Минин А.А., Матрунчик А.С. Перспективы использования фотоэлектрических преобразователей в мире и в России // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 1. – С. 74–81. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.10

Minin A.A., Matrunchik A.S. Prospects of photovoltaic cells use in the world and in Russia. PNRPU Bulletin Construction and architecture. 2016. Vol. 7, No. 1. Pp. 74-81. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.10

**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**
Т. 7, № 1, 2016
PNRPU BULLETIN
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.10

УДК 620.92

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В МИРЕ И В РОССИИ

А.А. Минин, А.С. Матрунчик

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 14 января 2016
Принята: 29 января 2016
Опубликована: 31 марта 2016

Ключевые слова:

солнечная энергия,
нетрадиционные
источники энергии,
солнечные батареи,
фотоэлектрические
преобразователи

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена современным экологическим проблемам и путям их решения. Затрагиваются вопросы прошедшей в 2015 г. 21-й сессии Конференции сторон Рамочной конвенции ООН в Париже об изменении климата и вопросы государственных программ России по энерго- и ресурсосбережению. Рассматривается теоретический материал по использованию солнечной энергии как одного из видов нетрадиционных источников энергии. Исследован вопрос объемов солнечной радиации, поступающей на поверхность Земли. Перечислены основные виды преобразователей, использующих солнечную энергию в качестве источника для производства электрической энергии, рассмотрены их достоинства и недостатки, более подробно представлены фотоэлектрические преобразователи. Описаны основные физические и химические процессы, происходящие в солнечных батареях, работающих по фотоэлектрическому способу, в которых в качестве основного материала используется кремний; рассмотрены достоинства и недостатки различных типов присоединений солнечных батарей. Предложены варианты использования солнечной энергии в быту человека. Особое внимание уделено ситуации в сельском хозяйстве: проанализирована текущая ситуация, выявлены недостатки действующих способов энергоснабжения удаленных территорий, рассмотрена перспектива использования солнечной энергетики для подобных мест, представлены схемы возможных технологических установок, использующих энергию Солнца. Проанализирован опыт регионов России в использовании солнечной энергетики на примере Чебаркульского муниципального района Челябинской области. Исходя из результатов исследования, сделан вывод о перспективах и возможности использования данной технологии, а также представлены предложения о дальнейшем развитии сферы солнечной энергетики.

© ПНИПУ

© **Минин Антон Андреевич** – студент, e-mail: minin.anton96@mail.ru.
Матрунчик Андрей Сергеевич – аспирант, e-mail: andrey.matrunchik@gmail.com.

Anton A. Minin – Student, e-mail: minin.anton96@mail.ru.
Andrei S. Matrunchik – Postgraduate Student, e-mail: andrey.matrunchik@gmail.com.

PROSPECTS OF PHOTOVOLTAIC CELLS USE IN THE WORLD AND IN RUSSIA

A.A. Minin, A.S. Matrunchik

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 14 January 2016

Accepted: 29 January 2016

Published: 31 March 2016

Keywords:

solar energy, alternative energy sources, solar panels, photovoltaic cells

ABSTRACT

This article is dedicated to modern environmental problems and their solutions. The issues were involved during the 2015 United Nations Climate Change Conference in Paris issues and government programs about energy and resource saving technologies in Russia. We consider the theoretical material on the use of solar energy as one of the kinds of alternative energy sources. The question of the volume of solar radiation received at the earth's surface. The main types of converters that use solar energy as a source for electricity production, considered their advantages and disadvantages, are presented in more detail photoelectric converters. The basic physical and chemical processes occurring in the solar during their work, working on the photoelectric method and used as the base material silicon; for different types of connections of solar cells are considered the advantages and disadvantages relative to each other. There are the variants of the use of solar energy in the human life in this article. Particular attention is paid to the situation in agriculture, analyzed the current situation, identified the shortcomings of existing current methods of energy supply of remote areas, prospects for the use of solar energy for such seats, are diagrams of possible technological installations using energy from the Sun, analyzed the experience of the Russian regions in the use of solar energy as an example Chebarkul municipal area of Chelyabinsk region. Based on the results of the study, concluded that the prospects and possibilities of using this technology, and provides suggestions for further development of solar energy.

© PNRPU

Во второй половине XX в. одну из самых важных позиций среди общемировых проблем заняла проблема глобального потепления. В период 1950–2004 гг. среднемировая температура повысилась с 13,87 до 14,53 °C [1]. В свою очередь рост температуры влияет на таяние льдов на Северном и Южном полюсах, провоцируя повышение уровня Мирового океана. Не вызывает сомнения тот факт, что одним из основных факторов, повлиявших на ускорение процесса глобального потепления, является антропогенный фактор, в частности использование углеводородов в производстве и в быту. В настоящее время благодаря международным соглашениям и протоколам многие страны мира пересмотрели свою политику в сфере регулирования процессов выбросов, что привело к текущему общемировому снижению выбросов вредных веществ в атмосферу. На 21-й сессии Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКООНИК) в Париже президент России заявил, что к 2030 г. Россия надеется уменьшить выбросы парникового газа до 70 % от базового уровня 1990 г. [2]. Основываясь на действующей в настоящее время в России программе «Экологически чистая энергетика», можно сделать вывод о наиболее перспективном решении проблем, появившихся в традиционной энергетике – применении нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ), использование которых может решить такие задачи, как:

- 1) уменьшение применения органического топлива в низкоэнергетических процессах;
- 2) снижение негативного воздействия традиционной теплоэнергетики на окружающую среду;
- 3) обеспечение энергией той части населения, которая находится вдали от основных источников энергообеспечения.

Если остановиться подробнее на сфере производства, то следует отметить, что в большей степени наносят вред окружающей среде предприятия по производству электрической энергии: доля электроэнергетики составляет треть от общего объема вредных вы-

бросов в атмосферу, примерно 32 % [1]. Основной целью 21-й сессии Конференции сторон РКООНИК является достижение универсального и обязательного для выполнения соглашения, позволяющего эффективно бороться с изменением климата и ускорять переход к обществу и экономике, мало потребляющим углеродные технологии [2]. Одним из решений данной проблемы является замена выработки электрической энергии традиционными способами на использование энергии Солнца.

В настоящее время преобразование солнечной энергии в электрическую является одной из самых перспективных технологий. Осуществляется данное преобразование в фотоэлектрических преобразователях (ФЭП), которые широко используются для питания космических станций, а также получения электроэнергии в сельском хозяйстве и в быту [3]. У ФЭП довольно широкий интервал мощности: они способны питать как мини-генераторы мощностью несколько ватт, так и центральные электростанции мощностью несколько мегаватт. Такой широкий интервал обуславливается тем, что для увеличения мощности можно включать последовательно большое количество солнечных элементов – в этом и состоит одно из главных преимуществ ФЭП над солнечными коллекторами, предел мощности которых закладывается при производстве. Также к преимуществам использования фотоэлектрических преобразователей можно отнести возможность получения энергии даже в труднодоступных районах и сравнительно дешевое обслуживание. Недостатками установки ФЭП можно считать: дороговизну элементов, неравномерное распределение солнечной энергии по поверхности земли и, что является серьезной угрозой, отрицательное влияние на организм человека, так как при производстве солнечных элементов и аккумуляторов используется свинец, а в фотоэлементах присутствуют кадмий, галлий и мышьяк.

Только за одну неделю количество солнечной энергии, поступающей на Землю, во много раз превышает энергию всех мировых запасов полезных ископаемых, а количество солнечной энергии в России оценивается более чем в 2000 млрд тонн условного топлива. Тем не менее использование солнечной энергии в России пока остается малопопулярным, даже несмотря на то что количество солнечных дней в Сибири и в южных областях нашей страны примерно равно количеству солнечных дней в Южной Европе, где солнечная энергия используется широко (рис. 1).

Рис. 1. Карта распределения солнечной энергии, поступающей на Землю
Fig. 1. Map of the distribution of solar energy reaching the earth

Для России использование солнечной энергии могло бы помочь решить проблемы тех жителей, которые отрезаны от централизованного электрообеспечения. При этом количество солнечных дней на Дальнем Востоке не меньше, чем в южных областях нашей страны, и составляет примерно 1500–2000 ч в год (рис. 2).

Рис. 2. Энергоресурсы России (Солнечная энергия)

Fig. 2. Energy resources of Russia. Solar energy

Солнечную энергию можно использовать двумя способами: термодинамическим способом на тепловых электростанциях и с помощью фото- или термодинамических элементов. Рассмотрим подробнее самый распространенный материал элементов – кремний, а также фотоэлектрический (прямой) способ преобразования солнечной энергии в электрическую. Кремний получают из соединений, которые расплавляют, а чистый кремний вытягивают из них. В дальнейшем, при кристаллизации, атомы кремния образуют кристаллическую решетку. Сам солнечный элемент состоит из двух слоев полупроводника (кремния): поверхностный слой или слой *n*-типа, образованный добавлением в кристалл кремния фосфора, в результате чего в пластине *n*-типа появляются лишние электроны или отрицательный заряд; и базовый слой *p*-типа, полученный при добавлении в расплав кремния бора. В результате этого в базовом слое отсутствуют электроны, а на их местах образуются дырки, которые несут положительный заряд. При попадании на поверхность солнечного элемента, солнечного света фотоны будут поглощаться, тем самым выбивая электроны (рис. 3). На месте выбитых электронов появляются пустоты, которые называются «дырками», в результате чего образуются электронно-дырочные пары. Под действием электрического поля, образовавшегося при *p-n*-переходе, данные пары могут передвигаться по полупроводнику. В результате этого движения и генерируется электрический ток, который может сразу же подаваться на приемники либо аккумулироваться.

Существует два способа подключения солнечных батарей (рис. 4): параллельное и последовательное. У каждого из этих способов есть свои преимущества и недостатки. При подключении солнечных элементов параллельно увеличивается сила тока, но при этом, в силу разной освещенности, наиболее эффективно будет работать та из батарей, которая лучше освещена. Подключение же последовательным способом увеличивает напряжение солнечной батареи, но ток, выходящий из такой батареи, эквивалентен самому низкому току элемента. Таким образом, наиболее эффективным подключением будет совместное применение двух способов.

Рис. 3. Процессы внутри солнечных панелей

Fig. 3. Processes inside the solar panels

Рис. 4. Подключения солнечных батарей

Fig. 4. Connection of solar panels

Энергию, которую получают в процессе работы солнечных батарей, можно использовать в обеспечении ресурсами населения либо в производстве. Например, в такой сфере, как нефтедобыча, некоторые страны переходят на использование солнечных технологий: в Омане собираются использовать третичный метод добычи нефти в комплексе с солнечной энергетикой, суммарное повышение эффективности месторождения ожидается 40–60 % [4].

Но, пожалуй, самым перспективным можно считать применение солнечной энергии в сельском хозяйстве [5, 6]. Сельскохозяйственные объекты зачастую удалены от центральных энергетических сетей, и подключение их к этим сетям экономически невыгодно. Для обеспечения таких потребителей применяются дизельные или газовые установки и станции. Но данный способ обеспечения потребителей энергией имеет недостатки:

- 1) из-за некачественных сельских дорог потребители имеют перебои с поставкой топлива для генераторов;
- 2) шум от этих источников энергии негативно влияет на животных и птиц, использующихся в сельском хозяйстве;
- 3) во время доставки и использования топлива возможен его розлив, который отрицательно воздействует на почву и водоемы;
- 4) при использовании генераторов необходимо постоянное обслуживание и ремонт, который не всегда можно осуществить.

Именно поэтому альтернативой для отдаленных хозяйств может служить солнечная энергия. Применение ФЭП наиболее выгодно для удаленных и труднодоступных поселений, подключение которых к центральным сетям затруднительно. Электроэнергия, полученная таким образом, может применяться как для жизнеобеспечения людей, проживающих в данной местности, так и для непосредственного использования в сельском хозяйстве. Например, фотоэлектричество может применяться: для внутреннего и внешнего освещения, открытия и закрытия ворот, орошения (рис. 5), опреснения и очистки воды, автоматического включения кормушек и других необходимых технологических процессов [7, 8].

Рис. 5. Система орошения, использующая солнечную энергию
Fig. 5. Irrigation system using solar energy

Фотоэлектрические насосы являются хорошей заменой ручных и механических насосов, применяющихся для орошения полей и запасаания воды в резервуарах, такие насосы хорошо применимы для отдаленных пастбищ, а также мест выгула скота. Излишки воды могут применяться в домашнем быту или в системе отопления. Использование СЭ в сельском хозяйстве является наиболее перспективным направлением, ведь полученная таким образом энергия наиболее экологична и имеет наименьшие финансовые показатели по текущим затратам, что снизит себестоимость сельскохозяйственной продукции [9, 10].

В России имеется опыт использования таких технологий в Челябинской области [7]. Несмотря на то что Челябинская область находится не в самых благоприятных условиях для земледелия, сельское хозяйство в этой области занимает довольно прочные позиции в экономике региона. Для развития животноводческого и растениеводческого сектора необходимо увеличение потребления энергии, как тепловой, так и электрической. Для доказательства уместного применения солнечной энергии в сельскохозяйственном секторе Челябинской области был рассчитан потенциал солнечной энергии для Чебаркульского муниципального района. Основными составляющими сельскохозяйственного комплекса являются: крестьянские и личные подсобные хозяйства, а также сельскохозяйственные предприятия. Большая часть солнечной энергии Чебаркульского района приходится на весенне-осенний период: с ноября по март объем получаемой солнечной радиации по отношению к общегодовой сумме составляет 20 %, с апреля по октябрь – 80 % (рис. 6).

Потенциал солнечной энергии при использовании солнечных батарей для получения электроэнергии будет равен 0,11 млн тонн условного топлива. Для получения 1 МВт мощности требуется установка 5263 солнечных модулей типа ФСМ-190. Для размещения этого комплекса необходима площадь 6684 м². Зачастую эти элементы устанавливают на крышах зданий и строений, а значит, не придется использовать свободные земляные площади. На территории района множество туристических баз, санаториев и отдельно стоящих зданий – именно они наиболее пригодны для установки солнечных модулей. Таким образом, применение солнечных батарей для выработки электроэнергии в этом регионе можно считать рациональным.

Рис. 6. Валовый приход солнечной радиации в течение года, кВт·ч/м²/мес.

Fig. 6. The gross income of solar radiation throughout the year, kWh/m²/month

В настоящее время стали довольно широко использоваться фотоэлектрические преобразователи. Наблюдается увеличение мощности наземных элементов от 1 Вт до сотен киловатт, а космических – до 10 кВт и более. В наши дни реализуются проекты использования солнечных элементов мощностью в сотни и даже тысячи киловатт, также наметилась тенденция увеличения КПД солнечных батарей при уменьшении их стоимости. Использование фотоэлектрического способа (СФЭС) имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами преобразования солнечной энергии в электрическую, а именно: постепенное увеличение мощности солнечных батарей путем добавления новых, извлечение электроэнергии даже из рассеянного источника света. Также СФЭС обладает высокой надежностью, пригодностью к ремонту, простотой в обслуживании, долгим сроком службы (более 30 лет), способностью удовлетворения как малых потребителей (личных подсобных хозяйств, малых фермерских угодий, освещения улиц, освещения частных домов), так и более крупных (сельскохозяйственные предприятия, многоквартирные дома). Таким образом, перспективы использования энергии солнца широки, и она постепенно должна стать заменой традиционных источников энергии.

Библиографический список

1. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учеб. пособие. – М.: КНОРУС, 2010. – 232 с.
2. Конференция по изменению климата в Париже 2015 года [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/cop21>.
3. Carnevale E., Lombardi L., Zanchi L. Life Cycle Assessment of solar energy systems: Comparison of photovoltaic and water thermal heater at domestic scale // Energy. – 2014. – Vol. 77. – P. 434–446.
4. Construction of an Enclosed Trough EOR System in South Oman / B. Bierman, J. O'Donnell, R. Burke, M. McCormick, W. Lindsay // Energy Procedia. – 2014. – Vol. 49. – P. 1756–1765.
5. Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses / R. Hassanien, E. Hassanien, M. Li, W. Dong Lin // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Vol. 54 – P. 989–1001.

6. Назмеев Ю.Г., Нигматуллин Р.М., Шамсутдинов Э.В. Способы и направления использования энергии солнца в агропромышленном комплексе России // Труды Академэнерго. – 2006. – № 4. – С. 97–114.
7. Кирпичникова И.М., Малогина А.А., Малогин С.А. Использование солнечной энергии в сельском хозяйстве // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2015. – № 2. – С. 76–80.
8. Никитин А.В. Использование энергии солнца и ветра в сельском хозяйстве // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2015. – № 86. – С. 191–200.
9. Возмилов А.Г., Малогин С.А., Малогина А.А. Повышение эффективности солнечной энергии в автономных системах энергоснабжения сельского хозяйства // АПК России. – 2014. – Т. 69. – С. 10–13.
10. Шерязов С.К., Пташкина-Гирина О.С. Особенности использования возобновляемой энергии в сельском хозяйстве // АПК России. – 2013. – Т. 66. – С. 95–101.

References

1. Sibikin Iu.D., Sibikin M.Iu. Netraditsionnye i obnovliaemye istochniki energii [Alternative and renewable energy sources]. Moscow: KNORUS, 2010. 232 p.
2. Konferentsiia po izmeneniiu klimata v Parizhe 2015 goda [2015 United Nations Climate Change Conference], available at: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/cop21/>.
3. Carnevale E., Lombardi L., Zanchi L. Life Cycle Assessment of solar energy systems: Comparison of photovoltaic and water thermal heater at domestic scale. *Energy*, 2014, vol. 77, pp. 434–446.
4. Bierman B., O'Donnell J., Burke R., McCormick M., Lindsay W. Construction of an Enclosed Trough EOR System in South Oman. *Energy Procedia*, 2014, vol. 49, pp. 1756–1765.
5. Hassanien R., Hassanien E., Li M., Dong Lin W. Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, vol. 54, pp. 989–1001.
6. Nazmееv Iu.G., Nigmatullin R.M., Shamsutdinov E.V. Sposoby i napravleniia ispol'zovaniia energii solntsa v agropromyshlennom komplekse Rossii [The methods and uses of solar energy in agriculture of Russia]. *Trudy Akademenergo*, 2006, no. 4, pp. 97–114.
7. Kirpichnikova I.M., Maliugina A.A., Maliugin S.A. Ispol'zovanie solnechnoi energii v sel'skom khoziaistve [The use of solar energy in agriculture]. *Elektrotekhnicheskie komplekсы i sistemy upravleniia*, 2015, no. 2, pp. 76–80.
8. Nikitin A.V. Ispol'zovanie energii solntsa i vetra v sel'skom khoziaistve [Agricultural application of solar and wind energy]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*, 2015, no. 86, pp. 191–200.
9. Vozmilov A.G., Maliugina S.A., Maliugina A.A. Povyslenie effektivnosti solnechnoi energii v avtonomnykh sistemakh energosnabzheniia sel'skogo khoziaistva [The more efficient use of solar energy in independent power supply systems in agriculture]. *APK Rossii*, 2014, vol. 69, pp. 10–13.
10. Sheryazov S.K., Ptashkina-Girina O.S. Osobennosti ispol'zovaniia obnovliaemoi energii v sel'skom khoziaistve [The special characteristics of using renewable energy in agriculture]. *APK Rossii*, 2013, vol. 66, pp. 95–101.