

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ  
ДЛЯ ПИТАНИЯ БЫТОВЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

**Канд. техн. наук, доц. ПЕТРЕНКО Ю. Н., асп. ТРЕЩ А. М.**

*Белорусский национальный технический университет*

Задача удовлетворения потребностей населения, промышленности и сельского хозяйства в электрической и тепловой энергии, особенно в регионах, удаленных от централизованных энергосетей, а также вопросы устойчивого развития и снижения негативного воздействия энергетики на окружающую среду диктуют необходимость развития возобновляемой энергетики. |

Уже сейчас в ряде государств имеются национальные программы развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Наибольшее внимание уделяется трем из них – ветровой энергии, солнечной энергии и энергии биомассы.

Известным недостатком первых двух источников энергии, ограничивающим их широкое практическое применение, является невысокая плотность энергетических потоков и их непостоянство во времени и как следствие – необходимость значительных затрат на оборудование, обеспечивающее сбор, аккумулирование и преобразование энергии. В силу географического положения и климатических особенностей использование энергии Солнца в качестве энергоснабжения наиболее перспективно для стран Северной Африки и Ближнего Востока.

Актуальность применения ВИЭ (энергии Солнца) в качестве энергоснабжения рассмотрена на примере Ливии. В данном регионе в силу географического положения насчитывается большое количество разрозненных поселений, расположенных далеко от развитой сети централизованного энергоснабжения. По экономическим причинам (небольшая численность населения), а также по причине потребности в небольшом количестве энергии эти районы не могут быть подключены к сети. Для них создание автономного энергообеспечения путем применения нетрадиционных источников могло бы стать решением проблемы.

**Особенности солнечного излучения.** Солнечная энергетика занимает особое место среди ВИЭ, так как Солнце в списке возможных энергетических источников находится на одной из первых позиций: интегральный поток солнечного излучения, входящего в атмосферу Земли, составляет около  $2 \cdot 10^{17}$  Вт, в то время как суммарная установленная мощность всех электростанций мира не превышает  $3 \cdot 10^{12}$  Вт.

Источником энергии солнечного излучения служит термоядерная реакция [1, 2]



возможная благодаря огромному давлению, под которым находится водород внутри Солнца. Проходя через атмосферу, солнечное излучение ослабляется, частично пронизывает атмосферу прямыми лучами и достигает земной поверхности в виде прямого и рассеянного излучений. На уровне поверхности Земли солнечная постоянная не превышает  $1000 \text{ Вт/м}^2$ . Прямое и рассеянное излучения ведут себя по-разному: прямыми лучами можно управлять, применяя соответствующие оптические системы, рассеянное излучение не поддается концентрации и управлению [3]. В средних широтах поток солнечной энергии на поверхности Земли варьируется в течение дня от восхода (заката) до полудня от  $32,88$  до  $1233 \text{ Вт/м}^2$  в ясный день и от  $19,2 \text{ мкВт/м}^2$  до  $822 \text{ Вт/м}^2$  – в пасмурный [2].

В качестве единого стандарта для измерения параметров СЭ, по рекомендации Комиссии Европейского сообщества и Международной электротехнической комиссии при ООН, было принято условие использования значения атмосферной массы АМ 1,5 при угле  $\vartheta = 41,81^\circ$  (нормальное атмосферное давление) [4]. Для нее плотность потока солнечного излучения берется равной  $835 \text{ Вт/м}^2$ , что примерно совпадает со средней интенсивностью излучения на Земле. Впоследствии было принято дополнительное решение, позволяющее проводить измерения параметров СЭ при спектре

излучения, соответствующем АМ 1,5, и интегральной плотности потока излучения  $1000 \text{ Вт/м}^2$  [5, 6].

Спектр АМ 0 определяет работу солнечных батарей на космических аппаратах. Спектр АМ 1 соответствует солнечному излучению на поверхности Земли, когда Солнце стоит в зените; при этом полная мощность излучения составляет  $\sim 925 \text{ Вт/м}^2$ . Спектр АМ 2 реализуется при угле  $\vartheta = 30^\circ$  (нормальное атмосферное давление): в этом случае полная мощность излучения равна  $691 \text{ Вт/м}^2$  [7].

**Перспективы использования солнечной энергии.** Эффективность практического использования солнечной энергии во многом зависит от того, насколько точно при проектных разработках были учтены закономерности и конкретные данные о приходе солнечной радиации в место предполагаемой эксплуатации установок. Создание минимальных по стоимости и конкурентоспособных солнечных установок, эффективно удовлетворяющих потребности пользователя, связано с обоснованием оптимальной площади солнечных приемников, установленной мощности, типа и емкости аккумуляторов энергии. Из-за относительно малых плотностей энергетических потоков солнечного излучения у поверхности Земли площадь приемников этих первичных источников энергии может быть велика, и приемники могут вносить в стоимость всей установки определяющий вклад.

Нестабильность (суточная, сезонная, погодная) поступления первичной энергии обуславливает необходимость снабжения установок аккумуляторами энергии, выбор емкости которых оказывает влияние как на необходимый для работы установки размер приемников, так и на мощность резервного источника энергии, а, следовательно, и на технико-экономические показатели установки в целом.

В общем случае информация о потоках солнечной радиации и суммарной падающей энергии может быть получена следующими способами:

- аналитическим, когда необходимые параметры для конкретной географической точки определяются расчетным путем;
- непосредственными (обычно непродолжительными) измерениями на месте;
- многолетними измерениями по единой методике на метеостанциях, результаты которых аккумулированы в климатических справочниках и базах данных.

Основным источником исходной актинометрической информации являются климатические справочники и базы данных, создаваемые специализированными организациями на основе обработки результатов многолетних метеорологических наблюдений на метеостанциях.

Рассмотрим эффективность использования энергии Солнца на примере стран Северной Африки, в частности Ливии. Ливийская Республика – государство в Северной Африке на побережье Средиземного моря. Площадь территории Ливии составляет  $1,76 \text{ млн км}^2$ , население –  $6,6 \text{ млн чел.}$ , плотность населения –  $3,2 \text{ чел. на } 1,0 \text{ км}^2$ . Около 90 % территории страны составляют пустыни.

На перспективы развития энергетики Ливии влияют в основном факторы собственной обеспеченности энергоресурсами. Но расширение использования нефти усугубляет экологические проблемы, а политические события последних лет показывают, что нефтяные месторождения не могут являться гарантией надежного энергоснабжения и ориентация только на них ставит под угрозу безопасность страны.

Учитывая географическое положение и климатические условия Ливии (рис. 1, 2), потребление энергоресурсов может быть обеспечено широким использованием экологически чистых ВИЭ, в частности энергии Солнца: солнечная радиация в Триполи достигает 8,5 кВт на 1 м<sup>2</sup> в день при 3000–3500 солнечных часов в году.

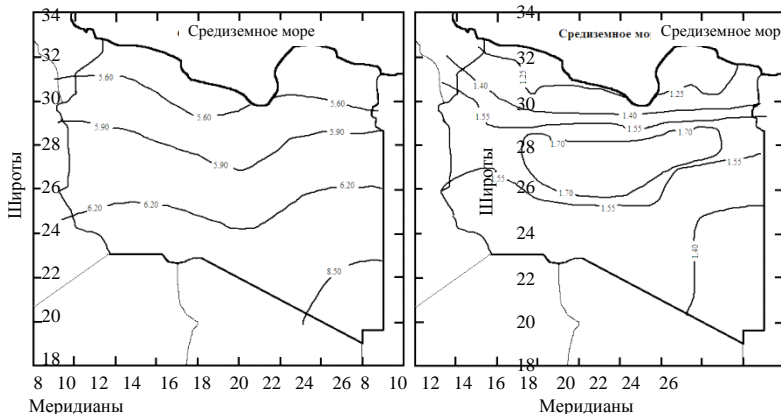


Рис. 1. Распределение средней суммарной солнечной радиации на горизонтальную поверхность на территории Ливии (кВт · ч/м<sup>2</sup>) в течение года

Рис. 2. Распределение средней рассеянной солнечной радиации на территории Ливии (кВт · ч/м<sup>2</sup>) в течение года

Затруднения в развитии солнечной энергетики связаны с тем, что наиболее пригодные для ее развития районы расположены далеко от источников воды, а районы, прилегающие к источникам воды, на которых сосредоточена большая часть населения, в свою очередь, не отличаются такими благоприятными условиями для производства солнечной энергии.

Проблема практического применения солнечной энергии содержит два основных аспекта: преобразование ее в электроэнергию и теплоту. В свою очередь, солнечная электроэнергетика подразделяется по виду применения на сетевую и автономную. К сетевой относятся солнечные электростанции (СЭС), входящие в энергосистемы, т. е. существующие в современной электроэнергетике системы централизованного производства, транспортирования и распределения электроэнергии. В этом случае при небольшом удельном весе (по мощности) солнечных электростанций среди традиционных генерирующих мощностей в энергосистеме не требуется наличия на СЭС значительных аккумулирующих устройств, так как колебания мощности СЭС демпфируются энергосистемой.

К автономным относятся солнечные энергоустановки, обеспечивающие энергией отдельных потребителей, как связанных, так и не связанных с системой централизованного энергоснабжения. В первом случае также не требуется значительных аккумулирующих устройств, поскольку недостаток энергии от солнечной установки восполняется от централизованной сети, а избыток направляется в сеть.

По используемому принципу преобразования солнечной энергии солнечные энергоустановки делятся на фотоэлектрические, реализующие метод прямого (безмашинного) преобразования солнечной энергии в электрическую, и термодинамические, в которых лучистая энергия преобразуется сначала в теплоту, которая в термодинамическом цикле тепловой

машины в свою очередь преобразуется в механическую энергию, а затем в генераторе – в электрическую.

Для решения указанных задач используются различные схемные решения, одно из которых приведено на рис. 3. Оно является основой для построения разнообразных вариантов (например, отсутствие сети переменного тока, нецелесообразность установки ветрогенератора).

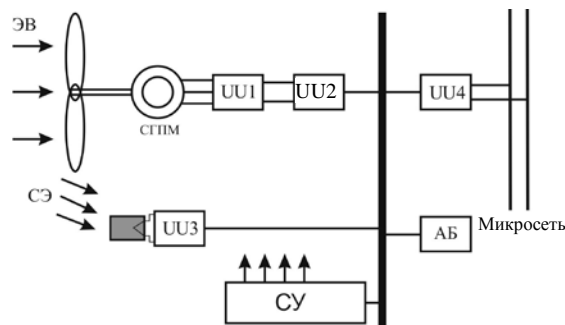


Рис. 3. Схема интегрированной установки на основе солнечных батарей:

ЭВ – энергия ветра; СГПМ – синхронный генератор с постоянными магнитами;  
 СЭ – солнечная энергия; АБ – аккумуляторная батарея; СУ – система управления;  
 UU1 – выпрямитель; UU2, UU3 – преобразователи постоянного напряжения в постоянное  
 иного уровня; UU4 – автономный инвертор напряжения

Задачами системы управления (рис. 3) являются:

- обеспечение максимального эффективного использования возобновляемого энергоресурса;
- согласование вырабатываемой и потребляемой электроэнергии, что в большинстве случаев требует включения в энергосистему накопителей энергии;
- управление режимами работы преобразователей энергии, регулирование параметров генерируемой электроэнергии.

Для автономных солнечных энергоустановок малой мощности (от сотен ватт до десятков киловатт) предпочтительны фотоэлектрические станции (ФЭС) в силу своей конструктивной простоты, что делает их более удобными в эксплуатации.

По названным причинам наиболее быстрый рост наблюдается в области ФЭС. Кроме того, пристальное внимание уделяется развитию автономных ФЭС для определенных категорий потребителей, для которых подключение к энергосистеме нецелесообразно по экономическим соображениям. Сказанное относится в первую очередь к таким потребителям, как станции катодной защиты трубопроводов (СКЗ), станции питания сетей мобильной связи (СМС) и удаленные потребители сельскохозяйственного назначения (УСХ).

#### **Фотоэлектрические станции питания пунктов мобильной связи.**

Ливийская микроволновая сеть связи состоит более чем из 500 станций-ретрансляторов. Только девять удаленных станций были запитаны от фотоэлектрических систем до конца 1997 г. с общей пиковой мощностью 10,5 кВт. Девять станций были оснащены фотоэлектрическими системами в начале 1980 г., четыре из них еще работают, за 26 лет эксплуатации аккумуляторные батареи (открытого типа) были заменены три раза, их средний срок службы составляет 8 лет. Это показывает технический и экономический успех ФЭС, которые заменили собой все дизельные генераторы

в Ливийских СМС. Общее число ФЭС в области связи в настоящее время превышает 80 единиц суммарной установленной мощностью к концу 2005 г. около 420 кВт. Количество установленных фотоэлектрических систем в сетях связи в период 1980–2005 гг. показано на рис. 4.

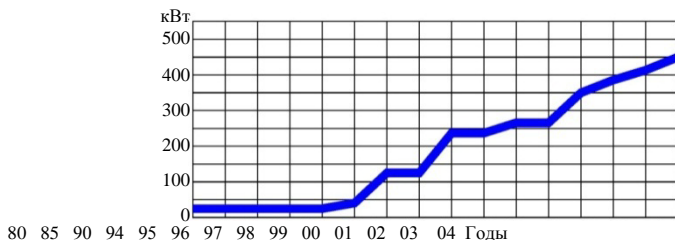


Рис. 4. Развитие установленной мощности фотоэлектрических систем в сетях мобильной связи в период 1980–2005 гг.

### Использование фотоэлектрических станций в катодной защите.

В стране имеется широкая сеть трубопроводов. Стоимость одного киловатт-часа с ежедневной нагрузкой 15 кВт·ч для станций катодной защиты составляет 1,4 дол. на потребителя, который находится в 5 км от электросети мощностью 11 кВ [8]. В другом исследовании [9, 10] было установлено, что ФЭС являются выгодным решением на расстоянии более 1,2 км от сети 11,0 кВ.

Сравнение затрат на поставку энергии на станции катодной защиты показано на рис. 5. Станции катодной защиты, как правило, находятся далеко от электросетей, поэтому при нагрузке 15 кВт·ч/день и удалении потребителей более чем на 2 км экономически целесообразно использовать ФЭС.

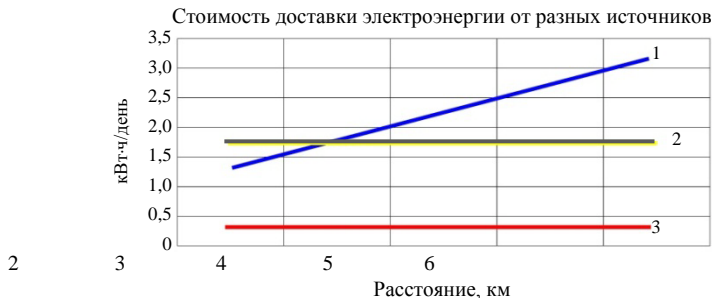


Рис. 5. Стоимость киловатт-часа в зависимости от расстояния: 1 – сеть электропитания; 2 – дизель-генераторы; 3 – солнечная энергия

**Фотоэлектрические станции в сельской электрификации.** В большинстве стран мира проблема, стоящая перед электрификацией удаленных мест проживания населения или регионов, далеко находящихся от электрических сетей, – финансовая. Очень затратно расширять высоковольтные линии через пустыню, чтобы передать электроэнергию для нескольких сотен жителей. Во многих странах с малым населением электроэнергия доступна только в городах, а электрическая сеть для питания своих сельских районов отсутствует. Ливийский национальный план по электрификации сельских районов состоит из электрификации отдельных домов, деревень и установок водонасосного оборудования. Поставка ФЭС для десяти деревень была проведена в качестве проекта по электрификации отдаленных районов. Центром солнечно-энергетических исследований (CSE) и Цент-

ром Сахары установлено 380 систем для отдельных домов, 30 – для полицейских участков и 100 – для уличного освещения.

Установка фотоэлектрических систем началась в середине 2003 г. Общее количество систем, установленных Ливийским отделением компании General Electric (GECOL), – 340 общей мощностью 220 кВт·ч, а также установленных CSE и Центром Сахары – 150 общей мощностью 125 кВт·ч. Потребители – 380 систем для отдельных домов.

## ВЫВОДЫ

1. Перспективность использования солнечных батарей и автономных энергоустановок на их основе не вызывает сомнений. Как показывают современные тенденции развития этого направления, широкое внедрение в жизнь солнечной энергетики связано не с уровнем разработки данной проблемы, а в первую очередь с экономической целесообразностью для каждого класса потребителей.

2. Исходя из климатических условий, плотности населения и удаленности потребителей от источников общего электроснабжения, в Ливии наиболее актуально использование автономных фотоэлектрических станций.

3. В соответствии с Дорожной картой по развитию возобновляемых источников энергии до 2030 г., одобренной Министерством электричества и энергии Ливии, возобновляемые источники энергии должны покрывать до 25 % энергопотребления страны к 2025-му и до 30 % – к 2030 г. В среднесрочной перспективе: 6 % – к 2015-му и 10 % – к 2020 г.

## ЛИТЕРАТУРА

1. M i n t s, P. PV – the story so far how is the PV industry progressing in its bid to be considered mainstream / P. Mints // Refocus. – 2006. – Vol. 7, № 6. – P. 34–36.

2. К о л т у н, М. М. Оптика и метрология солнечных элементов / М. М. Колтун. – М.: Наука, 1984. – 280 с.

3. Т а р н и ж е в с к и й, Б. В. Определение показателей работы солнечных установок в зависимости от характера радиационного режима / Б. В. Тарнижевский // Теплоэнергетика. – 1960. – Вып. 2. – С. 18–26.

4. B r a n d h o r s t, H. M. Terrestrial solar cell calibration and measurement procedures / H. M. Brandhorst // Proceedings of the Inter. Photovoltaic Solar Energy Conf., Luxemburg, 26–29 May 1977 / Reidel Publ. Co.: Dordrecht-Boston, 1978. – P. 745–753.

5. Terrestrial Photovoltaic Measurement Procedures, Technical Memorandum 73702, NASA, Cleveland, Ohio, 1977. 2. Sims, R.E.H. Renewable energy: a response to climate change / R.E.H. Sims // Solar Energy. – 2004. – Vol. 76. – P. 9–17.

6. Г р е м е н о к, В. Ф. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов / В. Ф. Гременок, М. С. Тиванов, В. Б. Залесский. – Минск: Изд. центр БГУ, 2007. – 222 с.

7. Л у к у т и н, Б. В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении / Б. В. Лукутин, О. А. Суржикова, Е. Б. Шандарова. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с.

8. Т р е щ, А. М. Исследование характеристик солнечных батарей / А. М. Трещ // Современные информационные технологии в системе научного и учебного эксперимента: опыт, проблемы, перспективы: материалы Респ. науч.-практ. конф., г. Гродно, 4–5 апреля 2011 г. – С. 45–47.

9. Т р е щ, А. М. Интегрированная система электрообеспечения автономных объектов на основе возобновляемых источников энергии / А. М. Трещ // Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье: тез. докл. XIX Междунар. науч.-практ. конф., Харьков, 1–3 июня 2011 г. – С. 82.

10. Т р е щ, А. М. Интегрированная система электрообеспечения автономных пользователей / А. М. Трещ // Наука – образованию, производству, экономике: сб. науч. ст. материалов девятой Междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2011. – С. 241–242.

Поступила 12.12.2012