

УДК 621.311

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ*М. А. Антонов, К. А. Смагин, Р. А. Галстян, М. Г. Кононенко*

Донской государственной технической университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Для анализа работы солнечных электростанций необходимо математическое описание солнечного излучения и механизма взаимодействия излучения с фотоприёмником. Работа посвящена анализу существующих математических моделей солнечного излучения и совершенствованию такой модели.

Ключевые слова: солнечное излучение, кванты солнечного излучения, фотоэлектрическое преобразование, энергия солнечного излучения.

UDC 621.311

MATHEMATICAL MODEL OF SOLAR RADIATION*M. A. Antonov, K.A. Smagin, R. A. Galstyan, M. G. Kononenko*

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

To analyze the operation of solar power plants, we need a mathematical description of the solar radiation and the mechanism of radiation interaction with a photodetector. The article is devoted to the analysis of existing mathematical models of solar radiation and improving the model.

Keywords: solar radiation, quantum solar radiation, photovoltaic conversion, solar radiation.

Введение. В настоящее время солнечные фотоэлектрические установки находят всё большее применение как источники электрической энергии. Солнечная электростанция состоит из следующих элементов: солнечная панель, контролер заряда аккумуляторов, аккумуляторы, инвертор.

Классификация приёмников солнечной энергии. Приёмники солнечной энергии делятся на два класса: устройства, основанные на тепловых процессах и устройства, основанные на квантовых процессах [1]. В первом случае большая часть солнечной энергии преобразуется во внутреннюю энергию тела, получающего излучение. Этот способ получения солнечной энергией называется фототермическим преобразованием. Здесь в качестве накопителя энергии используются чистые металлы или их сплавы. Внутренняя энергия может храниться или может быть преобразована в механическую, электрическую или химическую энергии, а также может быть впоследствии использована непосредственно с помощью устройства, обеспечивающего тепло для конечного пользователя. Кроме того, излучение иногда концентрируется до достижения поглотителя с помощью радиационного концентратора.

Во втором случае приёмники солнечной энергии преобразуют часть энергии излучения непосредственно в электрическую энергию, как это происходит в фотогальванической ячейке, или хранят эту энергию в форме химической энергии при фотодиссоциации воды в кислород и водород. Первый процесс называется фотовольтаическим, второй — фотохимическим преобразованием. Большинство фотоэлектрических устройств построены с использованием материалов с запрещённой зоной энергии, таких как полупроводники.

В фотохимических устройствах используются фоточувствительные вещества. Всегда существует часть входящей солнечной энергии, которая не может быть преобразована непосредственно в электрическую или химическую энергии и рассеивается в виде тепла. Доступны разные возможности использования этого избыточного тепла. Есть несколько причин привлекательности таких гибридных комбинированных систем, способных генерировать одновременно электрическую или

химическую, тепловую или механическую виды работы [2]. Во-первых, многие пользователи солнечной энергии требуют двух видов энергии. Во-вторых, путем извлечения тепла из устройства на основе квантовых процессов, например, солнечного элемента, улучшается его эффективность преобразования. Гибридные системы здесь не рассматриваются.

Математическое описание преобразования солнечной энергии. Для математического описания преобразования солнечной энергии в другие формы энергии требуется моделирование следующих процессов:

- поступление солнечного излучения;
- взаимодействие между излучением и принимающим телом.

В настоящей работе кратко представлены основные понятия, параметры и принципы, используемые для моделирования этих двух процессов.

Спектр солнечной радиации за пределами атмосферы напоминает спектр чёрного тела с температурой 5760 К. На уровне Земли коротковолновое излучение солнечного происхождения состоит из прямого и рассеянного излучений. В спектре прямого компонента имеется много провалов из-за поглощения излучения в атмосфере водяным паром, кислородом и другими газами. Спектр рассеянного излучения имеет более узкое распространение длин волн, но содержит гораздо меньше энергии, чем при прямом излучении. Многие расчёты могут быть выполнены приблизительно, если использовать спектры чёрного тела, а не точный спектр Солнца. При любом рассмотрении солнечной энергии простое понятие «чёрного тела» весьма полезно, так как его энергия, интегрированная по всем длинам волн, представляет собой константу, умноженную на абсолютную температуру в четвёртой степени.

Преобразование солнечной энергии основано на взаимодействии фотонов, составляющих солнечную радиацию, и вещества преобразовательных устройств [3]. Электромагнитное излучение часто моделируется как фотонный газ, то есть система, состоящая из смеси фотонов различной длины волны. Обозначим $p(n_1, n_2)$ — вероятность нахождения n_1 квантов в квантовых состояниях 1, n_2 квантов — в квантовом состоянии 2. Обычно принимаются следующие допущения:

$$p(n_1, n_2) = p(n_1) \cdot p(n_2),$$

т. е. вероятности квантового состояния $p(n_1)$ и $p(n_2)$ независимы, а вероятность того, что новая частица, добавленная к системе, будет найдена в квантовом состоянии j , не зависит от числа частиц, уже существующих в этом состоянии. Это означает:

$$p_j(n_j) = q_j^{N_j},$$

где q_j — неопределённое положительное число.

Эти две гипотезы позволяют определить необходимые понятия без предположения о термодинамическом равновесии. Когда расстояние между уровнями энергии фотонов очень мало, в модели используется непрерывный спектр. В этом случае суммирование по квантовым состояниям заменяется интегрированием, которое требует выражения для числа квантовых состояний в диапазоне частот $(\nu, \nu + d\nu)$ или, другими словами, в области энергий $(e, e + de)$. Преобразование между частотой ν и энергией e может быть получено из выражения: $e = h \cdot \nu$, где h — постоянная Планка. Иногда выражение $\omega = 2\pi\nu$ используется как частота, а отношение Планка становится выражением: $e = h \cdot \omega$.

Рассмотрим объём V , в который попадает солнечное излучение. Показатель преломления среды внутри объёма равен единице. Поток излучения падает на элемент поверхности, в телесный угол $d\Omega$ от направления, реализующего угол θ с нормалью на поверхности. Элемент поверхности может быть частью поверхности объёма V или может находиться внутри этого объёма. В первом

случае нормаль ориентирована вне объема. Тогда число квантовых состояний фотонов в частотном или энергетическом диапазонах определяется следующим образом:

$$dn_{\nu} = \frac{d\Omega_{\nu} v^2}{c^3} \cdot d\nu,$$

где c — скорость света.

Общее число фотонов определяется путём интегрирования по всему объёму.

Заключение. Представлена модель солнечного излучения для анализа работы солнечной электростанции (СЭС). Основа модели позволяет разработать математическую модель мощности СЭС, которая в свою очередь может применяться как для компьютерного моделирования работы СЭС, так и для расчета ее технико-экономических показателей.

Библиографический список

1. Цыгулев, Н. И. Общая энергетика : учебное пособие для вузов / Н. И. Цыгулев — Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2013. — 305 с.
2. Переходные процессы в электроэнергетических системах : учебник для вузов / И. П. Крючков, В. А. Старшинов, Ю. П. Гусев, М. В. Пираторов — Москва : Издательский дом МЭИ, 2009. — 416 с.
3. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации : приказ Минэнерго России от 19 июня 2003 г. : [зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 20 июня 2003 г. Регистрационный № 4799] : [сайт]. — URL: <https://base.garant.ru/186039/> (дата обращения: 12.03.2020).

Об авторах:

Антонов Михаил Андреевич, магистрант Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), nevada@skillet.ru

Смагин Кирилл Александрович, магистрант Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), s_k_a_97@mail.ru

Галстян Размик Арманович, магистрант Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), galstyan.razmik2015@yandex.ru

Кононенко Михаил Германович, магистрант Донского государственного технического университета (344000, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), meshamen@mail.ru

Authors:

Antonov Mikhail Andreevich, master student of Don State Technical University (344000, Russian Federation, Rostov-on-Don, Gagarina sq. 1), nevada@skillet.ru

Smagin Kirill Aleksandrovich, master student of Don State Technical University (344000, Russian Federation, Rostov-on-Don, Gagarina sq. 1), s_k_a_97@mail.ru

Galustyan Razmik Armanovich, master student of Don State Technical University (344000, Russian Federation, Rostov-on-Don, Gagarina sq. 1), galstyan.razmik2015@yandex.ru

Kononenko Mikhail Germanovich, master student of Don State Technical University (344000, Russian Federation, Rostov-on-Don, Gagarina sq. 1), meshamen@mail.ru