

УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Котельников Д.Ю.

аспирант кафедры «Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети»,

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,

РФ, г. Севастополь

Кузнецов П.Н.

К.т.н., доцент кафедры «Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети»,

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,

РФ, г. Севастополь

Аннотация. В статье приведено решение, позволяющее в автоматизированном режиме выполнять мониторинг и диагностику фотоэлектрических модулей на промышленных солнечных электрических станциях. В основе предложенного решения лежит использование беспилотного летательного аппарата в комплексе с интеллектуальной системой детектирования повреждений и степени загрязнения фотоэлектрических модулей, основанной на методах нейросетевой классификации и машинном зрении. Для выполнения процедур детектирования была использована нейронная сеть, основанная на архитектуре Fast R-CNN с алгоритмом обучения – Inception v2 (COCO). Применение данной нейронной сети позволяет выявлять дефектные модули в ясный день с точностью более 95%. Использование комплекса позволяет увеличить энергетическую эффективность солнечных электростанция на 2% за счёт детектирования загрязнённых, запылённых и повреждённых фотоэлектрических модулей, ограничивающих энергетическую выработку модулей, работающих без дефектов.

Ключевые слова: солнечные электрические станции, беспилотный летательный аппарат, повышение энергоэффективности, диагностика, мониторинг.

DEVICE FOR AUTOMATIC MONITORING AND DIAGNOSTICS OF A SOLAR POWER PLANT

Kotelnikov D.Y.

Postgraduate at Department of Renewable Energy and Electrical Systems and Networks

Sevastopol State University,

Russian Federation, Sevastopol.

Kuznetsov P.N.

Ph.D., Associate Professor, Department of Renewable Energy and Electrical Systems and Networks,

Sevastopol State University,

Russian Federation, Sevastopol

Abstract. The article presents a solution that allows automated monitoring and diagnostics of photovoltaic modules at industrial solar power stations. The proposed solution is based on the use of an unmanned aerial vehicle in combination with an intelligent system for detecting damage and the degree of contamination of photovoltaic modules, based on the methods of neural network classification and machine vision. To perform the detection procedures, a neural network based on the Fast R-CNN architecture with the learning algorithm – Inception v2 (COCO) was used. The use of this neural network allows you to identify defective modules on a clear day with an accuracy of more than 95%. The use of the complex allows you to increase the energy efficiency of solar power plants by 2% by detecting contaminated, dusty and damaged photovoltaic modules that limit the energy output of modules that operate without defects.

Keywords: solar power stations, unmanned aerial vehicles, energy efficiency improvement, diagnostics, monitoring.

В процессе эксплуатации промышленных солнечных электрических станций (СЭС) возникают проблемы, связанные с загрязнением и повреждением фотоэлектрических модулей. Данные проблемы приводят к существенному снижению их энергетической эффективности. Также необходимо отметить, что частичное затенение одного модуля приводит к ограничению энерговыработки остальных последовательно соединённых модулей в следствии рассогласования по напряжению в точках максимальной мощности. В связи с этим возникает необходимость систематического мониторинга состояния поверхности модулей, а также их диагностики [1,2].

В настоящее время не представлено готовых решений для автоматического мониторинга и диагностики состояния фотоэлектрических модулей без непосредственного вмешательства в работу каждого из них, а самыми распространёнными решениями являются:

1. Визуальный осмотр поверхности фотоэлектрических модулей персоналом СЭС. Данное решение является одним из первых и самых распространённых способов решения проблемы мониторинга фотоэлектрических модулей. На текущий момент является устаревшим ввиду больших затрат времени на обход территории СЭС, не точным из-за воздействия человеческого фактора, а также влечёт за собой необходимость в содержании дополнительного обслуживающего персонала [3].
2. Установка комплекса датчиков в каждое параллельно соединённое объединение фотоэлектрических модулей (стринг). Решение основано на постоянном мониторинге электрических параметров. Для его реализации некоторые производители предлагают устанавливать необходимое оборудование непосредственно на заводе в объединения фотоэлектрических модулей (стринги). Ввиду большого количества модулей (СЭС «Перово» – 440 000 шт.) расположенных на территории электростанции, данное решение является очень затратным [4].
3. Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для фотофиксации поверхности фотоэлектрических модулей и последующей ручной обработкой полученных данных. Решение является одним из новшеств в сфере диагностики и мониторинга СЭС, но существенно теряет в своей эффективности из-за наличия человеческого фактора, а также необходимости содержать дополнительный персонал.

Поскольку существующие решения имеют ряд существенных недостатков, для решения задачи мониторинга и диагностики состояния фотоэлектрических модулей авторами предлагается использовать автоматизированный комплекс с беспилотным летательным аппаратом [5] и системой детектирования повреждений и степени загрязнения фотоэлектрических модулей, основанной на методах нейросетевой классификации и машинном зрении.

Принцип работы предлагаемого автоматизированного комплекса можно описать с помощью функциональной блок-схемы (рис. 1).

Работу функциональной блок-схемы (рис. 1) можно описать следующим алгоритмом:

1. Оценка территории СЭС. Создание интерактивной карты СЭС. Составление полётного маршрута БПЛА. Для начала работы автоматизированного комплекса, необходимо оценить топологические особенности территории, занимаемой СЭС, снять координаты фотоэлектрических модулей для создания интерактивной карты СЭС, а также составить оптимальный полётным маршрут для БПЛА, покрывающий всю требуемую территорию. В случае, если будет использовано несколько БПЛА – разделить всю покрываемую зону на отдельные сектора и разделить их между аппаратами.



Рис. 1. Функциональная блок-схема, описывающая принцип работы автоматизированного комплекса (авторская разработка)

2. Фотофиксация поверхности фотоэлектрических модулей с помощью БПЛА. После составления оптимального полётного маршрута начинается процедура облёта БПЛА отведённого для него сектора с фотофиксацией поверхности фотоэлектрических модулей.

3. Отправка данных в рабочую область нейронной сети. Результатом фиксации поверхностей модулей будут являться файлы с данными, которые необходимо предварительно обработать, а затем внести в рабочую область предварительно обученной нейронной сети.
4. Обработка данных. Выявление загрязнённых модулей. Благодаря технологиям машинного зрения и нейросетевым алгоритмам будут определены все загрязнённые фотоэлектрические модули, расположенные на территории СЭС.
5. Индикация полученных результатов на интерактивной карте СЭС. После окончания процедуры обработки данных, все полученные результаты будут отражены на интерактивной карте СЭС, представляющей собой схему станции с отображёнными на ней фотоэлектрическими модулями.

Автоматизированный комплекс для мониторинга и диагностики фотоэлектрических модулей предназначен для использования на солнечных электростанциях не зависимо от их мощности и занимаемой площади с целью увеличения их энергоэффективности.

Преимущества предлагаемого автоматизированного комплекса заключаются в оперативном отслеживании состояния фотоэлектрических модулей, минимизации воздействия на процесс сбора данных человеческого фактора и затраченного на осмотр времени, создании детального журнала с перечнем обследованных фотоэлектрических модулей и их состояния. Помимо этого, следует отметить, что каждое последующее обследование позволит существенно увеличить точность анализа не только на текущей солнечной электростанции, а и на других станциях, использующих данный автоматизированный комплекс, ввиду увеличения количества данных, анализируемых с помощью нейросетевых методов.

При изменении настроек машинного зрения, вышеуказанный комплекс возможно использовать для обнаружения дефектов в иных сферах, например: выявление повреждений лопастей ветроэлектрических установок, кровли больших

сооружений, таких как футбольные стадионы или крупные цеха предприятий. Также, после перенастройки, данный комплекс возможно использовать для построения карты распределительных сетей путём облёта территории и обнаружения типовых для разного класса напряжения опор и снятия их координат.

Создание автоматизированного комплекса сопряжено с решением следующих многоуровневых последовательных задач:

1. Исследование методов мониторинга и диагностики фотоэлектрических модулей за счёт использования развитых нейросетевых технологий и машинного зрения.
2. Создание обучающей выборки на основе реальных данных, полученных на промышленных солнечных электростанциях и в лаборатории «Солнечная энергетика» кафедры «Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети» Севастопольского государственного университета.
3. Создание интерактивной карты солнечной электростанции для отображения выявленных, в результате нейросетевого анализа, дефектов фотоэлектрических модулей.
4. Создание автоматизированного комплекса диагностики и мониторинга фотоэлектрических модулей на основе беспилотного летательного аппарата.

Для реализации автоматизированного комплекса диагностики и мониторинга фотоэлектрических модулей был выбран беспилотный летательный аппарат коптерного типа – FIMI X8 SE (рис. 2).



Рис. 2. Квадрокоптер FIMI X8 SE (<https://www.fimi.com>)

Достоинствами квадрокоптера FIMI X8 SE являются: бесколлекторный тип двигателей, что позволяет существенно увеличить его надёжность и срок активного использования, встроенная камера с разрешением 12 МП (съемка Quad HD 2716x1524 пикселей 60 к/с, фото - 4000x3000 пикселей) при невысокой стоимости. Также данный аппарат имеет трёхосевой механический подвес, выполняющий роль стабилизатора для улучшения качества фото и плавности видео, что является важным для решения задач, связанных с техническим зрением.

Для реализации процедуры детектирования загрязнённых фотоэлектрических модулей, выполняющейся при помощи технологий машинного зрения, была выбрана свёрточная нейронная сеть Fast R-CNN с архитектурой Inception v2 (COCO) [6]. Использование данной нейронной сети позволило выполнить процедуру детектирования дефектов фотоэлектрических модулей с точностью более 95%.

Предлагаемый автоматизированный комплекс будет существенно дешевле, чем использующиеся на крупных солнечных электростанциях решения, основанные на использовании датчиков, устанавливаемых в соединительных щитах. Также, внедрение данного решения на существующие солнечные электростанции не требует дополнительных затрат на их схемную и конструкторскую переконфигурацию. Однако, при всех достоинствах, применение данного автома-

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

тизировано комплекса ограничено погодными условиями (например, во время дождя или сильного ветра), а также временем суток.

Таким образом, автоматизированный комплекс позволит оперативно отслеживать состояние фотоэлектрических модулей, расположенных на территории СЭС, минимизировать воздействие человеческого фактора и затраченного времени. Техничко-экономические расчёты внедрения данного решения на солнечных электростанциях, показывают, что использование предлагаемого комплекса позволит увеличить их энергетическую эффективность на 2%.

Работа была выполнена при поддержке «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонда содействия инновациям).

Библиографический список:

1. Кузнецов, П.Н. Исследование повышения эффективности фотоэлектрических установок, работающих в условиях частичного затенения / П.Н. Кузнецов, Л.Ю. Юферев // Вестник аграрной науки Дона, 2018. – № 2(42) – С. 12–22.
2. Чуйков, Р. Обзор отрасли и перспективы развития солнечной энергетики в России / Р. Чуйков // Альтернативный киловатт. – 2010. – № 2.
3. Кузнецов, П.Н. Устройство удаленного мониторинга электрических параметров солнечной электростанции / П.Н. Кузнецов, А.А. Лавренчук, Л.Ю. Юферев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2018. – № 5-1 – С. 37–42.
4. Заголило С.А. Перспективы использования солнечной энергетики в децентрализованных энергорайонах Крайнего Севера / С.А. Заголило, А.С. Семёнов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2015. – № 11-3. – С. 333-336.
5. Никитова, А.К. БПЛА в топливно-энергетическом комплексе и экологическом мониторинге / А.К. Никитова, В.В. Клочков // Энергия: экономика, техника, экология, 2013. – № 2. – С. 34-41.

6. Сирота, А.А. Анализ алгоритмов поиска объектов на изображениях с использованием различных модификаций сверточных нейронных сетей / А.А. Сирота, Е.Ю. Митрофанова, Милованова А.И. // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии, 2019. – № 3. – С. 123-137.

Оригинальность 95%