки и приблизительно равного отношению среднегодового количества часов инсоляции к количеству дней в году:

$$t_{\text{исп}} \leq \tau. \quad (4)$$

С помощью полученных выражений можно определить стоимость вырабатываемой гелиоустановками электроэнергии. В качестве примера рассмотрим условную установку мощностью 3 кВт. Месторасположение установки определим в Иркутской области или Бурятии, которые относятся [6] к зоне наибольшей инсоляции на территории Российской Федерации (рис. 2).

Деление на зоны инсоляции обусловлено географическими и погодными условиями местоположения рассматриваемой территории. Наивысшее значение инсоляции наблюдается на экваторе – порядка 1020 Вт/м^2 , при смещении к полюсам этот показатель значительно снижается [12, 13].

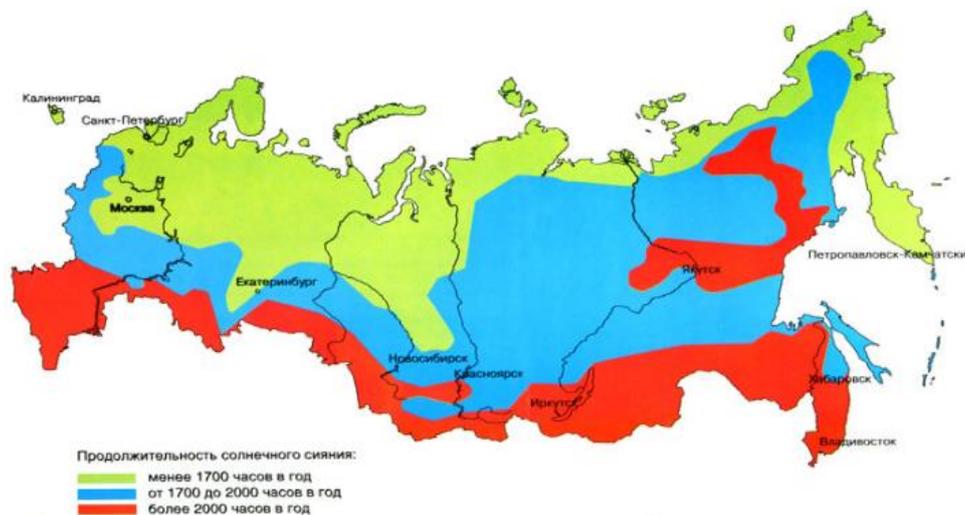


Рис. 2. Карта инсоляции территории Российской Федерации

Исходные условия для расчета стоимости получаемой с помощью гелиоустановки электроэнергии будут следующими:

- $P = 3 \text{ кВт}$;
- $I = I_{\text{пост}} = 1\,300\,000 \text{ руб.}$, т. е. переменными издержками пренебрегаем, считая их незначительными, и рассматриваем только постоянные издержки, представляющие собой стоимость гелиоустановки с монтажом;
- необходимое среднестатистическое суточное число часов использования ($t_{\text{исп}}$) составит 6 часов;
- средний паспортный срок службы гелиоустановки (N) составит 10 лет;
- КПД (η) определим равным 0,33.

Выше обозначено, что изначально технические параметры гелиоустановки подбирались на $t_{\text{исп}}$, равном 6 часам, но при среднегодовой величине инсоляции для рассматриваемого региона – около 2000 часов (см. рис. 2) – в соответствии с ограничением (4) получим, что $t_{\text{исп}} = \tau = 5,48 \text{ часов}$.

В результате вычислений получаем, что для Иркутской области и Бурятии, расположенных в одной территориальной зоне инсоляции, стоимость

электроэнергии, производимой с помощью гелиоустановки мощностью 3 кВт, составит примерно 16,49 руб/ кВт · ч.

В случае замещения гелиоустановкой электропитания от существующей системы централизованного электроснабжения из полученной величины следует вычесть величину действующего тарифа на электроэнергию. Для Иркутской области действующий одноставочный тариф для населения и приравненных к нему мелких потребителей составляет [14] 0,59...0,84 руб., для Бурятии – 2,75...3,93 руб. В результате получаем стоимость солнечной энергии 15,65...15,90 руб. и 12,56...13,74 руб. для Иркутской области и Бурятии соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных результатов невозможно сделать однозначный вывод о том, что представляют собой сегодня в России современные электрогенерирующие гелиосистемы – специфическое оборудование, не получающее из-за своей дороговизны широкого применения, или же перспективный высокопотенциальный источник электроэнергии, способный конкурировать с традиционными генерирующими мощностями. Очевидно, что ответ на этот вопрос требует времени.

С одной стороны, высокая стоимость оборудования и проблемы его эффективного использования значительно перекрывают выгоду от использования условно-бесплатной солнечной энергии. Например, нерешенной остается проблема сезонной эксплуатации гелиоустановок. Так, в зимний период, когда потребность в электроэнергии на нужды освещения и обогрева возрастает, из-за сокращения светлого времени суток значительно снижается возможность задержания и накопления солнечной энергии, в летний же период наблюдается ее избыток, который остается невостребованным.

С другой стороны, гелиосистемы очень хорошо подходят для объектов, не имеющих доступа к централизованному электроснабжению и практически незаменимы в качестве источников резервного электропитания. Применение гелиоэнергетики зачастую является единственным вариантом электроснабжения вновь вводимых неэлектрифицированных объектов. В ряде случаев целесообразно проведение «конкурентных» расчетов, где со стоимостью гелиоустановки и затратами на ее эксплуатацию помимо тарифа на электроэнергию будут сопоставляться затраты на электрификацию объекта (стоимость линии электропередач, трансформаторной подстанции, вводного распределительного устройства и т. д.), а также эксплуатационные затраты по поддержанию этого оборудования в рабочем состоянии.

Совершенствование технологий производства наиболее дорогих составляющих гелиоустановки – солнечных панелей и аккумуляторов – позволяет надеяться на повышение эффективности и одновременное удешевление гелиооборудования. Так, появившиеся более сорока лет назад в свободной продаже панели имели КПД не более 10 %, в то время как их цена измерялась сотнями долларов. Подобная тенденция сохранялась на протяжении двадцати пяти лет, после чего цены на фотоэлементы начали стабильно снижаться в среднем на 4 % в год, а их эффективность повысилась на 10 %. После ввода мощных производств фотоэлементов в Китае стоимость одного ватта мощно-

сти опустилась до 0,5 доллара, а КПД массовых изделий превысил 25 %. И это далеко не предел [15].

Аналогичный прогресс наблюдается и в области производства аккумуляторов. Получившие широкое распространение сернисто-кислотные батареи обладают большой массой, относительно небольшим сроком эксплуатации и потребностью в периодическом обслуживании, а увеличение их производства и необходимость в утилизации усиливает экологическую нагрузку на окружающую среду. Сухие же бескислотные батареи долгое время имели очень высокую цену, что не позволяло им найти массового применения. Сравнительно недавно определился прогресс в области производства отвечающих всем необходимым техническим и ценовым требованиям литий-ионных, никель-металлогидридных и воздушно-цинковых аккумуляторных батарей, позволивший рассчитывать на их широкое применение. Также сегодня существуют перспективные разработки аккумуляторов на основе полипропилена и суперконденсаторов большой емкости (ионисторов).

В целом можно рассчитывать на то, что в недалеком будущем гелиоустановки смогут составить достойную конкуренцию привычным источникам электроэнергии – тепловым, гидро- и атомным электростанциям и будут представлять в электроэнергетике значительную долю генерирующих мощностей. В пользу этого говорит и то, что гелиосистемы малой мощности хорошо вписываются в концепцию распределенной генерации, получившую широкое признание в экономически развитых странах и постепенно заменяющую промышленную генерацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Солнечная энергетика / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Малинин. – М.: Изд-во МЭИ, 2011. – 276 с.
2. *Kirschbaum E.* Germany sets new solar power record, institute says [Electronic resource] // Reuters: website. – URL: <http://uk.reuters.com/article/2012/05/26/us-climate-germany-solar-idUKBRE84P0FI20120526> (accessed: 05.03.2015).
3. *Watanabe C.* Solar boom heads to Japan creating \$9.6 billion market [Electronic resource] // Bloomberg the Company: website. – URL: <http://www.bloomberg.com/news/articles/2012-06-17/solar-boom-heads-to-japan-creating-9-6-billion-market-energy> (accessed: 05.03.2015).
4. *Тарнижевский Б.В.* Перспективы развития отечественной солнечной энергетики [Электронный ресурс] // БКД: Балтийская кремниевая долина: web-сайт международного проекта. – URL: <http://www.bkdproject.ru/index.php/history/article/52-publish/61-perspektiva> (дата обращения: 26.03.2015).
5. *Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю.* Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. – М.: КноРус, 2010. – 240 с.
6. Электростанции на основе солнечных батарей от компании «Свободная Энергия» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.solargoof.ru> (дата обращения: 05.03.2015).
7. *Харченко Н.В.* Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 208 с.
8. *Андерсон Б.* Солнечная энергия: основы строительного проектирования: пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1982. – 375 с.
9. *Байерс Т.* Двадцать конструкций с солнечными элементами: пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 197 с.
10. *Роза А.В. да.* Возобновляемые источники энергии. Физико-технические основы: пер. с англ. – Долгопрудный: Интеллект; М.: МЭИ, 2010. – 704 с.
11. *Алхасов А.Б.* Возобновляемая энергетика. – М.: Физматлит, 2010. – 256 с.
12. Климатические ресурсы солнечной энергии Московского региона / Г.М. Абакумова, Е.В. Горбаренко, Е.И. Незваль, О.А. Шиловцева. – М.: Либроком, 2012. – 314 с.

13. Солнечная энергетика в Крыму: методическое пособие для специалистов и всех интересующихся проблемами использования солнечной энергии / С.В. Казаченко, С.А. Кибовский, А.С. Мазинов, Е.В. Николаев, В.У. Стоянов; А.С. Слепокуров (сост.). – Киев; Симферополь: типография ФЛП Бражников Н.А., 2008. – 201 с.

14. Энергоконсультант: интернет-портал потребителей электроэнергии [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.energo-consultant.ru> (дата обращения: 05.03.2015).

15. Федорищева Е.А. Энергетика: проблемы и перспективы. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 2008. – 152 с.

Ханаев Вениамин Вениаминович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН). Основное направление научных исследований – управление электрической нагрузкой электроэнергетических систем. Имеет более 30 публикаций. E-mail: venven@list.ru

*On the efficacy of low-power solar systems**

V.V. KHANAEV

Melentiev Energy Systems Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ESI SB RAS), 130, Lermontov Str., Irkutsk, 664033, Russian Federation, PhD (Eng.), senior researcher. E-mail: venven@list.ru

Solar energy systems are more and more extensively applied. For a number of economic and social reasons, they have become part of the power industry structure in most economically and industrially developed countries. Russia also does not stand aside here. Preference is given to low power solar systems capable of providing electric power to 'small motor' consumers and to the private sector. The installation and operation of the equipment is often carried out without any prior assessment of its effectiveness, which negatively affects the economic effect of its use. Thus, it is necessary to develop some specific methods to objectively assess the efficiency of solar power plants. One of such methods may be calculating the cost of electricity generated with its help and then comparing the result with those of the centralized power supply or other alternative sources of electric power. This paper provides an overview of the most widespread solar systems, the structure of their equipment and the requirements for its operation. In the main part of the paper some suggestions concerning the evaluation of the effectiveness of solar power systems are made and a method for determining the cost of electricity generated by them is also proposed. The proposed method based on the ratio of solar system construction and operation costs to its operation life is tested on concrete examples, namely, determining the efficiency of low-power solar power plants in the Irkutsk region and Buryatia where insolation has the highest values in the Russian Federation. Based on these results it is concluded that at present extensive use of solar energy systems in Russia is still unprofitable. The problem of seasonal operation of solar power plants creates an additional difficulty. In winter, when demand for electricity for lighting and heating increases due to reduced daylight hours, the possibility of detention and storage of solar energy significantly reduces while in the summer period there is an excess of it that remains unclaimed. Nevertheless, based on improvements in production technologies of the most expensive components of solar plants (solar panels and batteries) this equipment has good prospects for widespread use and in the future will be able of competing with industrial power generation.

Keywords: solar energy, solar system, solar panel, installed capacity, cost efficiency, cost of power, efficiency, ROI

DOI: 10.17212/1814-1196-2015-2-98-107

* Received 12 February 2015.

REFERENCES

1. Vissarionov V.I., Deryugina G.V., Kuznetsova V.A., Malinin N.K. *Solnechnaya energetika* [Solar energy]. Moscow, MEI Publ. House, 2011. 276 p.
2. Kirshbaum E. Germany sets new solar power record, institute says. *Reuters*: website. Available at: <http://uk.reuters.com/article/2012/05/26/us-climate-germany-solar-idUKBRE84P0FI20120526> (accessed 05.03.2015)
3. Watanabe C. Solar boom heads to Japan creating \$9.6 billion market. *Bloomberg the Company*: website. Available at: <http://www.bloomberg.com/news/articles/2012-06-17/solar-boom-heads-to-japan-creating-9-6-billion-market-energy> (accessed 05.03.2015)
4. Tarnizhevskii B.V. Perspektivy razvitiya otechestvennoi solnechnoi energetiki [Prospects for the development of domestic solar energy]. *BKD. Baltiiskaya kremnievaya dolina*: web-sait mezhdunarodnogo proekta [BKD. Baltic Silicon Valley: web-site of the International Project]. Available at: <http://www.bkdproject.ru/index.php/history/article/52-publish/61-perspektiva> (accessed 26.03.2015).
5. Sibikin Yu.D., Sibikin M.Yu. *Netraditsionnye i vozobnovlyaemye istochniki energii* [Alternative and renewable energy sources]. Moscow, KnoRus Publ., 2010. 240 p.
6. Elektrostantsii na osnove solnechnykh batarei ot kompanii «Svobodnaya Energiya» [Power Plants based on solar batteries from "Free energy" company]. Available at: <http://www.solarroof.ru> (accessed 05.03.2015).
7. Kharchenko N.V. *Individual'nye solnechnye ustanovki* [Individual solar installations]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991. 208 p.
8. Anderson B.N. *Solar energy: fundamentals in building design*. New York, McGraw-Hill, 1977. 374 p. (Russ. ed.: Anderson B.N. *Solnechnaya energiya: osnovy stroitel'nogo proektirovaniya*. Translated from English. Moscow, Stroizdat Publ., 1982. 375 p.).
9. Byers T.J. *20 selected solar projects making photovoltaics work for you*. Englewood Cliffs, New Jersey, Micro Text Publications, Prentice-Hall, 1984. 173 p. (Russ. ed.: Baiers T. *Dvadtsat' konstruktivnykh s solnechnymi elementami*. Translated from English. Moscow, Mir Publ., 1988. 197 p.).
10. Rosa A.V. da. *Fundamentals of renewable energy processes*. Amsterdam, Elsevier, Academic Press, 2005. 712 p. (Russ. ed.: A.V. da Rosa. *Vozobnovlyaemye istochniki energii. Fiziko-tekhnicheskie osnovy*. Translated from English. Dolgoprudnyi, Intellect Publ., Moscow, MEI Publ., 2010. 704 p.).
11. Alkhasov A.B. *Vozobnovlyaemaya energetika* [Renewable energy]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2010. 256 p.
12. Abakumova G.M., Gorbarenko E.V., Nezval' E.I., Shilovtseva O.A. *Klimaticheskie resursy solnechnoi energii Moskovskogo regiona* [The climate of solar energy resources in the Moscow region]. Moscow, Librokom Publ., 2012. 314 p.
13. Kazachenko S.V., Kibovskii S.A., Mazinov A.S., Nikolaev E.V., Stoyanov V.U., Slepokurov A.S. (compiler). *Solnechnaya energetika v Krymu* [Solar energy in the Crimea]. Kiev, Simferopol', FLP Brazhnikov N.A. Printing House, 2008. 201 p.
14. Energokonsultant: internet-portal potrebiteli elektroenergii [Energokonsultant: internet portal electricity consumers]. Available at: <http://www.energo-consultant.ru> (accessed 05.03.2015)
15. Fedorishcheva E.A. *Energetika: problemy i perspektivy* [Power Engineering: problems and perspectives]. 2nd ed., corr. and enl. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2008. 152 p.