

Безвредная кратность разбавления тестируемого вещества при котором гибель тест-объектов не отмечена, наблюдается при кратности разбавления 1:200. Таким образом, образец №2 относится к IV классу опасности – мало опасный отход. Степень вредного воздействия на окружающую природную среду низкая.

Образец №3. Период исследований - 96 часов. Гибель исследуемого тест-объекта *Daphnia longispina* O.F. Muller более 10% имела место при разведении образца 1:66,7.

Безвредная кратность разбавления тестируемого вещества при котором гибель тест-объектов не отмечена, наблюдается при кратности разбавления 1:100. Таким образом, образец №3 относится к IV классу опасности – мало опасный отход. Степень вредного воздействия на окружающую природную среду низкая.

Образец №4. Период исследований – 96 часов. Гибель исследуемого тест-объекта *Daphnia longispina* O.F. Muller более 10% имела место при разведении образца 1:66,7.

Безвредная кратность разбавления тестируемого вещества при котором гибель тест-объектов не отмечена, наблюдается при кратности разбавления 1:100. Таким образом, образец №4 относится к IV классу опасности – мало опасный отход. Степень вредного воздействия на окружающую природную среду низкая.

Образец №5. Период исследований - 96 часов. Гибель исследуемого тест-объекта *Daphnia longispina* O.F. Muller более 10% имела место при разведении образца 1:66,7.

Безвредная кратность разбавления тестируемого вещества при котором гибель тест-объектов не отмечена, наблюдается при кратности разбавления 1:100. Таким образом, образец №5 относится к IV классу опасности – мало опасный отход. Степень вредного воздействия на окружающую природную среду низкая.

Результаты проведенных исследований показали, что деструкция красителя Red SPD концентрацией 100 мг/л происходит достаточно эффективно при плотности тока 200 А/м² и концентрации NaCl 3,3 г/л. При этом достигается обесцвечивание до нормативных показателей и снижение ХПК на 80-85%.

При использовании в качестве электролита сульфат-ионов эффективность электродеструкции не превышает 25 %. Установлено, что концентрация NaCl – 1,625 г/л в составе сульфатсодержащего электролита позволяет при времени обработки 40 минут снизить концентрацию Red SPD до 1,0 мг/л.

Биотестирование необработанной и обработанной воды, содержащей краситель Red SPD показало, что степень вредного воздействия на ОПС обработанного раствора красителя низкая.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hao, O. J. Decolorization of wastewater / O. J. Hao, H. Kim, P.C. Chang, // Critic. l Rev. in Env. Scien. and Tech, 2000. – Vol. 30. – P. 449-505.
2. Da Silva, R. G. Electrochemical Degradation of Reactive Dyes at Different DSA[®] Compositions / R. G. da Silva, S. A. Neto, A.d R. De Andrade // J. Braz. Chem. Soc., 2011. – Vol. 22. – No. 1. – P. 126-133.
3. Riera-Torres, M. Colour Removal of Three Reactive Dyes by UV Light Exposure After Electrochemical Treatment / M. Riera-Torres, Maria-Carmen Gutiérrez // Chemical engineering journal, 01 Gener 2010. – vol. 156, núm.1. – P. 114-120. – [Электронный ресурс]. URL: <http://hdl.handle.net/2117/7921/>. – DOI :10.1016/j.cej.2009.10.006. – (Дата обращения: 02.02.2020).
4. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. – М.: «АКВАРОС», 2007. – 45 с.
5. РД 118.02-90 «Методическое руководство по биотестированию воды». Ташкент, 2007. – 35 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ В УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ

MODELING OF ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF PHOTOVOLTAIC SOLAR MODULES IN BELARUS

В. В. Ковшик, В. И. Красовский
V. Kovshik, V. Krasovsky

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
slava.kovshik@yandex.by
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Представлены результаты моделирования электрических характеристик фотоэлектрических солнечных модулей в условиях Беларуси, выполненные по регулярным метеорологическим данным ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр».

The results of modeling the electrical characteristics of photovoltaic solar modules in Belarus, based on regular meteorological data of the state institution “Republican Hydrometeorological Center”.

Ключевые слова: фотоэлектрический солнечный модуль, температура воздуха, солнечная радиация, моделирование, электрические характеристики.

Keywords: photovoltaic, air temperature, solar radiation, modeling, electrical characteristics.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-373-376>

С учетом природных, географических и метеорологических условий республики, одним из направлений реализации поставленного показателя является развитие солнечной и геотермальной энергетики. Согласно требованиям Государственной программы «Энергосбережение» на 2016-2020 годы (утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.03.2016 №248) и отраслевой программы электроэнергетики на 2016-2020 годы (утвержденной постановлением Министерства энергетики Республики Беларусь от 31.03.2016 №8) предусмотрено увеличение доли производства первичной энергии из возобновляемых источников энергии к валовому потреблению ТЭР на 1 процент (с 5 процентов в 2015 году до 6 процентов в 2020 года). Предполагается, что увеличение выработки электрической и тепловой энергии будет достигнуто за счет:

- внедрения фотоэлектрических станций суммарной электрической мощностью не менее 250 МВт и отдельных фотоэлектрических модулей для электроснабжения обособленного потребляющего оборудования;
- увеличения использования гелиоводонагревателей и различных гелиоустановок для интенсификации процессов сушки продукции и подогрева воды в сельскохозяйственном производстве и для бытовых целей;
- отработки технологий комбинированного использования ВИЭ, а также технологий компенсации неравномерности выдачи мощности генерирующими объектами на основе энергии ветра и солнца.

Одним из факторов, влияющих на производительность фотоэлектрического модуля является температура. В процессе работы температура фотоэлектрических элементов существенно превышает температуру окружающей среды. Повышение температуры солнечного элемента может привести не только к уменьшению генерируемой мощности, но и к невозможности функционирования солнечной электростанции как целостной системы. Конструкция фотоэлектрического модуля не должна допускать нагрев компонентов фотоэлектрического модуля выше максимальной расчетной рабочей температуры. В фотоэнергетике есть различные стандарты и тестовые условия, при которых определяются эффективность и производительность солнечных панелей [1]. Номинальные значения выходных параметров (электрических характеристик) фотоэлектрических модулей при стандартных условиях испытания (далее – СУИ):

- температура элемента 25°C;
- энергетическая освещенность 1000 Вт/м²;
- спектральный состав АМ 1,5.

Целью исследований является моделирование электрических характеристик фотоэлектрических солнечных модулей в климатических условиях Беларуси.

В качестве исходного материала использована выборка срочных метеорологических данных температуры воздуха МС Борисов ($\varphi = 54,23^\circ$ с. ш., $\lambda = 28,45^\circ$ в. д.) за период 2006–2015 гг., а также поступления солнечной радиации ОМН Минск ($\varphi = 53,92^\circ$ с. ш., $\lambda = 27,65^\circ$ в. д.) за период 2006–2015 гг.

Часовое распределение прямой и рассеянной солнечной радиации определено по уравнению Коларес–Перейры. При определении температуры солнечного элемента T_{cell} , °C, использовалась формула Росса:

$$T_{cell} = T_a + \frac{NOCT - 20}{800} \cdot Q'_{sol,rad}, \quad (1)$$

где T_a – температура наружного воздуха, °C;

$NOCT$ – температура солнечного элемента при условии номинальной эксплуатации, °C.

В качестве базового уравнения определения электрических характеристик фотоэлектрического солнечного модуля принята методика Волкера–Квашинга [2-4].

Напряжение в точке максимальной мощности, при различных условиях испытания V_{MPP} , В, определяется по формуле:

$$V'_{MPP} = V_{MPP} \cdot \ln(Q_{solrad}) / \ln(1000) + ((T_{cell} - T_{STC}) \cdot \beta), \quad (2)$$

где V_{MPP} – напряжение холостого хода фотоэлектрического солнечного модуля при стандартных условиях испытания, В;

Q_{solrad} – поступление суммарной солнечной радиации, Вт·ч/м²;

T_{cell} – температура солнечного элемента, °C;

T_{STC} – температура фотоэлектрического солнечного модуля при стандартных условиях испытания, °C;

β – температурный коэффициент изменения напряжения тока фотоэлектрического солнечного модуля, мВ/°C.

Напряжение холостого хода, при различных условиях испытания V_{oc} , В, определяется по формуле:

$$V'_{oc} = V_{oc} \cdot \ln(Q_{solrad}) / \ln(1000) + ((T_{cell} - T_{STC}) \cdot \beta), \quad (3)$$

где V_{oc} – напряжение холостого хода фотоэлектрического солнечного модуля при стандартных условиях испытания, В;

Q_{solrad} – поступление суммарной солнечной радиации, Вт·ч/м²;
 T_{cell} – температура солнечного элемента, °С;
 T_{STC} – температура фотоэлектрического солнечного модуля при стандартных условиях испытания, °С;
 β' – температурный коэффициент изменения напряжения тока фотоэлектрического солнечного модуля, мВ/°С.

Ток короткого замыкания, при различных условиях испытания I'_{sc} , В, определяется по формуле:

$$I'_{sc} = I_{sc} \cdot Q_{solrad} / 1000 + ((T_{cell} - T_{STC}) \cdot c), \quad (4)$$

где I_{sc} – ток короткого замыкания фотоэлектрического модуля при стандартных условиях испытания, В;
 Q_{solrad} – поступление суммарной солнечной радиации, Вт·ч/м²;
 T_{cell} – температура солнечного элемента, °С;
 T_{STC} – температура фотоэлектрического солнечного модуля при стандартных условиях испытания, °С;
 c – температурный коэффициент изменения силы тока фотоэлектрического солнечного модуля, мА/°С.

Ток в точке максимальной мощности, при различных условиях испытания I'_{MPP} , В, определяется по формуле:

$$I'_{MPP} = I_{MPP} \cdot Q_{solrad} / 1000 + ((T_{cell} - T_{STC}) \cdot c), \quad (5)$$

где I_{MPP} – ток в точке максимальной мощности, фотоэлектрического модуля при стандартных условиях испытания, В;

Q_{solrad} – поступление суммарной солнечной радиации, Вт·ч/м²;
 T_{cell} – температура солнечного элемента, °С;
 T_{STC} – температура фотоэлектрического солнечного модуля при стандартных условиях испытания, °С;
 c – температурный коэффициент изменения силы тока фотоэлектрического солнечного модуля, мА/°С.

Мощность фотоэлектрического модуля, при различных условиях испытания P' , Вт, определяется по формуле:

$$P' = V_{MPP} \cdot I_{MPP} \quad (6)$$

Коэффициент полезного действия фотоэлектрического модуля, при различных условиях испытания η' , определяется по формуле:

$$\eta' = \frac{P}{a \cdot b} \cdot Q_{solrad} \quad (7)$$

где a, b – соответственно длина и ширина фотоэлектрического модуля.

В качестве объекта исследования выбран фотоэлектрический модуль CS3U-350MS мощностью 350 Вт. Номинальные значения электрических характеристик представлены в таблице.

Таблица – Технические характеристики CS3U-350

Технические характеристики	CS3U-350
Тип полупроводника	Поликристаллин, 156,75x78,38 мм
Максимальная мощность при стандартных условиях испытания, Вт	350
Напряжение холостого хода, В	46,6
Напряжение тока в точке максимальной мощности, В	39,2
Ток короткого замыкания, А	9,51
Сила тока в последовательной цепи в точке максимальной мощности, А	8,94
Температурный коэффициент изменения напряжения тока, %/°С	-0,29
Температурный коэффициент изменения силы тока, %/°С	0,05
Температурный коэффициент, характеризует изменения КПД фотоэлектрического модуля на 1 °С, %/°С	0,38
КПД, %	17,64
Номинальная операционная температура ячейки, °С	43
Размеры (Ш / В / Г), мм	992/2000/40
Вес, кг	22,6

Расчетные значения суточных электрических характеристик представлены на рис. 1-2.

Полученные результаты исследований могут быть востребованы при проектировании, моделировании и эксплуатации фотоэлектрических станций в условиях Беларуси.

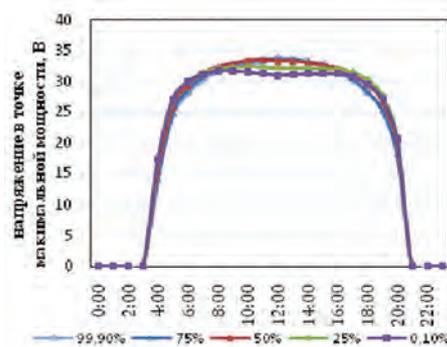
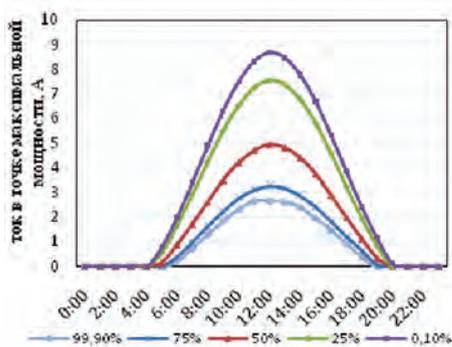


Рисунок 1 – Ток в точке максимальной мощности Рисунок 2 – Напряжение в точке максимальной мощности

ЛИТЕРАТУРА

1. Comparing major solar panel testing conditions. // [Электронный ресурс]. – 2014. – [http:// sinovoltaics.com](http://sinovoltaics.com).
2. Volker Quaschnig. Renewable energy and climate change/ISBN 978-0-470-74707-0/2010 г. – 344 p.
3. Quaschnig, V., Hanitsch, R.: Numerical simulation of current-voltage characteristics of photovoltaic systems with shaded solar cells. In: Solar Energy 56, (1996). – P. 513-520.
4. Quaschnig, V., Hanitsch, R.: Irradiance Calculations on Shaded Surfaces. Solar Energy 62 Issue 5, 1998. – P. 369–375.

ОБЗОР УСТРОЙСТВ ОЧИСТКИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ OVERVIEW OF PHOTOVOLTAIC SOLAR MODULE CLEANING DEVICES

В. В. Ковшик, В. И. Красовский
V. V. Kovshik, V. I. Krasovsky

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
slava.kovshik@yandex.by
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Солнечная энергия является эффективной альтернативой современным способам добычи электроэнергии в условиях постоянного роста цен на традиционные виды энергоносителей. В статье рассмотрены устройства очистки фотоэлектрических солнечных модулей.

Solar energy is an effective alternative to the modern methods of electricity production in the conditions of constant growth of prices for traditional types of energy carriers. The article deals with the devices for cleaning photovoltaic solar modules.

Ключевые слова: фотоэлектрический солнечный модуль, система очистки.

Keywords: photovoltaic, cleaning system.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-376-379>

В современном мире актуальным вопросом является сокращение запасов ископаемого топлива и переход к альтернативным видам топлива. Из существующих направлений развития альтернативной энергетики наиболее перспективным является солнечная энергетика.

Общий потенциал солнечной энергии в Республике Беларусь оценивается в 2,7·10⁶ млн т у. т. в год; технически возможный составляет 0,6·10⁶ млн т у. т. в год (при потоке 0,3 кВт·ч сут/м² и коэффициенте полезного действия преобразования, равным 12 %). При благоприятных экономических производственных условиях можно рассчитывать, что за счет использования солнечной энергии в ближайшее время в Республике Беларусь возможно замещение около 5 тыс. т у. т. в год органического топлива [1].

Согласно требованиям Государственной программы «Энергосбережение» на 2016-2020 годы (утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28.03.2016 №248) и отраслевой программы электроэнергетики на 2016-2020 годы (утвержденной постановлением Министерства энергетики Республики Беларусь от 31.03.2016 №8) предусмотрено увеличение доли производства первичной энергии из возобновляемых