

УДК 620 (075.8)

UDC 620 (075.8)

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

SOLAR POWER: CONDITION AND PROSPECTS

Усков Антон Евгеньевич
старший преподаватель, 9184349285@mail.ru

Uskov Anton Evgenevich
senior lecturer, 9184349285@mail.ru

Гиркин Артём Сергеевич
студент, bleachyda@mail.ru

Girkin Artem Sergeevich
student, bleachyda@mail.ru

Дауров Адам Вячеславович
студент
Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

Daurov Adam Viacheslavovich
student
Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

В статье рассматриваются основные недостатки и характеристики солнечных электростанций, особенности их конструкции, работы и перспективы

In article the basic lacks and characteristics of solar power stations, features of their design, work and prospect are considered

Ключевые слова: СОЛНЕЧНАЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ, СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ, ПОТЕНЦИАЛ

Keywords: SYSTEM OF INDEPENDENT ELECTROSUPPLY, SOLAR ENERGY, POTENTIAL

Многочисленные исследования подтверждают тот факт, что при существующих темпах научно-технического прогресса к 2020 г. органическое топливо (нефть, газ, уголь и торф) не сможет в полном объеме удовлетворять потребности мировой энергетики. Поэтому традиционные системы электроснабжения, в том числе автономного, работающие на традиционном топливе, как бы они не развивались технически, но они обречены на бесперспективность в будущем [1, 2].

Одним из перспективных направлений решения проблемы энергообеспечения потребителей является разработка и внедрение возобновляемых источников электроэнергии (ВИЭ). По прогнозам, их доля в мировом потреблении в 2020 г составит около 24%, а уже в 2040 г. – около 50% [3].

Как известно, Солнце является источником жизни планеты Земля. Одной из важных характеристик солнечного излучения является продолжительность солнечного сияния.

Атмосфера (озон, водяной пар и двуокись углерода) поглощает (абсорбирует) солнечное излучение определённых дли волн. Существенное

ослабление (уменьшение) в большей части ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра является результатом поглощения и обуславливает процесс экологического влияния на климат Земли.

Поверхность, перпендикулярная к падающему прямому солнечному излучению, как правило, имеет наивысшее значение интенсивности излучения. Поскольку расстояние от Земли до Солнца изменяется в течение года в пределах *150 млн. км*, то величина солнечного излучения также изменяется в пределах от *1325* до *1420 Вт/м²* [3].

Солнечные лучи, которые достигают поверхности Земли, подразделяют на два вида: прямые и рассеянные. Прямые солнечные лучи – это те, которые берут начало у поверхности Солнца и достигают поверхности Земли. Мощность прямого солнечного излучения зависит от чистоты (ясности) атмосферы, высоты солнца над линией горизонта (зависит от географической широты и времени дня), а так же от положения поверхности по отношению к Солнцу. Рассеянные солнечные лучи поступают из верхних слоев атмосферы и зависят от того, каким образом прямые солнечные лучи отражаются от Земли и окружающей среды. Благодаря повторяющемуся процессу отражения между покрытой снегом поверхностью Земли и нижней стороной облаков мощность рассеянного солнечного излучения может достигать больших значений.

Солнечные лучи несут с собой неиссякаемый поток энергии. Они постоянно доставляют на Землю большее количество энергии, чем нам сегодня необходимо. Годовое количество поступающей на Землю солнечной энергии составляет *10¹⁸ кВт ч*, при этом, на поверхность суши приходится около *20%* этой энергии.

Солнечная энергия, достигшая поверхности Земли, несет с собой тепло, испаряет воду, образует ветер и движение воды в морях и океанах, дает жизнь растениям.

Хотя солнечная энергия и бесплатна, получение электричества из нее не всегда достаточно дешево. Поэтому специалисты непрерывно стремятся усовершенствовать солнечные элементы и сделать их эффективнее.

Солнечное излучение преобразуется в электрическую энергию постоянного тока фотоэлементами. Большинство фотоэлементов представляют собой кремниевые полупроводниковые фотодиоды. Энергетические характеристики фотоэлементов в основном определяются следующими параметрами: интенсивностью солнечного излучения, величиной нагрузки, рабочей температурой.

Основными недостатками солнечных фотоэлектрических станций являются (СФЭС):

- высокая стоимость фотоэлементов, преобразующих солнечную радиацию в электроэнергию постоянного тока;
- применение инверторов, осуществляющих преобразование электроэнергии постоянного тока в электроэнергию переменного тока, понижают их КПД;
- наличие аккумуляторных батарей, применяющих в качестве резервных источников, и обеспечивающих бесперебойное электроснабжение потребителей, значительно повышает стоимость солнечной электростанции.

Эти недостатки приводят к тому, что в настоящее время стоимость электроэнергии, вырабатываемую с помощью СФЭС, превышает в несколько раз стоимость электроэнергии, вырабатываемую от традиционных источников электроэнергии.

Поскольку удельная стоимость солнечной электростанции не зависит от ее размеров и мощности, в ряде случаев целесообразно модульное размещение СФЭС на крыше сельского дома, коттеджа, фермы. Собственник СФЭС будет продавать электроэнергию энергосистеме в дневное время, и покупать ее у энергетической компании по другому счетчику в ночные ча-

сы. Преимуществом такого использования, помимо политики поощрения малых и независимых производителей энергии, является экономия на опорных конструкциях и площади земли, а также совмещение функции крыши и источника энергии.

Учитывая, что 1 кг кремния в солнечном элементе вырабатывает за 30 лет 300 MВт ч электроэнергии, легко подсчитать нефтяной эквивалент кремния. Прямой пересчет электроэнергии 300 MВт ч с учетом теплоты сгорания нефти $43,7 \text{ МДж/кг}$ даёт 25 т нефти на 1 кг кремния. Если принять КПД тепловых электростанций, работающей на мазуте, 33% , то 1 кг кремния по вырабатываемой электроэнергии эквивалентен примерно 75 тоннам нефти [3].

В связи с высокой надежностью срок службы СФЭС по основной компоненте – кремнию и солнечным элементам может быть увеличен до $50 - 100$ лет. Для этого потребуется исключить из технологии герметизации полимерные материалы. Единственным ограничением может явиться необходимость их замены на более эффективные. КПД $25 - 30\%$ будет достигнут в производстве в ближайшие 10 лет. В случае замены солнечных элементов кремний может быть использован повторно и количество циклов его использования не имеет ограничений во времени [3].

Солнце каждую секунду дает Земле более 80 тысяч миллиардов киловатт энергии, а это в несколько тысяч раз больше, чем все электростанции мира. Ресурс (потенциал) солнечной энергетики оценивается тремя составляющими: валовым, техническим и экономическим ресурсами.

Валовый (теоретический) ресурс солнечной энергетики на территории России превышает ресурс ветровой энергетики почти в $2,5$ раза, а малой гидроэнергетики более чем в 5000 раз.

Вследствие отсутствия многочисленных требуемых исходных данных для расчёта технического и экономического потенциала солнечной энергии, учёные принимают ряд допущений. Поэтому, результаты опреде-

ления технического и экономического потенциала солнечной энергии следует квалифицировать как экспертную оценку, так как она является единственным методом, который используется в настоящее время.

Технический ресурс солнечной энергетики при производстве электроэнергии находится умножением валового потенциала на $0,001$ (принимаемая доля площади) и на $0,15$ (КПД фотоэлектрических солнечных модулей) и переводится в размерность t у.т. из расчёта $0,34$ кг у.т./кВт ч.

Экономический ресурс солнечной энергетики при производстве электроэнергии находится умножением годового потребления электроэнергии на $0,05\%$ и переводится в размерность t у.т. умножением на коэффициент $0,34$ кг у.т./кВт ч.

Экономический ресурс солнечной энергетики в сравнении с другими возобновляемыми источниками энергии куда более скромнен. Так, он более чем в $3,5$ раза меньше ветровой энергетики и примерно в 23 раза меньше малой гидроэнергетики.

Однако темпы развития солнечной энергетики предполагают в ближайшее время значительное улучшение её экономического потенциала, исходя из достигнутого уровня техники и современных экономических и хозяйственных условий.

В настоящее время метод фотоэлектрического преобразования в мире стал одним из приоритетных направлений получения солнечной электроэнергии. Это обусловлено тем, что он обеспечивает:

- максимальную экологическую чистоту преобразования энергии;
- возможность получения энергии практически в любом районе;
- значительный срок службы;
- малые затраты на обслуживание;
- независимость эффективности преобразования солнечной энергии от установленной мощности.

Прямое преобразование солнечного излучения в электрическую энергию осуществляют солнечные фотоэлектрические элементы (батареи, установки). Наибольшее распространение получили солнечные фотоэлектрические установки (СФЭУ) на основе кремния трёх видов: монокристаллического, поликристаллического и аморфного. В промышленном производстве находятся СФЭУ со следующим КПД:

- 1) монокристаллический: 15 – 16% (до 24% на опытных образцах);
- 2) поликристаллический: 12 – 13 % (до 16% на опытных образцах);
- 3) аморфный: 8 – 10% (до 14% на опытных образцах).

Все эти данные соответствуют так называемым однослойным элементам. В настоящее время исследуются двух- и трёхслойные фотоэлементы, которые позволяют исследовать большую часть солнечного спектра по длине волны солнечного излучения. Для двухслойного фотоэлемента на опытных образцах получен КПД 30%, а трёхслойного до 40%.

В последние годы появился перспективный конкурент для кремния в СФЭУ – арсенид галлия. Установки на его основе даже в однослойном исполнении имеют КПД до 30% при гораздо более слабой зависимости его КПД от температуры, поскольку во время работы СФЭУ поверхности их сильно нагреваются, что приводит к снижению энергетических показателей установки. Для охлаждения таких установок применяется вода.

Важным обстоятельством является тот факт, СФЭУ отличаются относительной простотой конструкции, низкой металлоёмкостью, могут работать с одинаковой эффективностью в любом диапазоне мощности и на любой географической широте. Трудности в практической реализации строительства СФЭУ обусловлены прежде всего высокой стоимостью фотопреобразователей (10 – 12 тыс. руб/кВт).

Конструктивно СФЭУ содержит (рисунок 1):

- солнечные батареи (СБ), содержащие фотоэлементы;

- инвертор (И), выполненный на полупроводниковых приборах, как правило, в своей конструкции, содержащий трансформатор;
- аккумуляторные батареи (АБ);
- систему управления и защиты (СУЗ).

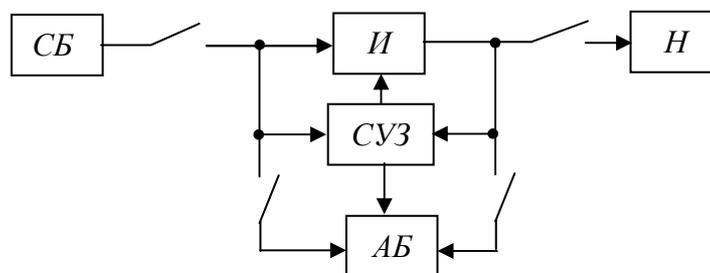


Рисунок 1 – Структурная схема СФЭУ с подключённой нагрузкой *Н*

Солнечные батареи *СБ* преобразуют энергию солнечного излучения в электрическую энергию постоянного тока. Инвертор преобразует напряжение постоянного тока в напряжение переменного тока, а его трансформатор осуществляет согласование напряжения солнечных батарей *СБ* с напряжением нагрузки *Н*. Аккумуляторные батареи являются резервным источником питания. Система управления и защиты *СУЗ* обеспечивает стабилизацию напряжения, переход питания нагрузки от резервного источника и защиту устройства от аварийных режимов работы.

В настоящее время известны новые технические решения инверторов, выполненных с использованием трансформаторов с вращающимся магнитным полем и промежуточного высокочастотного преобразования, что позволит значительно улучшить их эксплуатационно-технические характеристики [4, 5, 6].

Особенностью работы является то, что ток СФЭУ можно увеличить с помощью параллельного включения солнечных батарей (рисунок 2, *а*). Солнечные батареи должны иметь одинаковое количество элементов, обеспечивающих одинаковое напряжение. Вследствие разной освещённости солнечных элементов, показанных на рисунке 2, *а*, генерируемые ими

напряжения будут немного отличаться друг от друга. Поэтому эффективно будет работать только один солнечный элемент. При включении солнечных элементов по схеме, показанной на рисунке 2, б, напряжения, генерируемые ими, более равномерно распределяются по солнечной батарее. Вследствие этого частичное затенение элементов не принесёт большого вреда для работы солнечной батареи.

Для увеличения напряжения СФЭУ необходимо включать последовательно элементы солнечных батарей. Напряжение в этом случае будет равно сумме напряжений на всех составляющих солнечных элементов. Ток, отдаваемый СФЭУ, будет ограничен током худшего элемента.

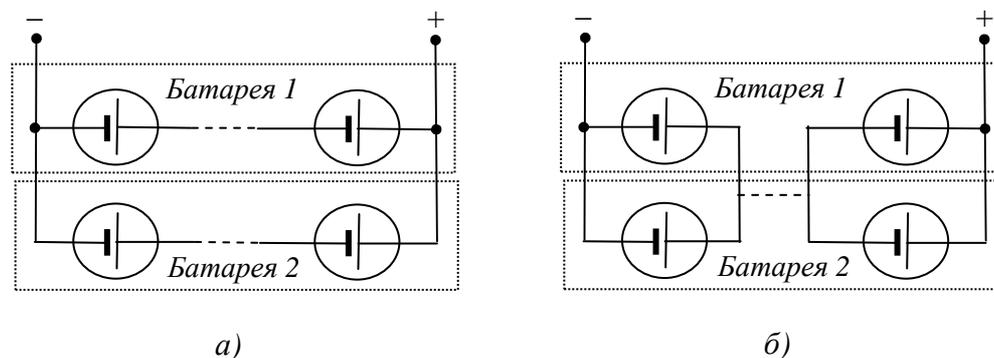


Рисунок 2 – Схемы включения элементов солнечных батарей

Для СФЭУ с большой площадью солнечных панелей, состоящих из множества последовательно-параллельных соединённых ячеек, необходимо учитывать теневой эффект, который возникает при частичном затемнении панели. Если ячейка в последовательной цепи полностью затемнена, то она из источника энергии превращается в потребителя. Из-за последовательной связи с освещёнными ячейками в цепи протекает ток, разогревающий затемнённую ячейку мощностью потерь, выделяющейся на её внутреннем сопротивлении. Таким образом, происходит уменьшение электрической мощности СБ.

Для того, чтобы уменьшить влияние теневого эффекта на энергетические характеристики СБ последовательную цепь фотоэлектрических мо-

дулей с помощью обходных диодов делят на несколько участков (рисунок 3).

Известно, что генерируемая СБ мощность увеличивается при более низких температурах. Однако максимуму мощности при различных температурах соответствуют различные напряжения. Для устранения этого недостатка СФЭУ должна иметь стабилизатор напряжения.

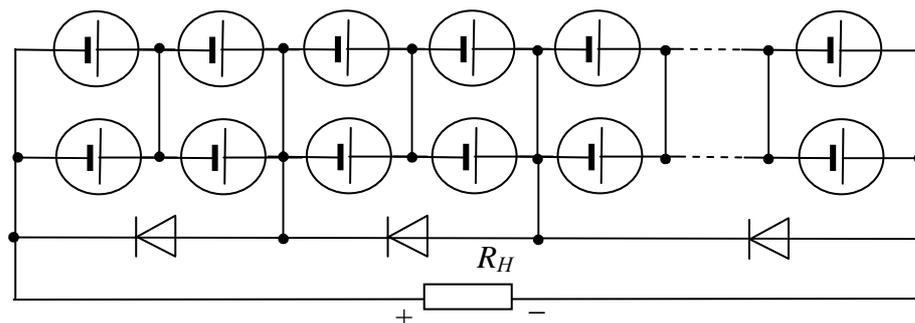


Рисунок 3 – Схема включения обходных диодов между солнечными элементами СБ

Величина нагрузки СБ в значительной степени влияет на величину снимаемой с неё мощности. Рабочая точка фотоэлектрической панели может быть определена как точка пересечения её ВАХ с ВАХ нагрузки. Таким же образом может быть определена рабочая точка на пересечении энергетических характеристик фотопреобразователя и нагрузки. Из рисунок 4 видно, что максимальную мощность можно снять с СБ на нагрузке с сопротивлением R_2 .

Солнечные элементы на основе кремния имеют КПД 12 – 15 %. КПД лабораторных образцов в настоящее время достигает 23%. Мировое производство солнечных элементов превышает 50 МВт в год и увеличивается ежегодно на 30%.

Каскадное соединение фотопреобразователей позволяет построить СФЭУ на мощности до сотен кВт. Общая площадь СБ, требуемая для получения необходимой мощности энергоустановки определяется с учётом КПД фотопреобразования и удельного уровня освещённости поверхности

СБ, которая зависит от времени суток, широты местности, метеоусловий, расположения поверхности фотопреобразователя относительно солнечного излучения.

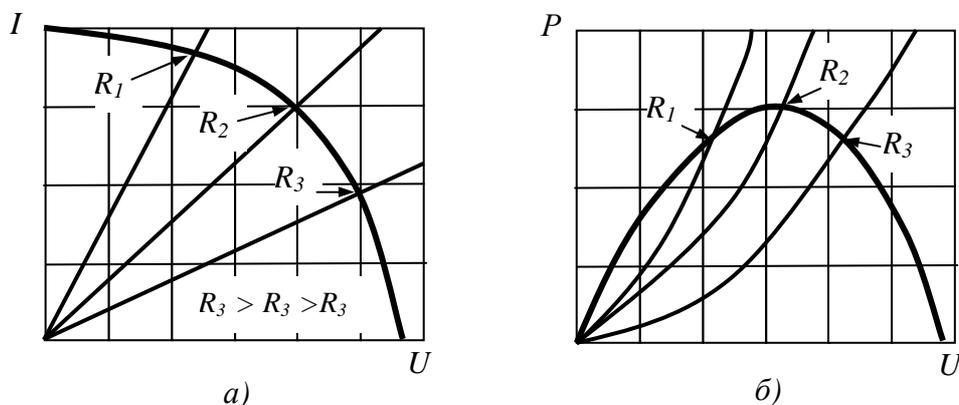


Рисунок 4 – Вольт-амперная характеристика фотопреобразователя при различных сопротивлениях нагрузки (R_1, R_2, R_3)

В общем случае анализ научно-технической литературы показал, что перспективным является направление внедрения солнечных фотоэлектрических станций в Краснодарском крае [3].

Литература

1. Григораш О.В. Автономные источники электроэнергии: Состояние и перспективы / О. В. Григораш, С. В. Божко, А. Ю. Попов и др. – Краснодар 2012. с. 174.
2. Григораш О.В. Выбор оптимальной структуры системы автономного электроснабжения / О. В. Григораш, С. А. Симоненко, А. М. Передистый и др. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2—7. № 8. С.31-33.
3. Григораш О.В. Возобновляемые источники электроэнергии / О.В. Григораш, Ю. П. Степура, Р. А. Сулейманов и др. Краснодар, 2012, с. 272.
4. Богатырев Н. И., Григораш О.В., Темников В. Н., и др. Однофазно-трехфазный трансформатор с вращающимся магнитным полем / Патент на изобретение RUS 2335027. 29.06.2007.
5. Богатырев Н. И., Григораш О.В., Вронский О. В., и др. Однофазно-однофазный трансформатор с вращающимся магнитным полем / Патент на изобретение RUS 2335028. 29.06.2007.
6. Степура Ю. П., Григораш О.В., Власенко Е. А., и др. Преобразователи напряжения постоянного тока на реверсивном выпрямителе / Патент на изобретение RUS 2420855. 11.05.2010.
7. Усков А.Е. Автономные Инверторы солнечных электростанций. монография / А.Е. Усков. Краснодар, 2011. – 119с.
8. Григораш О.В. Автономные инверторы в устройствах бесперебойного электроснабжения / О.В. Григораш, Ю.П. Степура, А.Е. Усков, Власенко Е.А. // Электротехника. 2012. № 6. С. 40-44.

9. Григораш О.В., Степура Ю.П., Усков А.Е., и др. Автономный инвертор с широтно-импульсной модуляцией выходного напряжения / Патент на изобретение RUS 2421871. 12.05.2010

10. Григораш О.В., Шевченко А.А., Шульга Р.В., и др. Устройство стабилизации напряжения постоянного тока / Патент на изобретение RUS 2444832. 07.06.2010

References

1. Grigorash O.V. Avtonomnye istochniki jelektrojenergii: Sostojanie i perspektivy / O. V. Grigorash, S. V. Bozhko, A. Ju. Popov i dr. – Krasnodar 2012. s. 174.

2. Grigorash O.V. Vybor optimal'noj struktury sistemy avtonomnogo jelektrosnabzhenija / O. V. Grigorash, S. A. Simonenko, A. M. Peredistyj i dr. // Mehanizacija i jelektifikacija sel'skogo hozjajstva. 2—7. № 8. S.31-33.

3. Grigorash O.V. Vozobnovljaemye istochniki jelektrojenergii / O.V. Grigorash, Ju. P. Stepura, R. A. Sulejmanov i dr. Krasnodar, 2012, s. 272.

4. Bogatyrev N. I., Grigorash O.V., Temnikov V. N., i dr. Odnofazno-trehfaznyj transformator s vrashhajushhimsja magnitnym polem / Patent na izobretenie RUS 2335027. 29.06.2007.

5. Bogatyrev N. I., Grigorash O.V., Vronskij O. V., i dr. Odnofazno-odnofaznyj transformator s vrashhajushhimsja magnitnym polem / Patent na izobretenie RUS 2335028. 29.06.2007.

6. Stepura Ju. P., Grigorash O.V., Vlasenko E. A., i dr. Preobrazovateli naprjazhenija postojannogo toka na reversivnom vyprjamatele / Patent na izobretenie RUS 2420855. 11.05.2010.

7. Uskov A.E. Avtonomnye Inventory solnechnyh jelektrostantsij. monografija / A.E. Uskov. Krasnodar, 2011. – 119s.

8. Grigorash O.V. Avtonomnye inventory v ustrojstvah besperebojnogo jelektrosnabzhenija / O.V. Grigorash, Ju.P. Stepura, A.E. Uskov, Vlasenko E.A. // Jelektrotehnika. 2012. № 6. S. 40-44.

9. Grigorash O.V., Stepura Ju.P., Uskov A.E., i dr. Avtonomnyj invertor s shirotno-impul'snoj moduljaciej vyhodnogo naprjazhenija / Patent na izobretenie RUS 2421871. 12.05.2010

10. Grigorash O.V., Shevchenko A.A., Shul'ga R.V., i dr. Ustrojstvo stabilizacii naprjazhenija postojannogo toka / Patent na izobretenie RUS 2444832. 07.06.2010