Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы

1997 жылдан бастап шығады

ВЕСТНИК Торайгыров университета

Энергетическая серия

Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№3 (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/BTOUEn3.2026/2710-3420

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.,	*д.т.н., профессор*
Никифоров А. С.,	*д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н.,	*д.т.н., профессор*
Алиферов А. И.,	*д.т.н., профессор (Российская Федерация)*
Кошеков К. Т.,	*д.т.н., профессор*
Приходько Е. В.,	*к.т.н., профессор*
Кислов А. П.,	*к.т.н., доцент*
Нефтисов А. В.,	*доктор PhD*
Шерьязов С. К.	т.ғ.д., *профессор (Российская Федерация)*
Искакова З. С.	*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

© Торайгыров университет

МРНТИ 44.37.29

http://doi.org/10.48081/BTOUEn3.2026/255-267

***М. А. Добренко[1], Д. Р. Корамбаев[2], И. А. Хажин[3],
М. В. Ярославцев[4], М. Т. Азаматов[5]***

[1,2,3,4,5]Торайгыров университет,
Республика Казахстан, г. Павлодар.
[1]ORCID: https://orcid.org/0009-0002-3348-9503
[2]ORCID: https://orcid.org/0009-0008-8355-3562
[3]ORCID: https://orcid.org/0009-0009-5067-607X
[4]ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4666-1296
[5]ORCID: https://orcid.org/0009-0007-6956-0822
*e-mail: maksimka.dobrenko@mail.ru

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ С ПИТАНИЕМ ОТ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

В статье рассматривается разработка и имитационное моделирование гибридной системы электроснабжения электромобильной платформы, интегрирующей фотоэлектрические преобразователи с электрохимическими накопителями энергии. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения автономности электромобилей и снижения их зависимости от стационарной зарядной инфраструктуры посредством утилизации возобновляемых источников энергии непосредственно в процессе эксплуатации транспортного средства.

Представлена функциональная схема системы, реализованная в среде MATLAB/Simulink, включающая фотоэлектрическую батарею суммарной мощностью более двух киловатт, тяговую аккумуляторную батарею и электропривод постоянного тока, соединенные через два каскадно включенных понижающих преобразователя постоянного напряжения. Особое внимание уделено разработке адаптивного алгоритма отслеживания точки максимальной мощности на основе метода возмущения и наблюдения с переменным размером шага, обеспечивающего быструю сходимость при изменении условий освещенности и высокую точность позиционирования рабочей точки фотоэлектрических модулей.

Результаты имитационного моделирования подтверждают эффективность предложенной архитектуры системы и корректность работы алгоритмов управления энергетическими потоками. Анализ переходных процессов демонстрирует быстрое достижение точки максимальной мощности солнечных панелей, стабильность напряжения аккумуляторной батареи и плавный характер разгона тягового электропривода. Разработанная система создает основу для внедрения технологий автономного энергоснабжения электромобилей на базе возобновляемых источников энергии и способствует развитию экологически чистого транспорта.

Ключевые слова: гибридная система электроснабжения, электромобиль, фотоэлектрическая батарея, оптимальная система управления, имитационное моделирование, возобновляемые источники энергии.

Введение

Современные тенденции развития автомобильного транспорта характеризуются интенсивным переходом от традиционных двигателей внутреннего сгорания к электрическим силовым установкам, обусловленным необходимостью снижения выбросов парниковых газов и повышения энергетической эффективности транспортных средств. Однако применение исключительно аккумуляторных систем электропитания сопряжено с существенными ограничениями по запасу хода, длительности зарядки и зависимости от стационарной инфраструктуры электроснабжения, что препятствует широкому распространению электромобилей в регионах с недостаточно развитой зарядной инфраструктурой [1].

Интеграция фотоэлектрических преобразователей в конструкцию транспортных средств представляет перспективное направление повышения автономности электромобилей посредством утилизации солнечной энергии непосредственно в процессе эксплуатации. Гибридные системы электроснабжения, объединяющие фотоэлектрические батареи с электрохимическими накопителями энергии, позволяют обеспечить непрерывное энергоснабжение тяговых электроприводов при переменных условиях освещенности и динамически изменяющейся нагрузке, характерной для реальных режимов движения транспортных средств [2].

Ключевой проблемой эффективной эксплуатации фотоэлектрических систем является необходимость постоянного отслеживания точки максимальной мощности на вольт-амперной характеристике солнечных

модулей, изменяющейся в зависимости от интенсивности солнечного излучения, температуры элементов и параметров нагрузки. Реализация адаптивных алгоритмов управления понижающими преобразователями постоянного напряжения позволяет максимизировать извлечение энергии из фотоэлектрических источников при одновременном обеспечении требуемых характеристик питания тягового электропривода и оптимального режима заряда аккумуляторной батареи .

В работе выполнено имитационное моделирование комбинированного электропривода электромобиля, включающего фотоэлектрическую батарею (ФЭБ), тяговую аккумуляторную батарею (ФЭБ) и тяговый преобразователь через каскад понижающих преобразователей. Особое внимание уделяется реализации алгоритма отслеживания точки максимальной мощности [3].

В качестве объекта исследования выбран гольф-кар, характеризующийся небольшой полной массой, благоприятным соотношением площади крыши к требуемой мощности силовой установки и преимущественной эксплуатацией в условиях хорошей погоды, что обеспечивает максимальную эффективность преобразования солнечной энергии.

Материалы и методы

Объектом исследования выступает гибридная система электроснабжения малогабаритного электромобиля класса гольф-кар, предназначенного для перевозки 2-4 пассажиров на территориях гольф-клубов, курортных комплексов и закрытых территорий [4]. Транспортное средство характеризуется полной массой 400-500 кг, максимальной скоростью движения 30-40 км/ч и номинальной мощностью тягового электропривода в диапазоне 2-3 кВт. Площадь крыши транспортного средства, доступная для размещения фотоэлектрических модулей, принята равной 2 м^2, что при стандартной интенсивности солнечного излучения обеспечивает генерацию мощности до 2 кВт, достаточной для частичного или полного покрытия энергопотребления привода при движении с ограниченной 40 км/ч скоростью [5, 6].

Структурная схема комбинированного электропривода электромобиля реализована в среде имитационного моделирования MATLAB/Simulink и представлена на рисунке 1. Система включает ФЭБ, два каскадно соединенных понижающих преобразователя постоянного напряжения buck converter, ТАБ и нагрузку в виде тягового преобразователя. Принцип работы системы базируется на управлении энергетическими потоками между ФЭБ, ТАБ и тяговым электроприводом для обеспечения максимальной эффективности использования солнечной энергии при переменных условиях освещенности и нагрузки [7].

ФЭБ является первичным источником энергии, генерирующим постоянные напряжение и ток, величина которых зависит от интенсивности солнечного излучения и температуры фотоэлектрических элементов. Измеренное значение мощности батареи используется алгоритмом отслеживания точки максимальной мощности для формирования оптимального управляющего сигнала [8]. Преобразователь Buck converter 1 имитирует работу импульсного регулятора напряжения, согласующего выходное напряжение ФЭБ и напряжение ТАБ.

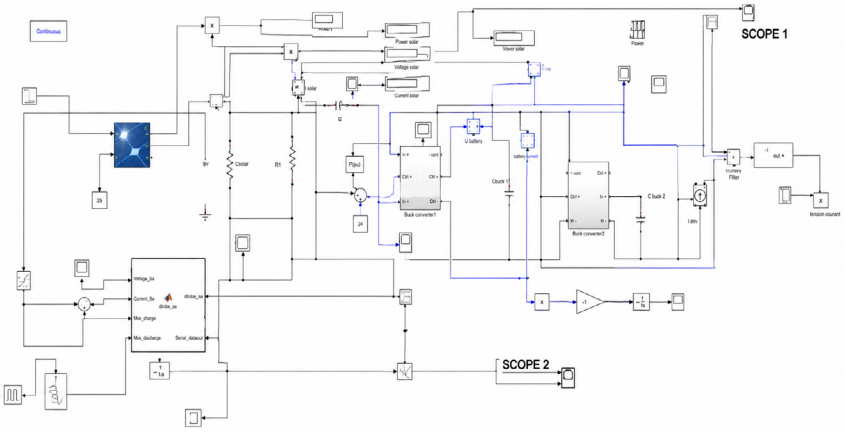


Рисунок 1 – Структурная схема

ТАБ (блок Battery) расположена параллельно выходу первого понижающего преобразователя и входу второго преобразователя. ТАБ функционирует в двунаправленном режиме, обеспечивая накопление избыточной энергии при превышении генерации фотоэлектрической батареи над потреблением нагрузки и отдачу накопленной энергии в периоды недостаточной солнечной генерации.

Тяговый электропривод моделируется источником тока Electric Drive current, моделирующим потребление энергии тяговым преобразователем. Величина потребляемого тока рассчитывается по заданному кусочно-линейной функцией приближению зависимости потребляемой при движении в городском цикле мощности от времени.

Механическая нагрузка на валу электродвигателя определяется моментом сопротивления движению, включающим аэродинамическое сопротивление, сопротивление качению и момент инерции транспортного средства при ускорении.

Структура преобразователя напряжения Buck converter 1 представлена на рисунке 2. Система управления преобразователем интегрирует измерительные блоки напряжения U solar2 и тока I conv, формирующие сигналы обратной связи для алгоритма отслеживания точки максимальной мощности. Мгновенная мощность ФЭБ вычисляется умножителем m1, на входы которого поступают измеренные значения напряжения и тока. Результат вычисления мощности используется алгоритмическим блоком, реализующим метод возмущения и наблюдения с адаптивным размером шага для определения оптимального коэффициента заполнения k широтно-импульсной модуляции. Блок формирования управляющего сигнала с обозначением m и k преобразует цифровой сигнал коэффициента заполнения в последовательность импульсов с соответствующей относительной длительностью проводящего состояния силового ключа [9].

Структура второго преобразователя Buck converter 2 аналогична первому преобразователю, однако система управления использует пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор для стабилизации напряжения питания тягового преобразователя независимо от уровня напряжения аккумуляторной батареи и его колебаний, вызванных изменением величины отдаваемого тока.

Алгоритм отслеживания точки максимальной мощности реализован в виде функции на языке программирования MATLAB:

```
function delta_k  = fcn(dpower_dt, pulse, old_delta_k, old_pulse)
min_delta_k = 0.02; % Наименьшее значение k
max_delta_k = 5; % Наибольшее значение k
k_p = 0.1;
if old_delta_k == 0
    old_delta_k = min_delta_k;
end
if (pulse > 0 && old_pulse == 0)
    if abs(dpower_dt) > 0.1 % Условие максимума dP/dt = 0
        if dpower_dt > 0 % Выбор знака изменения мощности
            new_delta_k = old_delta_k * 1.1; % Быстрое увеличение k
        else
            new_delta_k = -1 * sign(old_delta_k) * min_delta_k;
        end
    else
        new_delta_k = old_delta_k * 1.1; % Быстрое увеличение k
    end
     if abs(new_delta_k) > max_delta_k % Проверка выходной величины
коэффициента k по ограничениям
        new_delta_k = sign(new_delta_k) * max_delta_k;
    end
    delta_k = new_delta_k;
else
    delta_k = old_delta_k;
end
```

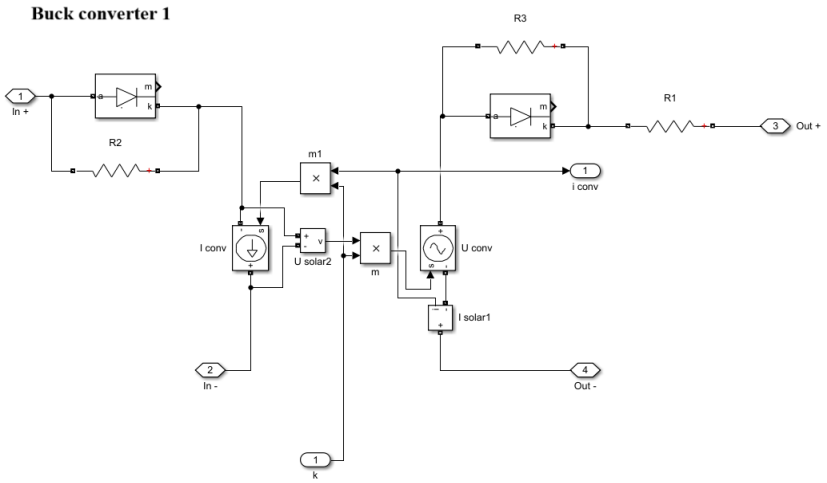


Рисунок 2 – Схема модели преобразователя напряжения

Особенностью алгоритма является использование экспоненциального закона изменения выходного значения, что обеспечивает высокое быстродействие регулятора в условиях резких изменений освещенности.

При моделировании системы использована модель фотоэлектрической батареи, включающая 5 параллельных групп элементов и 2 последовательно соединенных модуля в каждой группе, что обеспечивает требуемые значения выходного напряжения и тока. Каждый фотоэлектрический модуль имеет номинальную мощность 213.15 Вт при интенсивности излучения 1000 Вт/м² и температуре элементов 25°C. Количество фотоэлектрических ячеек в одном модуле составляет 60 шт.

Результаты и обсуждение

На рисунке 3 показана зависимость мощности, вырабатываемой батареей исследуемого электромобиля, от времени. Зависимость получена при помощи блока Scope1 на имитационной модели.

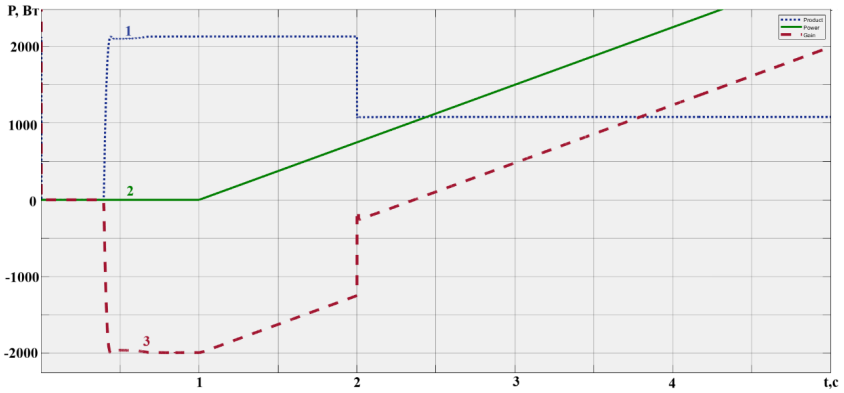


Рисунок 3 – Зависимость мощности составных
частей электропривода от времени:
1 – мощность фотоэлектрической батареи,
2 – мощность разряда аккумулятора,
3 – мощность, потребляемая тяговым приводом.

Представленная зависимость показывает, что регулятор способен поддерживать постоянную мощность независимо от режима работы тягового электропривода. Регулятор устойчиво работает в условиях резкого изменения освещенности, которое имитируется в момент t=2 с. В момент t=2,4 с мощность, потребляемая электроприводом, превышает мощность фотоэлектрической батареи, и аккумулятор переходит из режима заряда в режим разряда.

График изменения коэффициента, представленный на рисунке 4, демонстрирует динамику изменения коэффициента заполнения широтно-импульсной модуляции, формируемого алгоритмом отслеживания точки максимальной мощности в процессе поиска оптимального режима работы фотоэлектрических модулей.

В начальный момент времени наблюдается резкое нарастание коэффициента заполнения от минимального значения, что соответствует этапу грубого поиска окрестности точки максимальной мощности с увеличенным шагом возмущения для ускорения переходного процесса [10]. После достижения пикового значения алгоритм идентифицирует превышение оптимального уровня и корректирует коэффициент заполнения в обратном направлении, постепенно снижая его до установившегося значения. В установившемся режиме наблюдаются незначительные колебания коэффициента заполнения относительно оптимального уровня,

обусловленные непрерывной работой алгоритма возмущения и наблюдения, периодически изменяющего управляющий параметр для верификации нахождения в точке максимальной мощности. Амплитуда установившихся осцилляций остается минимальной, что свидетельствует об использовании адаптивного размера шага возмущения, автоматически уменьшающегося при приближении к оптимуму для повышения точности позиционирования рабочей точки. Характер переходного процесса подтверждает эффективность алгоритма управления и быстрое достижение оптимального режима работы системы с минимальными энергетическими потерями на этапе поиска точки максимальной мощности.

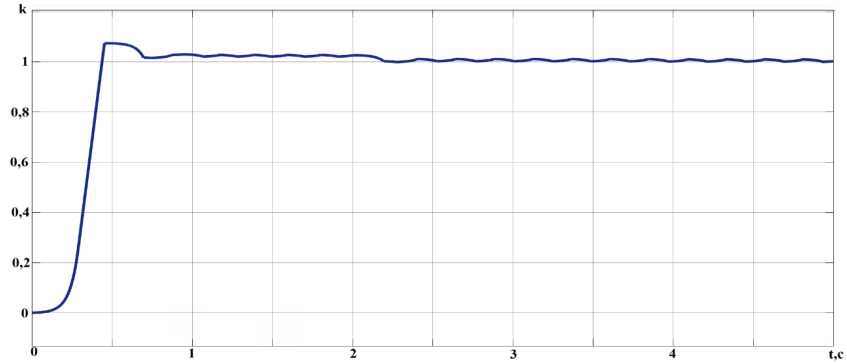


Рисунок 4 – График изменения коэффициента

Выводы

В работе реализована в среде имитационного моделирования MATLAB/Simulink структурная схема гибридной системы электроснабжения электромобильной платформы, интегрирующая фотоэлектрическую батарею мощностью 2 кВт, тяговую аккумуляторную батарею и электропривод.

Реализован оптимальный алгоритм отслеживания точки максимальной мощности на основе метода возмущения и наблюдения с переменным размером шага. Алгоритм продемонстрировал эффективность поиска оптимального режима работы фотоэлектрических модулей. Анализ переходных процессов показал быстрое (0,5с) достижение точки максимальной мощности с минимальными (около 1 %) колебаниями в установившемся режиме.

Система управления вторым понижающим преобразователем на базе ПИД-регулятора обеспечивает стабильное напряжение питания тягового

электропривода с минимальной величиной рассогласования между заданным и фактическим значениями.

Аккумуляторная батарея функционирует в качестве буферного накопителя энергии, компенсирующего кратковременные дисбалансы между генерацией фотоэлектрической системы и потреблением нагрузки. Высокая стабильность напряжения аккумулятора на протяжении всего периода моделирования подтверждает корректность энергетического баланса системы и отсутствие критических режимов заряда-разряда электрохимических элементов.

Результаты моделирования показывают, что в солнечный день при поддержании постоянной мощности фотоэлектрической батареи 1100 Вт она способна обеспечить 55 % потребления электроэнергии на тягу. Разработанная имитационная модель демонстрирует работоспособность предложенной архитектуры гибридной системы электроснабжения и эффективность предложенного алгоритма управления для максимизации использования солнечной энергии. Полученные результаты моделирования подтверждают перспективность интеграции фотоэлектрических преобразователей в системы электропитания транспортных средств для повышения автономности и снижения зависимости от стационарной зарядной инфраструктуры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Гибридные системы на базе солнечных панелей: что это и как работает. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vash.kyiv.ua/ru/hybrydnye-systemy-na-baze-solnechnyh-paneley-chto-eto-y-kak-rabotaet/

2 **Sarvi, M., Azadian, A.** A comprehensive review and classified comparison of MPPT algorithms in PV systems // Energy Systems. – 2022. – Vol. 13. – Iss. 2. – P. 281 – 320. – https://doi.org/10.1007/s12667-021-00427-x.

3 **Yang, B., Zhu, T., Wang, J., S., Hongchun, Y. T., Zhang, X., Yao, W., Sun, L.** Comprehensive overview of maximum power point tracking algorithms of PV systems under partial shading condition // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 268. – Art. no. 121983. – https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121983.

4 **Yan, Q., Zhang, B., Kezunovic, M.** Optimized operational cost reduction for an EV charging station integrated with battery energy storage and PV generation // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2019. – Vol. 10. – Iss. 2. – Art. no. 8242670. – P. 2096 – 2106. – https://doi.org/10.1109/TSG.2017.2788440.

5 Электрические гольф-кары [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dragon-era.com/ru/electric-golf-carts/.

6 Влияние бортовых солнечных панелей на характеристики тягового аккумулятора электромобиля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/energos/2024/energstart/pages/Articles/408.pdf.

7 Аккумулятор электромобиля – Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Аккумулятор_электромобиля.

8 **Jeong, H., Lee, H., Liu, Yu-Chen, Kim, K. A.** Review of Differential Power Processing Converter Techniques for Photovoltaic Applications // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2019. – Vol. 34. – Iss. 1. – Art. no. 8516313. – P. 351 – 360. – https://doi.org/10.1109/TEC.2018.2876176

9 Понижающий преобразователь (buck converter) – расчет компонентов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://electricalschool.info/electronica/2085-ponizhayuschiy-preobrazovatel-buck-converter-raschet-komponentov.html.

10 Слежение за точкой максимальной мощности солнечной батареи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/slezhenie-za-tochkoy-maksimalnoy-moschnosti-solnechnoy-batarei.

REFERENCES

1 Gibridnyye sistemy na baze solnechnykh paneley: chto eto i kak rabotayet [Hybrid solar systems: what they are and how they work] [Electronic resource]. – Access mode: https://vash.kyiv.ua/ru/hybrydnye-systemy-na-baze-solnechnyh-paneley-chto-eto-y-kak-rabotaet/.

2 **Sarvi, M., Azadian, A.** A comprehensive review and classified comparison of MPPT algorithms in PV systems // Energy Systems. – 2022. – Vol. 13. – Iss. 2. – P. 281 – 320. – https://doi.org/10.1007/s12667-021-00427-x.

Yang, B., Zhu, T., Wang, J., S., Hongchun, Y. T., Zhang, X., Yao, W., Sun, L. Comprehensive overview of maximum power point tracking algorithms of PV systems under partial shading condition // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 268. – Art. no. 121983. – https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121983.

3 **Yan, Q., Zhang, B., Kezunovic, M.** Optimized operational cost reduction for an EV charging station integrated with battery energy storage and PV generation // IEEE Transactions on Smart Grid. – 2019. – Vol. 10. – Iss. 2. – Art. no. 8242670. – P. 2096 – 2106. – https://doi.org/10.1109/TSG.2017.2788440.

4 Электрические гольф-кары [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dragon-era.com/ru/electric-golf-carts/.

5 Влияние бортовых солнечных панелей на характеристики тягового аккумулятора электромобиля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/energos/2024/energstart/pages/Articles/408.pdf.

6 Аккумулятор электромобиля – Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Аккумулятор_электромобиля.

7 **Jeong, H., Lee, H., Liu, Yu-Chen, Kim, K. A.** Review of Differential Power Processing Converter Techniques for Photovoltaic Applications // IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2019. – Vol. 34. – Iss. 1. – Art. no. 8516313. – P. 351 – 360. – https://doi.org/10.1109/TEC.2018.2876176.

8 Ponizhayushchiy preobrazovatel' (buck converter) – raschet komponentov [Buck Converter - Component Calculation] [Electronic resource]. – Access mode: https://electricalschool.info/electronica/2085-ponizhayuschiy-preobrazovatel-buck-converter-raschet-komponentov.html.

9 Slezheniye za tochkoy maksimal'noy moshchnosti solnechnoy batarei [Solar panel maximum power point tracking] [Electronic resource]. – Access mode: https://cyberleninka.ru/article/n/slezhenie-za-tochkoy-maksimalnoy-moschnosti-solnechnoy-batarei.

Поступило в редакцию 29.04.26.
Поступило с исправлениями 05.05.26.
Принято в печать 31.08.26.

**М. А. Добренко[1], Д. Р. Корамбаев[2], И. А. Хажин[3], М. В. Ярославцев[4], М. Т. Азаматов[5]*
[1,2,3,4,5]Торайғыров университет,
Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
29.04.26 ж. баспаға түсті.
05.05.26 ж. түзетулерімен түсті.
31.08.26 ж. басып шығаруға қабылданды.

ФОТОЭЛЕКТРЛІК ТҮРЛЕНДІРГІШПЕН ҚОРЕКТЕНЕТІН ЭЛЕКТРОМОБИЛЬДІҢ ҚУАТ КӨЗДЕРІН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН СИНТЕЗДЕУ

Мақалада фотоэлектрлік түрлендіргіштерді электрохимиялық энергия сақтағыштармен біріктіретін электромобиль платформасының гибридті электрмен жабдықтау жүйесін әзірлеу және имитациялық модельдеу қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі

электромобильдердің автономдылығын арттыру және көлікті пайдалану барысында тікелей жаңартылатын энергия көздерін пайдалану арқылы стационарлық зарядтау инфрақұрылымына тәуелділікті азайту қажеттілігімен айқындалады.

MATLAB/Simulink ортасында жүзеге асырылған жүйенің функционалдық сұлбасы ұсынылады, онда жалпы қуаты екі киловаттан асатын фотоэлектрлік батарея, тартымдық аккумуляторлық батарея және тұрақты тоқ электржетегі екі каскадты қосылған кернейтін тұрақты кернеу түрлендіргіштері арқылы қосылған. Жарықтандыру жағдайларының өзгеруі кезінде жылдам конвергенцияны және фотоэлектрлік модульдердің жұмыс нүктесін жоғары дәлдікпен орналастыруды қамтамасыз ететін айнымалы қадам өлшемімен бұзу және бақылау әдісіне негізделген максималды қуат нүктесін бақылаудың адаптивті алгоритмін әзірлеуге ерекше назар аударылады.

Имитациялық модельдеу нәтижелері ұсынылған жүйе архитектурасының тиімділігін және энергия ағындарын басқару алгоритмдерінің дұрыс жұмысын растайды. Өтпелі процестерді талдау күн панельдерінің максималды қуат нүктесіне жылдам жетуді, аккумуляторлық батарея кернеуінің тұрақтылығын және тартымдық электржетегінің үдеуінің біркелкі сипатын көрсетеді. Әзірленген жүйе жаңартылатын энергия көздері негізінде электромобильдерді автономды электрмен жабдықтау технологияларын енгізу үшін негіз жасайды және экологиялық таза көліктің дамуына ықпал етеді.

Кілтті сөздер: гибридті электрмен жабдықтау жүйесі, электромобиль, фотоэлектрлік батарея, оңтайлы басқару жүйесі, имитациялық модельдеу, жаңартылатын энергия көздері.

**M. A. Dobrenko[1], D. R. Korambaev[2], I. A. Khazhin[3],*
M. V. Yaroslavtsev[4], M. T. Azamatov[5]
[1,2,3,4,5]Toraighyrov University,
Republic of Kazakhstan, Pavlodar.
Received 29.04.26.
Received in revised form 05.05.26.
Accepted for publication 31.08.26.

SYNTHESIS OF A POWER MANAGEMENT SYSTEM FOR ENERGY SOURCES OF AN ELECTRIC VEHICLE POWERED BY A PHOTOVOLTAIC CONVERTER

This article presents the development and simulation modeling of a hybrid power supply system for an electric vehicle platform integrating photovoltaic converters with electrochemical energy storage devices. The relevance of the study is driven by the need to increase the autonomy of electric vehicles and reduce their dependence on stationary charging infrastructure through the utilization of renewable energy sources directly during vehicle operation.

A functional diagram of the system implemented in the MATLAB/ Simulink environment is presented, comprising a photovoltaic battery with a total power output exceeding two kilowatts, a traction battery, and a DC electric drive connected through two cascaded step-down DC-DC converters. Special attention is given to the development of an adaptive maximum power point tracking algorithm based on the perturb-and-observe method with variable step size, ensuring fast convergence under changing irradiance conditions and high positioning accuracy of the operating point of the photovoltaic modules.

The simulation results confirm the effectiveness of the proposed system architecture and the correct operation of the energy flow control algorithms. Analysis of transient processes demonstrates rapid attainment of the maximum power point of the solar panels, stable battery voltage, and smooth acceleration of the traction electric drive. The developed system provides a foundation for the implementation of autonomous power supply technologies for electric vehicles based on renewable energy sources and contributes to the development of environmentally clean transportation.

Keywords: hybrid power supply system, electric vehicle, photovoltaic battery, optimal control system, simulation modeling, renewable energy sources.

Теруге 07.09.2026 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2026 ж. қол қойылды.
Электронды баспа
19,0 Mb RAM
Шартты баспа табағы 34,4. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: Шукитова А. Б.
Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас
Тапсырыс № 4601

Сдано в набор 07.09.2026 г. Подписано в печать 30.09.2026 г.
Электронное издание
19,0 Mb RAM
Усл. печ. л. 34,4. Тираж 300 экз. Цена договорная.
Компьютерная верстка: Шукитова А. Б.
Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас
Заказ № 4601

«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