

**Авторы:**

**Федотов А.Ю.,**  
**Степанова Д.А.,**  
 к.т.н. **Наумов В.А.,**  
 д.т.н. **Антонов В.И.,**  
 ЧГУ им. И.Н. Ульянова,  
 ООО НПП «ЭКРА»,  
 г. Чебоксары, Россия.

**Fedotov A.Yu.,**  
**Stepanova D.A.,**  
**Ph.D. Naumov V.A.,**  
**D.Sc. Antonov V.I.,**  
 Chuvash State University,  
 EKRA Ltd.,  
 Cheboksary, Russia.

**Abstract:** under conditions of uniform insolation, when all the photovoltaic modules of the station are insolated identically, the energy characteristic of a photovoltaic station has a single point of maximum generated electricity. Tracking and maintaining the maximum point to ensure the efficient operation of the photovoltaic station under these conditions is a simple task that standard methods, such as the «perturbation and observation» method, can do well. However, partial shading, characterized by the non-uniform insolation of the photovoltaic modules of the photovoltaic station, leads to the appearance of local maxima on the energy

**Ключевые слова:** солнечная фотоэлектрическая станция, фотомодули, точка максимальной мощности, методы поиска точки максимальной мощности, неравномерная освещенность, частичная затененность.

characteristic, among which only one provides the maximum power generated by the station. Obviously, to increase the efficiency of the solar photovoltaic plant in conditions with a rapidly changing insolation configuration, methods of forced movement of the operating point to a global maximum are needed. The

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНОЙ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ В УСЛОВИЯХ БЫСТРО МЕНЯЮЩЕЙСЯ КОНФИГУРАЦИИ ОСВЕЩЕННОСТИ

## PROVIDING EFFICIENCY OF THE SOLAR PHOTOELECTRIC STATION UNDER CONDITIONS OF FAST CHANGE OF INSOLATION CONFIGURATION

**Аннотация:** в условиях равномерной освещенности, когда все фотомодули станции освещены одинаково, энергетическая характеристика солнечной фотоэлектрической станции имеет единственную точку максимума вырабатываемой электроэнергии. Отслеживание и поддержание точки максимума для обеспечения эффективной работы фотоэлектрической станции в этих условиях является простой задачей, с которой хорошо справляются стандартные методы, такие как метод «возмущения и наблюдения». Однако частичная затененность, характеризующаяся неравномерной освещенностью фотомодулей солнечной станции, приводит к появлению на энергетической характеристике локальных максимумов, среди которых только одна обеспечивает максимум вырабатываемой станцией мощности. Очевидно, что для повышения эффективности работы солнечной фотоэлектрической станции в условиях с быстро меняющейся конфигурацией освещенности нужны методы форсированного перемещения рабочей точки к глобальному максимуму. В статье рассматриваются особенности характеристик солнечной электрической станции в условиях частичной затененности и формулируются требования к алгоритмам ускоренного поиска точки максимальной мощности на энергетической характеристике станции. С целью обеспечения универсальности и эффективности действия алгоритмов в условиях различной конфигурации освещенности предлагается использовать нормированные вольт-амперную и энергетическую характеристики. Предлагаемый подход позволяет формировать режимные точки станции на нормированных характеристиках в темпе изменения конфигурации освещенности, избегая затратного сканирования всей энергетической характеристики. Исследуется взаимодействие между алгоритмом форсированного выявления точки реального максимума мощности в условиях частичной затененности и стандартным алгоритмом поддержания режима работы станции вблизи обнаруженного реального максимума мощности.

При равномерном освещении фотомодулей энергетическая характеристика  $P(U)$  солнечной станции имеет единственный максимум<sup>1</sup>, и поддержание ее энергетической эффективности не представляет трудностей. Однако в облачную погоду, когда фотомодули в разных частях обширной площади станции находятся под разным освещением, на характеристике  $P(U)$  появляется множество локальных пиков, сре-

ди которых лишь один обеспечивает максимальную энергетическую эффективность станции<sup>2</sup>. Это явление известно как частичное затенение фотомодулей; и если не предпринимать специальных мер, то в этих условиях солнечная станция существенно понизит вырабатываемую мощность.

Для обеспечения эффективности станции при частичном затенении применяют специальные алгоритмы поиска и отсле-

<sup>1</sup> Так называемая точка максимальной мощности; в англоязычной литературе Maximum Power Point – MPP.

<sup>2</sup> Точка глобального (реального) максимума мощности, Global (Real) Maximum Power Point – GMPP.

article discusses the features of the characteristics of a solar power plant in the partial shading conditions and formulates requirements for algorithms for the accelerated search of the maximum power point on the energy characteristic of the station. In order to ensure the versatility and effectiveness of the algorithms in conditions of different insolation configurations, it is proposed to use normalized current-voltage and energy characteristics. The proposed approach allows forming station operating points on normalized characteristics at the rate of insolation configuration change, avoiding costly scanning of the entire energy characteristic. The interaction between the forced detection algorithm of the real maximum power point under partial shading conditions and the standard algorithm for maintaining the station operation mode near the detected real maximum power point is being investigated.

**Keywords:** photovoltaic power station, photovoltaic array, PV, maximum power point, MPP, maximum power point tracking control, MPPT, non-uniform insolation, partially shaded condition, real MPP, global MPP.

живания точки максимальной мощности MPP, призванные локализовать точку реального максимума в условиях меняющейся освещенности. Как показывает анализ технических характеристик алгоритмов, практически всем им свойственно стремление к сканированию энергетической характеристики солнечной станции. Из-за этого они теряют способность к поддержанию энергетической эффективности станции в условиях быстро меняющейся конфигурации освещенности, ибо не обладают необходимой динамикой изменения режима работы инвертора. Поэтому нужны алгоритмы ускоренного выявления точки максимальной мощности. Алгоритмы поиска должны учитывать, что поиск точки реального максимума мощности сопряжен с глубокими изменениями режима работы станции, а значит должны обеспечивать локализацию окрестности точки GMPP за минимально число возмущений, вносимых в работу станции.

В настоящей статье исследуются особенности управления эффективностью солнечной станции в условиях частичного затенения фотомодулей и формулируются основные требования к алгоритмам управления солнечной станцией в этих условиях.

### Характеристики фотомодулей при равномерной освещенности

В условиях равномерной освещенности энергетическая характеристика  $P(U)$  имеет единственный максимум – точку MPP, которая обычно располагается вблизи напряжения  $U_{MPP} \approx 0,8U_{oc}$ , где  $U_{oc}$  – напряжение холостого хода<sup>3</sup> (рис. 1). Поэтому известные алгоритмы поиска точки MPP [1–2, 4, 5] в этом случае просты и работают стабильно и при равномерном изменении уровня освещенности. Одним из таких методов отслеживания точки MPP, получившим широкое распространение благодаря своей наглядности и простоте реализации, является метод «возмущения и наблюдения»<sup>4</sup>.

Метод «возмущения и наблюдения» благоприятен прежде всего тем, что не вносит в режим работы солнечной станции больших возмущений. Согласно методу напряжение на выходе фотомодулей непрерывно меняется инвертором на небольшую величину и

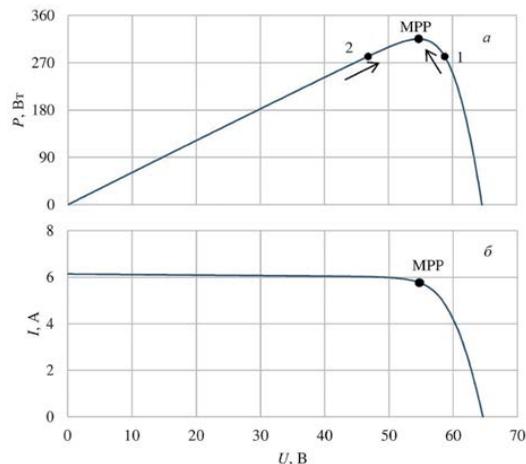


Рис. 1. Энергетическая (а) и вольт-амперная (б) характеристики фотомодуля при равномерном освещении (здесь и далее приведены характеристики модуля SunPower SPR-315E-WHT-D)

определяется знак приращения мощности. Если при снижении напряжения знак приращения мощности положителен, то точка MPP находится слева от рабочей точки (рис. 1, а; точка 1), иначе точка MPP располагается справа от рабочей точки (точка 2). В первом случае напряжение понижают, а во втором случае повышают; в результате рабочая точка колеблется в окрестности точки MPP.

Изменение освещенности приводит к изменению величины вырабатываемого тока, и солнечная станция переходит на другую энергетическую характеристику  $P(U)$  (рис. 2; стрелкой показано направление перемещения рабочей точки с характеристики 1 на характеристику 2). При равномерной освещенности это не изменит сути метода P&O, поскольку унимодальность

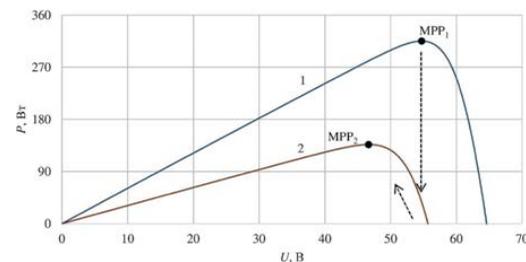


Рис. 2. Поддержание точки MPP методом P&O при изменении уровня освещенности и температуры

<sup>3</sup> Open circuit voltage  
<sup>4</sup> Perturb and Observe – P&O



**Федотов**

**Александр Юрьевич**

Инженер ООО НПП «ЭКРА». В 2017 году окончил кафедру электрических и электронных аппаратов факультета энергетики и электротехники ЧГУ им. И.Н. Ульянова, получил степень магистра по направлению «Электроэнергетика и электротехника».



**Степанова**

**Дарья Александровна**

Техник департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА», бакалавр ЧГУ им. И.Н. Ульянова по направлению «Электроэнергетика и электротехника» по профилю «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем».

характеристики сохранится, и новая точка  $MPP_2$  будет снова найдена обычным для метода образом.

### Характеристики фотомодулей в условиях частичного затенения

Под частичным затенением подразумевается неравномерная освещенность фотомодулей солнечной станции, например, из-за появления облаков на небе. В этом случае на энергетической характеристике  $P(U)$  появляются локальные пики (рис. 3, а). Поэтому смена равномерного освещения (рис. 3, а; кривая 1) на частичное затенение (кривая 2) значительно усложняет алгоритм поиска максимальной мощности, поскольку в этих условиях метод P&O теряет способность выявления точки глобальной максимальной мощности GMPP и приводит режим станции в точку локального пика<sup>5</sup> LMPP с существенно меньшей выработкой электроэнергии.

Следовательно, методы управления эффективностью солнечной станции должны выявлять режим затененности и своевременно переходить к поиску глобального максимума (точки GMPP) среди локальных максимумов на энергетической характеристике [3–6]. Кажущаяся простота решения этой задачи сталкивается с ограничениями технологического характера: станция не может находиться в режиме непрерывного поиска MPP с изменением напряжения на выходе фотомодулей в широком диапазоне

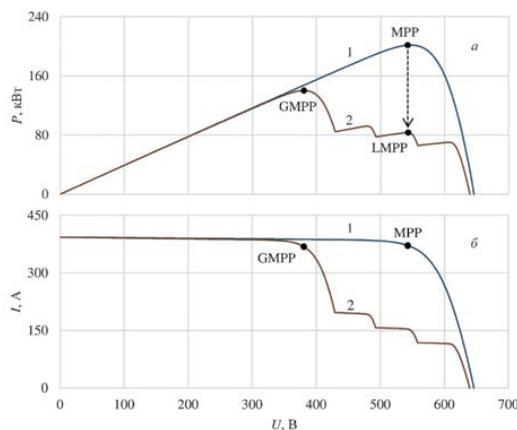


Рис. 3. Энергетическая  $P(U)$  (а) и вольт-амперная  $I(U)$  (б) характеристики фотомодулей: 1 – при равномерной освещенности, 2 – при частичном затенении

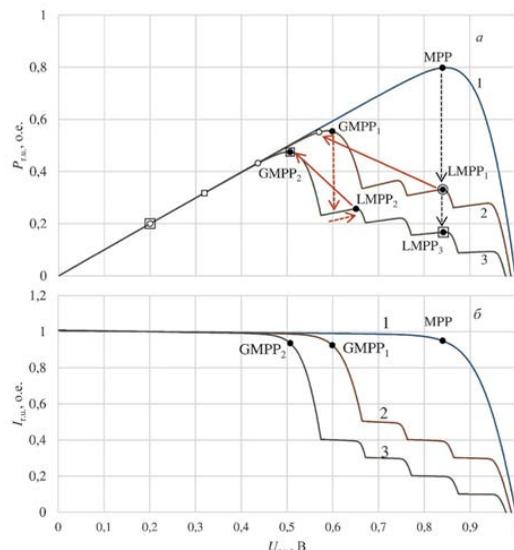


Рис. 4. Нормированные характеристики фотомодулей при равномерном освещении (кривая 1) и в условиях частичного затенения (кривые 2 и 3). Стрелками показаны сценарии развития процессов поиска точек GMPP различными методами в условиях меняющейся конфигурации освещенности (штриховыми стрелками – P&O, сплошными – рассматриваемым в статье методом). Белыми кружками обозначены контрольные точки на кривой 2, квадратиками – на кривой 3; черными кружками обозначены точки GMPP и LMPP (точки LMPP<sub>1</sub>, LMPP<sub>2</sub> и GMPP<sub>2</sub> практически совпадают с соответствующими контрольными точками)

не. Поэтому алгоритмы поиска MPP должны обеспечивать быстрое определение глобального MPP и поддержание в последующем режиме солнечной станции в выявленной точке GMPP.

Иными словами, эффективность солнечной станции в условиях частичного затенения будет обеспечена алгоритмом, периодически проверяющим наступление режима частичного затенения и инициирующим операцию определения глобального максимума, а после достижения окрестности точки GMPP передающим управление режимом станции методу P&O.

### Нормированные характеристики фотомодулей

Для унификации алгоритмов поиска точки MPP полезно рассматривать характеристики фотомодулей в относительных единицах. Это позволяет формулировать единые

<sup>5</sup> Local Maximum Power Point – LMPP



**Наумов**

**Владимир Александрович**

Окончил в 2001 г. электроэнергетический факультет ЧГУ им. И.Н. Ульянова. В 2002 г. защитил магистерскую диссертацию. В 2005 г. защитил во ВНИИЭ кандидатскую диссертацию «Анализ и совершенствование продольных дифференциальных защит генераторов и блоков генератор-трансформатор». Заместитель генерального директора - технический директор ООО НПП «ЭКРА».



**Ангонов**

**Владислав Иванович**

Получил диплом инженера-электрика в 1978 г. на факультете электрификации и автоматизации промышленности ЧГУ им. И.Н. Ульянова. В 2018 г. защитил докторскую диссертацию «Теория и приложения адаптивного структурного анализа сигналов в интеллектуальной электроэнергетике» в ЧГУ им. И.Н. Ульянова. Профессор кафедры теоретических основ электротехники и релейной защиты и автоматики ЧГУ им. И.Н. Ульянова, главный специалист департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА».

правила поиска точки максимальной мощности, пользуясь нормированными характеристиками, универсальными для всех видов фотомодулей и их режимов работы.

Предлагается преобразовать характеристики, принимая в качестве базисных величин паспортное значение напряжения холостого хода  $U_{st,oc}$  и значение тока  $I_U$  при минимально допустимом с точки зрения сохранения работоспособности инвертора напряжении  $U_{min}$ . В нашей работе минимальное напряжение принято равным 20% напряжения холостого хода, т.е.  $U_{min} = 0,2U_{st,oc}$ . При принятых базисных величинах измерения электрических величин в относительных единицах будут следующими:

$$\begin{cases} U_{r.u.} = U / U_{st, oc} \\ I_{r.u.} = I / I_U \\ P_{r.u.} = U_{r.u.} \cdot I_{r.u.} \end{cases}$$

Нормированные характеристики фотомодулей при различной конфигурации освещенности приведены на рис. 4.

**Исследование работы солнечной станции в условиях быстро меняющейся освещенности**

Несмотря на глубокое различие принципов, лежащих в основе алгоритмов управления эффективностью солнечной станции в условиях быстро меняющейся конфигурации освещенности, практически все алгоритмы используют сканирование энергетической характеристики во время поиска точки реального максимума мощности. Это свойство алгоритмов снижает не только их быстродействие, но и вырабатываемую станцией энергию, значительно теряя ее во время поиска точки максимальной мощности. Среди алгоритмов, более или менее пригодных для реализации в реальных проектах, можно отметить алгоритмы, использующие нейронную сеть [7], нагрузочную линию станции, алгоритмы на основе нечеткой логики и алгоритмы, сканирующие энергетическую характеристи-

ку станции на основе использования чисел Фибоначчи [3, 4].

Мы используем алгоритм, основанный на измерении вырабатываемой станцией мощности в четырех характерных точках, выбираемых по определенным правилам: первые два значения мощности определяются при  $U = U_{min} = 0,2U_{st,oc}$  и  $U = 0,84U_{st, oc}$ , а остальные два выбираются в зависимости от характера изменения кривой ВАХ при различной конфигурации освещенности фотомодулей станции. Алгоритм гибко меняет стратегию выбора точек, обеспечивая быстрое определение окрестности точки GMPP. Поэтому станция форсированно выходит в режим выработки максимальной мощности максимум за четыре шага изменения напряжения на выходе фотомодулей.

Для оценки эффективности использования нового метода определения GMPP и демонстрации существенного отличия режима работы станции в условиях частичного затенения, создана модель солнечной станции в среде Simulink. Ее работу иллюстрирует рис. 5. Моделируется сценарий изменения конфигурации освещенности, включающий этапы последовательного перехода станции от режима равномерной освещенности (рис. 4, кривая 1) к режимам с частичной затененностью различной конфигурации (кривые 2 и 3).

В начале моделирования устанавливается режим равномерной освещенности стандартных тестовых условий<sup>6</sup> фотомодулей (рис. 4, кривая 1) с величиной генерируемой мощности  $P_{r.u.} = 0,8$ . Затем происходит быстрое изменение освещенности: рабочая точка скачком переходит из окрестности точки максимума мощности MPP на кривой 1 в окрестность точки локального максимума на кривой 2. На диаграммах работы станции (рис. 5) этому режиму соответствует интервал времени 1–2. Поскольку алгоритм выявления глобального максимума GMPP<sub>1</sub> еще не вступил в действие, то режим станции все еще находится под управлением алгоритма P&O (интервал

<sup>6</sup> Стандартные тестовые условия: освещенность  $G = 1000 \text{ Вт/м}^2$ , температура модуля  $25^\circ\text{C}$ , воздушная масса 1,5 AM, ветер отсутствует. Освещенность ( $G$ ) представляет собой плотность солнечного излучения, падающего на поверхность, выраженную в ваттах на квадратный метр ( $\text{Вт/м}^2$ ). Она зависит от географического положения, угла падения солнечных лучей, облачности, задымленности и тому подобное. Атмосферная масса (AM) - это длина пути, который проходит свет через атмосферу, отнесенная к кратчайшему возможному пути (когда Солнце находится в зените). Атмосферная масса показывает, насколько уменьшилась спектральная плотность потока излучения после прохождения через атмосферу и поглощения воздухом и пылью.

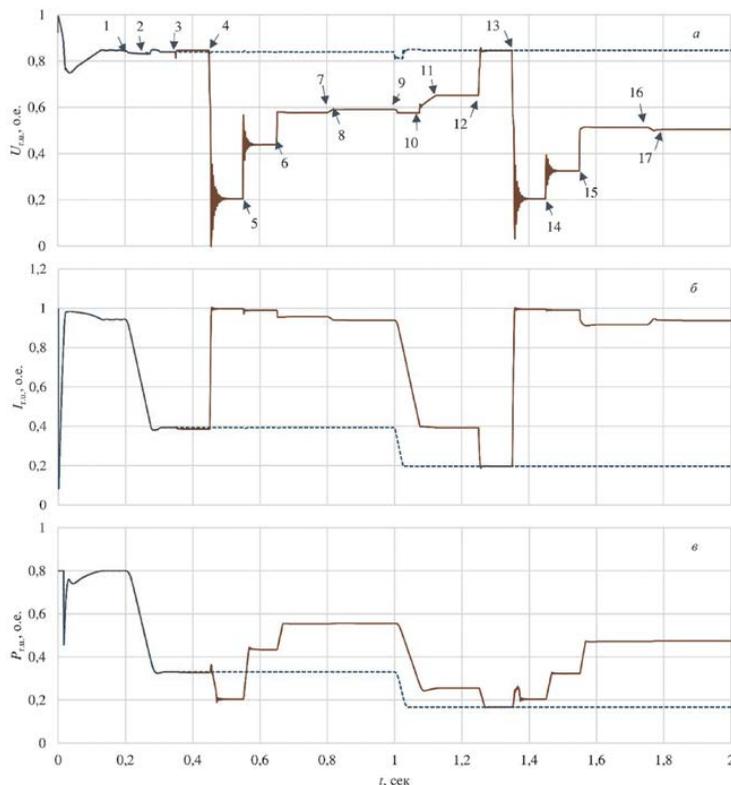


Рис. 5. Осциллограммы напряжения (а), тока (б) и мощности (в) при быстро изменяющейся конфигурации освещенности. Штриховыми кривыми показана работа стандартного метода P&O, сплошными кривыми – рассматриваемый алгоритм скоростного определения точки глобального максимума мощности, дополненный стандартным алгоритмом P&O

2–3). Поэтому рабочая точка переносится им в окрестность локального максимума LMPP<sub>1</sub>.

В точке 3 вступает в действие наш алгоритм поиска GMPP (интервал 3–4). Поскольку напряжения в точках MPP и LMPP<sub>1</sub> характеристик 1 и 2 близки, то алгоритм, вполне оправданно избегая внесения возмущения в работу станции, вначале определяет мощность в первой контрольной точке с  $U_{г.у} = 0,84$ , а затем – во второй контрольной точке (интервал 4–5) с напряжением  $U_{г.у} = 0,2$ . На этом этапе алгоритм GMPP обнаруживает изменение конфигурации освещенности и переходит к определению промежуточных контрольных точек. На интервалах 5–6 и 6–7 устанавливаются вычисленные алгоритмом напряжения третьей и четвертой контрольных точек  $U_{г.у} = 0,44$  и  $U_{г.у} = 0,57$  и по измерениям тока и напряжения на выходе фотомодулей вычисляются мощности  $P_{г.у} = 0,43$  и  $P_{г.у} = 0,55$  в соответствующих контрольных точках. Сравнение величин мощностей в контрольных точках показывает, что четвертая контрольная точка с  $P_{г.у} = 0,55$  является стартовой точкой для передачи управления режимом стан-

ции стандартному алгоритму P&O. Из диаграмм (рис. 5) видно, что стартовая точка находится в окрестности глобального максимума. Поэтому после передачи управления алгоритму P&O на интервале 7–8 рабочая точка приводится им в окрестность точки GMPP<sub>1</sub>. Далее на интервале 8–9 режим станции продолжает поддерживаться стандартным алгоритмом P&O около точки GMPP<sub>1</sub> с  $P_{г.у} = 0,55$ .

Видно (рис. 5), что при отсутствии специального алгоритма поиска глобального максимума мощности стандартный алгоритм не справляется с задачей поддержания эффективности станции в условиях меняющейся конфигурации освещенности, и режим станции под его управлением увязает на локальном максимуме LMPP<sub>1</sub> с  $P_{г.у} = 0,33$ , почти на 40% снижая вырабатываемую станцией мощность.

Следующее изменение освещенности происходит в точке 9. В силу инертности инвертора рабочая точка перемещается с характеристики 2 на характеристику 3 (рис. 4) в течение интервала времени 9–10 и вскоре оказывается в окрестности локального пика LMPP<sub>2</sub>. Режим станции все еще находится под управлением алгоритма P&O, поэтому на интервале 10–11 рабочая точка приводится им к локальному пику LMPP<sub>2</sub>, а затем поддерживается в его окрестности (интервал 11–12).

В точке 12 начинает работать алгоритм поиска GMPP. Определяются параметры первой контрольной точки (интервал 12–13) с напряжением  $U_{г.у} = 0,84$ , затем второй с напряжением  $U_{г.у} = 0,2$  (интервал 13–14). Поскольку алгоритм вновь обнаруживает изменение конфигурации освещенности, то определяются параметры 3-й контрольной точки (интервал 14–15) с напряжением  $U_{г.у} = 0,32$  и 4-й контрольной точки (интервал 15–16) с напряжением  $U_{г.у} = 0,51$ . Четвертая точка оказывается стартовой и близкой к глобальному максимуму. Управление режимом возвращается методу P&O (интервал 16–17), который приводит рабочую точку к GMPP<sub>2</sub> со значением мощности  $P_{г.у} = 0,48$ .

В то же время рабочая точка станции под управлением только стандартного алгоритма и после второго изменения освещенности застревает около локального пика LMPP<sub>3</sub> с  $P_{г.у} = 0,17$ , более чем в два раза снижая вырабатываемую станцией мощность.

## ВЫВОДЫ

1. При изменении конфигурации освещенности (затененности) стандартные методы поиска и отслеживания точки максимальной мощности теряют свою эффективность из-за появления локальных пиков на

энергетической характеристике  $P(U)$  фотомодулей. Необходимый уровень энергетической эффективности солнечной фотоэлектрической станции обеспечивают специальные алгоритмы выявления явления частичного затенения и определения точки реального максимума генерируемой станцией мощности. Важным преимуществом таких алгоритмов является быстрое перемещение рабочей точки станции в окрестность глобального максимума мощности, соответствующей текущей конфигурации освещенности (затенения), при минимальном числе возмущений, вносимых в работу станции.

2. С целью достижения универсальности и эффективности действия алгоритмов в условиях различной конфигурации затененности предлагается использовать нормированные вольт-амперную и энергетическую характеристики фотомодулей солнечной электростанции. Предлагаемый подход позволяет формировать режимные точки станции на нормированных характеристиках в темпе развития конфигурации освещенности, избегая необходимости затратного сканирования всей энергетической характеристики. Результаты моделирования работы солнечной электростанции в условиях быстрого изменения конфигурации освещенности (затенения) полностью подтверждают эффективность предлагаемого подхода.

**Литература**

1. Hohm, D. P. Comparative Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms / D. P. Hohm, M. E. Ropp // Progress in Photovoltaics: Research and Applications. – 2003. – No. 11. – P. 47–62. DOI:10.1002/pip.459.
2. Esmar, T. Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques / T. Esmar, P.L. Chapman // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2007. – Vol. 22. – No. 2. – P. 439–449. DOI: 10.1109/TEC.2006.874230.
3. Miyatake, M. Control characteristics of a Fibonacci-search-based maximum power point tracker when a photovoltaic array is partially shaded / M. Miyatake, T. Inada. // Proc. 4th International Power Electronics and Motion Control Conference. IPEMC 2004. – 2004. –Vol. 3, pp. 816–821.
4. Kobayashi, K. A study of a two stage maximum power point tracking control of a photovoltaic system under partially shaded insolation conditions / K. Kobayashi, I. Takano, Y. Sawada // Solar Energy Materials and Solar Cells. – Vol. 90. No. 18–19. – 2006. – P. 2975–2988. DOI: 10.1016/j.solmat.2006.06.050.
5. Федотов А.Ю. Задачи и методы поддержания эффективности солнечных электрических станций / А.Ю. Федотов, В.А. Наумов, В.И. Антонов // РЕЛВЭК-СПО – 2019. Сборник докладов научно-технической конференции молодых специалистов. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. – С. 224–231.
6. Федотов, А.Ю. Особенности управления энергоэффективностью солнечных электрических станций / А.Ю. Федотов, В.А. Наумов, В.И. Антонов // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: материалы III Междуна. науч.-техн. конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. – С. 104–113.
7. Seyedmahmoudian, M. State of the art artificial intelligence-based MPPT techniques for mitigating partial shading effects on PV systems – A review / M. Seyedmahmoudian et al. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Vol. 64. – P. 435–455. DOI: 10.1016/j.rser.2016.06.053

## Книги, реализуемые РИЦ «СРЗАУ»

В дополнение к выпуску журнала «Релейная защита и автоматизация» РИЦ «СРЗАУ» самостоятельно издает, а также реализует книги, учебные пособия и другую техническую литературу по темам, аналогичным тематике журнала.

**Антонов В.И. Адаптивный структурный анализ электрических сигналов: теория и ее приложения в интеллектуальной электроэнергетике. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та. – 2018.**



Формат: А5.  
Печать: цветная.  
Обложка: твердая.  
Тема: структурный анализ электрических сигналов в системах мониторинга.  
Страницы: 334.  
Стоимость - 1650 руб., включая НДС 20% и доставку.

**Добродеев К.М. Вопросы теории и схем замещения трансформаторов. – Чебоксары: РИЦ «СРЗАУ». – 2019.**



Формат: А5.  
Печать: цветная.  
Обложка: твердая.  
Тема: теории электромагнитного рассеяния и схемы замещения трансформаторов.  
Страницы: 222.  
Стоимость - 1650 руб., включая НДС 20% и доставку.

**Цифровые технологии в релейной защите и автоматизации / Сборник статей. Выпуск I. – Чебоксары: РИЦ «СРЗАУ». – 2018.**



Формат: А5.  
Печать: цветная.  
Обложка: мягкая.  
Тема: цифровизация электроэнергетики.  
Страницы: 72.  
Стоимость - 300 руб., включая НДС 20% и доставку.

Заказы на покупку принимаются:

[adv@srzau-ric.ru](mailto:adv@srzau-ric.ru), [ina@srzau-ric.ru](mailto:ina@srzau-ric.ru), [vk.com/rza\\_journal](https://vk.com/rza_journal)  
+7 (8352) 226 394, 8 902 327 18 64, 8 905 346 87 55