



The author examines interests of main consumers of solar power units and possibility of increase of their competitiveness.

В. К. ПИВОВАРОВ, Л. Е. МОЧЕКИН, ИТМ НАН Беларуси

ОСОБЕННОСТИ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

УДК 669.054:621.315.592

Одним из новых направлений энергетики является широкомасштабное использование энергии Солнца. При этом прямое преобразование солнечной энергии в электрическую производят с помощью солнечных элементов (фотогальванических модулей). Удельная мощность потока солнечной энергии на поверхности Земли не превосходит 1 кВт/м^2 [1], поэтому основной особенностью солнечных энергетических установок является сбор энергии с весьма больших площадей. Это требует создания больших установок. Батарея, способная удовлетворить мировые потребности в энергии, при КПД солнечного элемента не меньше 10% должна занимать площадь приблизительно равную 10^{-6} земной поверхности [2]. Солнце является непостоянным во времени источником энергии, что вынуждает запасать и аккумулировать ее. Затраты на монтаж системотехники, накопление энергии и присоединение к сетям электроснабжения составляют около половины стоимости солнечных энергетических установок [3].

Обзор технологий использования солнечной энергии в промышленно развитых странах выполнил D. Anderson [4]. Солнечные батареи могут использоваться для замены стекла в зданиях и черепицы на крышах. Одной из наиболее перспективных сфер использования солнечной энергии являются системы охлаждения, включающие кондиционирование воздуха и холодильные (рефрижераторные) установки. Солнечными батареями оборудуют автозаправочные станции для освещения и работы топливных насосов [5]. Такие установки применяют для питания насосов водоснабжения. Солнечные электростанции мощностью от 3 до 30 МВт сооружены в Италии, США (Калифорния), Испании и Иордании [6, 7]. В работе [8] рассмотрены возможности и перспективы создания глобальной системы обмена электроэнергией, производимой за счет использования солнечной энергии. G. Eisenbach [9] отмечает, что многие технологии использования солнечной энергии готовы к практическому применению и к коммерческой поставке на рынок в виде товара. Предложены стратегические концепции использования

солнечной энергии. P. Vasore и J. Gee [10] подчеркивают необходимость активизации работы по созданию крупных и выгодных рынков сбыта для расширения производства электроэнергии на основе преобразования солнечной энергии.

Одной из причин роста популярности солнечных установок является ужесточение требований к охране окружающей среды [11]. Например, в Кении лишь 0,5% жилищ в сельской местности подключены к системе электроснабжения [12]. Энергетические потребности страны примерно на 70% удовлетворяются за счет использования древесного топлива, что ведет к быстрому уничтожению лесов.

К 2050 г. по сравнению с 1990 г. спрос на энергию, по оценкам самых разных специалистов [13], может возрасти в 1,5–3,0 раза. Считается [14], что разведанных запасов нефти и газа хватит еще на 50, а угля — на 250 лет. При этом не исключена возможность отказа от использования угля уже в недалекой перспективе, поскольку его сжигание вызывает наибольший выброс в атмосферу CO_2 , влияющего на потепление климата. Ядерная энергетика в перспективе вряд ли получит развитие главным образом из-за проблем захоронения отходов и опасности катастроф. В перспективе все большая роль будет отводиться использованию возобновляемых источников энергии.

Солнечный источник энергии привлекает также своими неограниченными ресурсами. По оценкам Э. Э. Шпильрайна [1], тепло, получаемое Землей от Солнца за год, примерно в 20 тыс. раз превосходит годовое потребление энергии всем человечеством. Солнечная энергия имеется практически в любой точке земного шара. Годовое количество энергии солнечного излучения, достигающего земной поверхности ($\sim 3 \cdot 10^{24}$ Дж), значительно превышает величину энергии, содержащейся во всех известных запасах природного топлива ($4,3 \cdot 10^{22}$ Дж) [2]. В районах с высокой солнечной радиацией (Северная Африка, США) солнечная установка мощностью 1 кВт способна выработать около 2500, а в Европе — 760–1000 кВт·ч электроэнергии в год [15]. Для покрытия потребностей Германии в электричестве за счет солнечной энер-

гии общая площадь фотоэлектрических устройств должна составлять 400 км² [16]. Использование стен и крыш зданий Великобритании для получения электричества может дать 12 ГВт·ч электроэнергии [17]. Этого достаточно для обеспечения всех потребностей страны в дневное время. Эффективное использование солнечных установок в режиме теплоснабжения возможно повсеместно южнее 60° с.ш. [18].

В 1997 г. почти 1 млрд чел. в азиатских странах не имели возможности пользоваться системой электроснабжения [19]. Поиск возможностей децентрализованного энергоснабжения ведется в Китае, Индии, Пакистане. 60% индонезийских хозяйств за пределами острова Ява (23 из 195 млн населения) не имеют электричества. Индонезия, расположенная на 13,7 тыс. островов, делает ставку на солнечную энергию. Предприятия, расположенные на островах, оснащают солнечными батареями и в ЮАР [20].

Основная часть сбыта гелиоэнергетических установок в настоящее время приходится на страны Азиатско-Тихоокеанского региона (рис. 1) [21]. Крупнейшим их потребителем в 1995 г. была Индия — 9 МВт. Общая мощность фотоэлектрических установок Китая в 1996 г. оценивалась в 3—5 МВт. Решить энергетическую проблему на базе использования солнечных батарей намерены африканские страны. Для удовлетворения спроса на электроэнергию темп роста мощностей в Африке должен составить 40 МВт в год.

Использование возобновляемых энергетических ресурсов в ряде стран выдвинуто на уровень государственных приоритетов. Программа энергообеспечения отдаленных районов принята правительством Китая [22]. Ее реализация в течение 1996—2010 гг. позволит обеспечить электроэнергией около 8 млн жителей. Общие мощности ветровых и солнечных установок по проекту составят 400—600 МВт.

Крупнейшим рынком солнечных батарей для фирм из США является Индия, выделившая на гелиоэнергетику 400 млн долл. в период с 1992 по 1997 г. [23]. В Индии разработана программа использования возобновляемых источников энергии. Производство и сбыт солнечных установок при этом субсидируются государством.

В Индонезии планируется с помощью солнечных батарей получить мощность порядка 50 МВт. Это даст возможность снабдить электроэнергией 1 млн человек из расчета 50 Вт на одно хозяйство. Правительство приступило к осуществлению крупнейшей программы по использованию солнечной энергии [19].

Целью программы использования солнечной энергии в Японии является уменьшение загрязнения окружающей среды, развитие социальной инфраструктуры, экономия и снижение стоимости энергии [24]. Стоимость разработок и реализа-

ции программы за 1993—2020 гг. составит 12,4 млрд долл. Программа предусматривает рост японского рынка солнечных энергетических установок для жилых домов от 3 МВт в 1994 г. до 90 МВт в 2000 г. [11]. Установками будут оснащены 62 тыс. жилых домов.

По мнению специалистов Kenya Energy and Environment, улучшить энергоснабжение Кении, особенно сельских районов, наиболее целесообразно путем расширения использования гелиоэнергетических установок [12]. Правительство Кении принимает меры по осуществлению программы электрификации с помощью таких установок.

Над созданием блоков башенных электростанций единичной мощностью 100—200 МВт работает Министерство энергетики США [7].

В целях охраны окружающей среды и климата на планете федеральное правительство Германии в 1999 г. спонсировало в 40 странах более 90 проектов по использованию возобновляемых источников энергии стоимостью 1,2 млрд ДМ [25]. В их числе программа, предусматривающая сооружение солнечных коллекторов на крышах домов для обеспечения отдельных частных хозяйств электроэнергией и экспериментальное опробование солнечных батарей. С февраля 1999 г. в соответствии с программой федерального правительства в Германии идет сооружение на крышах домов 100 тыс. солнечных энергетических установок [6]. С их помощью жители г. Бранденбурга смогут обеспечить себя электроэнергией на 50 %. Ведущее место в Германии в области использования энергии Солнца занимает программа Земли Северный Рейн-Вестфалия. Правительство земли намерено в ближайшие годы инвестировать около 170 млн ДМ в развитие солнечной энергетики.

Цель программы Мирового солнечного комитета на 1996—2005 гг. — стимулировать развитие возобновляемых источников энергии, продемонстрировать на практике их возможности и перспективы, способствовать электрообеспечению в труднодоступных и отдаленных районах, помочь

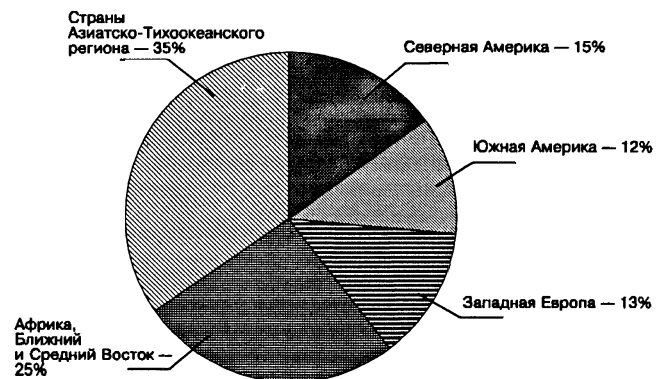


Рис. 1. Крупнейшие потребители гелиоэнергетических установок в 1995 г.

развивающимся странам освоить новейшие технологии в этой области [26]. Для ее формирования представлены проекты по:

- сельской электрификации;
- созданию сети солнечных электростанций Азии и странах Тихоокеанского бассейна;
- опреснению воды в арабских странах;
- энергоэффективным демонстрационным зонам на территориях, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС.

Согласие на финансирование около 300 проектов использования солнечной энергии в Африке дали в 1995 г. Европейский Союз и ЮНЕСКО [27].

Суммарная мощность солнечных установок в мире выросла от 23 МВт в конце 80-х годов до 120 МВт в 1998 г. В 1997 г. объем мирового рынка фотогальванических устройств составил 2 млрд DM [3]. В Индии, Индонезии, ЮАР, Кении используется по 30—60 тыс. солнечных установок. В Израиле подобными установками пользуются 60 % семей. Австралия по масштабам использования фотоэлементов для получения электроэнергии на душу населения вдвое превосходит США.

В 1997 г. резко возросли поставки фотоэлектрических установок для заказчиков из Германии [8]. По данным немецкого объединения гелиоэнергетики (DFS), общая установленная мощность фотоэлектрических установок в Германии достигла к концу 1997 г. 40,3 МВт, а площадь — порядка 350 тыс. м². Суммарная мощность 1100 солнечных установок Швейцарии составляет 9,1 МВт. Швейцария занимает первое место по мощности солнечных энергоустановок на душу населения.

Солнечная техника в настоящее время, по оценкам Н.-Г. Brachham [28], представляет бурно развивающийся рынок. Предполагается, что рынок солнечной техники в будущем будет ежегодно расширяться на 25 %. По состоянию на 1997 г. стоимость электрической и тепловой энергии, производимой на гелиоэнергетических установках во всем мире, по расчетам концерна Royal Dutch/Shell, оценивается в 1 млрд долл/год. Предполагается ежегодный прирост примерно в 14 %. К 2010 г.

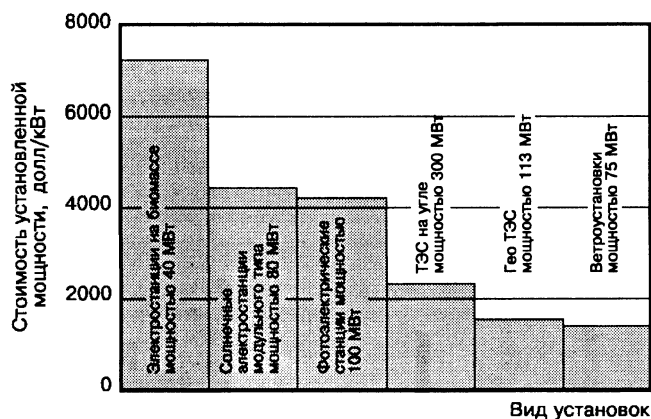


Рис. 2. Удельные затраты на строительство энергетических установок

стоимость энергии, производимой на гелиоэнергетических установках во всем мире, возрастет до 6 млрд долл/год. По прогнозам Министерства торговли и промышленности Великобритании общий потенциал солнечных батарей к 2020 г. достигнет уровня 100—111 ГВт.

Несмотря на огромный потенциал солнечной энергии, за счет возобновляемых источников в настоящее время покрывается примерно 2 % мировых потребностей в первичных энергоресурсах. Суммарная мощность имеющихся в мире установок в 1998 г. в 120 МВт эквивалентна одной газовой турбине [14]. Использование солнечной энергии остается незначительным. Главной причиной этого является очень высокая стоимость установок [1, 24]. Именно затраты делают такие установки неконкурентоспособными по сравнению с установками, работающими на нефти, газе и угле. В Белой книге ООН (1992 г.); посвященной оценке роли возобновляемых источников энергии, определена стоимость установленной мощности энергетического оборудования (рис. 2). Удельные капиталовложения при строительстве солнечной энергостанции мощностью 30 МВт составляют 3,3—3,9 тыс. долл/кВт [7], а установок мощностью 3 кВт для жилых домов в Японии — 16 тыс. долл/кВт [11]. Стоимость выработки 1 кВт электроэнергии солнечными батареями выше, чем из других видов энергии (рис. 3) [29].

Стоимость энергии, получаемой с помощью солнечных установок, быстро уменьшается [10, 14, 15]. В ряде регионов (особенно удаленных от линий электропередач) производство электроэнергии солнечными батареями является рентабельным и конкурентоспособным.

P. Vasore и J.Gee отмечают [10], что стоимость электроэнергии, вырабатываемой фотогальваническими элементами, будет снижаться и в дальнейшем (рис. 4). В тоже время цена электроэнергии от существующих электростанций увеличится главным образом по экологическим причинам. Это означает, что уже к 2010 г. установки на основе солнечных преобразователей станут конкурентоспособными.

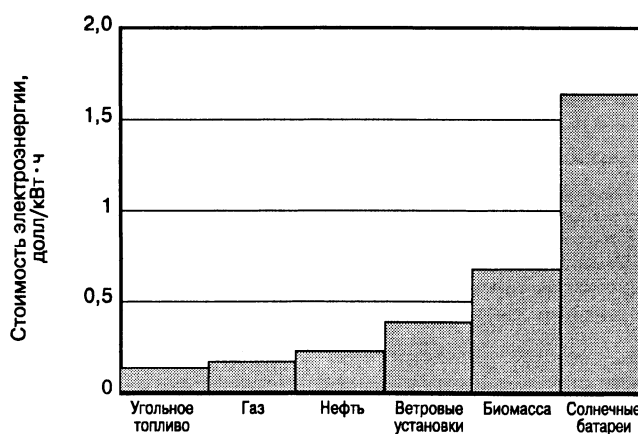


Рис. 3. Зависимость стоимости выработки электрической энергии в США от вида первичной энергии

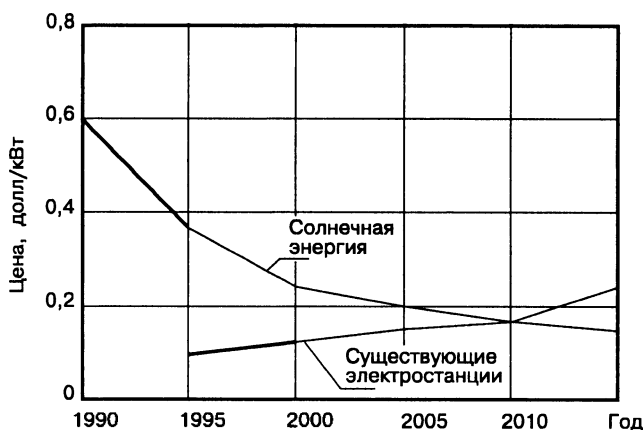


Рис. 4. Изменение цены электроэнергии для потребителей в США: — существующее значение; - - - прогноз

Наиболее широкое применение солнечные энергетические установки получили после разработки новых кремниевых батарей [29]. Whitmore [30] к наиболее перспективным относит солнечные батареи на основе аморфного кремния (α -Si). Толщина основного слоя кремния составляет всего 1 мкм, а технология производства таких батарей сравнительно простая и не дорогая.

Расширение использования фотоэлектрических установок обеспечат интенсивные исследовательские работы и разработки [31]. Определены [20] технические и технологические задачи, решение которых необходимо для снижения стоимости электроэнергии от солнечных батарей.

Таким образом, при оценке перспективности применения солнечных элементов выявлено, что наиболее популярными являются установки для питания сравнительно небольших потребителей (жилых домов, систем охлаждения, сигнализации и освещения, телекоммуникационного оборудования, автозаправочных станций, насосов для водоснабжения), которые не подключены к общей электрической сети. Вместе с тем разрабатываются блоки башенных энергоустановок единичной мощностью 50—200 МВт и изучаются возможности создания глобальной системы обмена производимой ими электроэнергией.

Основными причинами повышенного интереса к солнечным энергетическим установкам являются необходимость предотвращения парникового эффекта в глобальном масштабе за счет снижения эмиссии CO_2 и других вредных веществ в атмосферу, ограниченность ископаемых топливных ресурсов и трудности с энергоснабжением в отдаленных и малодоступных районах. Солнечная энергия экологически чистая и имеется практически в любой точке земного шара. Она привлекает своими неограниченными ресурсами. Эффективное использование солнечных установок возможно повсеместно южнее 60° с.ш. Для покрытия потребностей Германии в электроэнергии достаточно общей площади фотоэлектрических устройств 400 км^2 .

Проведенный обзор результатов свидетельствует о том, что в будущем рынок солнечных батарей

будет ежегодно расширяться на 25%. Снижение стоимости батарей возможно за счет разработки новых технологий их изготовления.

Литература

1. Шпильрайн Э. Э. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии // Энергия: Экономика, техника, экология. 1997. № 5. С. 6—14.
2. Актуальные проблемы материаловедения / Под ред. Э. Калдиса. М.: Мир, 1982.
3. Deutsche Firmen gut im Rennen // Energ. Spektrum. 1998. Vol. 13, N 5. P. 10.
4. Renewable energy technology and policy for development / Anderson D. // Annu. Rev. Energy and Environ. Vol. 22. Palo Alto (Calif.), 1997. P. 187—215.
5. Sun powers petrol pumps // Eur. Power News. 1999. Vol. 24, N 5. P. 33.
6. Solarstrom zum halben Preis // HLH: Heizung, Luftung / Klima, Haustechn. 1999. Vol. 50, N 3. P. 12.
7. Centrales solares para la generacion de electricidad e hidrogeno / Grasse W. // Dyna. 1991. Vol. 66, N 1. P. 59—68.
8. Absatz von Solarstromanlagen 1997 destiegen // TAB: Techn. Bau. 1998. N 8. C. 26.
9. Basis für Nachhaltigkeit: Regenerative Energien / Eisenbach G. u.a. // BWK: Brenst. —Warme.—Kraft. 1999. Vol. 51, N 5—6. P. 40—45.
10. Crystalline-silicon photovoltaics: Necessary and sufficient / Basore P. A., Gee J. M. // Conf. Rec. 24 th IEEE = Photovolt. Spec. Conf. 1994. P. 2254—2257.
11. Использование солнечных энергетических установок в Японии // Коринф. 1994. № 44. С. 19—20.
12. Solar energy is increasingly emerging as the answer to Kenya's shortfall in energy requirements / Kiyotho W. // Afr. Rev. Bus. and Technol. 1995. Vol. 31, N 9. P. 50.
13. Globale energie — szenarien / Schiffer H.-W.//BWK: Brest.—Warme—Kraft. 1999. Vol. 51, N 1—2. P. 10—16.
14. The road to renewables energy technologies for the post — Kyoto. World / Eliasson B. // WEC Journal. 1998. July. P. 38—42.
15. "Towards a greener tomorrow". The future for solar electricity / Hartford J. // WEC Journal. 1998. July. P. 45—49.
16. Electricite solare: du laboratoire a l'usine/Bondnelle A. / Sci. et technol. 1990. N 23. P. 46—49.
17. Erneubare Energiequellen // Nachr. Aussenhand. 1995. Vol. 58, N 21. P. 7.
18. Семкин Б. В. и др. Использование возобновляемых энергоресурсов в малой энергетике // Теплоэнергетика. 1996. № 2. С. 6—7.
19. Regenerativer boom in Asien//Energ. Spektrum. 1997. Vol. 12, N 12. P. 6.
20. Sonne als langfristige Energiequelle in VAE/Czotscher E. // Nachr. Aussenhand. 1996. Vol. 59, N 182. P. 6.
21. Die weltweite Marktentwicklung der Photovoltaik / Mertens K., Kluttig H. // Sonnenerg. und Warmetechn. 1997. N 1. P. 26—30.
22. China launches brightness project: // Petrol. Times Energy Rept. 1997. Vol. 17, N 12. P 8.
23. Тарнижевский Б. В. и др. // Энергия: Экономика, техника, экология. 1998. № 10. С. 2—6.
24. Новая программа геолоэнегетики в Японии / Накамура Контиро // Denki Kyokai Zasshi = J. Jap. Elec. Assoc. 1993. N 831. P. 26—32.
25. Bonn sponsiert sogar Solarkocher fur Sudafrica // Brennstoffspiegel. 1999. N 8. P. 2.
26. Берковский Б. М., Михалевич А. А. Состояние и перспективы использования возобновляемых источников энергии // Атом. энергия 1996. Vol. 81, № 2. С. 83—143.
27. Für Solarenergie braucht Afrika viel Geld // Nachr. Aussenhand. 1996. Vol. 59, N 197. P. 7.
28. Alles eiten Sonnenschein? / Brochham H.-G. // IKZ-Haustechn. 1998. N 3. P. 41—43.
29. Reality check on renewables // ECoal. 1999. Vol. 29. P. 4—5.
30. Photovoltaic cells: Can amorphous silicon lead to the effective use of the solar energy? / Whitmore // Calif. Eng. 1997. Vol. 76, N 2. P. 17—19.
31. Möglichkeiten des Einsatzes von Solarenergie in der Zuckerindustrie / Nganongo C., Dörheit P. // Zuckerindustrie. 1998. Vol. 123, N 2. P. 101—108.