

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ



УДК 629.113.6

DOI:10.30724/1998-9903-2024-26-2-105-113

## ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ УЧЕБНОГО СТЕНДА «МОТОР ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ» ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОТЫ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Сафин А.Р., Шакурова З.М., Доломанюк Л.В., Гаврилов В.А., Денисова Н.В.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия  
sarkazan@bk.ru

**Резюме:** В современном мире остро стоит проблема экологического состояния нашей планеты. Экологическая обстановка зависит от множества факторов, к ним можно отнести как природные явления, так и действия человека. Одним из решений данной проблемы является замена традиционных автомобилей с ДВС на более экологичные электромобили. **ЦЕЛЬ.** Задачей данного исследования является анализ внутреннего устройства электромобиля, на основе учебного стенда «Мотор электромобиля», а также исследование функций данного устройства, располагающегося на базе Казанского государственного энергетического университета. **МЕТОДЫ.** Авторами статьи проведена обработка и анализ возможностей современного лабораторного оборудования, имитирующего работу того или иного узла электромобиля. **РЕЗУЛЬТАТЫ.** Технология лабораторного стенда осуществляющего работу электротранспорта, в сумме с программным обеспечением DVT Customer позволяет реализовать полное управление электродвигателем, а также производить мониторинг и изменение большого количества параметров, влияющих на работу всего устройства в целом. **ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Так как электромобили с каждым годом набирают все большую популярность, то существенно растет и спрос на людей способных диагностировать, ремонтировать, а также улучшать уже существующие и разрабатывать новые узлы и агрегаты в области электромобилестроения. Использование стенда «Мотор электромобиля» для обучения техническим предметам и проведения научно-исследовательских работ, может послужить хорошей основой для формирования общей базы знаний об электротранспорте, его устройстве, принципе работы всех основных элементов, мониторинге и диагностике электромобиля.

**Ключевые слова:** электротранспорт; учебный стенд; электродвигатель, блок управления; тренажер.

**Благодарности:** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-00099, <https://rscf.ru/project/24-29-00099/>

**Для цитирования:** Сафин А.Р., Шакурова З.М., Доломанюк Л.В., Гаврилов В.А., Денисова Н.В. Особенности работы учебного стенда «Мотор электромобиля» при определении характеристик работы электротранспорта // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2024. Т.26. № 2. С. 105-113. doi:10.30724/1998-9903-2024-26-2-105-113.

## FEATURES OF THE OPERATION OF THE TRAINING STAND “ELECTRIC VEHICLE MOTOR” IN DETERMINING THE OPERATION CHARACTERISTICS OF ELECTRIC TRANSPORT

Safin A.R., Shakurova Z.M., Dolomanyuk L.V., Gavrilov V.A., Denisova N.V.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia  
sarkazan@bk.ru

**Abstract:** In the modern world, the problem of the ecological state of our planet is acute. The environmental situation depends on many factors, these include both natural phenomena and human actions. One solution to this problem is to replace traditional internal combustion

*engines with more environmentally friendly electric vehicles. THE PURPOSE. The objective of this study is to analyze the internal structure of an electric vehicle, based on the training stand “Electric Vehicle Motor”, as well as to study the functions of this device, located at the Kazan State Energy University. METHODS. The authors of the article processed and analyzed the capabilities of modern laboratory equipment that simulates the operation of a particular component of an electric vehicle. RESULTS. The technology of the laboratory bench operating the electric vehicle, together with the DVT Customer software, allows for full control of the electric motor, as well as monitoring and changing a large number of parameters that affect the operation of the entire device as a whole. CONCLUSION. Since electric vehicles are gaining more and more popularity every year, the demand for people capable of diagnosing, repairing, and even improving existing ones and developing new components and assemblies in the field of electric vehicles is growing significantly. Using the “Electric Vehicle Motor” stand for teaching technical subjects and conducting research work can serve as a good basis for the formation of a general knowledge base about electric transport, its structure, the operating principle of all the main elements, monitoring and diagnostics of an electric vehicle.*

**Keywords:** *electric transport; training stand; electric motor, control unit; training apparatus.*

**Acknowledgments:** *The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 24-29-00099, <https://rscf.ru/en/project/24-29-00099/>*

**For citation:** Safin A.R., Shakurova Z.M., Dolomanyuk L.V., Gavrilov V.A., Denisova N.V. Features of the operation of the training stand “Electric vehicle motor” in determining the operation characteristics of electric transport. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2024; 26 (2): 105-113. doi:10.30724/1998-9903-2024-26-2-105-113.

### **Введение (Introduction)**

Для определения характеристик работы электромобиля необходим испытательный стенд, и в статье представлен стенд «Мотор электромобиля», и для определения научной и практической новизны необходимо его сравнить с другими типами стендов.

В статье [1] представлены основные этапы разработки устройства, позволяющего имитировать движение электромобиля. Основной задачей данного стенда является создание имитации движения транспортного средства с приводом от электродвигателя. Оборудование обеспечивает имитацию реальных нагрузок на тяговый электродвигатель при различных дорожных условиях. В состав устройства входят: нагружающее устройство, которым является нагружающий генератор, имитирующий несколько видов сопротивлений, испытываемых транспортным средством; инерционный аккумулятор, создающий нагрузку на электродвигатель; автоматическая система управления нагружающим генератором. Отличительной особенностью данного устройства от представленного далее стенда «Мотор электромобиля» заключается в использовании разных устройств, имитирующих нагрузку транспортного средства. В первом объекте имитация нагрузки достигается с помощью нагружающего генератора, в свою очередь, во втором устройстве имитация реализуется порошковым тормозом, отвечающим за испытываемую электродвигателем нагрузку.

В статье [2] обсуждается интерактивный стенд, предназначенный для изучения компонентов электромобиля, а также область его применения. С его помощью можно узнать принцип работы, диагностики и ремонта таких компонентов, как: бесщеточные двигатели постоянного тока, синхронные двигатели с постоянными магнитами, литий-ионные батареи, зарядные устройства постоянного тока. Компоненты, представленные на стенде, соответствуют реальным агрегатам, используемым в современных электромобилях и гибридных транспортных средствах. Данное устройство можно использовать в процессе обучения таких дисциплин как строительство транспортных средств и диагностика транспортных средств с ориентацией на гибридные или полностью электрические транспортные средства. Резюмируя, можно сказать, что представленный в данной работе стенд имеет аналогичные особенности, что и стенд «Мотор электромобиля», однако между ними существует одна функциональная разница, которая заключается в отсутствии возможности отслеживания, сбора, обработки и изменения получаемых данных, характеризующих работу электродвигателя и всего стенда в целом.

В статье [3] рассматриваются различные методы диагностики неисправностей основных компонентов электромобилей. В одном из разделов представлена диагностика электрического двигателя. Неисправности электродвигателя разделяют на две группы: электрические и механические. Основными инструментами для диагностики неисправностей в асинхронном электродвигателе, являются тепловой анализ, анализ вибрации и анализ тока электродвигателя. Для анализа сигнатур тока используются

технологии, на основе цифрового сигнального процессора Преимущество анализа тока двигателя по сравнению с другими методами заключается в экономичности. Таким образом, опираясь на вышеизложенную информацию, можно прийти к заключению, что встроенные в стенд блок управления вместе со специальным программным обеспечением DVT Customer позволяет осуществить сбор и отслеживание данных, необходимых для диагностики неисправностей электродвигателя.

В работе [4] рассматривается специфика движения электромобиля в загородном цикле при различных условиях эксплуатации, также представлены зависимости потребляемой мощности электродвигателем от внешних факторов. В результате проведенных исследований авторами был сделан следующий вывод: главными факторами, влияющими на потребляемую мощность электродвигателем, являются скорость движения электромобиля и угол дорожного полотна. Исходя из этой информации можно сказать, что представленный далее стенд дает возможность на практике убедиться в вышеперечисленных гипотезах. Данная возможность реализуется путем изменения основных параметров электродвигателя и тормозной системы. На основании рассмотренной литературы можно сделать вывод, что стенд «Мотор электромобиля» является многофункциональным устройством.

В статье [5] уже рассматривается разработка и создание стенда для проверки работы синхронного двигателя, где для измерения вращающего момента и частоты вращения используются тензорезисторы, без проверки электрических параметров. Однако, нагрузка на валу создается случайным образом и не моделирует работу трансмиссии и колес, что не дает возможность исследовать режимы работы электромобиля, а только электрического двигателя.

В работе [6] уже описывается стенд для испытаний двигателя гоночного электромобиля, который позволяет исследовать работу трансмиссии, колес и шин, термический анализ и т.д., однако нет блока вспомогательных устройств, который характерен для обычного электротранспорта, т.е. не учитывается питание на собственные нужды. Также система питания выполнена максимально просто, без блока управления и подзарядки.

В исследованиях [7-9] решаются некоторые проблемы, которые существуют у стендов для испытаний электромобилей, однако полного и качественного решения на сегодняшний день пока не существует, таким образом существует необходимость в таком стенде.

Цель исследования заключается в определении возможностей стенда «Мотор электромобиля», его устройства и данных, которые позволят перейти к комплексному анализу параметров работы электромобиля. Научная значимость состоит в исследовании режимов эксплуатации электротранспорта, с автоматическим режимом построения графиков изменений характеристик. Практическая значимость исследования заключается в том, что стенд подходит как для ознакомления с внутренним устройством и принципом действия электромобиля, так и для проведения практических работ, связанных с диагностикой и настройкой основных параметров электродвигателя.

#### **Материалы и методы (Materials and methods)**

Современная схема электрической силовой передачи электромобиля представлена на рисунке 1. В ее состав входят три основные подсистемы: двигательная установка, источник энергии и вспомогательные устройства [10-14].



Рис.1. Принципиальная схема электромобиля

Fig. 1. Schematic diagram of an electric car

\*Источник: составлено автором. Source: compiled by the author.

Учебный стенд «Мотор электромобиля» изображен на рисунке 2. Данный тренажер позволяет наглядно продемонстрировать основные элементы электромобиля. В его состав входят не только узлы и агрегаты, отличающие электромобиль от традиционного автомобиля с двигателем внутреннего сгорания, но и другие устройства, и электроприемники, входящие в состав любой автомашины. К ним можно отнести указатели поворота, механизм стеклоподъемника, динамики, фары, задний комбинированный фонарь и т. д.



Рис.2. Стенд «Мотор электромобиля»

Fig. 2. Stand "Electric Vehicle Motor"

\*Источник: составлено автором. Source: compiled by the author.

Несмотря на множество интегрированных устройств, основными являются [15-19]:

1. Литий-ионная полимерная батарея. Данное устройство предназначено для хранения и передачи электрической энергии в форме постоянного тока. При получении сигнала от блока управления батарея подает на преобразователь электрическую энергию постоянного тока, используемую для вращения двигателя.

2. Преобразователь. Основная функция этого элемента заключается в преобразовании постоянного тока батареи в переменный ток, необходимый для работы электродвигателя. Кроме того, преобразователь может работать и в обратном направлении, преобразуя переменный ток рекуперативного торможения в постоянный ток, используемый для подзарядки батареи.

3. Блок управления двигателем. Является связующим звеном между источником электрической энергии и главным ее потребителем, которым выступает электродвигатель. Главной задачей блока управления является регулирование поступающей от батареи и преобразователя электроэнергии для ее последующего распределения к электродвигателю.

4. Трехфазный асинхронный электродвигатель с номинальной мощностью 7 кВт, линейным напряжением 45 В. Данное устройство преобразует электрическую энергию, подаваемую от батареи блоком управления, в механическую энергию движения трансмиссии и вращения приводных колес. Установленный на данном стенде электродвигатель отвечает не только за движение автомобиля, но и за рекуперацию электрической энергии.

5. Зарядное устройство. Предназначением этого агрегата является зарядка батарей от внешних источников питания, путем преобразования переменного тока в постоянный.

6. Трансмиссия. Служит для передачи механической мощности тягового электродвигателя на приводные колеса.

7. Преобразователи постоянного тока. Этот вид устройств относится к элементам электромобиля, преобразующим постоянный ток высокого напряжения батареи в постоянный ток низкого напряжения, необходимый для различных устройств автомобиля

Принцип действия стенда аналогичен работе электромобиля. При нажатии на педаль акселератора блок управления двигателем начинает отбор и регулирование электрической энергии от батарей и преобразователей. После настройки блока управления преобразователь подает определенное количество электрической энергии на двигатель (исходя из степени нажатия на педаль). Электродвигатель преобразует электрическую энергию в механическую (вращение). Вращение ротора двигателя передается через трансмиссию на колеса, и автомобиль начинает движение.

Кроме как визуальной демонстрации внутреннего устройства электромобиля, стенд «Мотор электромобиля» позволяет осуществить управление рядом функций транспортного средства. К основным возможностям устройства можно отнести: управление двигателем

электромобиля, регулировка разгона и замедления автомобиля, контроль скорости рекуперативного торможения, настройка датчика ускорения, изменение кривой крутящего момента двигателя, регулировка входного напряжения батареи, изменение максимальной скорости движения, запись электрических данных во время вождения. Большинство из приведенных опций позволяют отслеживать и изменять рабочие характеристики устройства.

Рассмотрим конкретнее некоторые из функций. Управление двигателем электромобиля осуществляется путем взаимодействия педали акселератора с блоком управления двигателем. При нажатии на педаль акселератора на блок поступает управляющий сигнал. В зависимости от настройки педали устройство определяет какой необходимо осуществить перепад частоты или напряжения, подаваемого на двигатель. Данная функция позволяет смоделировать управление транспортным средством, осуществить разгон, либо замедление автомобиля, не прибегая к системе торможения.

Для реализации остальных возможностей стенда необходимо воспользоваться специальным программным обеспечением DTV Customer. Данное ПО устанавливается непосредственно на персональный компьютер, с которого в последующем и будет осуществляться контроль за всеми основными устройствами стенда. Для осуществления работы с программным обеспечением необходим переходник USB-CAN, позволяющий настраивать компьютер и подключать его к стенду по CAN-шине.

Совместное взаимодействие блока управления и программного обеспечения позволяет отслеживать и регулировать такие параметры, как частоту вращения двигателя, текущий переменный ток электродвигателя, модуль напряжения и напряжение дроссельной заслонки, которое отвечает за открытия или закрытия дросселя. Изменение упомянутых характеристик во времени можно наблюдать на рисунке 3.

К основным характеристикам автомобиля относятся максимальная эксплуатационная скорость, преодолеваемый подъем и время набора скорости [15]. Максимальную скорость автомобиля можно определить по максимальной частоте вращения ротора электродвигателя. К данному выводу можно прийти исходя из следующей формулы:

$$V_{max} = \frac{\pi N_{m \max} r_d}{30 i_{g \min} i_o} \text{ (м/с)},$$

где  $N_{m \max}$  - максимальная частота вращения электродвигателя,  $i_{g \min}$  – минимальное передаточное число трансмиссии,  $i_o$  - передаточное число бортовой передачи,  $r_d$  – радиус приводных колес.

#### Обсуждение результатов (Discussing the results)

Результаты изменения максимальной частоты двигателя изображены в виде двух кривых, изображенных на рисунке 4. Результаты измерений снимались при неизменном крутящем моменте. Исходя из показаний графика и ранее представленной формулы можно сказать, что при максимальной частоте вращения двигателя равной 5000 об/мин, автомобиль развивает большую максимальную скорость, чем при частоте вращения равной 3000 об/мин. На основании вышесказанного можно утверждать, что чем быстрее двигатель наберет максимальное количество оборотов, тем быстрее он разовьет скорость, до своего максимального значения.

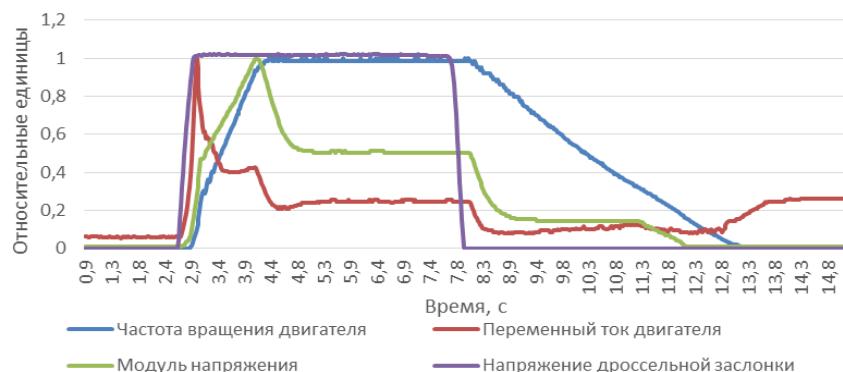


Рис. 3. Изменение основных параметров во времени

Fig. 3. Changes in basic parameters over time

\*Источник: составлено автором. Source: compiled by the author.



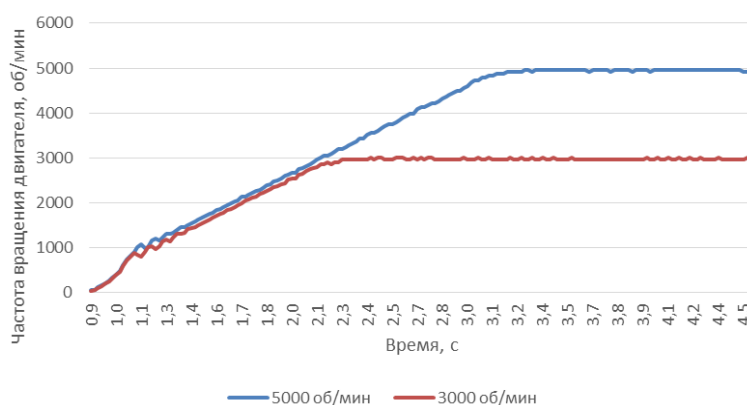


Рис. 4. Изменение частоты вращения двигателя

Fig. 4. Changing engine speed

\*Источник: составлено автором. Source: compiled by the author.

На рисунке 5 отображена зависимость скорости вращения электродвигателя от вырабатываемого крутящего момента. Все три измерения были проведены при неизменной нагрузке. Ее суть заключалась в имитации нагрузки, приложенной при движении автомобиля. Все графики показывают изменение скорости вращения двигателя, от начала движения, до достижения максимальной частоты вращения ротора. Рассматривая кривые, можно сделать вывод, что момент, вырабатываемый двигателем, влияет на ускорение вращения ротора, данную зависимость можно наблюдать на графиках, характеризующих 100%, 50% и 35% момент.

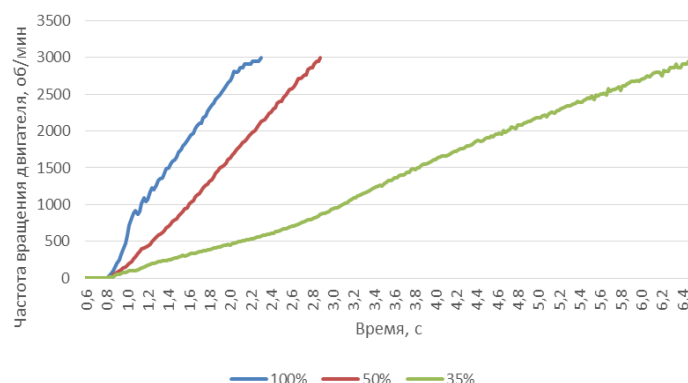


Рис. 5. Изменение скорости вращения двигателя в зависимости от вырабатываемого момента

Fig. 5. Changing the engine rotation speed depending on the torque produced

\*Источник: составлено автором. Source: compiled by the author.

### Закключение (Conclusions)

Резюмируя, можно утверждать, что стенд «Мотор электромобиля» позволяет наглядно продемонстрировать все основное оборудование, которое включает в себя любой электромобиль. Также данный тренажер знакомит пользователя с функциональными возможностями тех или иных агрегатов, к ним можно отнести двигательную установку, источник энергии и вспомогательные устройства. Стоит отметить, что в совокупности с программным обеспечением DVT Customer испытательный стенд предоставляет возможность не только осуществлять управление электродвигателем, но и производить запись и настройку всех основных параметров данного устройства, изменяя напряжение, ток, крутящий момент, частоту оборотов ротора и многое другое.

Также стенд «Мотор электромобиля» может быть использован в практико-ориентированных целях. Применение данного устройства в высших учебных заведениях может послужить отличной основой для ознакомления студентов со всеми протекающими процессами, возникающими в результате эксплуатации электромобиля и электродвигателя, в частности.

### Литература

1. Yin H., Wang Z., Liu P., Zhang Z. and Li Y. Voltage Fault Diagnosis of Power Batteries based

- on Boxplots and Gini Impurity for Electric Vehicles // 2019 Electric Vehicles International Conference (EV), Bucharest, Romania, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/EV.2019.8892849.
2. Malek, A., & Łusiak, T. Interactive test stand for electric vehicle components // AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe. 20(1-2), 93–98. <https://doi.org/10.24136/atest.2019.014>
3. Fei Lin, Chau K. T., Chan C. C., Chunhua Liu, Fault Diagnosis of Power Components in Electric Vehicles // Journal of Asian Electric Vehicles, 2013, Volume 11, Issue 2, Pages 1659-1666, <https://doi.org/10.4130/jaev.11.1659>
4. Вахрушев М. А., Беляев Д. С., Генсон Е.М. Теоретическое исследование зависимости потребления электроэнергии электромобилем от внешних факторов // ТТПС. 2022. №4 (62), с. 31-35.
5. Петров, Т.И., Сафин А.Р. Разработка и реализация стенда для подтверждения эффективности топологической оптимизации ротора синхронных двигателей с постоянными магнитами // Вестник Казанского государственного энергетического университета. – 2021. – Т. 13, № 2(50). – С. 100-108. – EDN YRAJUO.
6. Dusik Maja & Franasz, J & Mierzwa, P & Wylenzek, D. Stand for testing the electrical race car engine // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 95. 012087. DOI 10.1088/1757-899X/95/1/012087.
7. Sanguesa J. A., Torres-Sanz V., Garrido P., Martinez F. J., Marquez-Barja J. M. A. Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges // Smart Cities, vol. 4, pp. 372-404, 2021.
8. Gracheva E.I. Algorithms and Models of Power Losses in Circuit Breakers of Shop Networks of Industrial Enterprises // Proceedings - 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 202, Lipetsk, 1212-1216 (2021) doi:10.1109/SUMMA53307.2021.9632094
9. Сафин А.Р, Цветков А.Н., Петров Т.И., Басенко В.Р., Ившина П.В. Разработка макета мобильной установки заряда электротранспорта и стенда для проведения испытаний // Естественные и технические науки. – 2023. – № 7(182). – С. 138-145. – DOI 10.25633/ETN.2023.07.09. – EDN NZWEGG.
10. Prejbeanu R. Self-Scanning System and Evaluation of Dynamic Electrical Performance of Electric Vehicles Using Different Control Systems // 2023 24th International Carpathian Control Conference (ICCC), Miskolc-Szilvásvárad, Hungary, 2023, pp. 370-375, doi: 10.1109/ICCC57093.2023.10178924
11. Сафин А.Р, Ившин И.В., Цветков А.Н., Петров Т.И., Басенко В.Р., Манахов В.А. Развитие технологии мобильных зарядных станций для электромобилей // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 5. С. 100-114. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-5-3-100-114.
12. Aguiari D., Chou K. S., Tse R., Pau G. Monitoring Electric Vehicles on The Go // 2022 IEEE 19th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2022, pp. 885-888, doi: 10.1109/CCNC49033.2022.9700713.
13. Цветков А.Н., Корнилов В.Ю., Сафин А.Р., Логачева А.Г., Петров Т.И., Кувшинов Н.Е. Управляющая измерительно-информационная система экспериментального стенда // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2020. – Т. 22, № 4. – С. 88-98. – DOI 10.30724/1998-9903-2020-22-4-88-98. – EDN FDPZYE.
14. Cai Y., Lu L., Shen P., Feng X., Wang H., Ouyang M. Online Weld Breakage Diagnosis for the Battery of Electric Vehicle: A Data-Driven Approach // 2016 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), pp. 1-5, 2016.
15. Devisree S., Jisha Kuruvilla P. Modelling and simulation of SVPWM inverter fed permanent magnet brushless DC motor drive // Int. J. Adv. Res. Elec. Electron. Instr. Eng., vol. 2, pp. 1957-1955. May 2013.
16. Parvathi A., Venkataramana G. Speed control of induction motor using VSI based on PWM/ SVPWM techniques // Int. J. Adv. Res. and Innovative Ideas in Education, vol. 5, no. 4, 2019.
17. Петров, Т. И. Модификация генетического алгоритма для комплексной топологической оптимизации ротора синхронных двигателей // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2021. – Т. 23, № 3. – С. 70-79. – DOI 10.30724/1998-9903-2021-23-3-70-79. – EDN SJZIBT.
18. Гибадуллин Р.Р., Низамиев М.Ф., Ившин И.В., Цветков А.Н., Владимиров О.В., Шакурова З.М. Стенд для исследования работоспособности и качества функционирования электротехнических комплексов и систем электроприводов с регуляторами частоты // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022;24(1):164-175. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2022-24-1-164-175>
19. Nemirovskiy A. Experimental study of the relationship between the technical state of a power transformer and the parameters of the higher harmonic components of currents and voltages generated by

it // Sustainable Energy Systems: innovative perspectives: Conference proceedings, Saint-Petersburg, 155-166 (2021) doi:10.1007/978-3-030-67654-4\_18

### Авторы публикации

**Сафин Альфред Робертович** - д-р техн. наук, профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

**Шакурова Зумейра Мунировна** – канд. пед. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

**Доломанюк Леонид Владимирович** – канд. пед. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

**Гаврилов Вадим Александрович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

**Денисова Наталья Вячеславовна** – канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий», Казанский государственный энергетический университет.

### References

1. Yin H., Wang Z., Liu P., Zhang Z. and Li Y. Voltage Fault Diagnosis of Power Batteries based on Boxplots and Gini Impurity for Electric Vehicles. *2019 Electric Vehicles International Conference (EV), Bucharest, Romania*. 2019;1-5.
2. Małek, A., & Łusiak, T. Interactive test stand for electric vehicle components. *AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*. 2019;20(1-2):93–98.
3. Fei Lin, Chau K. T., Chan C. C., Chunhua Liu, Fault Diagnosis of Power Components in Electric Vehicles. *Journal of Asian Electric Vehicles*. 2013;11(2):1659-1666.
4. Vakhrushev M. A., Belyaev D. S., Genson E. M. Theoretical study of the dependence of electricity consumption by an electric vehicle on external factors. *TTPS*. 2022; 4(62):31-35.
5. Petrov, T.I., Safin A.R. Development and implementation of a stand to confirm the effectiveness of topological optimization of the rotor of synchronous motors with permanent magnets. *Bulletin of the Kazan State Energy University*. 2021; 13,2(50):100-108.
6. Dusik Maja & Franiasz, J & Mierzwa, P & Wylenzek, D. Stand for testing the electrical race car engine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2015;95:012087.
7. Sanguesa J. A., Torres-Sanz V., Garrido P., Martinez F. J., Marquez-Barja J. M. A. Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges. *Smart Cities*. 2021;4:372-404.
8. Gracheva E.I. Algorithms and Models of Power Losses in Circuit Breakers of Shop Networks of Industrial Enterprises. *Proceedings - 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2021, Lipetsk*. 2021;1212-1216.
9. Safin A.R., Tsvetkov A.N., Petrov T.I., Basenko V.R., Ivshina P.V. Development of a model of a mobile electric vehicle charging installation and a test stand. *Natural and technical sciences*. 2023; 7(182):138-145.
10. Prejbeanu R. Self-Scanning System and Evaluation of Dynamic Electrical Performance of Electric Vehicles Using Different Control Systems. *2023 24th International Carpathian Control Conference (ICCC), Miskolc-Szilvásvárad, Hungary*. 2023; 370-375.
11. Safin A.R., Ivshin I.V., Tsvetkov A.N., Petrov T.I., Basenko V.R., Manakhov V.A. Development of the technology of mobile charging stations for electric vehicles. *News of higher educational institutions. ENERGY PROBLEMS*. 2021; 23(5):100-114.
12. Aguiari D., Chou K. S., Tse R., Pau G. Monitoring Electric Vehicles on The Go. *2022 IEEE 19th Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, USA*. 2022; 885-888.
13. Tsvetkov A.N., Kornilov V.Yu., Safin A.R., Logacheva A.G., Petrov T.I., Kuvshinov N.E. Control measuring and information system of an experimental stand. *News of higher educational institutions. ENERGY PROBLEMS*. 2020;22(4):88-98.
14. Cai Y., Lu L., Shen P., Feng X., Wang H., Ouyang M. Online Weld Breakage Diagnosis for the Battery of Electric Vehicle: A Data-Driven Approach. *2016 IEEE Vehicle Power and Propulsion*



Conference (VPPC). 2016; 1-5.

15. Devisree S., Jisha Kuruvilla P. Modelling and simulation of SVPWM inverter fed permanent magnet brushless DC motor drive. *Int. J. Adv. Res. Elec. Electron. Instr. Eng.* 2013; 2; 1957-1955.

16. Parvathi A., Venkataramana G. Speed control of induction motor using VSI based on PWM/SVPWM techniques. *Int. J. Adv. Res. and Innovative Ideas in Education*, vol. 5, no. 4, 2019.

17. Petrov, T. I. Modification of a genetic algorithm for complex topological optimization of the rotor of synchronous motors. *News of higher educational institutions. ENERGY PROBLEMS.* 2021;23(3):70-79.

18. Gibadullin R.R., Nizamiev M.F., Ivshin I.V., Tsvetkov A.N., Vladimirov O.V., Shakurova Z.M. Stand for studying the performance and quality of functioning of electrical complexes and electric drive systems with frequency regulators. *News of higher educational institutions. ENERGY PROBLEMS.* 2022;24(1):164-175.

19. Nemirovskiy A. Experimental study of the relationship between the technical state of a power transformer and the parameters of the higher harmonic components of currents and voltages generated by it. *Sustainable Energy Systems: innovative perspectives: Conference proceedings, Saint-Petersburg.* 2021; 155-166.

### **Authors of the publication**

**Alfred R. Safin** - Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

**Zumeira M. Shakurova** - Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

**Leonid V. Dolomanyuk** - Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

**Vadim A. Gavrilov** - Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

**Natalia V. Denisova** - Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

*Шифр научной специальности: 2.4.5. Энергетические системы и комплексы*

**Получено** **04.02.2024 г.**

**Отредактировано** **09.02.2024 г.**

**Принято** **11.02.2024 г.**