

УДК 621.39

А.А. Хохрякова, А.А. Сурков

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

ПРИМЕНЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ЭНЕРГОСНАБЖЕНИИ ЗДАНИЙ

Проанализированы перспективы использования солнечной энергетики в России и мире. Проведен технико-экономический анализ применения солнечной электростанции в жилом здании по сравнению с традиционными источниками энергии.

Ключевые слова: солнечные батареи, солнечная электростанция, солнечная энергия, энергоснабжение зданий.

В современной мировой практике к возобновляемым источникам энергии (ВИЭ) относят: гидроэнергию, солнечную, ветровую, геотермальную, гидравлическую энергию, энергию морских течений, волн, приливов, температурного градиента морской воды, разности температур между воздушной массой и океаном, тепла Земли, биомассу животного, растительного и бытового происхождения.

Солнечная энергетика по многим прогнозам является одной из самых перспективных отраслей возобновляемой энергетики. Развитие солнечной энергетики также связано с масштабными программами поддержки возобновляемой энергетики, реализуемыми в развитых странах Европы, США, Японии.

Количество солнечной энергии, поступающей на Землю, превышает энергию всех глобальных запасов нефти, газа, угля и других энергетических ресурсов. Использование всего лишь 0,0125 % солнечной энергии могло бы обеспечить все нынешние потребности мировой энергетики, а использование 0,5 % – полно-

стью покрыть потребности в будущем. Достоинства технологий, использующих энергию солнца, заключаются в том, что при работе солнечных установок фактически не добавляется тепло в приземные слои атмосферы, не создается парниковый эффект и не происходит загрязнения воздуха

По прогнозам ученых к 2100 г. доля применения солнечной энергии в мировом масштабе будет преобладающей (рис. 1) [1].

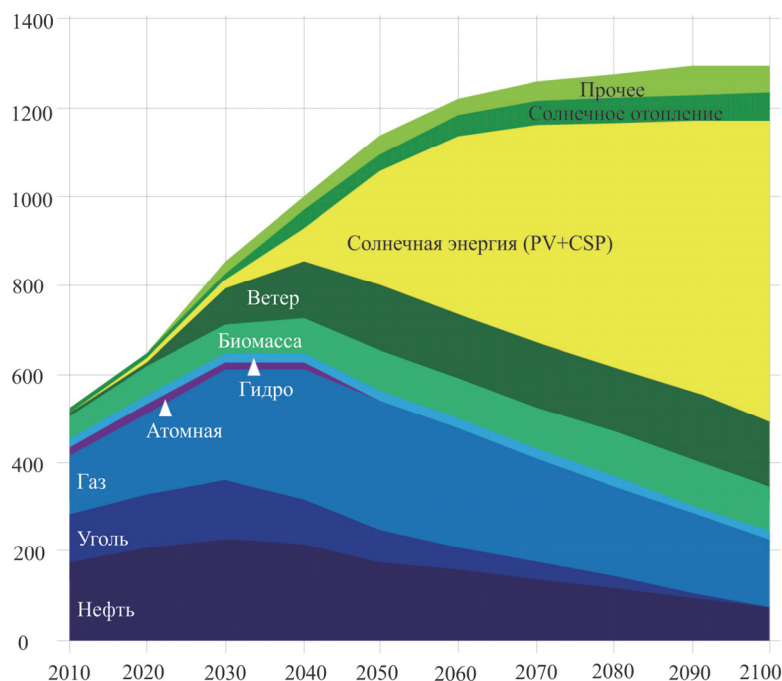


Рис. 1. Прогноз потребления энергии из различных источников (в эксаджоулях)

По сравнению с другими видами производства электроэнергии за счет возобновляемых источников, солнечная энергетика обладает наибольшим потенциалом долгосрочного роста.

Используют солнечную энергию в основном двумя способами – в виде тепловой энергии путем применения разных термосистем либо посредством фотохимических реакций.

Наибольшее распространение в мире получили технологии использования солнечной энергии для горячего водоснабжения и отопления.

Однако наиболее действенный путь использования солнечной энергии – непосредственное преобразование ее в электрическую в фотоэлементах. Фотоэлементы представляют собой светочувствительные пластины из полупроводникового материала: селена, кремния, арсенида галлия, диселенида кремния и т.д. Фотоэлектричество производится, когда частицы света (фотоны), поглощенные полупроводником, создают электрический ток. Солнечные батареи могут быть различной мощности – от портативных установок в несколько ватт до многоваттных электростанций, покрывающих миллионы квадратных метров площади.

Для того чтобы не зависеть от суточного и сезонного солнечного цикла и состояния атмосферы существуют технические методы накопления энергии, такие как электрохимическое накопление аккумуляторами, механическое накопление (с помощью вращающихся маховиков) и в форме водорода. Еще может быть сочетание фотоэлементов с другими источниками энергии, к примеру, более вероятно сочетание с ветровыми установками, а также с системами на ископаемом топливе.

Фотоэлектрические системы (солнечные батареи) требуют минимального обслуживания, в них не используется вода, и поэтому они отлично приспособлены для отдаленных и пустынных районов. Данный метод преобразования солнечной энергии считается долговечным и экологически чистым, а также сам может быть использован для улучшения экологической обстановки в месте использования, а в перспективе – и для регулирования экологических условий на больших территориях.

Солнечные батареи могут использоваться для освещения, работы бытовой электротехники (радио, телевизор, холодильник), насосов для подъема воды в удаленных сельских районах; энергообеспечения экологически чистых зон массового отдыха и лечения; обеспечения радио- и телекоммуникационных систем, маяков, буев. Установки использования солнечной энергии могут быть экологически чистыми, а также иметь положительное воздействие на другие сферы жизни. К примеру, внедрение солнечных батарей в жарких пустынных районах в качестве «солнечного зонта» гарантирует подходящие условия для выращивания под ним бахчевых и цитрусовых культур, для которых целесообразно

использовать не интенсивное солнечное излучение. Иным примером является применение солнечных батарей или солнечных коллекторов как строительных частей в качестве облицовочных панелей фасадов зданий («солнечных домов»).

Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии считается одним из более быстро развивающихся в мире направлений использования возобновляемых источников энергии. В настоящее время общая мощность установленных солнечных фотоэлектрических систем составляет свыше 938 МВт. Годовые темпы подъема за последние 5 лет составляют 30 %. Лидируют Япония (80 МВт), США (60 МВт), Германия (50 МВт) [2].

Россия располагает колоссальным потенциалом практически по всем возобновляемым источникам энергии (ВИЭ), в том числе по фотовольтаике. В России есть довольно много районов, где среднегодовой приход солнечной радиации составляет 4–5 кВт·ч на 1 м² в день (этот показатель соизмерим с югом Германии и севером Испании – странах-лидерах по внедрению фотоэлектрических систем). Необходимо отметить, что высокий уровень инсоляции в России наблюдаются не только на Северном Кавказе, но еще и на Дальнем Востоке, а также юге Сибири (рис. 2).

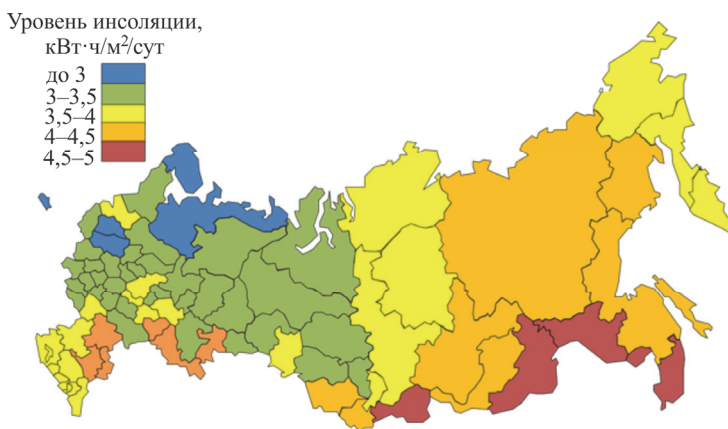


Рис. 2. Потенциал солнечной энергетики в России

В настоящее время Россия обладает передовыми технологиями по преобразованию солнечной энергии в электрическую. Есть ряд предприятий и организаций, которые разработали и совершенствуют технологии фотоэлектрических преобразователей:

как на кремниевых, так и на многопереходных структурах. Есть ряд разработок использования концентрирующих систем для солнечных электростанций.

Законодательная база в сфере поддержки развития солнечной энергетики в России находится в зачаточном состоянии. Однако первые шаги уже сделаны:

- 3 июля 2008 г. принято Постановление Правительства РФ № 426 «О квалификации генерирующего объекта, функционирующего на основе использования возобновляемых источников энергии»;

- 8 января 2009 г. утверждено распоряжение Правительства РФ № 1-р «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 г.».

Были утверждены целевые показатели по увеличению к 2015 и 2020 гг. доли ВИЭ в общем уровне российского энергобаланса до 2,5 и 4,5 % соответственно.

Масштабы использования фотоэлектрических солнечных батарей ограничиваются наиболее высокой стоимостью вырабатываемой электроэнергии, по сравнению с энергией, получаемой за счет использования традиционных источников энергии. Удельная стоимость мощности плоских модулей солнечных батарей на мировом рынке составляет 4–5 долл./Вт, а стоимость фотоэлектрических установок 7–10 долл./Вт. Стоимость электроэнергии, вырабатываемой модулями, колеблется в пределах 20–30 цент./(кВт·ч), что значительно превосходит стоимость электроэнергии от традиционных источников.

Конструкция простейшего элемента (рис. 3), используемого в солнечных батареях, представляет собой два тонких листа, сделанных из кремния или иного полупроводникового материала с добавлением специальных примесей. В одной пластине при этом образуется избыток электронов, а в другой – избыток «дыр». В результате образуется направленное движение электронов, что и является электрическим током.

Такие батареи могут вырабатывать электрическую энергию только днем. Для бесперебойного электроснабжения необходимо

использовать аккумуляторы, позволяющие создавать запас энергии, расходоваться который будет с наступлением темноты.

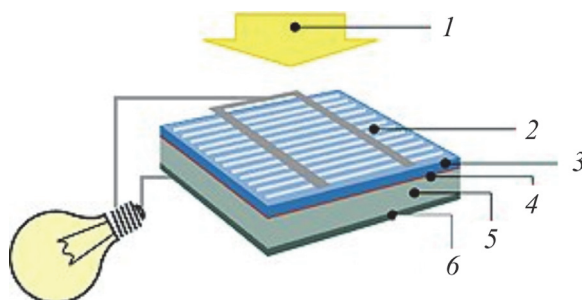


Рис. 3. Структура солнечного элемента: 1 – источник света; 2 – наружный слой; 4 – токовыводящий слой; 5 – внутренний слой; 3, 6 – контакты

Солнечные панели наиболее эффективно работают, когда они направлены на солнце и их поверхность перпендикулярна солнечным лучам. Солнечные панели чаще всего располагаются на крыше или поддерживающей конструкции в фиксированном положении и не могут следить за положением солнца в течение дня. Поэтому обычно солнечные панели не находятся под оптимальным углом (90°) в течение всего дня.

Для весны и осени принимается оптимальный угол наклона, равный значению широты местности. Для зимы к этому значению прибавляется $10-15^\circ$, а летом от этого значения отнимается $10-15^\circ$. Поэтому рекомендуется угол наклона менять дважды в год с «летнего» на «зимний» (рис. 4). Если такой возможности нет, то угол наклона выбирается примерно равным широте местности [2].

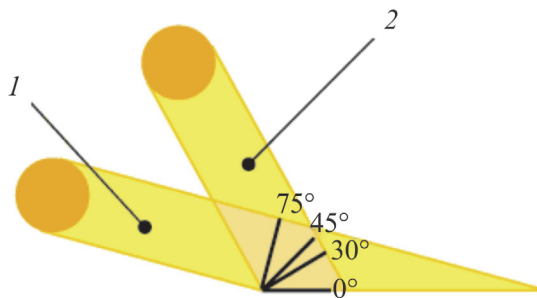


Рис. 4. Оптимальный угол наклона зимой и летом:
1 – солнце зимой; 2 – солнце летом

Увеличение температуры существенно влияет на модуль, уменьшая его напряжение и, следовательно, выходную мощность. Помимо того, увеличение температуры приводит к некоторым нежелательным последствиям. Так, оно увеличивает напряжение, связанное с термическим расширением, также увеличивает скорость деградации примерно в два раза на каждые 10°C [2].

Практика показала, что срок службы солнечных батарей превышает 20 лет. Фотоэлектрические станции, работающие в Европе и США около 25 лет, показали снижение мощности модулей примерно на 10 %. Таким образом, можно говорить о реальном сроке службы солнечных монокристаллических модулей 30 и более лет. Поликристаллические модули обычно работают 20 и более лет. Модули из аморфного кремния (тонкопленочные, или гибкие) имеют срок службы от 7 (первое поколение тонкопленочных технологий) до 20 лет (второе поколение тонкопленочных технологий). Более того, тонкопленочные модули обычно теряют от 10 до 40 % мощности в первые 2 года эксплуатации. Поэтому около 90 % рынка фотоэлектрических модулей в настоящее время составляют кристаллические кремниевые модули.

Другие компоненты системы имеют различные сроки службы: аккумуляторные батареи имеют срок службы от 2 до 15 лет, а силовая электроника – от 5 до 20 лет [3].

Нами была проведена технико-экономическая оценка применения солнечной электростанции мощностью 5 кВт в климатических условиях Пермского края по сравнению с традиционными источниками энергии.

Солнечная электростанция установлена в научно-исследовательском модуле iHouse по оценке эффективности применения энергоресурсосберегающих технологий. Конструктивная схема научно-исследовательского модуля – каркасная с использованием клееных деревянных конструкций (КЦК) в качестве несущих колонн, балок и панелей перекрытия полной заводской сборки. Наружные стены – каркасные, с заполнением минераловатным утеплителем Rockwool Лайт Баттс. Окна – деревоалюминиевые немецкого стандарта (евроокна четвертого поколения). Кровля – скатная, из профилированного листа.

Общая площадь здания составляет 200 м^2 . Система солнечных панелей подключена к системе диспетчеризации здания, позволяющей в режиме реального времени анализировать, какое количество электроэнергии было выработано электростанцией, а также в случае недостатка выработанной энергии переключать здание на централизованный источник энергоснабжения [4]. Схема электроснабжения научно-исследовательского модуля представлена на рис. 5.



Рис. 5. Схема электроснабжения научно-исследовательского модуля

Для системы освещения были использованы энергосберегающие светодиодные светильники, а также застройщик применил панорамное остекление здания для увеличения доли естественного освещения. В пасмурные дни и в ночное время при недостаточной солнечной освещенности тратится электроэнергия, накопленная в аккумуляторных батареях.

Для анализа эффективности солнечной электростанции нами был составлен перечень приборов потребления энергии средне-статистической семьей из 4 человек (табл. 1).

За месяц в среднем при достаточно экономном расходовании тратится около 200 кВт электроэнергии. В расчете на день – 6600 Вт. Максимальная потребляемая мощность составляет 6 кВт/ч.

Таблица 1

**Примерный перечень потребителей энергии
среднестатистической семьи [5]**

Потребитель	Мощность, Вт	Кол-во, шт.	Время работы за сутки, ч	Энергопотребле- ние за сутки, Вт/ч
Микроволновая печь	1500	1	30 мин	750
Телевизор	60	1	4 ч	240
Холодильник	100	1	24 ч	2400
Электрический утюг	1500	1	10 мин	250
Электрочайник	1500	1	20 мин	500
Компьютер	350	1	4 ч	1400
Электропылесос	700	1	5 мин	58
Энергосберегающая лампа	11	5	3 ч	165
Лампа накаливания	100	5	3 ч	900
Всего в сутки				6600 Вт
Всего в месяц				200 кВт
Всего за год				2400 кВт

Капитальные затраты на установку солнечной электростанции составят 655 тыс. руб. (табл. 2).

Таблица 2

**Капитальные затраты на установку
солнечной электростанции**

Статья затрат	Традиционное электропитание	Солнечная энергия
Подключение к городским сетям	50–100 000 руб.	–
Трансформаторная подстанция, наружные и внутриплощадочные сети	3 500–30 000 руб.	–
Солнечная батарея «под ключ»	–	300 000 руб.
Итого за 1 кВт	53 500–130 000 руб.	300 000 руб.

Если использовать солнечную электроэнергию как основную, то при потреблении днем мощности в 4000 Вт, при емкости аккумуляторов 200 А/ч, с напряжением в системе в 24 В, пиковой мощности инвертора 6,0 кВт для обеспечения электроэнергией средней российской семьи понадобится 18 солнечных модулей с 10 аккумуляторами [6].

В климатическом поясе Пермского края годовое количество часов пикового солнечного сияния составляет 1000–1200 ч. Таким образом, 1 Вт солнечной установки за год вырабатывает 1 кВт/ч электроэнергии. За срок службы – 30 кВт/ч.

Таким образом, получаем стоимость 1 кВт/ч электроэнергии от солнечной установки с аккумуляторами: $230/30 = 7,67$ руб.

Если сравнить с энергией от сети по 4 руб. за кВт/ч, солнечная электростанция окупится через 28 лет при текущих ценах на электроэнергию. Если учитывать повышение цены, инфляцию и т.п., то срок окупаемости, при разных исходных данных, будет от 10 до 15 лет. Это дает в среднем около 20 лет выработки бесплатной электроэнергии от солнечных батарей при сроке службы в 30–40 лет [7].

Производство солнечной энергии до 2010 г. было главным образом сосредоточено в Японии, США и Европе. После чего к ним присоединились страны Южной Азии и Африки [8].

Сегодня на мировом рынке возобновляемой энергетики доля солнечной составляет около 5 %. Развитие подталкивается масштабными программами поддержки возобновляемой энергетики, которые реализуют в высокоразвитых странах Европы, а также в США, Японии. В последнее десятилетие господдержка возобновляемой энергетики и, в частности, солнечной энергетики, стимулировала ежегодное увеличение объемов производства солнечных элементов в среднем на 30–40 % [8].

Суммарные производственные мощности российских производителей фотоэлектрических модулей превышают 50 МВт готовой продукции в год, и хотя в стране продается не более 5 % от этого объема, число компаний, декларирующих своими основными видами деятельности продажу и установку солнечных фотоэлектрических систем в России, насчитывается более 200 [9].

На сегодняшний день развитие солнечной энергетики в России сдерживается рядом факторов: высокие капитальные затраты на оборудование; суровые климатические условия; низкая осведомленность населения о современных технологиях; недостаточная поддержка государства по внедрению альтернативных источников энергии, отсутствие собственного производства солнечных панелей.

Если уже подключена централизованная электросеть и нет никаких проблем с перебоями в электроснабжении и ограничениями по потребляемой мощности, по количеству требуемой электроэнергии, то экономически нецелесообразно устанавливать солнечные электростанции.

Другое дело, если сеть нужно подключать – протягивать линии электропередач и оформлять техническое присоединение. В таком случае стоимость подключения к сетям может быть больше или сравнима со стоимостью солнечной автономной электростанции. Поэтому главная идея развития солнечной энергетики – обеспечение «своим» источником электричества конечного потребителя, а не строительство огромных дорогостоящих солнечных электростанций.

Библиографический список

1. Шарипова А.И. Основы современной энергетики. – 1-е изд. – М.: Изд-во Моск. энергет. ин-та (МЭИ), 2006. – 467 с.
2. Кузьмичева Е.Ю. Развитие альтернативной энергетики // Энергополис. – 2008. – № 11–12. – С. 11–18.
3. Энергосберегающие технологии и источники альтернативной энергии для частного дома [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.solarbat.info/solnechnie-batarei-i-moduli> (дата обращения: 13.05.2014).
4. Сурков А.А., Вайсман Я.И. Научно-исследовательский модуль для оценки эффективности применения энергоресурсосберегающих технологий в жилищно-коммунальном хозяйстве // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2014. – № 1. – С. 63–71.
5. Анализ целесообразности возведения «Passive house» в Пермском крае / Н.Б. Курякова, Т.Ю. Запольских, А.Н. Панькова, А.С. Пупова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. – 2013. – № 4. – С. 54–66.
6. Сибикин Ю.Д. Технология энергоснабжения: учеб. пособие для вузов. – М.: Изд-во Моск. энергет. ин-та (МЭИ), 2005. – 352 с.
7. Российская газета RG.RU. Экономика. Солнечный ресурс [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.rg.ru/2010/01/14/reg-permkrai/energia.html> (дата обращения: 27.05.2014).
8. Геоглобус. Потребление электроэнергии средним жителем [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.geoglobus.ru/info/review27/515-climate-change.php> (дата обращения: 05.06.2014).

References

1. Sharipova A.I. Osnovy sovremennoj energetiki [Foundations of modern energy]. Moskovskij energeticheskij institut (MJeI), 2006. 467 p.
2. Kuzmicheva E.Yu. Razvitie alternativnoj energetiki [Developing alternative energy]. *Energopolis*, 2008, no. 11–12, pp. 11–18.
3. Energosberegayushchie tekhnologii i istochniki alternativnoj energii dlya chastnogo doma [Energy-saving technologies and alternative energy sources for the private home], available at: <http://www.solarbat.info/solnechnie-batarei-i-moduli> (accessed 13 May 2014).
4. Surkov A.A., Vajsman Ya.I. Nauchno-issledovatel'skij modul dlya otsenki effektivnosti primeneniya energoresursosberegayushchikh tekhnologij v zhilishchno-kommunalnom khozyajstve [The research module for an assessment of effectiveness of application of energy-saving technologies in housing and communal services]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika*, 2014, no. 1, pp. 63–71.
5. Kuryakova N.B., Zapolskikh T.Ju., Pankova A.N., Pupova A.S. Analiz tselesoobraznosti vozvedeniya «Passive house» v Permskom krae [Analysis of the feasibility of the construction of «passive house» in perm region]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Urbanistika*, 2013, no. 4, pp. 54–66.
6. Sibikin Ju.D. Tekhnologiya energosnabzheniya [Energy technology]. Moskovskij energeticheskij institut (MJeI), 2005, p. 352.
7. Rossijskaya gazeta RG.RU. Ekonomika. Solnechnyj resurs [Russian newspaper RG.RU. Economy. Solar resource], available at: <http://www.rg.ru/2010/01/14/reg-perm-kray/energia.html> (accessed 27 May 2014).
8. Geoglobus. Potreblenie elektroenergii srednim zhitelem [Geoglobus. Electricity consumption average citizen], available at: <http://www.geoglobus.ru/info/review27/515-climate-change.php> (accessed 05 June 2014).

Получено 01.11.2014

A. Khokhryakova, A. Surkov

THE APPLICATION OF SOLAR POWER STATIONS IN POWER SUPPLY OF BUILDINGS

The prospects of solar energy in Russia and the world. Performed a feasibility analysis of the use of solar power in residential building compared to conventional energy sources.

Keywords: solar batteries, solar power station, solar energy, power supply of buildings, energy saving

Хохрякова Анастасия Анатольевна (Пермь, Россия) – студентка кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29).

Сурков Александр Анатольевич (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры охраны окружающей среды, Пермский национальный исследовательский политехнический университет (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: surkov-a@mail.ru).

Khokhryakova Anastasiya (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29).

Surkov Alexander (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Environment of Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: surkov-a@mail.ru).