

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ В СРЕДЕ MATLAB

З. А. Алимуратова<sup>1, а</sup>, В. В. Филенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина

## Аннотация

Из-за увеличения потребления электроэнергии жителями нашей планеты и ухудшение экологии мы вынуждены использовать и разрабатывать альтернативные источники энергии. Одним из таких устройств и есть солнечные фотоэлектрические модули. Существует большое количество фотоэлектрических модулей (ФЭМ), многих разновидностей, и обладающими различными техническими характеристиками. В данной статье рассматриваются способы улучшения ФЭМ, а именно моделирование ФЭМ в среде Matlab. Разработанная модель позволяет исследовать вольтамперные характеристики и усовершенствовать ФЭМ.

*Ключевые слова:* фотоэлектрические модули, солнечная батарея, MATLAB.

## Введение

Солнечная батарея (СБ) – это волшебное слово, которое мы употребляем, которое раньше было всего лишь научной фантастикой. В современном мире представлено большое количество разновидностей СБ. Но не все они являются эффективными. На данный момент СБ способны преобразовывать только около 10-25% солнечного излучения в электрическую энергию. Использование солнечной энергии в электричестве является одним из наиболее перспективных и активно развиваемых направлений возобновляемой энергетики. Солнце обладает практически безграничными ресурсами, при этом преобразование ее энергии не приводит к загрязнению окружающей среды.

### 1. Существующие виды солнечных батарей и их КПД

Существуют различные типы фотоэлектрических преобразователей (ФЭП). Наибольшее распространение в фотоэлектрических установках наземного применения получили кремниевые ФЭП трех видов – на основе монокристаллического, поликристаллического и аморфного кремния. Большая часть всех модулей производится с использованием поли- и монокристаллического кремния. В настоящее время КПД доступных фотоэлектрических модулей (ФЭМ) из монокристаллического кремния составляют порядка 14 – 19 %, передовые модули достигают значения 21,5 % [1]. Для поликристаллического кремния эти значения равны 14 – 17 %, для аморфного кремния – около 5 – 8 %. Так же в солнечной энергетике одним из перспективных материалов для создания высокоэффективных ФЭМ является арсенид галлия (GaAs). Такие модули обладают высоким КПД (для однопереходных ФЭП около 28%) [2], повышенной

способностью к поглощению солнечного излучения, устойчивостью характеристик при высоких рабочих температурах и целым рядом других важных особенностей. Среди тонкопленочных ФЭП следует выделить диселенид меди-индия ( $\text{CuInSe}_2$ ). У этого материала чрезвычайно высока способность к поглощению солнечного излучения: до 99 % света поглощается в первом микроне этого материала, ширина запрещенной зоны данного полупроводника составляет 1,0 эВ [3]. Большой интерес вызывает также теллурид кадмия ( $\text{CdTe}$ ). У этого материала ширина запрещенной зоны составляет 1,44 эВ и близка к оптимальной, он обладает высокой поглощающей способностью по отношению к солнечному излучению (СИ). Фотопреобразователи на основе  $\text{CdTe}$  имеют высокие значения КПД (10 – 16 %) [3]. Отдельно можно выделить ФЭП, использующие органические материалы. ФЭП на основе диоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ), покрытого органическим красителем, демонстрирует КПД около 11 % [3]. Принцип работы элемента основан на фотовозбуждении красителя и быстрой инжекции электрона в зону проводимости  $\text{TiO}_2$ .

#### 1.1. Включение СБ

Солнечные элементы (СЭ) составляют основу ФЭМ. В таком модуле СЭ соединены в зависимости от необходимых характеристик последовательно или параллельно в электрическую цепь на одной подложке. ФЭМ, объединенные с аккумуляторной батареей (АБ), инвертором и дополнительным оборудованием, образуют фотоэлектрическую установку (систему). Преимущество СЭ обусловлено отсутствием подвижных частей, их высокой надежностью и стабильностью. Модульный тип конструкции позволяет создавать установки с различными уровнями напряжения и практически любой мощности. ФЭМ и СЭ могут обладать разными техническими характеристиками.

<sup>а</sup>zulfya.alimuradova@yandex.ua

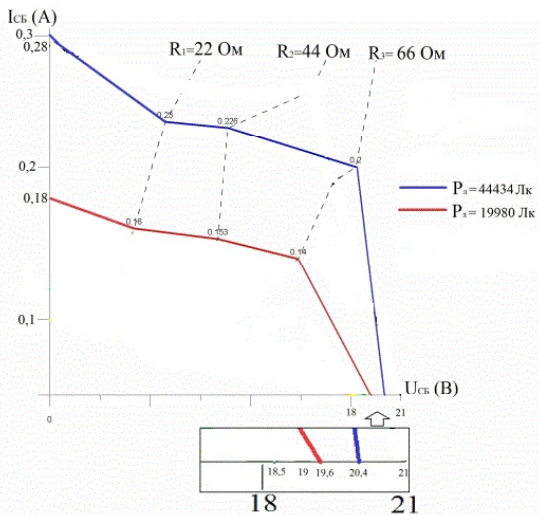


Рис. 1. На графике показаны вольтамперных характеристики монокристаллического солнечного модуля PLM-200M (Perlight Solar) при различных уровнях освещенности и температуре 25°C.

### 1.2. Начальные характеристики

При моделировании принимались следующие допущения: ВАХ моделировались без учета частичного затенения воспринимающей поверхности ФЭП и без возможного ее повреждения. Данные допущения дают возможность применять классические аналитические выражения для моделирования характеристик ФЭП. Принимаем температуру солнечных элементов равной 25°C. Следует также отметить, что точность моделирования зависит от возможных технологических разбросов для каждого элемента и модуля в целом. Ниже представлены результаты моделирования (рис. 1) с указанием значений точек максимальной мощности (ТММ). Кривые ВАХ получены при следующих условиях. Были выбраны 2 позиции источника света по отношению к солнечной батарее. Эти позиции находятся на расстоянии: 50 см и 75 см и при трех сопротивлениях нагрузки: 22 Ом, 44 Ом, 66 Ом.

На рисунке(рис. 1) отчетливо видно влияние освещенности на характеристики СБ. С увеличением расстояния между СБ и источником света (уменьшение освещенности) ухудшаются вольтамперные характеристики. Расчет и эксперимент показывают сильное влияние освещения и условий охлаждения СБ на ВАХ. Прямое солнечное освещение может приводить к деформации конструкции СБ из-за нагрева. Определены предельные режимы освещения СБ, ограничивающие возможность разрушения поверхности СБ. Результаты расчета освещенности через значения измеренной температуры СБ показывают аутентичность эксперимента и расчета.

Потребности людей растут, а значит необходимо больше электрической энергии, следовательно, необходимо стремительно увеличить КПД современных ФЭП. Проведение натурных или физических испытаний ФЭП занимает длительный промежуток времени (до 18 месяцев), что может существенно затор-

мозить промышленное внедрение новых технологий получения ФЭП. Но если мы знаем начальные вольт-амперные характеристики (ВАХ), то данная задача может быть существенно упрощена путем использования модельно ориентированной программы Matlab с разделом SimPowerSystems.

## 2. Моделирование СБ

### 2.1. Использование характеристик моделирование ФЭП

Моделирование характеристик ФЭП используется при решении таких задач, как [4]

- оптимизация схемы ФЭП;
- определение оптимальной рабочей точки в условиях меняющейся освещенности и температуры;
- оценка потерь схемы;
- определение влияния частичного затенения на выходные характеристики ФЭП и изменения его мощности;
- расчет и моделирование фотоэлектрических систем электроснабжения;
- анализ и прогнозирование работы фотоэлектрической станции.

### 2.2. Расчеты ВАХ

Данная программа позволяет моделировать систему электроснабжения с учетом изменения солнечной радиации и температуры окружающей среды. Особенность модели – вольтамперная характеристика солнечной батареи (СБ) проходит по трём точкам: напряжение холостого хода, ток короткого замыкания, точка максимальной мощности СБ [5]. Модель СБ состоит из источника тока PV1 (рис. 2), равного току короткого замыкания СБ, источника напряжения  $U$ , резистора  $r$  и диода  $VD$ , значения которых рассчитаны из ниже приведенных уравнений. Для модели СБ с близкой к реальной вольтамперной характеристикой рассчитаем значение её параметров.

На холостом ходу:

$$U_{XX} = U + U_{VD} + Ir, \quad (1)$$

В точке максимальной мощности:

$$(I - I)r + U_{VD} + U = U, \quad (2)$$

Из последующих уравнений рассчитаем неизвестные параметры  $U$  и  $r$  :

$$U = U_{XX} \frac{(K_I + K_U - 1)}{K_I} - U_{KD}, \quad (3)$$

$$r = \frac{U_{XX} (1 - K_U)}{I K_I}, \quad (4)$$

При моделировании СБ, напряжение и ток в точке максимальной мощности соответствуют реальной вольтамперной характеристике. Напряжение нагрузки  $U_H$  – напряжение на сопротивление  $R_2$ , значение напряжения источника меньше  $U_H$ .

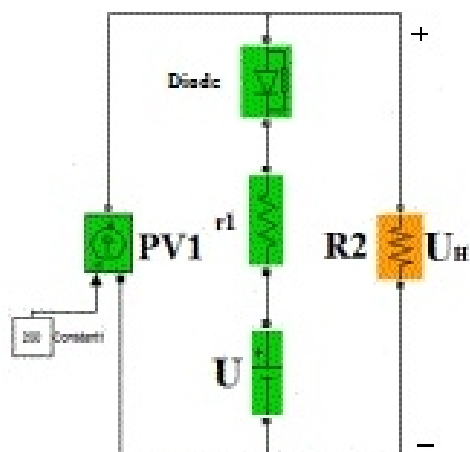


Рис. 2. Модель солнечной батареи

```

Current coefficient Ki: 0.96857
Voltage coefficient Ku: 0.89907
The value of FF: 0.87081
Efficiency(1000 (W/m^2)) : 14.9847
By algorithm U3: 0.69457
By algorithm r3: 4.7646
By algorithm Uvd: 0.1
Pmax (W) : 0.014985
Uopt (V) : 0.79747
Iopt (A) : 0.01879
    
```

Рис. 3. Окно параметров ВАР СБ

Результаты моделирования СЭ показаны на (рис. 2). Другие параметры, например, коэффициент заполнения  $\zeta$  (КЗ)(%), коэффициент полезного действия (КПД), температурный коэффициент напряжения и тока можно увидеть в рабочем поле в Matlab в таком виде (рис. 4):

### Выводы

Разработанная модель описывает реальный солнечный модуль лишь некоторой степенью приближения, с учетом принятых допущений. Наблюдаются отклонения полученных при моделировании вольт-амперных характеристик от экспериментальных. Основной причиной отклонений является трудность точного измерения последовательного сопротивления солнечных элементов. Выявлено соответствие

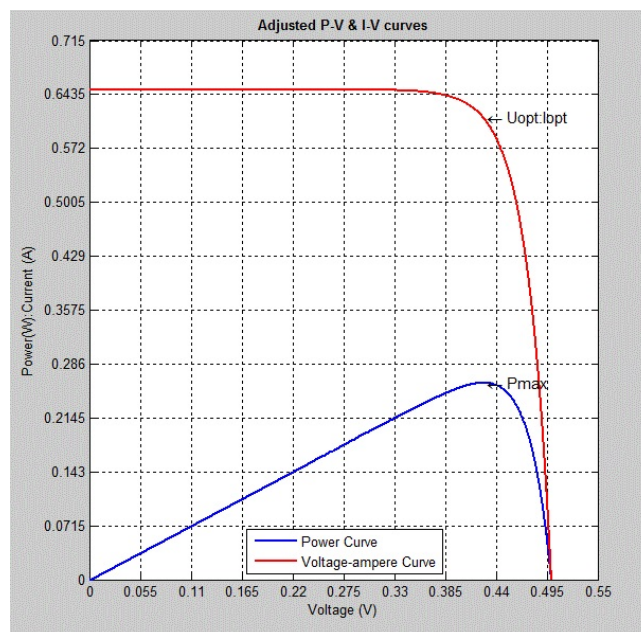


Рис. 4. Окно параметров ВАР СБ

характеристик солнечного модуля, предоставленных производителем и характеристик, полученных при моделировании в среде Matlab/Simulink. Расхождение результатов моделирования с паспортными характеристиками не превышает 11%, что допустимо. Тем самым подтверждается адекватность предлагаемой имитационной модели.

### Перечень использованных источников

1. X-SERIES SOLAR PANELS. SunPower Solar cell efficiency tables— 2013.—
2. M Green. K Emery. Y Hishikawa Solar cell efficiency tables — 2012. — 12-20 с.
3. Гременок В. Ф., Тиванов М. С., Залесский В. Б. Солнечные элементы на основе полупроводниковых. — Минск: Центр БГУ, 2007. — 222 с.
4. А. Б. Базилевский, М. В. Лукьяненко. Моделирование вольт-амперных характеристик солнечных батарей. — Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. — № 4—. 2005. — 63-66 с.
5. Нянь Линь Аунг В. Г. Еременко. Моделирование системы электроснабжения системы электроснабжения космического аппарата арсенид-галлиевой солнечной батареей: Аэрокосмические технологии МНТК. — Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана 2014. — 41 с.