

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

№2 (2026)

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

<https://doi.org/10.48081/BGQF2124>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Шеръязов С. К.	<i>т.ғ.д., профессор (Российская Федерация)</i>
Искакова З. С.	<i>технический редактор</i>

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

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/BGQF2142>

***Н. Б. Құттыбай¹, Н. Ж. Қошқарбай², Б. Н. Жоламанов³,
Д. Б. Әлмен⁴, А. Б. Болатбек⁵**

^{1,2,3,4,5}Казахский Национальный университет имени аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5723-6642>

²ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2334-3249>

³ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8206-7425>

⁴ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8527-4921>

⁵ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7613-5507>

*e-mail: nurjigit.10.93@gmail.com

МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ОТММ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Для решения проблемы снижения эффективности фотоэлектрических систем из-за частичного затенения, в данной статье представлен усовершенствованный метод отслеживания точки максимальной мощности (MPPT). Из-за нелинейных характеристик PV-модулей и наличия множества локальных максимумов в условиях частичное затенение (PSC) традиционные методы MPPT часто не позволяют точно отслеживать глобальную точку максимальной мощности (GMPP). Для решения этой проблемы предложен метаэвристический алгоритм оптимизации, основанный на оптимизации на основе альпинистской команды (МТВО). Алгоритм имитирует скоординированное движение альпинистской команды, включая руководство лидера, избегание неэффективных решений и кооперативное поведение агентов для повышения возможностей глобального поиска. Предложенный контроллер MPPT реализован с помощью повышающего преобразователя, где коэффициент заполнения динамически регулируется алгоритмом МТВО и подается на затвор IGBT-транзистора через ШИМ-модуль. Система смоделирована в MATLAB/Simulink в пяти различных сценариях частичного затенения. Анализ результатов моделирования демонстрирует, что разработанный подход отличается превосходной точностью отслеживания и ускоренным

достижением глобального максимума производительности. Средняя эффективность трекинга достигает 98,8 %, при среднем времени трекинга 0,875 с. Исследование показало, что предложенный метод МРРТ, использующий алгоритм МТВО, отличается превосходной точностью в определении точки максимальной мощности, а также демонстрирует надежность и способность адаптироваться к вариациям внешних условий.

Ключевые слова: Отслеживание точки максимальной мощности, условия частичного затенения, повышающий преобразователь, метаэвристический алгоритм.

Введение

В последние годы солнечная энергетика заняла важное место среди источников выработки электроэнергии благодаря своей бесшумной работе, неограниченным ресурсам, простоте эксплуатации и экологической чистоте. Фотоэлектрические системы считаются одними из самых надёжных, безопасных для окружающей среды и перспективных видов возобновляемой энергии. [1] Фотоэлектрические системы классифицируются по назначению на две группы: сетевые, интегрированные в общую электросеть (электростанции, гибридные и распределённые сети, комплексные решения), и автономные, предназначенные для энергоснабжения отдельных объектов, таких как уличное освещение, насосы и жилые дома [2].

Существенным препятствием при эксплуатации фотоэлектрических установок выступает их нелинейная вольт-амперная характеристика, чувствительная к изменениям температуры окружающей среды и интенсивности солнечного излучения [3]. Для обеспечения оптимального функционирования таких систем необходима разработка специализированных алгоритмов, нацеленных на точное определение точки максимальной выходной мощности.

В последние годы было разработано множество методов отслеживания точки максимальной мощности, направленных на повышение эффективности работы солнечных установок. Температура и уровень солнечного излучения существенно влияют на эффективность работы фотоэлектрических систем. Одной из наиболее острых проблем в работе солнечных панелей является частичное затенение, возникающее из-за препятствий, таких как деревья, здания, облака или пыль [4;5;6]. Это явление может привести к образованию локальных зон перегрева на затемненных участках панелей, что существенно снижает их общую производительность. Характеристики работы системы в зависимости от внешних условий наглядно отображаются на кривых

ток-напряжение (I-V) и мощность-напряжение (P-V). Для эффективного анализа работы фотоэлектрической установки ключевым показателем является точка максимальной мощности (MPP), при которой система генерирует максимальное количество энергии. Её точное определение особенно важно в условиях переменных погодных и затенённых сред [7].

В последние годы метаэвристические алгоритмы для определения точки максимальной мощности получили широкое применение благодаря адаптивности, способности обходить локальные максимумы и отсутствию необходимости в градиентных данных, что особенно важно для сложных фотоэлектрических систем [8; 9; 10]. Среди них оптимизация роем частиц (PSO) получила наибольшее распространение. Однако классический PSO ограничен чувствительностью к начальным условиям, медленной сходимостью и высокой вычислительной сложностью. Для преодоления этих трудностей разработаны усовершенствованные варианты, например, APSO с динамическим управлением случайности и ускоренной сходимостью [11; 12; 13]. Также рассматриваются альтернативы, такие как алгоритм Cuckoo Search (CS) с полетами Леви, который показывает лучшие результаты в переходных режимах, и метод пламени моли (MFO), характеризующийся более медленной сходимостью, но высокой точностью при частичном затенении [14; 15; 16; 17].

В данной работе разработан новый метод управления MPPT для фотоэлектрических систем, который устраняет недостатки ранее предложенных алгоритмов. Для более эффективного отслеживания глобальной точки максимальной мощности используется метаэвристический алгоритм на основе альпинистской команды (Mountaineering Team-Based Optimization) [18].

Материалы и методы

Алгоритмы, которые помогают находить наилучшие решения, бывают двух видов: локальные (ищут лучшее в небольшой области) и глобальные (ищут лучшее везде). Для глобального поиска часто используют эволюционные методы, похожие на естественный отбор. А культурные алгоритмы идут дальше: они добавляют к эволюции возможность «учиться» друг у друга внутри группы, что помогает быстрее находить хорошее решение. Алгоритм Mountaineering Team-Based Optimization вдохновлён скоординированным движением альпинистской команды к вершине, учитывая влияние лидера и природных препятствий, таких как лавины, аналогичных неожиданным трудностям в процессе оптимизации.

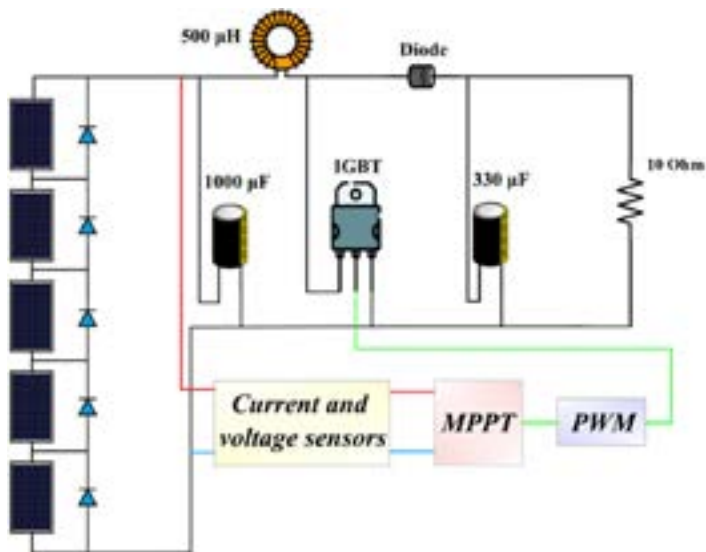


Рисунок 1 – Аппаратные компоненты MPPT.

Для верификации работы MPPT-алгоритма использовался повышающий преобразователь, на котором проводилось его тестирование. Принцип работы повышающего преобразователя заключается в следующем: с помощью управляемого ключа (IGBT), индуктивности (500 мкГн) и диода, энергия от входного напряжения (сглаженного конденсатором 1000 мкФ) накапливается в индуктивности, а затем передается на выходной конденсатор (330 мкФ) и нагрузку (10 Ом), формируя более высокое напряжение. Уровень выходного напряжения контролируется изменением рабочего цикла (коэффициента заполнения) сигнала, управляющего IGBT-транзистором. Коэффициент заполнения определяется алгоритмом МТВО с целью достижения максимальной точки мощности и через модуль ШИМ передаётся на затвор IGBT-транзистора, как показано на рисунке 1.

Предлагаемый алгоритм состоит из трех ключевых фаз: скоординированного восхождения, воздействия стихийных бедствий, совместных действий команды по их преодолению.

Фаза 1: Скоординированное восхождение

В альпинистской команде самым опытным участником назначается лидер, который направляет остальных – в терминах оптимизации это соответствует наилучшему решению текущей итерации. В алгоритме эту

роль выполняет лучший элемент популяции, ведущий остальных к цели – вершине горы, то есть к глобальному оптимуму. Соответственно, остальные участники (агенты) движутся в направлении лидера следующим образом:

$$X_i^{\text{new}} = X_i + \text{rand} * (X_{\text{leader}} - X_i) \quad (1)$$

При восхождении, лидер ведет группу, а участники следуют за ним в порядке убывания их физической формы. Каждый член команды ориентируется как на указания лидера, так и на действия непосредственного предшественника. В алгоритме МТВО используется схожий подход: на каждом шаге итерации набор потенциальных решений сортируется по степени их оптимальности, от наилучшего к наименее эффективному. Затем каждый агент получает вектор направления, который формируется как под влиянием наилучшего найденного решения (лидера), так и ближайшего к нему по качеству соседнего решения.

$$X_i^{\text{new}} = X_i + \text{rand} * (X_{\text{leader}} - X_i) + \text{rand} * (X_{\text{li}} - X_i) \quad (2)$$

где X_{li} – положение отдельного элемента, направляемого элементом, находящимся прямо перед ним.

В то же время, когда мы решаем задачи оптимизации, каждый шаг происходит случайно, и то, насколько успешно он будет завершен, зависит от числа Li.

Фаза 2: Влияние природных катаклизмов.

На пути к покорению вершины альпинисты сталкиваются с рядом природных явлений, способных замедлить или даже поставить под угрозу их жизнь. Это сходно с ситуацией в оптимизации, когда популяция может оказаться в ловушке локальных экстремумов. В контексте алгоритма МТВО, основными рисками являются сходы лавин и обвалы горных пород. Эти события играют центральную роль в процессе оптимизации, поэтому вероятность их возникновения (особенно лавины) выше по сравнению с другими фазами. В МТВО критическая ситуация, такая как лавина, интерпретируется как наихудшее решение в популяции (), от которого каждый участник стремится отдалиться, чтобы избежать попадания в локальный минимум и продолжить поиск глобального оптимума.

$$X_i^{\text{new}} = X_i - \text{rand} * (X_{\text{worst}} - X_i) \quad (3)$$

Фаза 3: Скоординированные и коллективные действия при катастрофах

Отличительной чертой человеческих сообществ является способность к организованному, осознанному и эффективному сотрудничеству. В альпинистской команде это проявляется в том, что при возникновении бедствия вся группа стремится помочь пострадавшему участнику. Алгоритм МТВО заимствует эту идею: в случае катастрофы все участники объединяют усилия, чтобы «спасти» застрявшего агента. Это реализуется через перерасчёт их положения относительно среднего значения всей популяции – (X_{Mean}), к которому i -й агент стремится приблизиться. Такое коллективное поведение моделируется следующим образом:

$$X_i^{new} = X_i + rand * (X_{Mean} - X_i) \quad (4)$$

В рамках модификации алгоритма МТВО целевая функция была переопределена таким образом, чтобы обеспечивать управление коэффициентом заполнения. Позиция каждого агента отражает значение коэффициента заполнения. Приспособленность оценивается по выходной мощности солнечной панели. Агент с максимальной мощностью определяется как D_{Leader} , а с минимальной – как D_{Worst} . Такой подход способствует эффективному поиску оптимального коэффициента заполнения для максимизации выходной мощности системы.

$$D_i^{new} = D_i + rand * (D_{Leader} - D_i) \quad (5)$$

$$D_i^{new} = D_i + rand * (D_{Leader} - D_i) + rand * (D_{ii} - D_i) \quad (6)$$

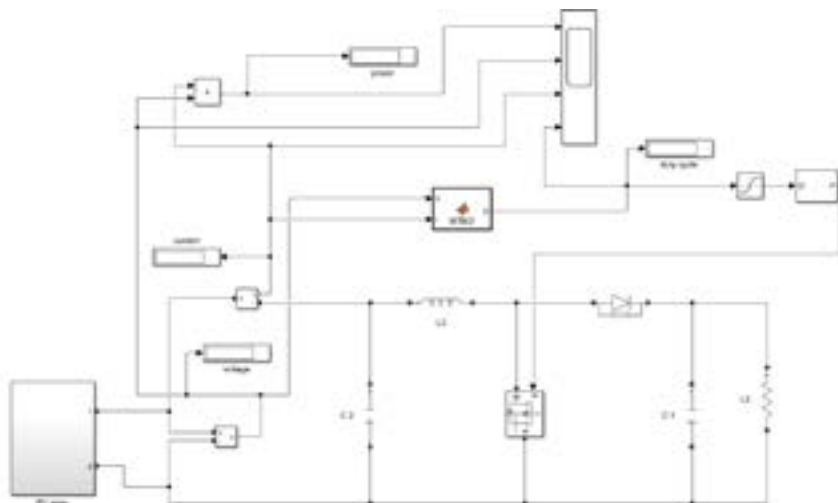
$$D_i^{new} = D_i - rand * (D_{Worst} - X_i) \quad (7)$$

$$D_i^{new} = D_i + rand * (D_{Mean} - D_i) \quad (8)$$

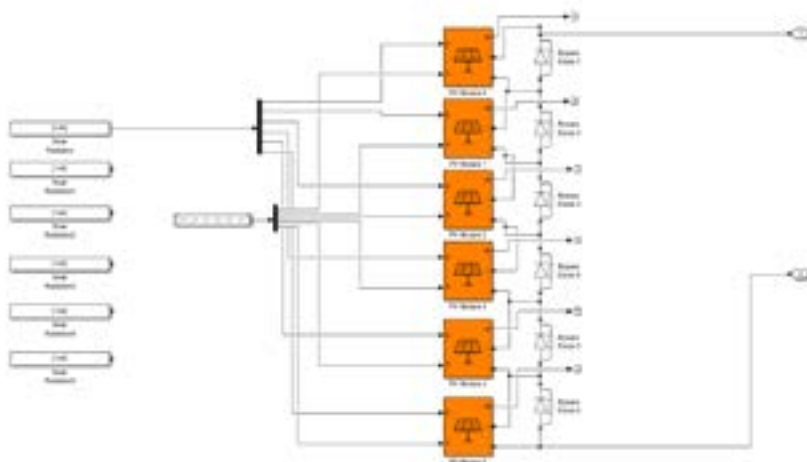
Здесь D_i^{new} – новая позиция агента, соответствующая новому значению коэффициента заполнения, D_i – текущая позиция агента (текущее значение коэффициента заполнения), D_{ii} – позиция предыдущего агента, D_{leader} – позиция агента с наибольшей мощностью, D_{Worst} – позиция агента с наименьшей мощностью, D_{Mean} – среднее значение позиций всех агентов.

Результаты и обсуждение

Для оценки эффективности алгоритма МТВО была проведена симуляция в среде Matlab Simulink. В рамках данного исследования были использованы шесть различных фотоэлектрических модулей, подключенных к повышающему преобразователю, как проиллюстрировано на Рисунке 2. В данном исследовании использовалась фотоэлектрическая батарея с параметрами $V_{mpp}=33,7$ В, $I_{mpp}=3,56$ А, $V_{oc}=41,2$ В, $I_{sc}=3,87$ А, $P_{MPT}=120$ Вт.



а)

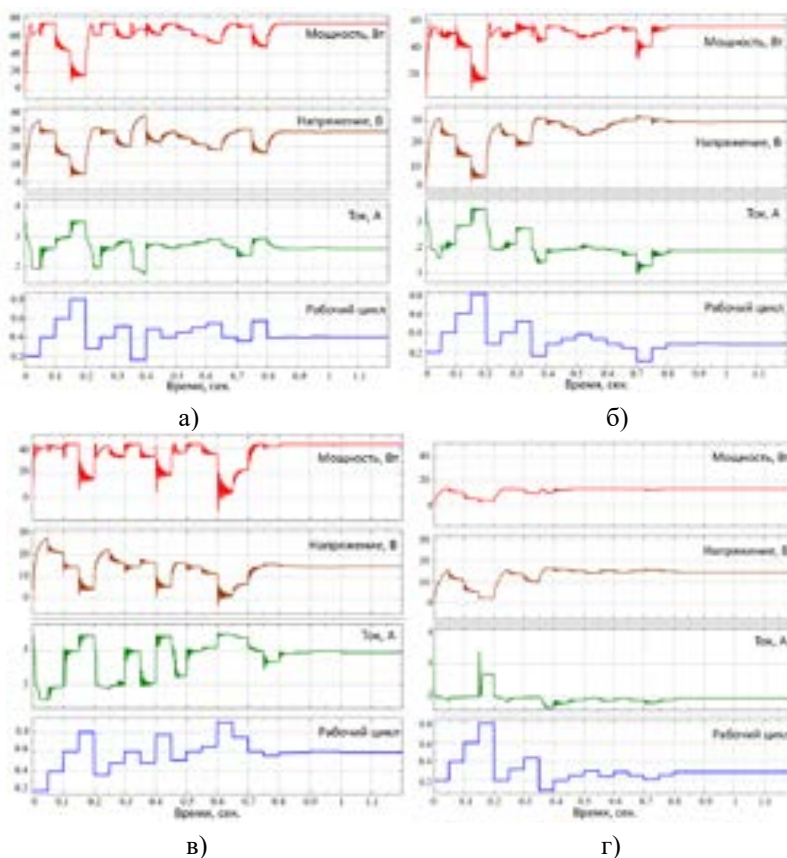


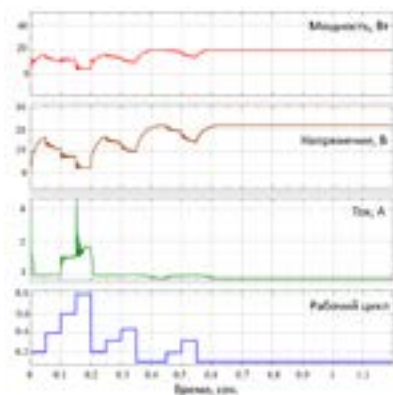
б)

Рисунок 2 – Компоненты МРРТ симулируемый в Matlab Sumilink,
а – общий вид, б – блок PV array внутри.

На рисунке 2 а–е показаны результаты МРРТ на основе алгоритма МТВО в виде графиков. Алгоритм сначала запускает четырех агентов в точках рабочего цикла 0,2, 0,4, 0,6 и 0,8 и измеряет ток, напряжение и

мощность. На основе этих данных каждый агент определяет следующую точку рабочего цикла по формуле, представленной в разделе «Методология», и повторяет этот процесс. Алгоритм считает, что точка максимальной мощности достигнута, когда разница между положениями всех агентов становится меньше 5 %, что означает их сходимости к одной области и завершение поиска. В таблице 1 представлены численные результаты работы модели МРРТ на основе метода МТВО при условиях частичного затенения, соответствующих схеме, показанной на рисунке 3.





д)

Рисунок 3 – Результаты моделирования МРРТ при различных значениях PSC

Таблица 1 – Результаты моделирования

Режимы частичного затенения	Интенсивность излучения, Вт/м ²	Рабочий цикл	Время отслеживания, сек	Эффективность отслеживания, %	Показано на рисунке 2
PCS-1	1000, 900, 800, 750, 700, 500	0.4	0.1	98.6	а
PCS-2	1000, 900, 750, 720, 500, 250	0.28	0.95	99.7	б
PCS-3	1000, 400, 250, 250, 150, 100	0.1	0.55	98.1	д
PCS-4	700, 250, 250, 150, 100, 75	0.289	0.8	99.4	г
PCS-5	900, 900, 800, 500, 400, 200	0.594	1	98.3	в

На основе данных, представленных в таблице 1, наилучшие показатели достигнуты в сценарии PSC–5: среднее время отслеживания составило 0,55 с, а эффективность – 98,1 %. Наихудшее время отслеживания зафиксировано в сценарии PSC-3 и составило около 1 с при эффективности 98,3 %. В среднем по всем рассмотренным сценариям время отслеживания равно 0,875 с, полученная эффективность в 98,8 % свидетельствует о превосходной адаптивности и высокой точности разработанного алгоритма при работе в условиях частичного затенения.

Информация о финансировании

Работа выполнена при финансовой поддержке научно-исследовательского проекта BR28713563 Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Выводы

В рамках данного исследования была предложена усовершенствованная версия алгоритма МТВО, предназначенная для эффективного поиска точки максимальной мощности в солнечных электростанциях. Разработанный алгоритм показал свою высокую производительность, в том числе в условиях переменного частичного затенения. Экспериментальная апробация подтвердила превосходство предложенного алгоритма МТВО в пяти различных условиях частичного затенения. Анализ показал, что сценарий PSC-3 обеспечил оптимальные результаты, с минимальным средним временем отслеживания в 0,55 секунды и впечатляющей эффективностью в 98,1 %. Напротив, сценарий PSC-5 показал наихудшее время отслеживания, приближающееся к 1 секунде, хотя его эффективность (98,3 %) была незначительно выше. Общие средние показатели по всем протестированным сценариям – 0,875 секунды для времени отслеживания и 98,8 % для эффективности – убедительно демонстрируют высокую адаптивность и точность разработанного алгоритма в условиях частичного затенения.

REFERENCES

- 1 **Nwokediegwu, Z. Q. S. et al.** Renewable energy technologies in engineering: A review of current developments and future prospects //Engineering science & technology journal. – 2024. – Vol. 5. – №. 2. – P. 367–384. – <https://doi.org/10.51594/estj/v>
- 2 **Abdul Baseer, M., Alsaduni, I.** A novel renewable smart grid model to sustain solar power generation //Energies. – 2023. – Vol. 16. – №. 12. – P. 4784. – <https://doi.org/10.3390/en16124784>
- 3 **Yadav, A. K. et al.** Novel applications of various neural network models for prediction of photovoltaic system power under outdoor condition of mountainous region //Sustainable Energy, Grids and Networks. – 2024. – Vol. 38. – P. 101318. – <https://doi.org/10.1016/j.segan.2024.101318>
- 4 **Worku, M. Y. et al.** A comprehensive review of recent maximum power point tracking techniques for photovoltaic systems under partial shading // Sustainability. – 2023. – Vol. 15. – №. 14. – P. 11132. – <https://doi.org/10.3390/su151411132>

- 5 **Oufettoul, H. et al.** Comparative performance analysis of PV module positions in a solar PV array under partial shading conditions //IEEE Access. – 2023. – Vol. 11. – P. 12176–12194. – <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3237250>
- 6 **Youssef, A. R., Hefny, M. M., Ali, A. I. M.** Investigation of single and multiple MPPT structures of solar PV-system under partial shading conditions considering direct duty-cycle controller //Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13. – №. 1. – P. 19051. – <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46165-1>
- 7 **Manna, S. et al.** Design and implementation of a new adaptive MPPT controller for solar PV systems //Energy Reports. – 2023. – Vol. 9. – P. 1818–1829. – <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.12.152>
- Águila-León, J. et al.** Optimizing photovoltaic systems: A meta-optimization approach with GWO-Enhanced PSO algorithm for improving MPPT controllers //Renewable Energy. – 2024. – Vol. 230. – P. 120892. – <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120892>
- 8 **Refaat, A. et al.** A novel metaheuristic MPPT technique based on enhanced autonomous group Particle Swarm Optimization Algorithm to track the GMPP under partial shading conditions-Experimental validation // Energy Conversion and Management. – 2023. – Vol. 287. – P. 117124. – <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117124>
- 9 **Taha, S. A. et al.** Design of an efficient MPPT topology based on a grey wolf optimizer-particle swarm optimization (GWO-PSO) algorithm for a grid-tied solar inverter under variable rapid-change irradiance //Energies. – 2025. – Vol. 18. – №. 8. – P. 1997. – <https://doi.org/10.3390/en18081997>
- 10 **Zhang, Y., Pan, X.** PV Maximum Power Tracking Point Based on Adaptive PSO Algorithm //2024 Asian Conference on Intelligent Technologies (ACOIT). – IEEE, 2024. – P. 1–6. – <https://doi.org/10.1109/ACOIT62457.2024.10941357>
- 11 **Alhusseini, H. et al.** Adaptive particle swarm optimization based model predictive control MPPT algorithm for PV systems under partial shading conditions //Results in Engineering. – 2025. – P. 107419. – <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107419>
- 12 **Temidayo, O. E. et al.** Comparative Simulation of Conventional and Intelligent MPPT Algorithms for Solar PV Systems: Voltage and Current Stability Analysis //Authorea Preprints.
- 13 **Bouguerra, A. et al.** Enhancing PEM fuel cell efficiency with flying squirrel search optimization and Cuckoo Search MPPT techniques in dynamically operating environments //Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – №. 1. – P. 13946. – <https://doi.org/10.1038/s41598-024-64915-7>

14 **Qi, P. et al.** Novel global MPPT technique based on hybrid cuckoo search and artificial bee colony under partial-shading conditions //Electronics. – 2024. – Vol. 13. – №. 7. – P. 1337. – <https://doi.org/10.3390/electronics13071337>

15 **Chang, C. C. W. et al.** Moth flame optimization for the maximum power point tracking scheme of photovoltaic system under partial shading conditions //Energy Reports. – 2023. – Vol. 9. – P. 374–379. – <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.09.026>

16 **Yuan, C. et al.** Levy Flight-Enhanced Coot Optimization Algorithm-Based MPPT for PV Systems Under Partial Shading Conditions //Energy Science & Engineering. – 2025. – Vol. 13. – №. 12. – P. 6084–6099. – <https://doi.org/10.1002/ese3.70298>

17 **Faridmehr, I. et al.** Mountaineering team-based optimization: A novel human-based metaheuristic algorithm //Mathematics. – 2023. – Vol. 11. – №. 5. – P. 1273. – <https://doi.org/10.3390/math11051273>

Поступило в редакцию 01.04.26.

Поступило с исправлениями 22.04.26.

Принято в печать 04.06.26.

*Н. Б. Құттыбай¹, Н. Ж. Қошқарбай², Б. Н. Жоламанов³,
Д. Б. Әлмен⁴, А. Б. Болатбек⁵

^{1,2,3,4,5}Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

01.04.26 ж. баспаға түсті.

22.04.26 ж. түзетулерімен түсті.

04.06.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

ФОТОЭЛЕКТРЛІК ЖҮЙЕЛЕР ҮШІН ЖАҢАДЫҚ МАКСИМАЛДЫ ҚУАТ НҮКТЕСІН БАҚЫЛАУҒА АРНАЛҒАН МЕТАЕВРИСТИКАЛЫҚ АЛГОРИТМ

Жартылай көлеңкеленуге байланысты фотоэлектрлік жүйенің тиімділігінің төмендеуі мәселесін шешу үшін бұл мақалада жақсартылған максималды қуат нүктесін бақылау (MPPT) әдісі ұсынылған. Фотоэлектрлік модульдердің сызықтық емес сипаттамаларына және жартылай көлеңкелену жағдайында (PSC) бірнеше жергілікті максимумдардың болуына байланысты дәстүрлі MPPT әдістері көбінесе жаңандық максималды қуат нүктесін (GMPP) дәл бақылауға мүмкіндік бермейді. Бұл мәселені

шешу үшін тауға өрмелеу тобын оңтайландыруға (МТВО) негізделген метаэвристикалық оңтайландыру алгоритмі ұсынылады. Алгоритм тауға өрмелеу тобының үйлестірілген қозғалысын модельдейді, оның ішінде қошбасшының басшылығы, тиімсіз шешімдерден аулақ болу және жаһандық іздеу мүмкіндіктерін жақсарту үшін агенттердің бірлескен мінез-құлқы. Ұсынылған МРРТ контроллері күшейткіш түрлендіргішті пайдаланып жүзеге асырылады, мұнда жұмыс циклі МТВО алгоритмімен динамикалық түрде реттеледі және PWM модулі арқылы IGBT транзисторының қақпасына беріледі. Жүйе MATLAB/Simulink жүйесінде бес түрлі жартылай көлеңкелеу сценарийі бойынша модельденеді. Модельдеу нәтижелерін талдау әзірленген тәсілдің тамаша бақылау дәлдігімен және жаһандық шың өнімділігіне жеткізілген қол жеткізумен мақтана алатынын көрсетеді. Орташа бақылау тиімділігі 98,8 %-ға жетеді, орташа бақылау уақыты 0,875 секунд. Зерттеу МТВО алгоритмін қолдана отырып ұсынылған МРРТ әдісінің максималды қуат нүктесін анықтауда тамаша дәлдікке ие екенін, сондай-ақ сыртқы жағдайлардағы өзгерістерге беріктік пен бейімделуді көрсетті.

Кілтті сөздер: Максималды қуат нүктесін бақылау, жартылай көлеңкелеу жағдайлары, жоғарлатқыш түрлендіргіш, метаэвристикалық алгоритм.

*N. B. Kuttybay¹, N. Zh. Koshkarbay², B. N. Zholamanov³,

D. B. Almen⁴, A. B. Bolatbek⁵

^{1,2,3,4,5} Al-Farabi Kazakh National University,

Republic of Kazakhstan, Almaty.

Received 01.04.26.

Received in revised form 22.04.26.

Accepted for publication 04.06.26.

METAHEURISTIC ALGORITHM FOR TRACKING THE GLOBAL MAXIMUM POWER POINT IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

To address the problem of photovoltaic system efficiency degradation due to partial shading, this paper presents an improved maximum power point tracking (MPPT) method. Due to the nonlinear characteristics of PV modules and the presence of multiple local maxima under PSC conditions, traditional MPPT methods often fail to accurately track the global maximum power point (GMPP). To address this problem, a metaheuristic optimization algorithm

based on mountain-climbing team optimization (MTBO) is proposed. The algorithm simulates the coordinated movement of a mountain-climbing team, including leader guidance, inefficient solution avoidance, and cooperative behavior of agents to enhance global search capabilities. The proposed MPPT controller is implemented using a boost converter, where the duty cycle is dynamically adjusted by the MTBO algorithm and fed to the gate of the IGBT transistor via a PWM module. The system is simulated in MATLAB/Simulink under five different partial shading scenarios. Analysis of the simulation results demonstrates that the developed approach boasts excellent tracking accuracy and accelerated achievement of global peak performance. The average tracking efficiency reaches 98.8 %, with an average tracking time of 0.875 seconds. The study showed that the proposed MPPT method using the MTBO algorithm has excellent accuracy in determining the maximum power point, and also demonstrates robustness and adaptability to variations in external conditions.

Keyword: Maximum power point tracking, partial shading conditions, boost converter, metaheuristic algorithm.

Теруге 09.06.2026 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2026 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

5,86 Mb RAM

Шартты баспа табағы 34,4. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. Б. Шукитова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс № 4557

Сдано в набор 09.06.2026 г. Подписано в печать 30.06.2026 г.

Электронное издание

5,86 Mb RAM

Усл. печ. л. 34,4. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. Б. Шукитова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4557

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

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

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

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

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz