

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ

© Л. В. Накашидзе, Н. В. Дегтярева, Г. И. Заривняк, С. А. Митрохов

Днепропетровский национальный университет, НДІ енергетики

Розглядається один із способів зменшення вартості одиниці потужності електроенергії, генерованої фотоелектричними установками — конструктивне компонування таких установок після вибору певного типу сонячних елементів. Приведено експериментальні дані та проведено їхній аналіз з точки зору енергетичних параметрів і економічної доцільності.

В работах [4, 5] рассматриваются результаты исследований функционирования солнечных модулей различного типа в натурных условиях. При этом рассматривались факторы и процессы, влияющие на энергетические параметры их основных конструктивных составляющих — солнечных элементов (СЭ). Однако результаты этих исследований были проанализированы только с точки зрения энергетических параметров, экономический фактор при этом не рассматривался. Только оптимальное сочетание энергетических показателей и экономических факторов может привести к снижению удельной стоимости электрической энергии. Снижение стоимости фотоэнергетических установок (ФЭУ) может достигаться уменьшением стоимости производства СЭ и модулей, за счет использования концентраторов солнечного излучения, благодаря использованию солнечных элементов, которые функционируют наиболее оптимально в определенных условиях, т. е. подбором СЭ.

Задачей данной экспериментальной работы является исследование возможных путей снижения стоимости единицы мощности, генерируемой фотоэлектрическими установками. Стоимость единицы мощности ФЭУ зависит от ряда факторов, таких как стоимость единицы мощности преобразователя солнечной энергии, стоимость системы концентрации и системы ориентации, стоимость обслуживания ФЭУ, ресурс отдельных элементов и всей ФЭУ в целом и т. п. Достичь желаемого снижения стоимости позволит правильный выбор конструктивных вариантов ФЭУ, которые, в свою очередь, зависят от выбора типа СЭ с учетом их энергетических характеристик и структурных особенностей. Таким образом, рассмотрение комплектации ФЭУ различными вариантами систем ориентации и концентрации должно начинаться с выбора основных составляющих элементов ФЭУ — солнечных элементов.

Целью экспериментальной работы является выявление вклада степени освещенности, температуры, наличия ориентации, режима функционирования на изменение количества генерируемой электрической энергии СЭ. Экспериментальная работа по выбору СЭ проводилась в регионе с суммарной годовой солнечной радиацией до $4.61 \cdot 10^9$ Дж/м². В Украине максимальная суммарная радиация достигает $5.23 \cdot 10^9$ Дж/м², минимальная годовая солнечная радиация равна $4.19 \cdot 10^9$ Дж/м² [2].

Есть большое количество вариантов построения ФЭУ, которые оптимизированы для различных условий функционирования. Каждый из элементов ФЭУ, выполняющих определенную функцию, может быть реализован в различных конструктивных исполнениях. В то же время такие конструктивные элементы могут выполнять несколько функций (так, концентратор солнечного излучения может также использоваться для отвода тепла и защиты солнечных элементов от влияния внешних факторов). Это приводит к неоднозначности выбора возможного варианта построения ФЭУ. Решение задачи выбора структуры ФЭУ, которая рассматривается как сложная техническая система, используемая в различных условиях, является целью структурно-параметрической оптимизации.

Авторами при проведении экспериментов для решения задачи, связанной с оптимальным использованием солнечных элементов в составе ФЭУ, были рассмотрены кремниевые монокристаллические СЭ с различной структурой:

- p-n⁺-переход;
- n⁺-p-p⁺-переход;
- гетеропереход SnO₂/nSi-n⁺-Si-p.

В ходе эксперимента рассматривалось использование каждого типа СЭ для ФЭУ в комплексе с системой ориентации и концентрации. При этом были изучены следующие варианты структуры ФЭУ, в которых СЭ (выше указанных типов)

находятся в различных условиях эксплуатации:

- модуль установки с ориентацией, без концентрации солнечного излучения (ОП) и постоянной нагрузке;
- модуль установки с ориентацией, без концентрации солнечного излучения, при переменной нагрузке;
- модуль установки с ориентацией, с концентрацией солнечного излучения (ОК) и постоянной нагрузке;
- модуль установки с ориентацией, с концентрацией солнечного излучения и переменной нагрузке;
- модуль установки без ориентации, без концентрации солнечного излучения (СП) и постоянной нагрузке.

Изначально были определены энергетические характеристики рассматриваемых СЭ с помощью имитатора солнечного излучения (условия АМ 1,5) и изучена их спектральная чувствительность. Определено, что чувствительность выбранных СЭ ограничена длинами волн от 380 нм до 1200 нм. Максимумы спектральной чувствительности находятся в инфракрасной области спектра.

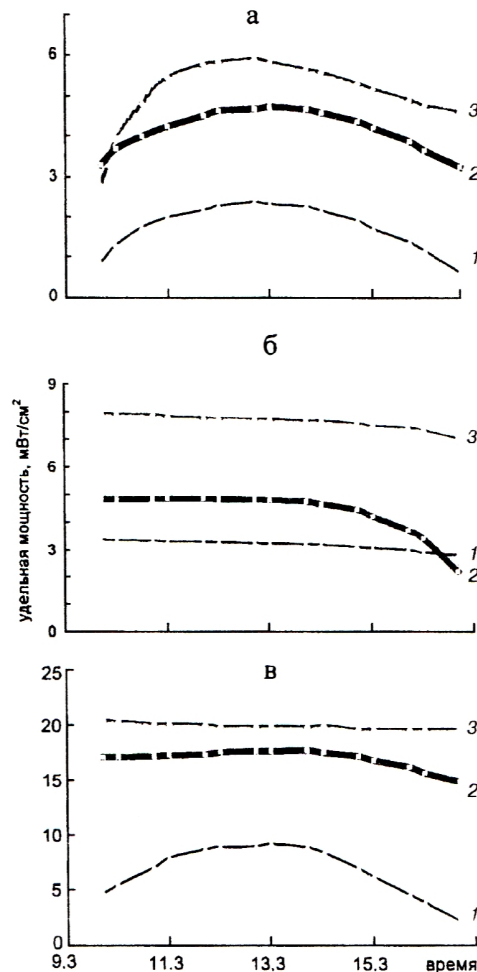
Для проведения экспериментальной работы была создана установка, которая состоит из следующих основных частей: узла слежения за Солнцем, блока измерений, канала передачи данных, аналого-цифровых преобразователей, модуля сопряжений, ЭВМ типа IBM PC. Применение ЭВМ позволяет фиксировать получаемые от СЭ параметры, такие как напряжение и сила тока, а также освещенность, температуру поверхности СЭ и температуру окружающей среды.

Для дальнейшего анализа полученных данных была рассчитана удельная мощность ($P_{уд}$), являющаяся энергетической количественной оценкой функционирования СЭ. По полученным значениям построена графическая зависимость $P_{уд}$ от времени суток. Результаты представлены на рисунке и таблице.

Анализ полученных данных показал следующее.

а) Для $p-n-p^+$ -перехода:

- в случае ОП $P_{уд}$ имеет максимальное значение с 12 до 14 ч, при этом значения $P_{уд}$ к полудню в 1.28 раза больше, чем утром;
- в случае ОК $P_{уд}$ имеет максимальное значение к 12 ч, оно в 1.7 раза больше, чем измерения в 9 ч. Значение $P_{уд}$ в этом случае всего в 1.2 раза больше, чем при варианте ОП, и в среднем в 2.5 раза больше, чем в случае СП;
- в случае СП $P_{уд}$ имеет максимальное значение с 12 до 15 ч и при этом в два раза больше, чем утреннее. Величина $P_{уд}$ в этом случае составля-



Изменение удельной мощности генерированной СЭ имеющими: а — $p-n-p^+$ -переход; б — гетеропереход $SiO_2/nSi-p^+-Si-p$; в — p^+-p-p^+ -переход. Кривые 1, 2, 3 — для вариантов комплектации СП, ОП и ОК соответственно

ет 0.5 по сравнению с вариантом ОП.

б) Для гетероперехода $SnO_2/nSi-p^+-Si-p$:

- в случае ОП $P_{уд}$ на протяжении дня изменяется только при изменении освещенности, т. е. ее значение равномерно на протяжении дня;
- в случае ОК $P_{уд}$ практически не изменяется на протяжении дня; значение $P_{уд}$ в этом случае в 2.3 раза больше, чем при варианте работы ОП, и в среднем в 1.6 раза больше, чем в случае СП;
- в случае СП $P_{уд}$ не уменьшается до 16 ч, а потом ее значение составляет 0.8 от значения $P_{уд}$ с 8 до 16 ч. Значение $P_{уд}$ в этом случае практически такое же, как и в случае с вариантом ОП.

Соотношения удельной мощности генерируемой ФЭУ при различных вариантах функционирования

Тип перехода	$\frac{P_{\text{уд}}(\text{ОК})}{P_{\text{уд}}(\text{ОП})}$	$\frac{P_{\text{уд}}(\text{ОП})}{P_{\text{уд}}(\text{СП})}$	$\frac{P_{\text{уд}}(\text{ОК})}{P_{\text{уд}}(\text{СП})}$
p-n-p ⁺	1.2	2	2.5
p ⁺ -p-p ⁺	1.4	2.5	2.8
Гетеропереход SnO ₂ /nSi-p ⁺ -Si-p	2.3	1.6	1

в) Для p⁺-p-p⁺-перехода:

- в случае ОП $P_{\text{уд}}$ имеет максимальное значение к 12 ч, но это всего 1.03 раза больше, чем утром;
- в случае ОК $P_{\text{уд}}$ равномерна на протяжении всего периода измерений с 8 до 18 ч и изменяется только при изменении освещенности. В этом случае $P_{\text{уд}}$ в среднем в 1.4 раза больше, чем при варианте работы ОП, и в среднем в 2.8 раза больше, чем в случае СП;
- в случае СП $P_{\text{уд}}$ имеет максимальное значение с 12 до 14 ч, при этом оно в 2.4 раза больше, чем в 9 ч. Значение $P_{\text{уд}}$ в этом случае составляет 0.4 по сравнению с вариантом ОП.

Если сравнить энергетические характеристики, полученные в ходе эксперимента, то наибольшее увеличение удельной мощности наблюдалось у СЭ, которые функционировали в режиме ОК, однако наибольший эффект от наличия концентрации солнечного излучения наблюдался в случае гетероперехода, а наименьший — в случае p⁺-p-p⁺-перехода. Вероятно, это связано с тем, что при концентрировании солнечного излучения не только повышается его плотность, но и изменяется распределение в пространстве, а следовательно, и на лучевоспринимающих поверхностях элементов преобразователя [1]. Полученные результаты подчеркивают, что распределение плотности сконцентрированного солнечного излучения (концентраторы обеспечивают не только интегральное, но и спектральное перераспределение солнечного излучения) существенно зависит от типа преобразователя, особенностей организации рабочих процессов в его элементах и их конструкции. Наличие системы ориентации по-разному проявилось для каждого типа рассматриваемых СЭ. В случае гетероперехода наличие системы ориентации не приводит к существенному улучшению энергетических параметров ФЭУ, тогда как в случае p⁺-p-p⁺-перехода наличие системы ориентации вносит большой вклад в улучшение энергетических параметров ФЭУ. Вероятно это связано с тем, что в зависимости от условий работы излучение, попадающее на СЭ, имеет разнообразную угловую структуру [3], а угловая чувствительность СЭ разного типа различна, вследствие чего ток СЭ под излучением с неодинаковым угловым распре-

лением при одном и том же значении облученности может быть различным. При проведении данного анализ учитывалась только структура перехода СЭ и не затрагивались другие аспекты их построения. Однако даже на этом этапе рассмотрения вопроса можно сделать вывод о том, что при проектировании ФЭУ состоящих из СЭ на основе гетеропереходов желательно предусмотреть наличие системы концентрации, а наличие системы ориентации не приведет к существенному улучшению энергетических характеристик при функционировании ФЭУ, а только увеличит затраты на ее изготовление и обслуживание. При проектировании ФЭУ состоящих из СЭ на основе p⁺-p-p⁺-перехода необходимо предусмотреть наличие системы ориентации, а наличие системы концентрации только увеличит затраты на изготовление и эксплуатацию таких ФЭУ. Наличие системы ориентации и концентрации при эксплуатации ФЭУ, в основе которых находятся СЭ на основе p-n-p⁺-перехода, необходимо рассматривать в зависимости от запросов потребителя.

Для изучения влияния изменения нагрузки, освещенности температуры и др. факторов на энергетические характеристики СЭ будут проведены дальнейшие исследования.

Таким образом, использование полученных экспериментальных данных поможет еще на этапе проектирования определить состав ФЭУ для функционирования в определенных условиях, который является оптимальным с энергетической и экономической точки зрения.

1. Андреев В. М., Грилихес В. А., Румянцев В. Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. — Л.: Наука, 1989.—310 с.
2. Климат Украины / Под ред. Г. Ф. Приходько и др. — Л.: Гидрометеиздат, 1967.—414 с.
3. Колтун М. М., Коробова Т. В., Оршанский И. С. Влияние углового распределения излучения на точность определения электрических параметров солнечных элементов // Гелиотехника.—1990.—№ 3.—С. 44—48.
4. Bares J. R., Fang P. H. Results of solar cell performance on lunar base derived from Appollo missions // Sol. Energy Mater. And Sol. Cells.—1992.—26, N 1-2.—P. 79—84.
5. Costa H. S., Ragot Ph., Desmettre D. Evaluation of amorphous silicon module outdoor performances // Sol. Energy Mater. And Sol. cells.—1992.—27, N 1.—P. 59—68.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE POWER CHARACTERISTICS OF SOLAR CELLS OF VARIOUS TYPES AT NATURAL ILLUMINATION

L. V. Nakashidze, N. V. Degtyarova, G. L. Zarivnyak, S. A. Mitrokhov

One of the ways of decrease of cost of unit of capacity of the electric power generated by photo-electric installations — constructive configuration of such installations after a choice of the certain type of solar cells is considered in this article. There are given experimental data and their analysis is carried out from the point of view of power parameters and economic feasibility.