

УДК 621.311

## АЛГОРИТМЫ ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ОСНОВЕ БОЛЬШИХ ДАННЫХ ЕЁ МОНИТОРИНГА



**К.С. Дик**

*Аспирант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники*



**И.И. Пилецкий**

*Доцент кафедры информатики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, к. ф.-м. н.*

### **К.С. Дик**

*Аспирант БГУИР. Инженер по программному обеспечению и данным в Ютех Солюинс. Проводит научные исследования по обнаружению аномалий с помощью искусственной нейронной сети.*

### **И.И. Пилецкий**

*Доцент кафедры информатики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. В сфере IT более 50 лет. Участие в разработке нескольких десятков крупных проектов: главный конструктор проекта, главный архитектор программного и информационного обеспечения, руководитель проекта, начальник отдела.*

**Аннотация.** Представлен анализ алгоритмов поиска неисправностей солнечных электростанций на основе больших данных собранных в результате мониторинга с использованием облачных ресурсов. Проанализированы различные подходы к моделированию солнечных панелей и солнечных ячеек, исследованы системы управления с обратной связью и влияние изменений параметров окружающей среды на производительность солнечных электростанций. Особое внимание уделено сравнению различных моделей солнечных ячеек для определения влияния входных параметров на их эффективность.

**Ключевые слова:** обнаружение аномалий, солнечная PV панель, глубокое обучение, неконтролируемое обучение, математические модели.

### **Введение**

Солнечные электростанции являются важным источником возобновляемой энергии, и повышение эффективности их работы является актуальной задачей. В данной статье рассматриваются различные подходы к оптимизации работы солнечных панелей в сложных и нелинейных условиях с использованием информационных систем.

Целью исследования явился анализ существующих методик, подходов и алгоритмов поиска неисправностей солнечных электростанций на основе больших данных, которые собираются в результате сбора телеметрии по каждой из солнечных панелей электростанции, а также поиск возможности оптимизации эффективности работы солнечных панелей.

### **Мониторинг и диагностика состояния солнечных панелей**

В отношении солнечных панелей наиболее актуальным применением информационных систем является оптимизация эффективности их работы в различных, нелинейных и сложно прогнозируемых условиях.

Для мониторинга и диагностики состояния панелей, а также прогнозирования их дальнейшего состояния чаще всего применяется моделирование. При помощи моделирования возможна как начальная оценка производительности при установке солнечных панелей, так и долгосрочное планирование за счет изменения параметров,

влияющих на производительность панели. Также при расхождении значений на текущей реальной панели со значениями модели можно вовремя обнаружить неисправность и устранить ее.

В работе автора Heng Wang [1] моделируются и оцениваются не только сами солнечные панели, но и станция сотовой связи, которая будет потреблять полученное электричество (рис. 1).

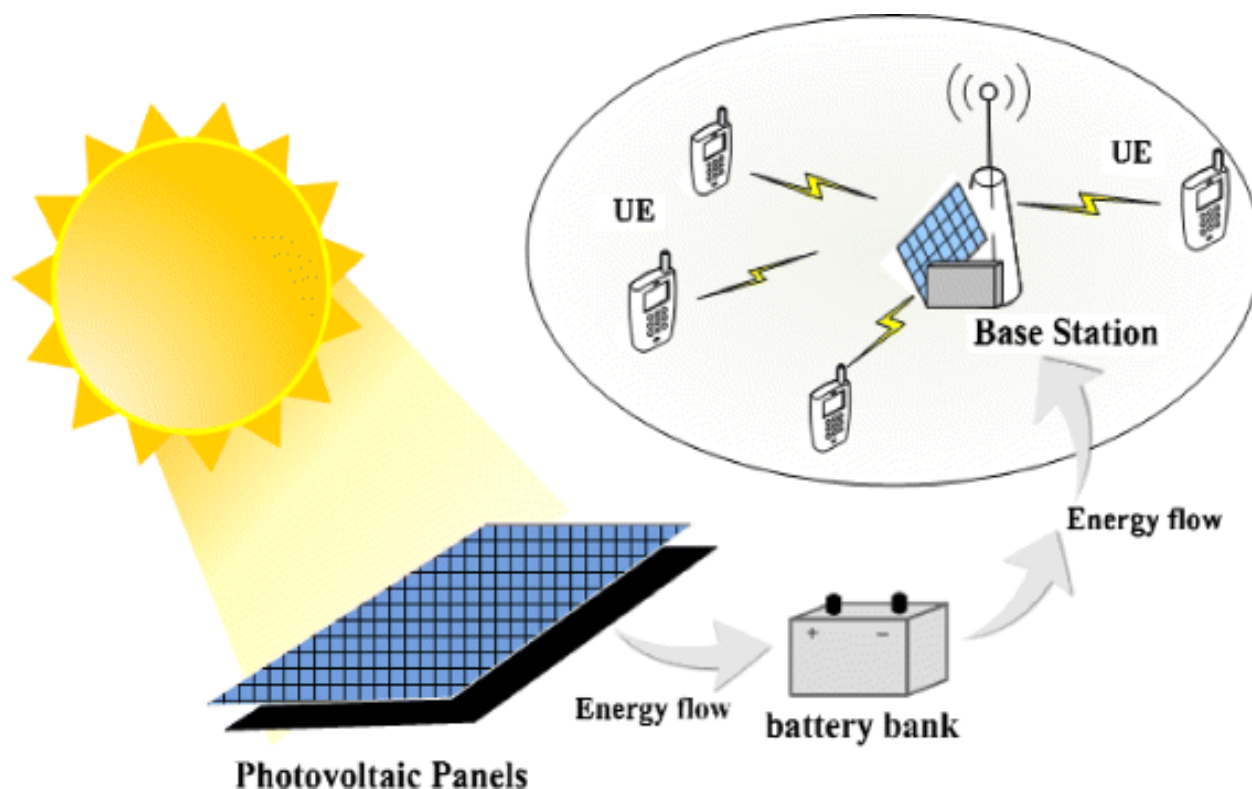


Рисунок 1. Схема работы базовой станции сотовой связи с использованием солнечных панелей

Помимо стандартных вводятся специальные метрики для оценки эффективности преобразования солнечной энергии, возможных перебоев в работе системы и средней глубиной разряда накопленной энергии. С использованием метрик создается оптимальная модель, решающая в том числе и проблему размеров станции, заключающейся в балансе между надежностью и компактностью. Кроме различных метрик для оценки были также использованы метеорологические данные по солнечному излучению и температуре.

В статье [2] исследуется влияние толщины стекла и поливинилфторида, температуры на входе системы, температуры ячейки и других параметров на эффективность солнечных панелей. Рассматривается возможность оптимизации эффективности по температуре и эффективности по электричеству при помощи генетических алгоритмов. В данных алгоритмах используются все параметры, на которые можно влиять (например интенсивность солнечного излучения таким параметром не является).

Авторы [3] проводили моделирование не для отдельной панели, а для массива панелей, учитывая нелинейность его характеристик и постоянно меняющиеся условия работы. Для этого представлены модели ячеек/панелей/массивов панелей с использованием Tag tools в Matlab/Simulink. Солнечная панель DS-100M использовалась как reference model (рис. 2).



Рисунок 2. Установка солнечной панели DS-100M

При моделировании учитываются как изменяющиеся условия окружающей среды, так и физические параметры панелей. В результате моделирования была получена точная, надежная и легко модифицируемая модель массива солнечных PV панелей, включающая изменяющиеся значения температуры, солнечного излучения, частичного затенения и физических параметров панелей.

В работе [4] рассматривается моделирование солнечных ячеек и определение параметров солнечной ячейки в реальном времени. Проводится сравнение эффективности моделирования между моделью электрической цепи с 1 диодом и с 2-мя диодами с использованием численных методов. Данная статья нацелена на выбор наиболее подходящей модели солнечной ячейки после моделирования.

В [5] исследованы солнечные ячейки различной геометрической формы (не стандартные плоскостные, а с изогнутыми поверхностями, рис. 3). В работе предложены модели для создания более гибких ячеек оптимальной формы, позволяющие использовать солнечные панели на крышах зданий нетипичной формы. Сотни различных вариаций размещения и соответствующие им результирующие характеристики солнечных панелей были изучены. Также в процессе использовались панели различных размеров и эффективность панелей сравнивалась с аналогичными панелями плоскостной формы.

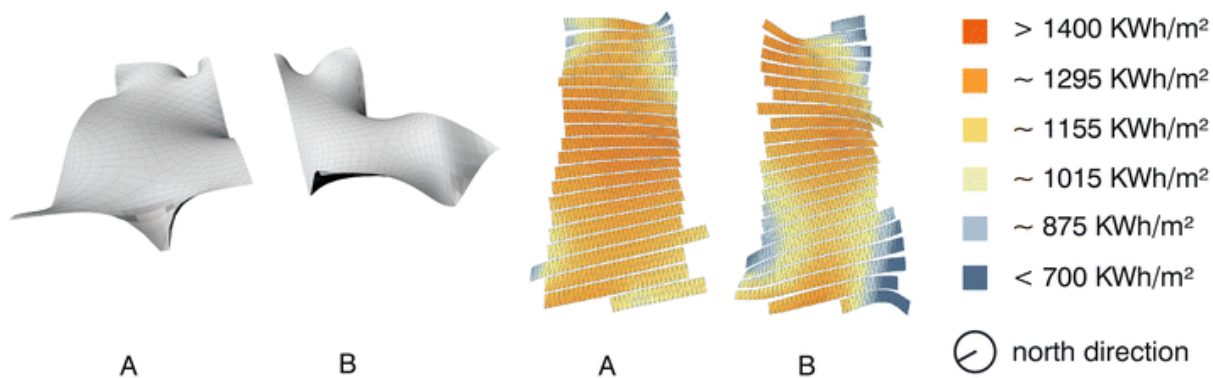


Рисунок 3. Примеры различных форм панелей для крыш и сравнение распространения света в зависимости от формы

Авторы [6] рассматривают математическую модель солнечной панели для оценки МРР. Учитываются отклонения данных и сопротивление шунта, для расчета динамического изменения которых используется метод Ньютона. Модель успешно протестирована на контроллере dSPACE DS1104.

В работе [7] использованы нейронные сети для прогнозирования мощности, производимой монокристаллической PV панелью. В процессе эксперимента были измерены и зафиксированы значения тока и напряжения, производимые панелью в течение года. Также использовались значения солнечного излучения, температуры воздуха, скорость ветра, направление ветра, относительная влажность и угол наклона Солнца. В результате была получена модель, в которой RMS (root mean square, среднеквадратичная ошибка) не превышала 1,4% и коэффициент корреляции R варьировался от 99,637 до 99,998% на тестовом наборе данных. Натренированная в данной работе нейронная сеть позволяет оценивать панели на любой местности с использованием атмосферных показателей. Полученная нейронная сеть предназначена для первоначального прогнозирования эффективности PV панелей при различных природных условиях в месте предполагаемой установки панели.

Статья [8] рассматривает системы управления с обратной связью и зависимость небольших изменений мощности в PV системах при изменениях параметров окружающей среды (температура и солнечное излучение). Данные изменения ведут себя как возмущения в системе и должны быть точно оценены в виде изменений в результирующих мощности и/или токе. Предложена линейная модель, которая принимает на вход температуру и солнечное излучение. На выходе получаем ток и мощность массива солнечных ячеек. Данная модель протестирована на панелях в лаборатории при различных условиях параметров окружающей среды.

Авторы исследования [9] предложили модель солнечной панели в виде модели эквивалентной ей электрической цепи для оценки электрических параметров панели. Главная проблема заключалась в точности данных параметров. В модели использовалось 7 параметров, результаты модели были протестированы на 6 панелях, созданных с применением различных технологий. Среди них присутствовала монокристаллическая, поликристаллическая и модель с тонкой пленкой. Результаты модели совпали с результатами оценки I-V кривых на данных панелях. Также результаты полученной модели сравнивались с другими уже существующими моделями, использующими 5 и 7 параметров. По результатам полученная модель оказалась более точной по сравнению с аналогами.

В работе [10] рассмотрены различные модели солнечной ячейки: на основе одного диода, на основе одного диода с  $R_s$  (последовательным соединением), на основе одного диода с  $R_p$  (параллельным соединением), на основе двух диодов и на основе трех диодов. Для определения влияния входных параметров на эффективность ячейки использовалась SPICE симуляция. Получены следующие результаты: фототок  $I_L$  пропорционален солнечному излучению,  $R_s$  уменьшает напряжение короткого замыкания и коэффициент заполнения.  $R_p$  сокращает напряжение разомкнутой цепи (холостое напряжение) и оба диода (диффузионный и рекомбинационный) сокращают значения напряжения разомкнутой цепи и коэффициента заполнения. Также показано, что увеличение температуры ячейки снижает значения напряжения разомкнутой цепи и коэффициента заполнения, и поэтому значительно снижает производительность ячейки.

Авторы [11] исследовали точность двухдиодной модели для трех различных технологий PV ячеек: монокристаллической, некристаллической (аморфной), и технологии на основе микроморфного кремния (рис. 4). При проверке модели использовались I-V и P-V кривые при стандартных STC. Сравнивались результаты, полученные при помощи модели и результаты с реальных солнечных панелей данных типов, полученные в

солнечный и в облачный дни. Найдены подходящие коэффициенты для модели при различных уровнях солнечного излучения и температуры.

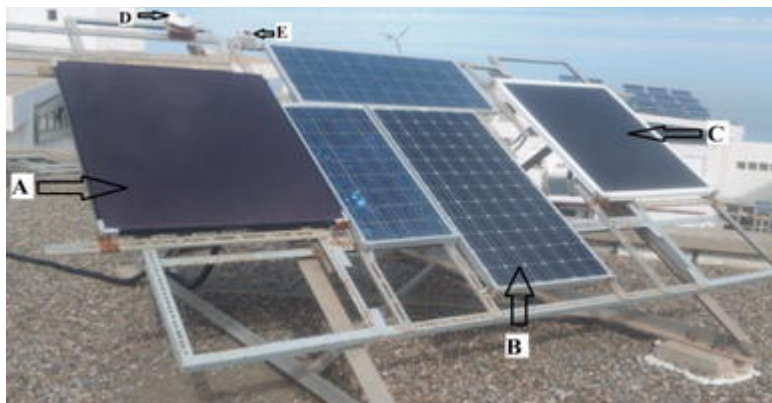


Рисунок 4. Различные виды технологий производства PV панелей: А - кремниевая аморфная, В - кремниевая монокристаллическая, С - кремниевая микроморфная. D и E - пиранометр и кремниевая reference cell соответственно

В работе [12] рассмотрены текущие проблемы численного моделирования кристаллических кремниевых солнечных панелей. Предложенная модель позволяет ускорить оптимизацию произведенных ячеек и прогнозировать изменения в ячейках. Предлагается использовать параметры для обычных моделей солнечных панелей и приспособить их конкретно для солнечных панелей, например внутреннюю плотность носителей, подвижность неосновных носителей, рекомбинацию пассивированных плоскостей и оптические модели. Текущими основными затруднениями при проектировании солнечных панелей названы подвижность дырок неосновных носителей, рекомбинация же при низких плотностях легирующей примеси и промежуточные уровни впырка и тонко настроенные параметры панели в зависимости от температур.

В статье [13] предложена модель солнечной ячейки, позволяющая точно прогнозировать I-V характеристики при различных значениях солнечного излучения и температуры. Модель значительно оптимизирует вычисления для модели с одним диодом и 5-ю параметрами, вводя 5 граничных условий, основанных на данных, полученных от производителя панели. Вычисления сведены к нахождению 2-х неизвестных параметров -  $R_s$  (series resistance) и  $R_{sh}$  (shunt resistance), которые сходятся в среднем за 5 итераций. Параметры модели экстраполированы для учета изменений температуры и солнечного излучения. Данные сходятся с коммерческими PV панелями с высокой точностью. RMS для предложенной I-V модели равен 0,0031, что превосходит аналогичные модели.

В работе [14] рассмотрена проблема различных природных условий в зависимости от места размещения солнечных панелей. Изучалось нахождение оптимальных природных условий для новых панелей с максимальной эффективностью. За основу были взяты STC (солнечное излучение 1000 Вт/м<sup>2</sup>, температура 25 °C и коэффициент воздушных масс 1,5. Данные условия являются идеальными, но практически не встречаются на практике из-за климатических особенностей, так что в лучшем случае несколько параметров будут иметь близкие к STC значения.

Авторы [15] рассматривают модель для оптимизации массивов PV панелей при помощи самоорганизующейся конфигурации. Предложен метод на основе генетических алгоритмов, максимизирующий выходную мощность массива и снижающий количество переключений. Рассмотрена система из 16 панелей (по 4 в каждом соединении, последовательные и параллельные). Также используется дополнительный метод

оптимизации производительности при различных уровнях затенения. Результаты показывают улучшения в производительности от 106.49 до 171.03% по сравнению со статичным вариантом использования массивов. Отдельно стоит отметить оптимизацию скорости поиска наиболее подходящей конфигурации: вместо  $1616 = 1,84 * 1019$  вариаций в худшем случае необходимо рассмотреть лишь  $132 * 50 = 6600$ . Последнее особенно актуально для работы в реальных условиях и со значительно большим количеством панелей, расчет оптимальной конфигурации для которых должен проходить в реальном времени. Также исключены лишние переключения панелей (если для оптимального состояния не нужно переключение и панель уже находится в нужном положении). Для работы данной системы необходимо лишь наличие двух базовых датчиков: один для тока и другой для напряжения на массиве панелей.

Работа [16] рассматривает модели с 5-ю параметрами, включающие управляющий ток генератора и сопротивления диода, шунта и последовательное сопротивление. Модель основана на данных, полученных в режимах разомкнутой цепи, максимальной мощности и короткого замыкания. Также в модели учитывается частичное затенение в случае двух параллельно соединенных аморфных солнечных панелей. Полученные при помощи данной модели данные были провалидированы при помощи экспериментальных измерений на реальных PV панелях.

В работе [17] рассмотрена проблема сложности оценки эффективности солнечных панелей на стадии проектирования, преимущественно, монтирующихся на крышах зданий. Используются следующие параметры:

- 1 горизонтальные компоненты солнечного излучения (глобальное, рассеянное, прямое излучения) на конкретной местности;
- 2 эффекты затенения, преимущественно от других крыш;
- 3 наклон, форма крыши;
- 4 солнечное излучение с учетом наклона крыши;
- 5 свободное место на крыше, предназначенное для установки PV панелей.

Используются физические и эмпирические модели, геостатические методы оценки, метод проб, географические информационные системы (ГИС) и методы на основе определения света и расстояния (LiDAR - light detection and ranging), а также методы машинного обучения. Учитываются плюсы и минусы каждого из данных методов.

Авторы [18] рассматривают влияние затенения на характеристики I - V и P - V кривых солнечной панели. Учитываются температура, солнечное излучение и уровень затенения. Особенно сильно затенение влияет на большие солнечные электростанции. Также из-за затенения вместо одной MPP возникает несколько пиковых значений, что затрудняет анализ эффективности панелей. Предложена модель для оценки I -V и P - V кривых при нестандартном уровне солнечного излучения из-за частичного затенения. Для валидации модели использовались средства симуляции Matlab.

Авторы исследования [29] сравнивают эффективность короткой последовательности массива солнечных панелей с разным типом соединения - последовательным и параллельным. При частичном затенении эффективность массива падает и возникает несколько MPP. Величина потерь на затенении зависит от конфигурации массива, физического расположения панелей и параметров затенения. Использовался небольшой массив PV панелей из 3-х модулей. Измерения и моделирование проводились для различных типов соединения: последовательного и параллельного. Также использовались различные уровни солнечного излучения и параметры затенения. По результатам при последовательном соединении панелей потери значительно превышают аналогичные при параллельном соединении.

В работах [19, 20] рассматривают проблему оценки уровня влияния частичного затенения на эффективность PV панелей. Для данной оценки используется модель, которая

была провалидирована в реальных условиях (рис. 5). Использовались 3 вида затенения, классифицирующиеся по длительности воздействия затенения на панель и по относительному изменению напряжения в точках MPP. Результаты позволяют улучшить будущие методы определения MPP (MPPT).

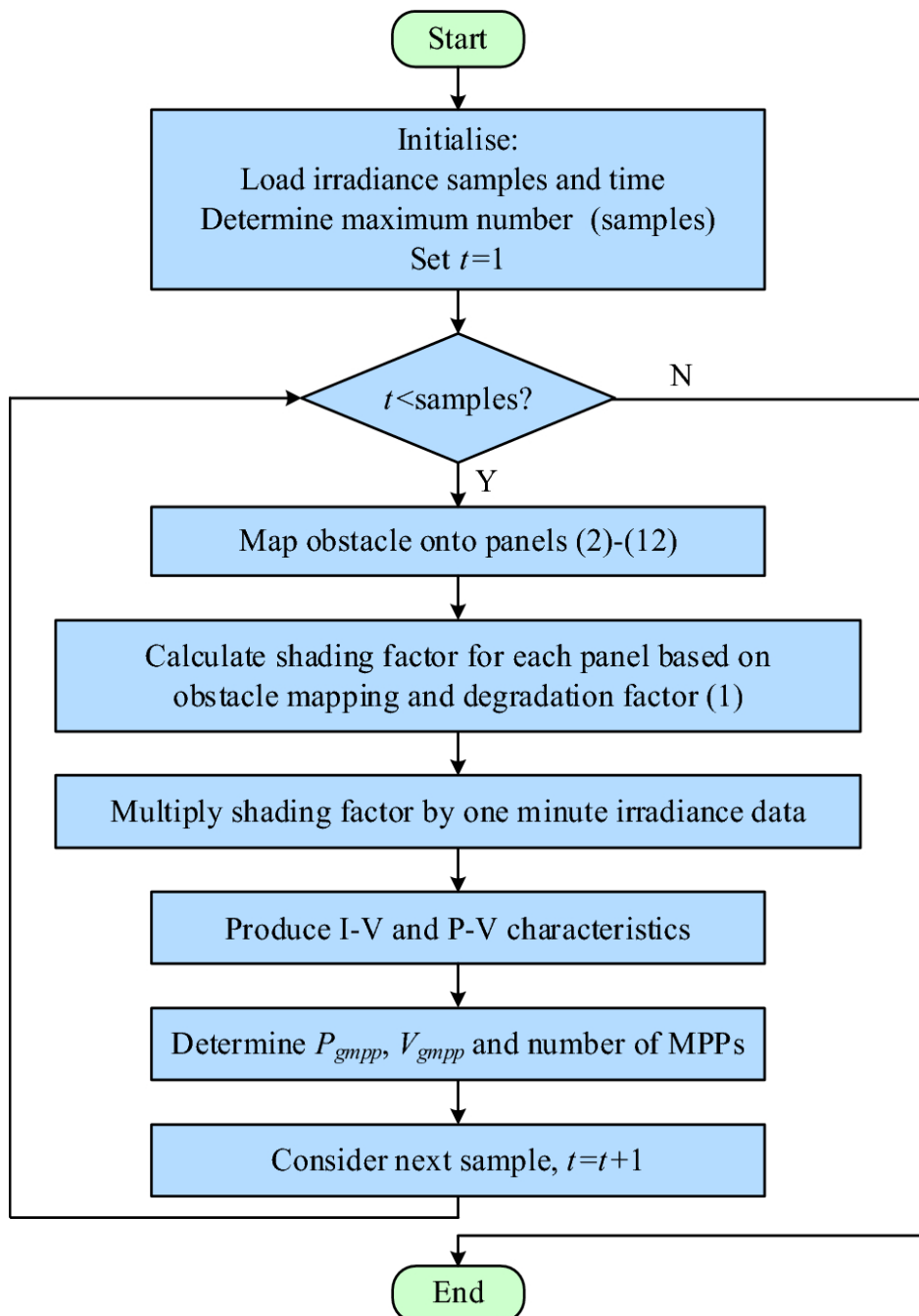


Рисунок 5. Алгоритм моделирования и валидации в условиях частичного затенения

В условиях частичного затенения каждая солнечная ячейка должна моделироваться индивидуально. Предложенная в [21] модель позволяет минимизировать влияние данной особенности на эффективность моделирования. Алгоритм разделяет ячейки в небольшие группы по 2-3 штуки на основе их показателей, представленных в виде коэффициентов.

Коэффициенты рассчитываются и изменяются в реальном времени. Метод представлен и продемонстрирован в Modelica / Dymola.

Авторы [22] пытаются решить проблему точности MPPT алгоритмов в различных и непредсказуемых условиях, а в [23] рассмотрены методы оптимизации и архитектуры для максимизации выработки энергии PV массивом при любых погодных условиях.. В виде решения предлагается создание модели, позволяющей проводить на ней тесты точности MPPT алгоритмов. Данная модель должна полностью включать в себя реализацию MPPT карты, эмулирующей данные с реальной панели. Представлена реализация модели, позволяющей проверить устойчивость результатов MPPT алгоритма при быстро меняющихся условиях среды. Полученные результаты подтверждают надежность и улучшение эффективности при использовании предложенной модели. В [23] Приводится описание актуальных известных методов оптимизации и моделирования PV массивов. Далее оцениваются известные методы MPPT (MPP tracking) и выделяются их основные преимущества и недостатки. Отдельно проводится сравнительный анализ более современных методов с использованием искусственного интеллекта и классических методов отслеживания MPP. Далее рассматриваются возможные применения искусственного интеллекта в других проблемах, связанных с солнечными панелями.

Результаты исследований [24] рассматривают проблему диагностики неисправностей в аморфных PV панелях. Создана модель, нацеленная на оптимизацию электрических показателей и оптимизацию подбора кривой, используемых в MPPT и при диагностике неисправностей. Данные для модели получаются при помощи National Instrument data acquisition system (NI DAQ USB-6212) и применяются при моделировании в Matlab для расчета I-V кривой в реальном времени. Результаты сравниваются с реальными значениями тока и напряжения и проводится диагностика неисправностей. Использовалась трехслойная солнечная панель модели Unit-solar ES-62T.

В [25] рассмотрены мониторинг и диагностика солнечных электростанций. Существуют различные способы мониторинга, к примеру, на некоторых станциях его проводят раз в год, и из-за этого при ухудшениях производительности невозможно определить, чем именно это было вызвано. Чаще диагностика производится в определенные интервалы времени, от минут до нескольких часов. В данном случае возможно своевременное проведение процедуры диагностики неисправностей. В зависимости от системы диагностики определяются постоянные потери энергии, полное отключение, кратковременные потери энергии, затенение. Но в любом случае данные системы не могут определить источник возникших проблем. С появлением систем с использованием DMPPT (distributed MPPT), оптимизаторов мощности и микроинверторы возможности мониторинга и диагностики значительно расширились. Для коммуникации используется модуль WSN (wireless sensor network). Через данные сенсоры передаются следующие данные: напряжение, ток, солнечное излучение и температура. Данные поступают в центр управления, который и производит дальнейшую диагностику. В работе развивается данное направление и в систему MPPT добавляется AC/DC преобразователь, позволяющий определять изменения напряжения в заданном диапазоне, измерять частичную I-V кривую для определения сопротивлений на шунте, диоде, последовательного сопротивления. Используются новые разработанные аналитические и метаэвристические алгоритмы для определения параметров панели. Вычисляемые параметры используются не только для долгосрочной диагностики, но и для своевременного анализа изменений по I-V кривой. Разработана модель для MATLAB, провалидирована с использованием реальных данных.

Авторы [26] осуществили моделирование экономически эффективных PV устройств V-образной формы. LCPV (low concentration photovoltaics) и методы MPPT могут быть интегрированы в PV панели V-образной формы для улучшения их эффективности. Создана модель для симуляции попадания прямого солнечного излучения на V-образную панель.



Данная модель используется для гибкого подбора параметров, высокой детализации геометрии и низких затрат на вычисления. Валидация модели проводилась с использованием непараметрического статистического анализа, который подтвердил высокую точность модели. Также применялся анализ цен и индекс экономической эффективности. Данная модель предназначена для проектирования и сравнения различных V-образных PV панелей.

В [27] приведены результаты моделирования и симуляции солнечных электростанций. Данные этапы необходимы для оценки потенциальной эффективности электростанции после установки в зависимости от местности и климатических условий. Используется однодиодная эквивалентная модель цепи. Рассматриваются I-V и P-V кривые. Результаты провалидированы при помощи технической спецификации PV модуля от производителя и относительная погрешность не превышает 1,65%. Также панель показывает отличные результаты на настоящих климатических данных (солнечное излучение, температура).

### **Выводы.**

Уже сейчас существует множество отдельных способов для решения проблемы мониторинга отдельных параметров и/или факторов солнечной PV панели, но отсутствуют комплексные решения по оценке всех факторов целиком и влиянию данных факторов на работу панели как в текущий момент, так и в ближайшем будущем при сохранении условий эксплуатации.

Различные математические модели позволяют оценить отдельные специфические параметры и связанные с ними риски, к примеру затенение - и также существуют решения для таких случаев, например методы реконфигурации панелей для минимизации ущерба от затенения и оптимизации производительности всех панелей на данной станции в целом. Однако по-прежнему актуальной является задача разработки методов и алгоритмов автоматизации поиска неисправностей солнечной электростанции на основе данных телеметрии или иным способом.

### **Список литературы**

- [1] Wang, H., Li, H., Tang, C. et al. Modeling, metrics, and optimal design for solar energy-powered base station system / *J Wireless Com Network* (2015) 2015: 39.
- [2] Kasaeian, A.B., Akhlaghi, M.M., Golzari, S. et al. Modeling and optimization of an air-cooled photovoltaic thermal (PV/T) system using genetic algorithms / *Appl. Sol. Energy* (2013) 49: 215.
- [3] Nguyen, X.H. & Nguyen, M.P. Mathematical modeling of photovoltaic cell/module/arrays with tags in Matlab/Simulink / *Environ Syst Res* (2015) 4: 24.
- [4] Hassan Ali, M., Rabhi, A., Haddad, . et al. Real-Time Determination of Solar Cell Parameters / *Journal of Elec Materi* (2017) 46: 6535.
- [5] Groenewolt, A., Bakker, J., Hofer, J. et al. Methods for modelling and analysis of bendable photovoltaic modules on irregularly curved surfaces / *Int J Energy Environ Eng* (2016) 7: 261.
- [6] Brahmi, H. & Dhifaoui, Dynamic characteristics and improved MPPT control of PV generator / *R. Front. Energy* (2013) 7: 342.
- [7] Kayri, I. & Gencoglu, M.T. Predicting power production from a photovoltaic panel through artificial neural networks using atmospheric indicators / *Neural Comput & Applic* (2017).
- [8] BHARADWAJ, P. & JOHN, V. Linearised model for PV panel power output variation with changes in ambient conditions / *Sādhanā* (2017) 42: 2183.
- [9] Abido, M.A. & Khalid, M.S. Seven-parameter PV model estimation using Differential Evolution / *Electr Eng* (2018) 100: 971.
- [10] Sarkar, M.N.I. Effect of various model parameters on solar photovoltaic cell simulation: a SPICE analysis / *Renewables* (2016) 3: 13.
- [11] Meflah, A., Rahmoun, K., Mahrane, A. et al. Outdoor performance modeling of three different silicon photovoltaic module technologies / *Int J Energy Environ Eng* (2017) 8: 143.
- [12] Altermatt, P.P. Models for numerical device simulations of crystalline silicon solar cells—a review / *J Comput Electron* (2011) 10: 314.

- [13] Abdelhamid, H., Edris, A., Helmy, A. et al. Fast and accurate PV model for SPICE simulation / *J Comput Electron* (2019) 18: 260.
- [14] Chaichan M.T., Kazem H.A. (2018) Environmental Conditions and Its Effect on PV Performance. In: *Generating Electricity Using Photovoltaic Solar Plants in Iraq*. Springer, Cham
- [15] Harrag, A. & Messalti, S. Adaptive GA-based reconfiguration of photovoltaic array combating partial shading conditions / *Neural Comput & Applic* (2018) 30: 1145.
- [16] Fialho L., Melício R., Mendes V.M.F., Figueiredo J., Collares-Pereira M. (2014) Amorphous Solar Modules Simulation and Experimental Results: Effect of Shading. In: Camarinha-Matos L.M., Barrento N.S., Mendonça R. (eds) *Technological Innovation for Collective Awareness Systems. DoCEIS 2014. IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol 423. Springer, Berlin, Heidelberg
- [17] Assouline D., Mohajeri N., Scartezzini JL. (2018) Estimation of Large-Scale Solar Rooftop PV Potential for Smart Grid Integration: A Methodological Review. In: Amini M., Boroogeni K., Iyengar S., Pardalos P., Blaabjerg F., Madni A. (eds) *Sustainable Interdependent Networks. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 145. Springer, Cham
- [18] Fezzani A., Mahammed I.H., Bazi S. (2017) A Mathematical Model to Determine the Shading Effects in the I-V Characteristic of a Photovoltaic Module. In: Chadli M., Bououden S., Zelinka I. (eds) *Recent Advances in Electrical Engineering and Control Applications. ICEECA 2016. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 411. Springer, Cham
- [19] Vijayalekshmy, S., Rama Iyer, S. & Beevi, B. J. Comparative Analysis on the Performance of a Short String of Series-Connected and Parallel-Connected Photovoltaic Array Under Partial Shading / *Inst. Eng. India Ser. B* (2015) 96: 217.
- [20] LYDEN, S. & HAQUE, M.E. Modelling, parameter estimation and assessment of partial shading conditions of photovoltaic modules / *J. Mod. Power Syst. Clean Energy* (2019) 7: 55.
- [21] Exel L., Felgner F., Frey G. (2015) Efficient Models of Partially Shaded PV Modules for Energy System Design. In: Oral A., Bahsi Oral Z., Ozer M. (eds) *2nd International Congress on Energy Efficiency and Energy Related Materials (ENEFM2014)*. Springer Proceedings in Energy. Springer, Cham
- [22] Kahoul, N., Houabes, M. & Neçaibia, A. A comprehensive simulator for assessing the reliability of a photovoltaic panel peak power tracking system / *Front. Energy* (2015) 9: 170.
- [23] Kahoul, N., Houabes, M. & Neçaibia, A. A comprehensive simulator for assessing the reliability of a photovoltaic panel peak power tracking system / *Front. Energy* (2015) 9: 170.
- [24] Davarifar M., Rabhi A., EL Hajjaji A., Bosche J., Pierre X. (2013) Improved Real Time Amorphous PV Model for Fault Diagnostic Usage. In: Hakansson A., Höjer M., Howlett R., Jain L. (eds) *Sustainability in Energy and Buildings. Smart Innovation, Systems and Technologies*, vol 22. Springer, Berlin, Heidelberg
- [25] Tina G., Cosentino F., Ventura C. (2016) Monitoring and Diagnostics of Photovoltaic Power Plants. In: Sayigh A. (eds) *Renewable Energy in the Service of Mankind Vol II*. Springer, Cham
- [26] Arias-Rosales, A. & Mejía-Gutiérrez, R. Modelling and simulation of direct solar radiation for cost-effectiveness analysis of V-Trough photovoltaic devices / *Int J Interact Des Manuf* (2016) 10: 257
- [27] Vinod, Raj Kumar, S.K. Singh. Solar photovoltaic modeling and simulation: As a renewable energy solution / *Energy Reports*, Volume 4, 2018, Pages 701-712, ISSN 2352-4847.

## **ALGORITHMS FOR TROUBLESHOOTING A SOLAR POWER PLANT BASED ON BIG DATA OF ITS MONITORING**

***K.S. Dick***

*Postgraduate student of the  
Belarusian State University of  
Informatics and Radioelectronics*

***I.I. Piletsky***

*Associate Professor of the Department of  
Informatics of the Belarusian State University of  
Informatics and Radioelectronics, Ph.D*

*Department of Informatics  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics*

**Abstract.** The analysis of algorithms for troubleshooting solar power plants based on big data collected as a result of monitoring using cloud resources is presented. Various approaches to modeling solar panels and solar cells are analyzed, feedback control systems and the influence of changes in environmental parameters on the performance of solar power plants are investigated. Special attention is paid to comparing different models of solar cells to determine the influence of input parameters on their efficiency.

**Keywords:** anomaly detection, solar PV panel, deep learning, unsupervised learning, mathematical models.