

Торайғыров университетінің хабаршысы  
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
Вестник Торайғыров университета

---

# Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы  
1997 жылдан бастап шығады



## ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия  
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2020)

---

Павлодар

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**  
**Вестник Торайгыров университета**

**Энергетическая серия**  
выходит 4 раза в год

---

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о постановке на переучет периодического печатного издания,  
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития  
Республики Казахстан

**Тематическая направленность**

публикация материалов в области электроэнергетики,  
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и  
информационных систем, электромеханики и  
теплоэнергетики

**Подписной индекс – 76136**

---

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.

*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

**Редакция алқасы – Редакционная коллегия**

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*  
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*  
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*  
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*  
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*  
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*  
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

---

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели  
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов  
При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/UJFH9399>**К. Ж. Калиева, Ж. Ж. Калиев, Г. Т. Асқанбай**Казахская академия транспорта и коммуникации имени М. Тынышпаева,  
Республика Казахстан, г. Алматы

## **ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТРОЛЛЕРА ОТММ**

*Наиболее часто используемым алгоритмом отслеживание точки максимальной мощности является алгоритм возмущения и колебания, что объясняется простотой его реализации в базовом виде. Однако у него есть и некоторые недостатки, такие как колебания вокруг точки максимальной мощности в установившемся режиме работы, а так же медленная скорость отклика из-за изменения солнечной радиации.*

*Алгоритм работы ViK основан на вычислении выходной мощности фотоэлектрической установки путем измерения тока и напряжение фотоэлектрической панели. Трекер работает периодически, сравнивая фактическое значение мощности с предыдущим значением, чтобы определить изменение напряжения или тока солнечной батареи. В результате был разработан эффективный двухосный солнечный трекер и получены экспериментальные результаты. Предложен алгоритм ориентации солнечной панели по горизонтали во время облачной погоды. Разработанный солнечный трекер увеличил количество выходной энергии на 12 % по сравнению с неподвижной солнечной панелью. Были получены экспериментальные данные, которые показали, что с помощью этого алгоритма можно получить на 13 % больше энергии по сравнению с неподвижной солнечной панелью и на 27 % больше энергии чем обычный трекер.*

*Разработанные модели контроллеров ОТММ, с алгоритмами работы: возмущения и колебания, оптимизация потока частиц, показали энергоэффективное преобразование постоянного тока, что улучшает быстрой зарядки аккумуляторов.*

*Ключевые слова: фотоэлектрический модуль (панель), контроллер отслеживания точки максимальной мощности.*

## Введение

Мощность, генерируемая фотоэлектрическими модулями, зависит от уровня солнечного излучения, для обеспечения генерации максимально возможной мощности требуется контроллер отслеживания точки максимальной мощности (ОТММ). Использование модели двух алгоритмов дает возможность получить максимальной точки мощности фотоэлектрического панеля. Первый метод алгоритма отслеживающий точку максимальной мощности применяется при равномерной солнечной радиации по всему фотоэлектрическому модулю, когда существует только одна точка максимальной мощности на графике кривого зависимости мощности от напряжения (PV). Второй тип алгоритма применяется, когда солнечная радиация падает неравномерно по всему периметру фотоэлектрической станции, из за чего на графике кривого зависимости мощности от напряжение выходят несколько точек максимальной мощности. Далее рассматривается по отдельности алгоритмы метода ОТММ.

### *Алгоритм возмущения и колебания*

Наиболее часто используемым алгоритмом отслеживание точки максимальной мощности является алгоритм возмущения и колебания (ВиК), что объясняется простотой его реализации в базовом виде. Однако у него есть и некоторые недостатки, такие как колебания вокруг точки максимальной мощности в установившемся режиме работы, а так же медленная скорость отклика из-за изменения солнечной радиации.

Алгоритм работы ВиК основан на вычислении выходной мощности фотоэлектрической установки путем измерения тока и напряжение фотоэлектрической панели. Трекер работает периодически, сравнивая фактическое значение мощности с предыдущим значением, чтобы определить изменение (увеличение или уменьшение) напряжения или тока солнечной батареи (в зависимости от программы управления). Если заданное возмущение приводит к увеличению (уменьшению) выходной мощности фотоэлектрической панели, то последующее возмущение генерируется в том же (противоположном) направлении. Алгоритм работы ОТММ приведен на рисунке 1. В начале алгоритма задается несколько переменных: ток ( $I$ ) и напряжение ( $V$ ) генерируемой солнечной панели; шаг коэффициента заполнения ( $D_{шаг}$ ); мощность солнечной панели ( $P$ ); предыдущие значение тока ( $I_{пред}$ ), напряжение ( $V_{пред}$ ), мощности ( $P_{пред}$ ) и коэффициента заполнения. После того проверяется текущий сгенерированный мощность, если мощность равняется к нулю, то система сравнивает текущий мощность с предыдущим. Если наоборот то, работа алгоритма останавливается. В случае когда текущий мощность становится больше чем предыдущий, то система дальше сравнивает текущий напряжение с сохраненным в прежнем цикле напряжением. Когда текущий напряжение будет больше чем предыдущи то коэффициент заполнения нарастает, если наоборот то уменьшается. Если

текущая мощность будет меньшим, то система дальше начинает сравнивать напряжения, то есть алгоритм вернется обратно к сравнению мощности. Здесь наоборот чем предыдущие сравнение. Когда достигнута точка максимальной мощности, то система колеблется вокруг этой точки. Чтобы свести к минимуму колебания, размер шага возмущения должен быть уменьшен. Однако меньший размер шага замедляет отслеживание точки максимальной мощности. В работе представлен модель алгоритма ВМК, повышающий эффективность фотоэлектрической установки.

Достоверность и эффективность данного алгоритма можно получить с использованием программы Matlab simulink. На рисунке 2 показано модель фотоэлектрической установки с контроллером ОТММ. В электрической модели использован повышающий-понижающий преобразователь постоянного тока. Такой преобразователь является эффективной в применении в любых фотоэлектрических станциях. Электрическая схема преобразователя постоянного тока состоит из: входного и выходного конденсатора для фильтрации напряжение; мощного, высокочастотного транзистора Mosfet стоящего в качестве ключа; высокочастотного диода; катушки индуктивности для повышения тока; резистивной нагрузки. Так же на рисунке показаны программируемый контроллер связанный с транзистором, с помощью которого управляет всей системой; измерители тока и напряжения солнечного панеля, связанные с программируемым контроллером, которые предоставляет производимую энергию фотоэлектрического модуля; а так же солнечный панель.

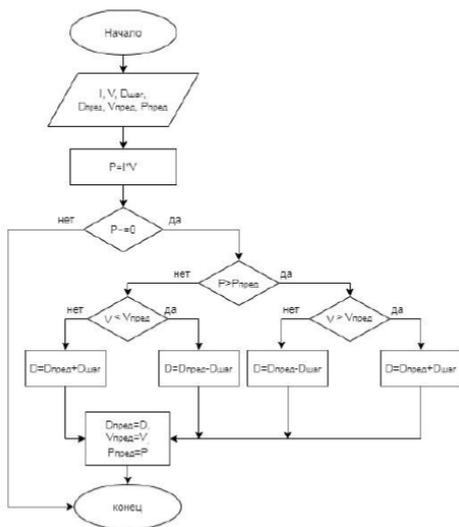


Рисунок 1 – Алгоритм работы возмущения и колебания

## Программный код алгоритма возмущения и колебания

```

function D = fcn(Is, Vs)
persistent Vn Pn Dn
if isempty(Dn)
Vn=12;
Pn=24;
Dn=0.6;
Dl=Dn;
End
deltaD=0.0001;
Ps=Is*Vs;
if (Ps-Pn)~=0
if (Ps-Pn)>0
if (Vs-Vn)>0
Dl=Dn-deltaD;
else
Dl=Dn+deltaD;
end
else
if (Vs-Vn)>0
Dl=Dn+deltaD;
else
Dl=Dn-deltaD;
end
end
elseif (Ps-Pn)==0
Dl=Dn;
End
D=Dl;
Dn=D;
Vn=Vs;
Pn=Ps;
if D<0.1
D=0.1;
elseif D>0.9
D=0.9
end
end
end

```

Повыщающий-понижающий преобразователь работает на основе ниже показанной формулы:

$$V_{\text{вых}} = \frac{D * V_{\text{вх}}}{1 - D} \quad (1)$$

где,  $V_{\text{вых}}$  – выходное напряжение преобразователя,

$D$  – коэффициент заполнения,

$V_{\text{вх}}$  – входное напряжение преобразователя.

Если коэффициент заполнения будет меньше  $D < 0.5$ , то преобразователь будет понижающим, то есть входная мощность будет больше чем на выходе, если наоборот, тогда будет повышающим.



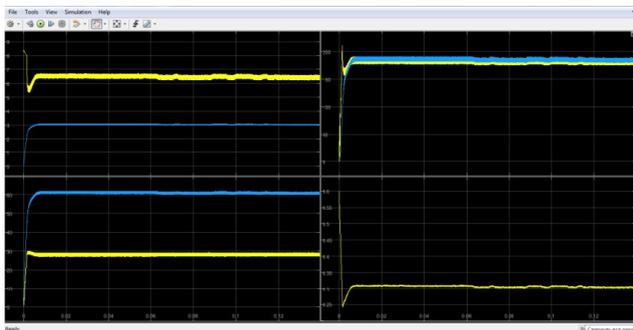


Рисунок 4 – Входные и выходные характеристики системы ОТММ

Коэффициент заполнения показано в нижнем правом углу и соответствует значению 0,3. То есть в рассматриваемом случае преобразователь постоянного тока будет понижающим. В верхнем левом углу показано входная и выходная характеристика тока солнечной панели. Желтая линия показывает выходную величину тока, ток на входе помечено синей линией. В низу этого графика показано входное и выходное характериститки напряжение. Здесь же наоборот входная величина напряжение больше чем у выхода. Все эти изменения объясняется тем что, в случае понижающего преобразователя выходное напряжение уменьшается, но, чтобы достигнуть эффективной мощности у выхода, устройства увеличивает выходной ток. В качестве доказательства можно увидеть это на верхнем правом углу графика. Здесь входная и выходная мощность практически равны по величине. Но в реальных условиях все же имеется некоторые энергетические потери в электрических схемах. Если приглядется внимательно к графику, то можно увидеть скачки. Это объясняется тем что сам алгоритм называется возмущение и колебанием, то есть когда система находит путем возмущения точку максимальной мощности кривого зависимости мощности от напряжения она будет колебаться вокруг нее чтобы повысить эффективность системы.

#### *Алгоритм оптимизаций потока частиц*

Этот тип алгоритма эффективно используется, когда солнечная радиация падает неравномерно по всему периметру фотоэлектрической станции, оно также называется частичном затемнением панели, из за чего на графике кривого зависимости мощности от напряжение выходят несколько точек максимальной мощности.

Оптимизация потока частиц (ОПЧ) – это глобальный оптимизационный алгоритм для решения задач, в которых точка или поверхность в n-мерном пространстве представляет собой наилучшее решение. В этом алгоритме используется несколько взаимодействующих факторов, и каждый из них

обменивается информацией, полученной в соответствующем процессе поиска. Каждый фактор, именуемый частицей, следует двум очень простым правилам, т. е. следовать за наиболее эффективной частицей и двигаться к лучшим условиям, найденным самой частицей. Таким образом, каждая частица в конечном счете эволюционирует до оптимального или близкого к максимально эффективному решению.

Блок-схема алгоритма ОПЧ проиллюстрирована на рисунке 5. Из блок-схемы принцип работы алгоритма можно описать следующим образом:

Шаг 1. (Инициализация ОПЧ): частицы обычно инициализируются случайным образом после равномерного распределения по пространству поиска или инициализируются на узлах сетки, которые покрывают пространство поиска эквивалентными точками. Начальные скорости берутся случайным образом.

Шаг 2. (Оценка соответствия): оцените значение соответствия каждой частицы. Оценка соответствия проводится путем предоставления кандидату решения целевой функции.

Шаг 3. (Установка индивидуальных и глобальных наилучших данных): индивидуальные и глобальные наилучшие значения пригодности ( $p_{best,i}$  и  $g_{best}$ ) и позиции устанавливается путем сравнения вновь рассчитанных значений пригодности с предыдущими и заменяется на текущие  $p_{best,i}$  и  $g_{best}$ , а также их соответствующих позиций по мере необходимости.

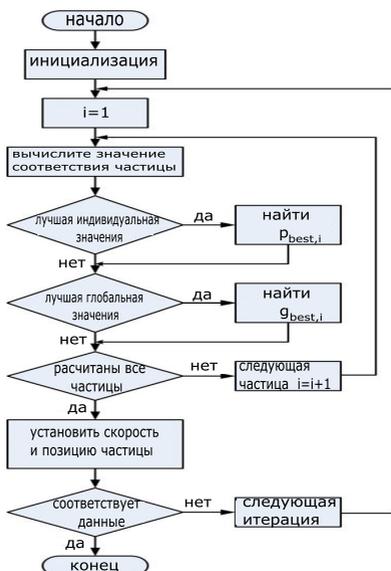


Рисунок 5 – Алгоритм оптимизации потока частиц

## Програмный код алгоритма оптимизация потока частиц

```

function DC = PSO(V,I)
DC=0;D=zeros(1,3);P=zeros(1,3);
iter = 0;
while (iter<bird_step )
iter=iter+1;
for i=1:3,
P(i)=V*I;
D(i)=current_dutycycl(i);
DC=D(i);
pause(0.1)
end
current_power=P;
for i=1:3
if current_power(i)>local_best_power(i)
local_best_power(i)=current_power(i) ;
local_best_dutycycl(:,i)=current_dutycycl(:,i) ;
end
end
[current_global_best_power,g]=max(local_best_power);
if current_global_best_power>global_best_power
global_best_power=current_global_best_power;
for i=1:3
globl_best_dutycycl(:,i)=local_best_dutycycl(:,g);
end
end
velocity=w*velocity+c1*(R1.*(local_best_dutycycl-
current_dutycycl))+c2*(R2.*(globl_best_dutycycl-current_dutycycl));
current_dutycycl=current_dutycycl+velocity;
end
[Peak_power,I]=max(current_power)
current_dutycycl(:,I)
DC=current_dutycycl(:,I);
end

```

Шаг 4. (Обновить скорость и положение каждой частицы): скорость и положение каждой частицы в потоке обновляются по формуле (2) и (3).

Шаг 5. (Определение сходимости): Проверьте критерий сходимости. Если критерий сходимости соблюден, то процесс может быть прекращен; в противном случае число итераций увеличится на 1 и перейдет к шагу 2.

$$v_i(k+1) = \omega v_i(k) + c_1 r_1 \cdot (p_{best,i} - x_i(k)) + c_2 r_2 \cdot (g_{best} - x_i(k)) \quad (2)$$

$$x_i(k+1) = x_i(k) + v_i(k+1) \quad (3)$$

где  $x_i$  – положение частицы  $i$ ;

$v_i$  – скорость частицы  $i$ ;

$k$  – число итераций;

$w$  – инерционный вес;

$r_1$  и  $r_2$  – случайные величины, равномерно распределенные в пределах  $[0, 1]$ ;

$a$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  – когнитивный и социальный коэффициенты соответственно.

Далее данный алгоритм так же проверяется с использованием программы Matlab simulink. Модель алгоритма показано на рисунке 6. Здесь только изменяется программный код пршивания микропроцессора.

Вначале определяется точка максимальной мощности от графика PV. Здесь мы используем 4 последовательно соединенных солнечных панели. Фотоэлектрические модули соединены через шунтирующие диоды, для предотвращения от выгорания панели (рисунок 6). Для проверки работы алгоритма мы задаем 4 различных солнечных радиации с величиной  $900 \text{ Вт/м}^2$ ,  $800 \text{ Вт/м}^2$ ,  $700 \text{ Вт/м}^2$ ,  $500 \text{ Вт/м}^2$ , которые указывает на частичное затенение солнечных панелей. Температура у всех одинаковая  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

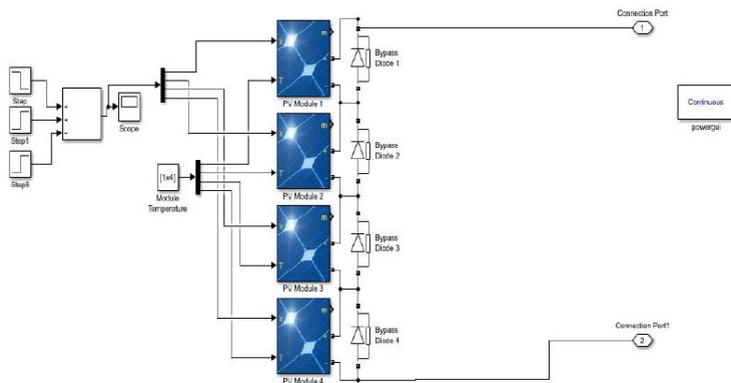


Рисунок 6 – Последовательно подключенные солнечные модули

Как показано на рисунке 7 смоделированы графики зависимости мощности от напряжения. Для этого заданы ко всем панелям различные радиационные величины и получили 4 точки максимальной мощности графика зависимости PV. Так как они соединены последовательно, и имеют общий выход, то здесь должен быть только одна точка максимальной мощности системы. Задача данного алгоритма является определением глобальной точки максимальной мощности из всех имеющихся.

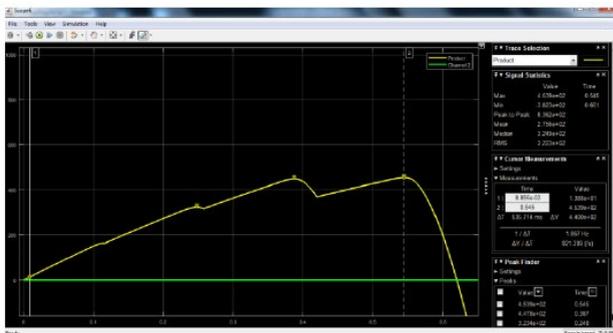


Рисунок 7 – График зависимости мощности от напряжения

На рисунке 8 показан результат моделирование алгоритма оптимизации потока частиц. Как видно из графика алгоритм быстро находит точку максимальной мощности фотоэлектрического панели. На графике желтая линия показывает входной мощность к преобразователю постоянного тока, а зеленая соответствует выходной мощности из него. Здесь можно увидеть уменьшение колебании выходной мощности по сравнению с первым алгоритмом, что показывает эффективность алгоритма. Так же данный алгоритм предназначен для объемных фотоэлектрических установок, в которых участвует частичные затенения.

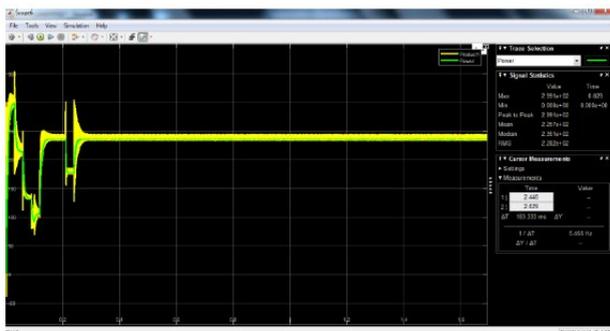


Рисунок 8 – Выходная сравнительная характеристика мощностей

## Выводы

Улучшены технические и энергетические характеристики фотоэлектрических станции, путем внедрения систему слежения за Солцнем, а так же интеллектуальных контроллеров заряда батареи на основе метода отслеживание точки максимальной мощности (ОТММ).

**Список использованных источников**

1 **Bhattacharyy, S.** «Introduction», in Solar Photovoltaic System Applications - A Guidebook for Off-Grid Electrification, P. Mohanty et. al, Eds. Switzerland : Springer, 2016, P. 1–191.

2 **Seme Sebastijan, Štumberger Gorazd, Voršič Jože.** Maximum efficiency trajectories of a two-axis sun tracking system determined considering tracking system consumption. IEEE Trans Power Electron 2011;26.4:1280–90.

3 **Seme Sebastijan, Štumberger Gorazd.** A novel prediction algorithm for solar angles using solar radiation and differential evolution for dual-axis sun tracking purposes. Sol Energy 2011;85.11:2757–70.

4 **Roth, P, Georgiev, A, Boudinov, H.** Design and construction of a system for suntracking. Renew Energy 2004;29.3:393–402.

5 **Rustemli Sabir, et al.** The analysis on sun tracking and cooling systems for photovoltaic panels. Renew Sustain Energy Rev 2013;22:598–603.

Материал поступил в редакцию 11.12.20.

*К. Ж. Калиева, Ж. Ж. Калиев, Г. Т. Асқанбай*

**Максималды қуат нүктесін бақылау контроллерін қолдана отырып, фотоэлектрлік станцияның тиімділігін арттыру**

М. Тынышбаев атындағы Қазақ көлік және коммуникациялар академиясы,  
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.  
Материал баспаға 11.12.20 түсті.

*K. Zh. Kaliyeva, Zh. Zh. Kaliyev, G. T. Askanbai*

**Increase the efficiency of a photovoltaic station using a maximum power point tracking controller**

Kazakh Academy of Transport and Communication named after M. Tynyshpayev,  
Republic of Kazakhstan, Almaty.  
Material received on 11.12.20.

*Максималды қуат нүктесін бақылау ең көп қолданылатын алгоритм – бұл бұзылу және тербеліс алгоритмі, оны негізгі түрде жүзеге асырудың қарапайымдылығымен түсіндіріледі. Алайда, оның кейбір кемшіліктері бар, мысалы, тұрақты жұмыс режиміндегі максималды қуат нүктесінің айналасындағы тербелістер, сондай-ақ күн радиациясының өзгеруіне байланысты баяу жасау беру жылдамдығы.*

*Бұзылу және тербеліс жұмыс алгоритмі фотоэлектрлік панельдің тогы мен кернеуін өлшеу арқылы фотоэлектрлік қондырғының шығу*

қуатын есептеуге негізделген. Трекер мезгілді жұмыс істейді, кернеудің немесе күн батареясының өзгеруін анықтау үшін нақты қуат мәнін алдыңғы мәнімен салыстырады. Нәтижесінде тиімді күн трекері жасалды және тәжірибелік нәтижелер алынды. Бұлтты ауа-райы кезінде күн панелін көлденең бағытта бағыттау алгоритмі ұсынылған. Өзірленген күн трекері күн панелімен салыстырғанда шығыс энергиясының мөлшерін 12 %-ға арттырды. Эксперименттік мәліметтер алынды, бұл алгоритмнің көмегімен, кәдімгі трекерге қарағанда тұрақты күн панелімен салыстырғанда 13 %-ға көп энергия және 27 %-ға көп энергия алуға болатындығын көрсетті.

Жұмыс алгоритмдерімен МҚНБ контроллерлері бар модель: бұзылулар мен тербелістер, бөліктердің ағынын оңтайландыру, батареялардың тез зарядталуын жақсартатын энергияны үнемдейтін тұрақты ток түрлендіруді көрсетті.

Кілтті сөздер: фотоэлектрлік модуль (панель), максималды қуат нүктесін бақылау контроллері.

*The most commonly used algorithm for tracking the maximum power point is the perturbation and oscillation algorithm, which is explained by the simplicity of its implementation in its basic form. However, it also has some disadvantages, such as fluctuations around the maximum power point in steady-state operation, as well as a slow response rate due to changes in solar radiation.*

*The perturbation and oscillation algorithm is based on calculating the output power of a photovoltaic installation by measuring the current and voltage of the photovoltaic panel. The tracker works periodically, comparing the actual power value with the previous value to determine changes in the voltage or current of the solar battery. As a result, an efficient biaxial solar tracker was developed and experimental results were obtained. An algorithm for horizontal orientation of the solar panel during cloudy weather is proposed. The developed solar tracker increased the amount of output energy by 12 % compared to a fixed solar panel. Experimental data were obtained that showed that using this algorithm, you can get 13 % more energy compared to a stationary solar panel and 27 % more energy than a conventional tracker.*

*The developed models of MPPT controllers, with algorithms of operation: perturbations and oscillations, optimization of the particle flow, showed energy-efficient DC conversion, which improves the fast charging of batteries.*

*Keywords: photovoltaic module (panel), maximum power point tracking controller.*

Теруге 11.12.2020 ж. жіберілді. Басуға 17.12.2020 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

3,99 Мб RAM

Шартты баспа табағы 26,6. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Шукурбаева

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3715

Сдано в набор 11.12.2020 г. Подписано в печать 17.12.2020 г.

Электронное издание

3,99 Мб RAM

Усл. печ. л. 26,6. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Шукурбаева

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3715

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

e-mail: [kereku@tou.edu.kz](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik.tou.edu.kz](http://www.vestnik.tou.edu.kz)