

УДК (UDK) 629.113

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРИВОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ САМОХОДНОЙ
МАШИНЫRESULTS OF CALCULATION AND EXPERIMENTAL STUDIES OF THE
FUNCTIONING OF THE DRIVE OF AN ELECTRIC SELF-PROPELLED MACHINEОганян Э.А., Хмелев Р.Н.
Oganyan E.A., Khmelev R.N.Тульский государственный университет (Тула, Россия)
Tula State University (Tula, Russian Federation)

Аннотация. Колесные электрические самоходные машины находят все более широкое применение. В работе представлены результаты расчетно-экспериментальных исследований функционирования привода колесной электрической самоходной машины. Проведен анализ научных публикаций в области электрических приводов автотранспортных средств, что позволило определить актуальные направления их развития и выявить недостатки существующих методик. Сформулированы допущения и приведены основные уравнения разработанной математической модели, базирующиеся на аппарате графов связей и включающие уравнения электромеханической подсистемы и разряда тяговой аккумуляторной батареи. Разработанная математическая модель позволяет описать функционирование рассматриваемого привода как в установившихся, так и в переходных режимах. Представлены результаты экспериментальных исследований функционирования привода многоцелевой электрической колесной самоходной машины в установившихся и переходных режимах. Показаны графики зависимости силы тока, мощности, потребляемой электродвигателем, а также крутящего момента, развиваемого электродвигателем, от времени при различных условиях эксплуатации. Подтверждена адекватность разработанного математического описания и программного обеспечения сходимостью расчетных данных с экспериментальными данными, полученными при испытании авторского опытного образца самоходной машины в реальных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: колесные электрические самоходные машины, привод, переходные и установившиеся режимы.

Дата получения статьи: 26.03.2025
Дата принятия к публикации: 26.05.2025
Дата публикации: 25.06.2025

Сведения об авторах:

Оганян Эдуард Артурович – аспирант,



Abstract. Wheeled electric self-propelled vehicles are increasingly being used. The paper presents the results of computational and experimental studies of the functioning of the drive of a wheeled electric self-propelled vehicle. An analysis of scientific publications in the field of electric drives of motor vehicles was carried out. It made possible to identify the current directions of their development and identify the shortcomings of existing methods. Assumptions are formulated and the main equations of the developed mathematical model are presented, based on the apparatus of connection graphs and including equations of the electromechanical subsystem and discharge of the traction battery. The developed mathematical model makes it possible to describe the functioning of the drive under consideration in both steady-state and transient modes. The results of experimental studies of the functioning of the drive of a multi-purpose electric wheeled self-propelled vehicle in steady-state and transient modes are presented. Graphs of the dependence of the current strength, the power consumed by the electric motor, as well as the torque developed by the electric motor on time under various operating conditions are shown. The adequacy of the developed mathematical description and software has been confirmed by the convergence of calculated data with experimental data obtained during testing of the author's prototype self-propelled vehicle in real-world operating conditions.

Keywords: wheeled electric self-propelled vehicles, drive, transient and steady-state modes.

Date of manuscript reception: 26.03.2025
Date of acceptance for publication: 26.05.2025
Date of publication: 25.06.2025

Authors' information:

Eduard A. Ohanyan – Postgraduate student, En-

инженер кафедры «Транспортно-технологические машины и процессы» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»,
e-mail: edikoganian@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7752-4280>

Хмелев Роман Николаевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортно-технологические машины и процессы» ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», e-mail: aiah@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2156-1075>

gineer of the Department of Transport and Technological Machines and Processes, Tula State University,
e-mail: edikoganian@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7752-4280>

Khmelev Roman Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Processes, Tula State University, e-mail: aiah@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2156-1075>

1. Введение

Вследствие развития технологий и растущих требований к энергоэффективности и надежности транспортных средств возникает необходимость дальнейшего совершенствования конструкции приводов колесных электрических самоходных машин, что в свою очередь обуславливает целесообразность развития методов их расчета и проектирования [1].

В настоящее время известны работы, посвященные вопросам расчета, исследования и проектирования автотранспортных средств с электрической силовой установкой. В частности, в работах [1-4] и приведены результаты исследований эксплуатационных показателей рассматриваемых транспортных средств в аспекте влияния характеристик тяговой аккумуляторной батареи. В работах [5, 6] авторами предложена методика расчета, выбора рациональных конструктивных параметров тягового привода электромобиля и оценки эффективности его работы. Оптимизация движения электромобиля для обеспечения заданных тягово-скоростных характеристик отражена в работах [7, 8]. В публикациях [9-12] представлены исследования энергетических показателей с целью минимизации энергопотребления и увеличения пробега электромобиля.

В перечисленных работах не учитываются особенности конструкции и эксплуатации приводов колесных электрических самоходных машин, а также переходные и критические режимы их функционирования. Также в ряде работ [5] отмечается большое расхождение экспериментальных и расчетных показате-

телей, что требует дальнейшего развития методов математического моделирования.

Для учета специфики приводов самоходных машин и исследования их функционирования как в установившихся, так и в переходных режимах авторами настоящей статьи разработан комплексный подход [13-15] к их математическому описанию, базирующийся на аппарате графов связей [16].

Также следует отметить, что существующие в настоящее время программные комплексы (Matlab Simulink, Simcenter Amesim), предназначенные для имитационного моделирования и расчета автотранспортных средств, в основном являются зарубежными и базируются, как правило на математических моделях, не учитывающих в полном объеме особенности конструкции и специфику эксплуатации электрических самоходных машин в переходных режимах. С другой стороны, большинство коммерческих программных комплексов используются, в основном, как «черные ящики», т.е. их применяют не особо вникая в принципы, заложенные в их основу, и не имея возможности модернизировать их в соответствии с изменяющейся расчетной практикой.

2. Постановка задачи

Одним из важных аспектов разработки перспективных конструкций приводов самоходных машин является формирование так называемой «виртуальной машины» – нелинейной имитационной модели, которая воспроизводит во времени поведение сложной динамической системы в установившихся и переходных режимах, что требует разра-

ботки соответствующего математического и программного обеспечения [17].

Поэтому целью работы является проведение расчетно-экспериментальных исследований с использованием авторского опытного образца самоходной машины с электрическим приводом для подтверждения адекватности разработанной математической модели, а также для установления закономерностей влияния различных условий эксплуатации на характеристики привода.

3. Объект исследования

В качестве объекта исследования в данной работе рассматривается привод электрической самоходной машины с двигателем постоянного тока последовательного возбуждения и трансмиссии, состоящей из четырехступенчатой коробки передач, карданной передачи и главной передачи с дифференциалом [18] (табл. 1). В качестве источника электроэнергии используются тяговые аккумуляторные батареи LiFePO₄ емкостью 200 А/ч.

4. Математическая модель

Математическая модель основана на аппарате графов связей [15, 16] и учитывает следующие особенности функционирования привода электрической самоходной машины:

- нарастание напряжения на выводах электродвигателя, связанное с особенностью работы контроллера;
- насыщение магнитной системы электродвигателя в момент трогания с места [19];
- разряд аккумуляторной батареи с помощью уравнения Шеферда [20];
- инерционные составляющие электрического привода такие как: момент инерции ротора, момент инерции маховика, момент инерции колес.

При разработке математической модели были приняты следующие допущения:

- сопротивления обмоток – величины постоянные, не зависящая от температуры;
- вязкостное трение в электродвигателе пренебрежимо мало;

- все колеса автомобиля находятся в одинаковых по сцеплению с опорной поверхностью условиях;

- движение автомобиля осуществляется по ровному прямолинейному участку дороги, без увода управляемых колес;

- деформации пневматической шины не учитываются;

- механический КПД трансмиссии принимался постоянным;

- не учитывалось изменение температуры привода.

Таблица 1

Технические характеристики объекта исследования

Показатель	Значение
Общие данные	
Масса, кг	1200
Коэффициент аэродинамического сопротивления	0,6
Лобовая площадь самоходной машины, м ²	2,81
Электродвигатель	
Номинальная мощность, кВт	5
Номинальная частота вращения двигателя, об/мин	1500
Номинальное напряжение, В	67
Номинальный ток, А	93
Сопротивление обмотки якоря и статора, Ом	0,2
Индуктивность якоря, Гн	0,000475
Момент инерции якоря и со- пряженных с ним частей, кг·м ²	0,2
Трансмиссия	
Передаточные числа коробки передач:	
- первая передача	3,43
- вторая передача	2,11
- третья передача	1,38
- четвертая передача	1
Передаточное число главной передачи	5,13
КПД коробки передач	0,86
КПД главной передачи	0,99
КПД карданной передачи	0,97
Ходовая часть	
Шины	145/65R12

Математическая модель включает в себя следующие основные уравнения [14]:

$$\begin{cases} \frac{di_{\text{я}}}{dt} = \frac{1}{L_{\text{я}}} \cdot (U - R_{\text{я}} \cdot i_{\text{я}} - C \cdot \Phi \cdot \omega) \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} \cdot (M_{\text{Д}} - M_{\text{С}}) \end{cases},$$

где $i_{\text{я}}$ – ток в обмотке якоря; $L_{\text{я}}$, $R_{\text{я}}$ – индуктивность и сопротивление якоря; U – напряжение питания обмотки якоря; J – момент инерции якоря двигателя и жестко связанных с ним вращающихся деталей; ω – угловая скорость якоря или вала электродвигателя; $M_{\text{Д}}$, $M_{\text{С}}$ – движущий (электромагнитный) момент и момент сопротивления, приложенные к валу (якорю).

Для описания разряда тяговой аккумуляторной батареи было использовано соотношение Шеферда [21]:

$$U = U_0 - K \cdot \frac{Q}{Q - I \cdot t} \cdot I - R_0 \cdot I + A \cdot e^{\frac{I \cdot t}{B \cdot Q}} - C \cdot I \cdot t,$$

где U_0 – начальное напряжение разряда; K – коэффициент поляризации; Q – емкость аккумуляторной батареи; R_0 – внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи; I – ток разряда; t – время разряда; A , B – эмпирические коэффициенты; C – постоянный коэффициент.

Разработанная математическая модель позволяет описать функционирование рассматриваемого привода как в установившихся, так и в переходных режимах.

Для имитационного моделирования было разработано программное обеспечение на языке программирования PascalABC.NET.

Для проверки адекватности разработанной математической модели был проведен натурный эксперимент на опытном образце авторской электрической самоходной машины [18].

Эксперимент включал в себя серию ездовых испытаний самоходной машины с разным передаточным отношением привода при полностью заряженной тяговой аккумуляторной батарее. Испытания проводились на ровном прямолинейном участке дороги с сухим асфальтобетонным покрытием.

В результате экспериментов определялись основные показатели работы привода, представленные в табл. 2.

Таблица 2

Показатели работы привода и использованные средства измерения

Показатели работы привода	Средства измерения
Сила тока, потребляемая электродвигателем	Токовые клещи RGK CM-20
Напряжение на электродвигателе	Мультиметр LUKE 15B digital multimeter
Напряжение на ТАБ	Мультиметр RGK DM-12 779630
Время разгона	Секундомер электронный RGK SWE-03

5. Результаты и их анализ

На рис. 1 и в табл. 3 показаны результаты математического моделирования в сравнении с экспериментальными данными, демонстрирующие степень соответствия разработанной модели реальным процессам.

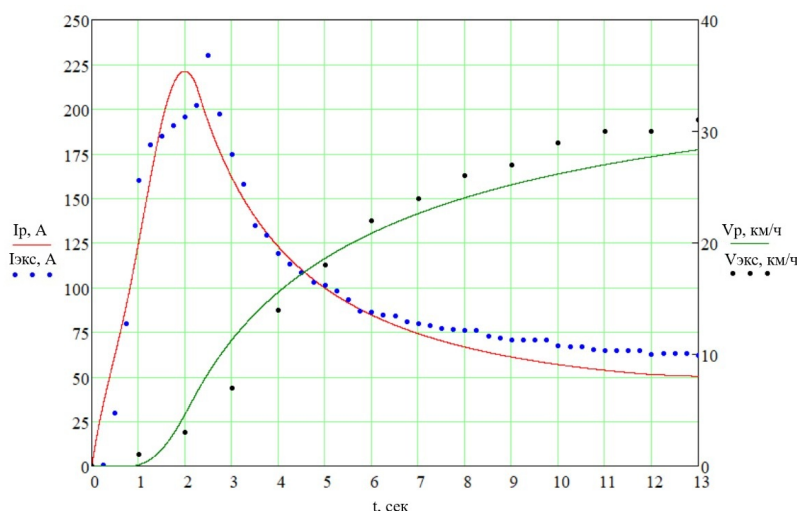


Рис. 1. Результаты сопоставления экспериментальных и расчетных значений силы тока, потребляемой двигателем постоянного тока последовательного возбуждения и скорости самоходной машины (точками представлены обработанные значения экспериментальных исследований, сплошными линиями – расчетные значения)

Таблица 3

Сравнение экспериментальных и расчетных данных

Текущая скорость, км/ч	Время разгона, с		Сила тока, А	
	Эксперимент	Расчет	Эксперимент	Расчет
5	2,3	2,1	202,7	220,7
10	3,2	2,7	164,0	174,7
15	4,2	3,9	115,5	127,7
20	5,4	5,6	93,6	90,2
25	8,5	8,8	73,4	62

Отклонение экспериментальных и расчетных зависимостей не превышает 15 %, что свидетельствует об адекватности разработанной модели и возможности применения её при установлении закономерности влияния различных условий эксплуатации на характеристики привода.

На графике (рис. 2) приведены исследования влияния продольного уклона дорожного покрытия на характеристики привода электрической самоходной машины. Расчет проводился при передаточном отношении, соответствующем первой передаче.

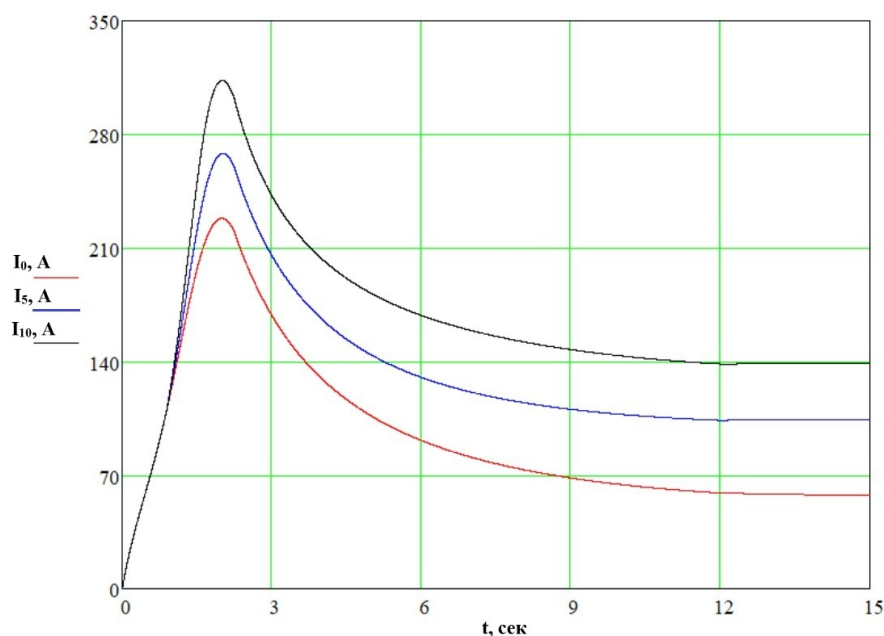


Рис. 2. Влияния продольного уклона дорожного покрытия ($0^\circ, 5^\circ, 10^\circ$) на силу тока, потребляемую электродвигателем

Представленные графики позволяют сделать вывод о предельно допустимых значениях силы тока с точки зрения максимально преодолеваемого угла подъема.

На графике (рис. 3) показано как изменяется потребляемая электродвигателем мощность

при изменении передаточного отношения u , где $u_1 = 3,43$, $u_2 = 2,11$, $u_3 = 1,38$, $u_4 = 1$.

На рис. 4 представлена зависимость крутящего момента, развиваемого электродвигателем, от коэффициента сопротивления качения f_k , соответствующего разному типу

дорожного покрытия: асфальтобетонная и цементобетонная дорога - $f_k = 0,015$; укатанная грунтовая дорога - $f_k = 0,03$; укатанный снег - $f_k = 0,05$; песок сухой - $f_k = 0,2$ [22]. Расчет проводился при передаточном отно-

шении, соответствующем первой передаче коробки передач. При изменении дорожного покрытия на более мягкое возрастает сопротивление движению, что требует повышения крутящего момента на ведущих колесах для поддержания заданной скорости.

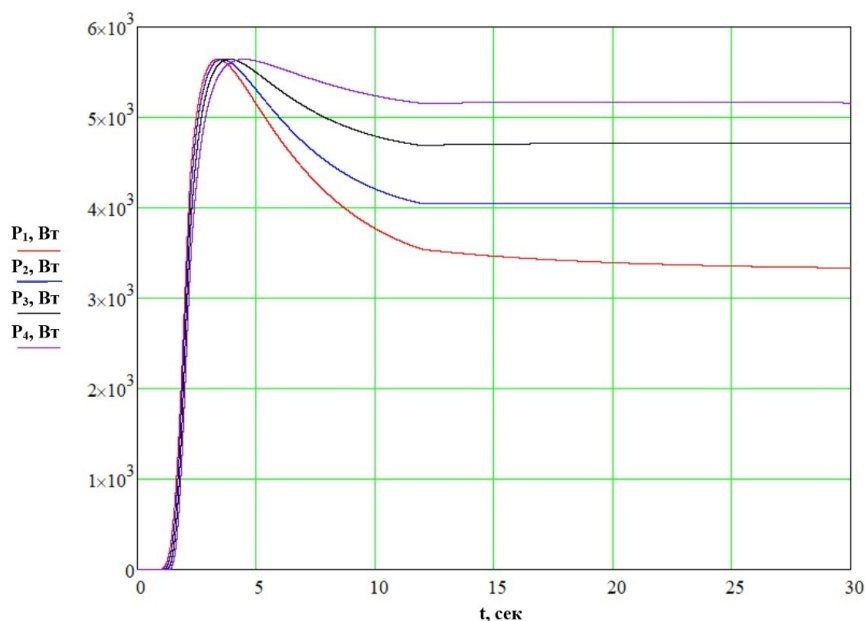


Рис. 3. Влияния передаточного отношения коробки передач на энергопотребление привода

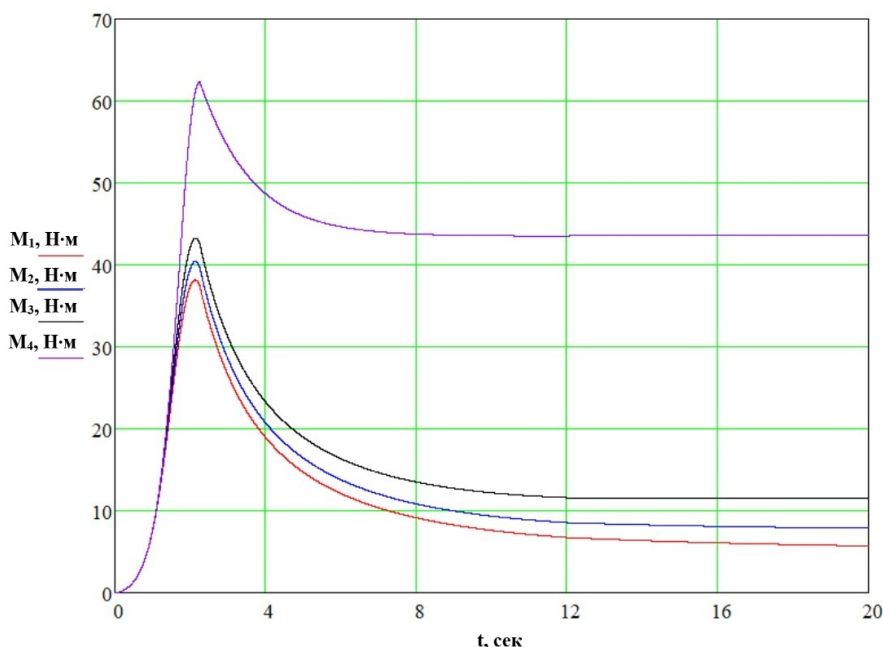


Рис. 4. Зависимость крутящего момента, развиваемого электродвигателем от коэффициента сопротивления качения

6. Заключение

В ходе выполненных расчетно-экспериментальных исследований установлены за-

кономерности влияния дорожных условий, передаточных чисел коробки передач и коэффициента сцепления колес на эксплуатационные характеристики привода.

Достоверность результатов математического моделирования была обеспечена схожимостью расчетных данных с экспериментальными данными, полученными при испытании авторского опытного образца в реальных условиях эксплуатации. Разработанная математическая модель, основанная на методе графов связей, показала высокую степень адекватности: расхождение между расчетными и экспериментальными данными не превышает 15 %.

Полученные результаты позволяют использовать разработанную математическую модель и программное обеспечение для

определения рациональных параметров привода многоцелевых колесных электрических самоходных машин.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются:

- развитие математической модели с учетом тепловых процессов в элементах привода;
- расширение модели для учета деградации аккумуляторной батареи;
- разработка методики проекторочных расчетов приводов электрических самоходных машин.

Таким образом, результаты работы создают основу для дальнейшего совершенствования приводов электрических самоходных машин и повышения их эксплуатационных характеристик.

Список литературы

1. Ионесян А.В. Моделирование нестационарных режимов работы аккумуляторной батареи электромобиля: автореферат дисс. канд. техн. наук. М.: МАДИ, 2009. 22 с.

2. Оспанбеков Б.К. Повышение энергетической эффективности и эксплуатационных показателей электромобилей: дисс. канд. техн. наук. М.: МАДИ, 2017. 160 с.

3. Маликов Р.Р. Разработка методики исследования влияния характеристик тяговой аккумуляторной батареи на эксплуатационные свойства электрифицированного транспортного средства: дисс. канд. техн. наук. М.: НАМИ, 2023. 217 с.

4. D.V. Ragone Review of Battery Systems for Electrically Powered Vehicles // SAE Technical Paper 680453. 1968. 9 p.

5. Козлова Т.А. Разработка методики расчета и выбор рациональных конструктивных параметров тягового привода электромобиля: автореферат дисс. канд. техн. наук. Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2017. 22 с.

6. Митягин Г.Е., Бисенов М.К. Теоретические основы модернизации транспортно-технологических машин установкой электропривода // Международный технический журнал. 2024. № 6. С. 61–79.

7. Мокин А.Б., Фолюшняк Е.Д., Мокин

References

1. Ionesyan A.V. Modeling of Transient Operating Modes of the Electric Vehicle Battery. Author's abstract Diss. Cand. Sci. (Engineering). Moscow. 2009. 22 p. (In Russian)

2. Ospanbekov B.K. Improvement of Energy Efficiency and Operational Performance of Electric Vehicles. Diss. Cand. Sci. (Engineering). Moscow. 2017. 160 p. (In Russian)

3. Malikov R.R. Development of a Method for Studying the Influence of Traction Battery Characteristics on the Operational Properties of Electrified Vehicles. Diss. Cand. Sci. (Engineering). Moscow. 2023. 217 p. (In Russian)

4. D.V. Ragone Review of Battery Systems for Electrically Powered Vehicles. SAE Technical Paper 680453. 1968. 9 p.

5. Kozlova T.A. Development of a calculation method and selection of rational design parameters for the traction drive of an electric vehicle. Author's abstract Diss. Cand. Sci. (Engineering). Nizhny Novgorod. 2017. 22 p. (In Russian)

6. Mityagin G.E., Bisenov M.K. *Theoretical foundations of modernization of transport and technological machines by installing an electric drive*. *Mezhdunarodnyy tekhnicheskiiy zhurnal*. 2024. No. 6. pp. 61–79. (In Russian)

7. Mokin A.B., Foljushnjak E.D., Mokin B.I., Lobatjuk V.A. Optimization of the Move-

Б.И., Лобатюк В.А. Оптимизация движения незагруженного электромобиля с тяговым электродвигателем постоянного тока последовательного возбуждения по горизонтальному прямолинейному отрезку дороги // Вестник Винницкого политехнического института. 2013. № 2. С. 48-51.

8. Слипченко Н.И., Письменецкий В.А., Гуртовой М.Ю., Махлова В.О. Определение оптимальной дальности пробега электромобиля с учетом его основных параметров // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2013. С. 50-55.

9. Гурьянов Д.И. Оптимизация управления электромобилями малой грузоподъемности с приводами постоянного тока: автореферат дисс. канд. техн. наук. М.: МАДИ. 1992. 19 с.

10. Строганов В.И. Повышение эксплуатационных характеристик электромобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой: автореферат дисс. канд. техн. наук. М.: МАДИ. 2014. 43 с.

11. Нгуен К.Т. Развитие теории и методы повышения энергоэффективности однодвигательных тяговых электроприводов автотранспортных средств: автореферат дисс. канд. техн. наук. М.: МАМИ, 2012. 40 с.

12. Бокарев И.Е. Повышение эффективности индивидуального электропривода автотранспортного средства: автореферат дисс. канд. техн. наук. М.: НАМИ, 2018. 20 с.

13. Оганян Э.А., Хмелев Р.Н., Елецкая Г.П. Математическая модель двигателя постоянного тока в составе привода самоходной машины // Известия ТулГУ. Технические науки. 2024. №12. С. 638-642.

14. Груничев А.В., Елагин М.Ю., Оганян Э.А., Хмелев Р.Н. Математическое моделирование электрической силовой установки автотранспортных средств // Мир транспорта и технологических машин. 2025. № 1-4(88). С. 37-43.

15. Оганян Э.А. Применение метода графов связей для математического описания привода колесных электрических самоходных машин // Известия ТулГУ. Техниче-

ment of an Unloaded Electric Vehicle with a Series-Wound DC Traction Motor on a Horizontal Straight Road Section. *Vestnik Vinnytskogo politekhnichnogo instytutu*. 2013. No. 2. pp. 48–51. (In Russian)

8. Slipchenko N.I., Pismeneckij V.A., Gurtovoj M.Ju., Makhlova V.O. Determination of the Optimal Driving Range of an Electric Vehicle Consider-

ring Its Main Parameters. *Vostochnoevropeskij zhurnal peredovykh tekhnologij*. 2013. pp. 50–55. (In Russian)

9. Guryanov D.I. Optimization of the Control of Low-Payload Electric Vehicles with DC Drives. Author's abstract Diss. Cand. Sci. (Engineering). Moscow. 1992. 19 p. (In Russian)

10. Stroganov V.I. Improvement of the Operational Characteristics of Electric Vehicles and Vehicles with a Combined Power Plant. Author's abstract Diss. Cand. Sci. (Engineering). Moscow. 2014. 43 p. (In Russian)

11. Nguyen K.T. Development of the theory and methods for improving the energy efficiency of single-motor traction electric drives of motor vehicles. Author's abstract Diss. Cand. Sci. (Engineering). Moscow. 2012. 40 p. (In Russian)

12. Bokarev I.E. Improvement of the Efficiency of Individual Electric Drive of a Vehicle. Author's abstract Diss. Cand. Sci. (Engineering). Moscow. 2018. 20 p. (In Russian)

13. Oganyan E.A., Khmelev R.N., Yeletskaya G.P. Mathematical Model of a DC Motor as Part of the Drive of a Self-Propelled Machine. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*. 2024. pp. 638–642. (In Russian)

14. Grunichev A.V., Elagin M.Yu., Oganyan E.A., Khmelev R.N. Mathematical Modeling of Electric Power Units of Vehicles. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2025. pp. 37–43. (In Russian)

15. Oganyan E.A. Application of the connection graph method for the mathematical description of the drive of wheel-type electric self-propelled machines *Izvestiya Tulskego gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2024. No. 12. pp. 618–622. (In Russian)

16. Karnopp D., Rosenberg R. Application of Bond Graph Theory in Engineering. Ed. by D. Karnopp and R. Rosenberg. Moscow. 1974.

ские науки. 2024. № 12. С. 618-622.

16. Кэрноп Д., Розенберг Р. Применение теории графов связей в технике // под ред. Д. Кэрнопа и Р. Розенберга. М.: Мир, 1974. 95 с.

17. Оганян Э. А. Анализ математических моделей электрических силовых установок автотранспортных средств // Известия ТулГУ. Технические науки. 2024. №2. С. 523-527.

18. Транспортное средство / И.Е. Агуреев, М.А. Антоненков, А.Е. Дорохина, Э.А. Оганян, Г.П. Рыбаков, Р.Н. Хмелев - Патент РФ на промышленный образец № 134373. Заявл. 28.07.2022, № 2022503245. Оpubл. 05.12.2022.

19. Москаленко В.В. Электрический привод // Учебник для студ. высш. учеб. Заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 368 с.

20. Строганов В.И., Сидоров К.М. Математическое моделирование основных компонентов силовых установок электро-мобилей и автомобилей с КЭУ. М.: МАДИ, 2015. 100 с.

21. Оганян Э.А., Хмелев Р.Н. К вопросу исследования влияния степени загрузки автотранспортного средства с электрическим приводом на показатели силовой установки // Сб. тр. X научно-практ. конф. «Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса» с междунар. участием. Горловка: АДИ ДонНТУ. 2024 года. С. 79-84.

22. Кравец В.Н. Теория автомобиля // Учебник. Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. 413 с.

95 p. (In Russian)

17. Oganyan E.A. *Analysis of mathematical models of electric power units of motor vehicles*. *Izvestiya Tulskego gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2024. No. 2. pp. 523–527. (In Russian)

18. Patent RU 134373. *Transportnoye sredstvo* [Vehicle]. Agureev I.E., Antonenkov M.A., Dorokhina A.E., Oganyan E.A., Rybakov G.P., Khmelev R.N. A.V. Declared 28.07.2022. Published 05.12.2022. (In Russian)

19. Moskalenko V.V. *Electric Drive*. Textbook for students of higher educational institutions. Moscow. 2007. 368 p. (In Russian)

20. Stroganov V.I., Sidorov K.M. *Mathematical modeling of the main components of power units of electric vehicles and hybrid vehicles*. Textbook. Moscow. 2015. 100 p. (In Russian)

21. Oganyan E.A., Khmelev R.N. On the study of the impact of the load level of an electric-drive vehicle on power unit performance. *Proceedings of the 10th Scientific and Practical Conference «Nauchno-tekhnicheskie aspekty razvitiya avtotransportnogo kompleksa»* [Scientific and Technical Aspects of the Development of the Motor Transport Complex] Gorlovka. 2024. pp. 79–84. (In Russian)

22. Kravets V.N. *Theory of Automobiles*. Textbook. Nizhny Novgorod. 2013. 413 p. (In Russian)