

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 2,7·10<sup>6</sup> млн т у. т. в год; технически возможный составляет 0,6·10<sup>6</sup> млн т у. т. в год (при потоке 0,3 кВт·ч сут/м<sup>2</sup> 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

источников энергии к валовому потреблению ТЭР на 1 процент (с 5 процентов в 2015 году до 6 процентов в 2020 года). Так, с учетом природных, географических и метеорологических условий республики, одним из направлений реализации поставленного показателя является развитие солнечной и геотермальной энергетики. 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 источников альтернативной электроэнергии является фотоэлектрический солнечный модуль – устройство, которое преобразует часть солнечного электромагнитного излучения в электрический ток. Как правило, солнечный модуль размещают на крыше здания или специальной конструкции под определенным углом наклона, соответствующим оптимальному значению для широты данной местности. Однако при этом может получиться, что угол наклона солнечного модуля не позволит падающему на нее снегу скатываться естественным путем, что может привести к занесению поверхности солнечного модуля снегом и, как следствие, снижению выработки электроэнергии.

В связи с этим возникает необходимость повышения эффективности работы фотоэлектрических солнечных модулей. Своевременное выявление загрязнений, инородных предметов на поверхности солнечного модуля и быстрое их удаление позволит сделать это. Именно от степени загрязненности зависит эффективность и ресурс работы солнечных модулей.

Существуют три метода очистки фотоэлектрических солнечных модулей:

1. Пассивный метод. Данный метод рассчитан на самоочистку поверхности солнечного модуля под действием силы тяжести, благодаря крутому углу наклона.

2. Активный ручной. Метод подразумевает использование подручных средств, таких как щеток, скребков и т.д. При этом удаление снега может быть затруднительно в случае, если фотоэлектрические солнечные модули расположены на большой высоте.

3. Активный автоматический. Метод предполагает использование электрических систем или механических устройств, способных очищать поверхность солнечных модулей без непосредственного участия человека.

Предложен ряд вариантов, позволяющих автоматический производить очистку солнечных модулей. Например, автоматическая система подогрева солнечных модулей. Такая система, при помощи датчиков определяет, что модули покрыты снегом и начинают их обогревать. Снег начинает таять и под действием силы тяжести сходит с модуля, повышая ее эффективность.

Щеточный способ. Известна система очистки солнечных модулей [2], содержащая: защитную панель, которая устанавливается на солнечный модуль; приводное устройство, которое обеспечивает движение вдоль панели чистящей щетки, при этом щетка располагается между шкивами. Кроме того, на панели устанавливаются резервуары с чистящей жидкостью и датчики, которые обнаруживают загрязнение на защитной панели. В результате обнаружения загрязнения щетка приводится в движение приводным механизмом, одновременно распыляется спрей с чистящей жидкостью.

Недостатками данной системы являются большие габариты и невозможность использования в зимнее время из-за низких температур и возможных оледенений. Кроме того, использование защитной панели создает препятствие для прохождения солнечного потока, тем самым уменьшается КПД всей системы. Также недостатком данного устройства является наличие дополнительных конструкций, на которых должно устанавливаться данное устройство, а также не автономность и зависимость от чистящих средств.

Система очистки солнечных модулей [3], представляющее из себя каретку, на которой установлены датчики контроля загрязнения, щетки для чистки модулей и устройство распыления моющего средства. Каретка передвигается по рельсам, которые установлены вдоль солнечных модулей; с помощью датчиков визуальное происходит определение степени загрязненности, и при обнаружении загрязнения на панелях каретка проводит процедуру очистки, используя моющие средства и щетки.

Недостатками данной системы являются большие габариты и невозможность использования в зимнее время из-за низких температур и возможных оледенений чистящих средств. Также недостатком данного устройства является наличие рельс, по которым передвигается устройство, а также не автономность, из-за необходимости использовать чистящие средства.

Известна система очистки солнечных модулей [4], состоящее из нагнетателя воздуха (компрессора), двух валков, один из которых очищает механическим образом поверхность солнечного модуля, второй валик статическим образом притягивает остатки частиц пыли. Движение устройства осуществляется по направляющим, устанавливаемым по всему линейному массиву модулей. Устройство приводится в движение за счет энергии от аккумуляторной батареи.

Недостатками данной системы являются большие габариты и невозможность использования в зимнее время из-за низких температур и возможных оледенение конструкций. Также недостатком данного устройства является наличие дополнительных конструкций, по которым передвигается данное устройство.

Система очистки солнечных модулей, включающая в себя линию подачи жидкости, первый конец которой подключен к источнику водоснабжения, а второй конец имеет множество сопел, из которых распыляется чистящая

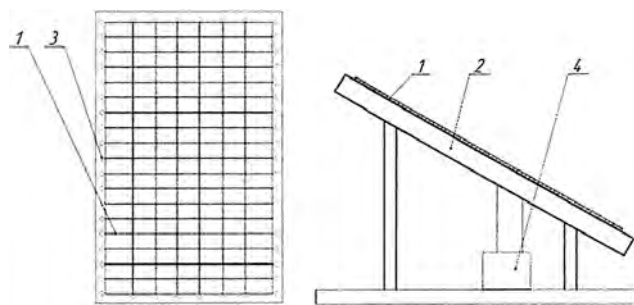
жидкость под давлением, и очищает поверхность панелей. Кроме того, система включает в себя насос - нагнетатель давления и корпус, внутри которого находится отсек с химическим веществом. Когда химическое вещество поступает в линию подачи жидкости, оно смешивается с водой, и создается чистящая жидкость, позволяющая растворять пыль и грязь с поверхности.

Недостатками данной системы являются невозможность использования в зимнее время из-за низких температур и возможных оледенений линий подачи жидкости. Также недостатком данного устройства является наличие дополнительных насосов, которые нуждаются в мощных источниках энергии, а также необходимость использовать чистящие средства.

Вибрационный способ. Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является автономная зимняя солнечная панель, состоящая из источника питания, соединенного с солнечной панелью, датчиков контроля загрязнения, проводов, расположенных на поверхности солнечной панели, и четырех вибрационных блоков, два из которых расположены на верхней грани поверхности панели, и по одному на боковых гранях панели. При обнаружении снега или льда на провода поступает электрический ток, в результате чего провода нагреваются, за счет этого происходит таяние снега и льда, после чего активируются вибрационные блоки для очищения панели от загрязнения.

Недостатком ближайшего аналога является необходимость заводской сборки данной системы и невозможность установки ее в полевых условиях, сложность конструкции, из-за использования множества различных элементов очистки: четырех вибрационных блоков, нагревательных проводов, и как следствие увеличение расхода мощности и снижение КПД всей системы в целом.

Также существует устройство очистки солнечной панели, которая достигается за счет увеличения силы натяжения проводов, при этом активируют очистку, при которой на провода подают переменный ток, обеспечивая одинаковые значения собственной частоты колебания проводов. При колебании провода соприкасаются друг с другом при максимальном значении амплитуды колебания, достигая механического резонанса, за счет которого обеспечивают вибрацию, необходимую для дробления льда и нагрев, необходимый для таяния снега и очистки панели.



*Рисунок – Устройство и способ автоматизированной очистки солнечной панели*

Устройство автоматизированной очистки солнечной панели (рис.) содержит провода 1, переплетенные друг с другом и установленные на солнечную панель 2, на которой установлены датчики натяжения проводов 3. Источник переменного тока 4 установлен в корпусе и расположен под панелью.

Устройство автоматизированной очистки солнечной панели работает следующим образом: при обнаружении зимних осадков датчиками натяжения проводов 3 на провода 1 подают переменный ток таким образом, чтобы провода (горизонтальные и вертикальные) имели одинаковую собственную частоту колебаний, при данных условиях возникает явление механического резонанса, при котором вибрация проводов раскалывает лед и очищает солнечную панель, также за счет нагрева проводов, растаявший снег стекает вниз по склону солнечной панели.

Устройство автоматизирует процесс очистки солнечных панелей независимо от температурных и погодных условий и при отсутствии обслуживающего персонала, также позволяет устанавливать и использовать данную систему на уже существующих солнечных панелях. В результате повышается эффективность очистки поверхности солнечной панели от снега, льда, мусора и других объектов, мешающих преобразованию солнечной энергии.

Также в настоящее время разработаны автоматизированные роботы, предназначенные для автоматической очистки поверхности фотоэлектрических панелей от пыли в засушливых климатических зонах. По способу очистки данные роботы подразделяются на воздушные и роботы находящиеся непосредственно на поверхности солнечного модуля.

Робот выполняет очистку фотоэлектрических панелей по воздуху. Он представляет собой беспилотный летательный аппарат (дрон), который состоит из 4 комплектов винтов и хвостового оперения, которое имеет определенный материал для выполнения очистки панелей.

Единственной частью дрона, которая соприкасается с поверхностью фотоэлектрической панели, является ее хвост, что, по мнению разработчиков, является главным преимуществом использования данного робота, так как с этой особенностью шансы повредить фотоэлектрическую панель уменьшаются.

Робот, которые осуществляют очистку непосредственно на поверхности солнечного модуля, состоит из чистящей головки и системы привода. Чистящая головка имеет две цилиндрические щетки, перемещающиеся вверх и вниз по краям поверхности панели с помощью пары моторизованных тележек для создания чистой фотоэлектрической панели. Управление осуществляется с помощью джойстика и радиоуправления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кундас, С. П. Возобновляемые источники энергии / С.П. Кундас, С.С.Позняк, Л.В. Шенец. – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2009. – 390 с.
2. Automatic cleaning system for solar panels and method thereof: par. US 8323421 F24J 2/40 / Lee, Han-Lung Publ. date 29.10.2009. Mode of access: <http://patft.uspto.gov/netacgi/nphParser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PALL&p=1&u=%2Fnetahhtml%2FPTO%2FSrchnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=8323421.PN.&OS=PN/8323421&RS=PN/8323421>. – Date of access: 04.12.2012.
3. Solar panel cleaning system: par. US 8984704 B08B 1/00 / Saraf, Moshe – Publ. date 07.10.2013. – Mode of access: <http://patft.uspto.gov/netacgi/nphParser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PALL&p=1&u=%2Fnetahhtml%2FPTO%2FSrchnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=8984704.PN.&OS=PN/8984704&RS=PN/8984704>. – Date of access: 24.03.2015.
4. Photovoltaic panel cleaning machine: par. US 9130502 B08B 11/04 / S.Pamir, Gandhidasan, Palanichamy – Publ. date 15.12.2014. Mode of access: <http://patft.uspto.gov/netacgi/nphParser?Sect1=PTO1&Sect2=HITOFF&d=PALL&p=1&u=%2Fnetahhtml%2FPTO%2FSrchnum.htm&r=1&f=G&l=50&s1=9130502.PN.&OS=PN/9130502&RS=PN/9130502>. – Date of access: 08.09.2015.

## ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ TECHNOLOGIES FOR PROCESSING PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS

**Н. А. Конончук, И. П. Наркевич**  
**N. Kononchuk, I. Narkevich**

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д.Сахарова, БГУ,  
г. Минск, Республика Беларусь  
kononchuk2012@bk.ru  
Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

Проведено изучение проблематики использования стойких органических загрязнителей. Рассмотрено влияние стойких органических загрязнителей на окружающую среду. Изучены перспективные методы переработки стойких органических загрязнителей. Выявлено, что для наибольшей эффективности очистки необходимо использование нескольких технологий.

The problem of using persistent organic pollutants has been studied. The influence of persistent organic pollutants on the environment is considered. Advanced methods for processing persistent organic pollutants have been studied. It was found that in order to achieve the highest cleaning efficiency, several technologies must be used.

*Ключевые слова:* стойкие органические загрязнители, технологии по переработке, воздействие на здоровье, окружающая среда.

*Keywords:* persistent organic pollutants, processing technologies, health effects, environment.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-379-382>

В последние годы мир столкнулся с такой экологической проблемой, как стойкие органические загрязнители (далее – СОЗ). СОЗ образуются и выделяются в окружающую среду преимущественно в результате деятельности человека и причиняют вред здоровью людей и окружающей среде.

Стойкие органические загрязнители – это класс высоко опасных химических загрязняющих веществ, представляющих собой серьезную глобальную угрозу здоровью человека и окружающей среде. К СОЗ относятся некоторые пестициды, некоторые промышленные химикаты и некоторые непреднамеренно образующиеся побочные продукты, которые формируются во время определенных процессов сжигания и химических процессов. СОЗ широко представлены в окружающей среде во всех регионах мира. Каждый человек содержит в своем организме СОЗ, которые в основном накапливаются в жировых тканях. Организмы большинства рыб, птиц, млекопитающих и других форм дикой природы также загрязнены СОЗ.

Производство и использование СОЗ, а также образование этих загрязнителей в качестве побочных продуктов ведет к широкомасштабному загрязнению окружающей среды. Они способны оказывать свое влияние в течение десятилетий. Попадая во внешнюю среду, эти высокотоксичные химикаты способны достигать самых удаленных уголков планеты. Загрязнение принимает повсеместный характер, почва и растения поражаются из-за использования пестицидов, выбросы промышленных предприятий загрязняют водные объекты, сжигание мусора воздействует на воздушную среду. В результате они переносятся на большие расстояния от места выброса или использования.