

УДК 621.355, 629.34, 656.131

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОЙ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ
НА БАЗЕ ЕЗДОВОГО ЦИКЛА****Н.И. Щуров, Р.В. Шабалин***Новосибирский государственный технический университет*

На сегодняшний день улучшение силовой части электрического транспортного средства, в частности электромобиля, является одним из основных направлений исследования в области транспортных средств. Из-за нестабильности уровней нагрузки, частых торможений и разгонов эффективность использования силовой установки нуждается в улучшении с использованием новейших компонентов и методов. Цель работы – на базе всемирного ездового цикла разработать эффективную силовую установку электромобиля. В данном исследовании был проведен анализ существующих ездовых циклов, выбран наиболее оптимальный на основе его характеристик в различных эксплуатационных условиях. В результате полученных расчетов выбрана оптимальная мощность тягового электродвигателя (ТЭД). На основе выбранной мощности выбрана соответствующая модель двигателя, построены его тяговые характеристики. В программной среде “MatlabSimulink” выполнено моделирование тягового привода на базе ездового цикла WLTC, представлены и описаны математически блоки модели, получены зависимости $a(t)$, $E(t)$ и $V(S)$, которое подтверждают адекватность математического моделирования. Выбран соответствующий накопитель в сравнении с другими моделями.

Ключевые слова: силовая установка, тяговый привод, ездовой цикл WLTC, электромобиль, накопитель.

DOI: 10.17212/1727-2769-2024-3-57-68

Введение

В настоящее время городской транспорт оказывает огромное влияние на городскую инфраструктуру. В частности, выбросы нефтепродуктов значительно ухудшают экологию. И улучшение этой инфраструктуры – приоритетное направление для исследований со всего мира. Каждый день создаются новые системы и предлагаются различные методы по улучшению существующих видов электрического транспорта. Так, приоритетным направлением для исследователей является именно городской электрический транспорт. Городской электрический транспорт имеет ряд преимуществ: он экологичен, источником энергии служит электричество, которое гораздо дешевле, чем нефтепродукты и их конструкция значительно проста в производстве. К городскому электрическому транспорту можно отнести: метро, трамваи, электробусы и электромобили и др. Но основным недостатком такого транспорта является меньший запас хода, чем у транспорта с двигателем внутреннего сгорания.

Разработка эффективного привода – электротехнического устройства, обеспечивающего движение при различных условиях эксплуатации, – это решение недостатков электрического транспорта [1]. Электротехническое устройство может включать в себя датчики, аккумуляторные батареи, электрические двигатели, электрические узлы, контроллеры и преобразователи мощности [2].

На электрическом транспорте применяются бортовые и внешние источники питания. Например, для метро и трамваев могут использоваться внешние источники, передающие энергию от станции к объекту движения через контактную сеть.

Бортовые же имеют больше преимуществ, так как необходимость в контактной сети отсутствует и источник находится на самом объекте. Бортовые источники: АКБ, суперконденсаторы, маховики, гидравлические источники и топливные элементы [3].

Контроль состояния уровня заряда (напряжение и ток) проводится во время зарядки АКБ [4].

Сложные условия эксплуатации могут привести к быстрому выходу из строя АКБ, поэтому анализ проходящих циклов может помочь оценить деградацию батареи. Для точного описания используются циклы движения, с целью измерения параметров тока (мгновенного) или скорости [5].

В текущем исследовании используется цикл WLTC, он наиболее точно приближен к реальным условиям эксплуатации. Точно описывает регресс и процессы нагрева АКБ и силовой установки. С помощью цикла WLTC смоделированный процесс движения максимально приближен к реальным эксплуатационным [6].

1. Всемирная гармонизированная процедура испытаний легких транспортных средств WLTC

На рис. 1 представлен всемирный ездовой цикл WLTC. Этот цикл используется во время эксплуатации автомобилей. Существуют, помимо WLTC, разные виды ездовых циклов: европейский, японский, китайский, американский. Все они применимы и имеют свои преимущества и недостатки [7–8].

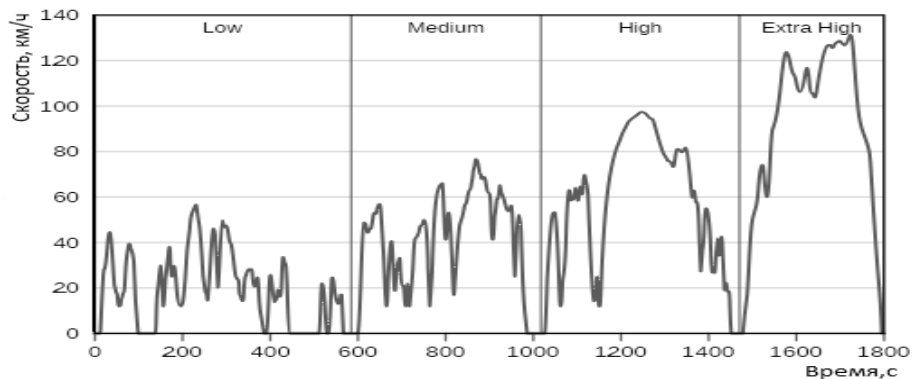


Рис. 1 – Всемирная гармонизированная процедура испытаний легких транспортных средств

Fig. 1 – Worldwide Harmonised Light Vehicles Test Procedure

Критериями циклов служит их местоположение и какие виды транспорта используются. Поэтому для анализа и моделирования, приближенного к реальным условиям, выгоднее всего брать всемирный ездовой цикл WLTC, так как он наиболее энергоэффективен и универсален. Он применим к автомобилям массой до 3500 кг. В зависимости от условий эксплуатации, например, городское движение или движение за городом, у цикла различают различные скоростные режимы:

1. Low – 56,5 км/ч;
2. Medium – 76,6 км/ч;
3. High – 97,4 км/ч;
4. Extra High – 131,6 км/ч.

Также существуют три класса энерговооруженности, обладающие параметром максимального ускорения:

- класс № 1: менее 22 Вт/кг; $a_{\max} = 0,76 \text{ м/с}^2$;
- класс № 2: от 22 до 34 Вт/кг; $a_{\max} = 0,96 \text{ м/с}^2$;
- класс № 3: более 34 Вт/кг; $a_{\max} = 1,58 \text{ м/с}^2$.

В данном исследовании принят третий класс энерговооруженности, у которого пиковая скорость достигает значения в 120 км/ч. Класс может включать в себя такие автомобили, как LADA Granta (53,3 Вт/кг), LADA Priora (49,3 Вт/кг), Chevrolet Niva (41,3 Вт/кг).

2. Выбор электродвигателя силовой установки

В качестве прототипа используется модель отечественного автомобиля LADA Granta. Данные LADA Granta представлены в табл. 1.

Таблица 1/Table 1

Технические характеристики LADA Granta

Technical characteristics of LADA Granta

Класс	Лифтбек
Длина, мм	3995
Ширина, мм	1805
Высота, мм	1455
Количество мест	4
Снаряженная масса, кг	1130
Полная масса, кг	1440
Мощность ДВС, л.с. (кВт)	120 (88)
Привод	Передний

Максимальная мощность электродвигателя определяется следующим образом [9] (табл. 2, рис. 2):

$$P_{\max} = FV_{\max}, \quad (1)$$

где $V_{\max}$ – максимальная скорость транспортного средства, м/с; F – тяговое усилие при максимальной мощности, Н.

Таблица 2/ Table 2

Расчетные данные для определения мощности двигателя

Calculation data to determine the engine power

V , км/ч	ω_0 , Н/кН	F , кгс			P , кВт		
		$a = 2 \text{ м/с}^2$	$a = 2,5 \text{ м/с}^2$	$a = 3 \text{ м/с}^2$	$a = 2 \text{ м/с}^2$	$a = 2,5 \text{ м/с}^2$	$a = 3 \text{ м/с}^2$
10	11,98	297	369	439	7,99	9,98	12,07
20	12,54	298	369	440	15,99	19,97	24,01
30	13,26	299	370	441	24,59	29,89	35,87
40	14,45	300	372	443	33,05	40,87	47,95
50	16,43	301	374	445	40,89	51,06	59,59
60	18,34	304	376	447	50,01	62,03	72,91
70	20,79	307	378	450	59,02	71,89	86,04

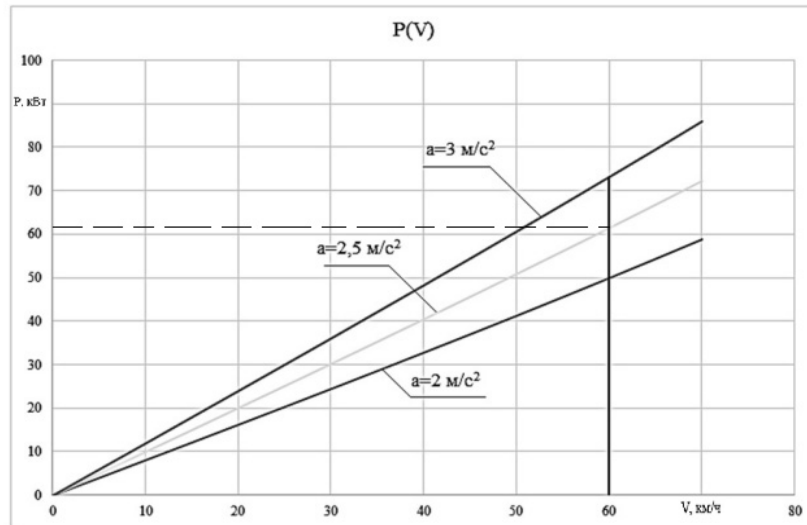


Рис. 2 – Зависимость мощности от скорости при различных ускорениях

Fig. 2 – Dependence of power on speed at various accelerations

Тяговое усилие можно выразить как

$$F = [102(1 + \gamma)G_{\text{ТС}}]a + \omega G_{\text{ТС}}, \quad (2)$$

где a – пусковое ускорение транспортного средства, принимается $a = 2 \dots 2,5 \text{ м/с}^2$; ω – удельное основное сопротивление движению Н/кН; $G_{\text{ТС}}$ – полный вес транспортного средства, $G_{\text{ТС}} = 1,44 \text{ т}$; $(1 + \gamma)$ – коэффициент инерции вращающихся масс, примем $\gamma = 0,15$.

Удельное основное сопротивление движению может быть найдено на основе эмпирической зависимости

$$\omega = 12 + 0,0018V^2. \quad (3)$$

Режим работы электродвигателя электромобиля повторно-кратковременный, в связи с чем, учитывая перегрузочную способность, можно выбрать менее мощный двигатель, чем получено в расчетах. Выберем для установки асинхронный электродвигатель Siemens 1PV5135-4WS24 (табл. 3, рис. 3) [10].

Таблица 3/Table 3

Характеристики двигателя

Engine characteristics

Параметр	Величина
Номинальное напряжение, В	520
Номинальная мощность, кВт	59
Номинальный крутящий момент, Н · м	160
Номинальный ток, А	145
Номинальная частота вращения, об/мин	3000
Максимальная частота вращения, об/мин	10 000
Масса, кг	90

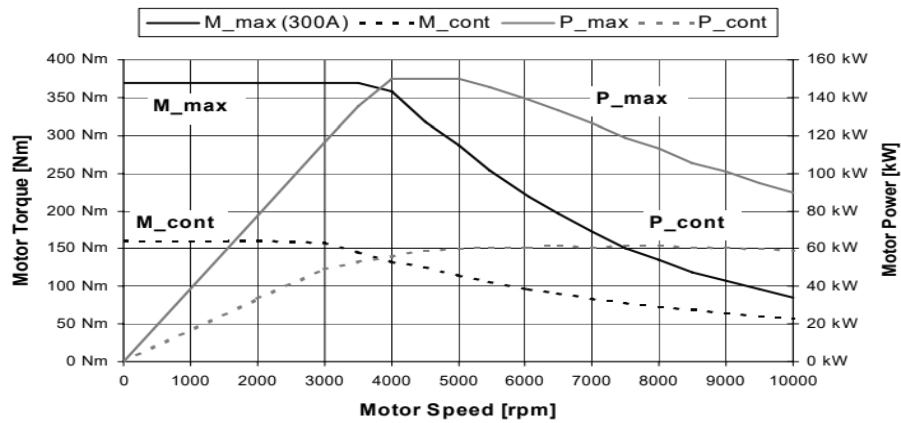


Рис. 3. – Характеристики электродвигателя

Fig. 3 – Electric motor characteristics

3. Моделирование силовой части

С учетом входных данных автомобиля, а также характеристик двигателя на базе цикла WLTC был смоделирован режим движения [11]. На рис. 4 представлена имитационная модель на базе LADA Granta. Данная модель помогает избежать громоздких вычислений и позволяет определить необходимые данные.

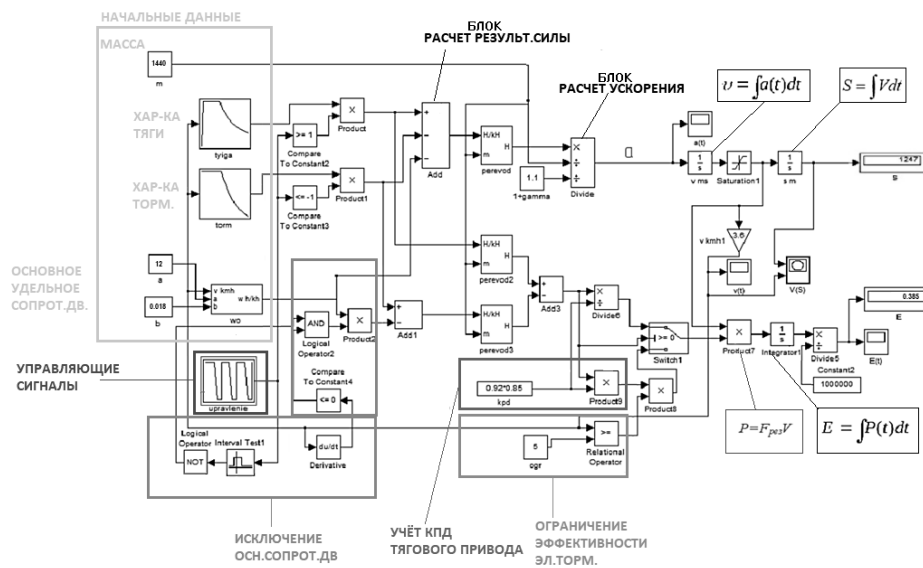


Рис. 4 – Имитационная модель на базе автомобиля LADA Granta

Fig. 4 – A simulation model based on the LADA Granta car

В результате моделирования были произведены расчеты ускорения, силы тяги и силы торможения, исходя из уравнения Ньютона. Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Блок управления 1, который производит расчет силы основного сопротивления движения, представлен на рис. 5.

Таблица 4/Table 4

Полученные результаты расчета силы тяги и силы торможения

The obtained results of calculating the traction force

V , км/ч	$F_{\text{тяги}}$, Н	$F_{\text{торм}}$, Н
65	285	–
70	265	–
75	248	–
80	219	–
85	215	194
90	202	182
95	191	173
100	182	164
105	173	158
110	166	149
115	157	143
120	152	138

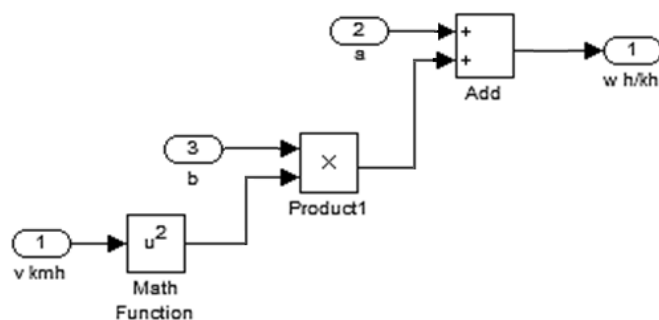


Рис. 5 – Блок управления 1

Fig. 5 – Control unit 1

Так как в имитационной модели собраны разные блоки и с различными параметрами, то для корректных расчетов необходимо, чтобы вычисления сил были представлены в одних единицах измерения. На рис. 6 представлен такой блок – перевода единиц измерения.

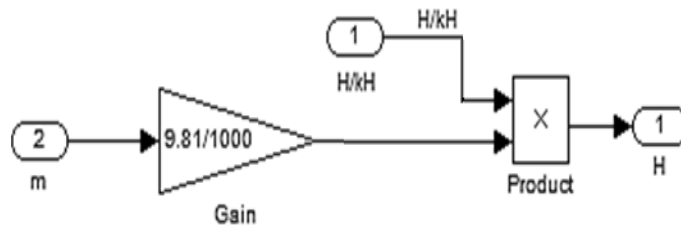


Рис. 6 – Блок перевода единиц сил

Fig. 6 – Units of force conversion block

При помощи подобных блоков можно вычислить ускорение по формуле

$$a = \frac{F_{\text{рез}}}{(1 + \gamma) * m} . \quad (4)$$

Используя блок «upravlenie», можно изменять режимы ускорения и торможения, используя последовательность, которая основана на цикле WLTC, значения которой 1 и -1, соответствующей четырем этапам цикла. Результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5/Table 5

Блок «upravlenie»

The “upravlenie” unit

Скоростные этапы	0	17	27	40
Последовательность	1	1	-1	-1

В модели присутствуют блоки (см. рис. 5), отвечающие за вычисления по энергетике.

Данная модель является корректной, согласно графику ускорения на рис. 7. Это подтверждает и величина ускорения, которая соответствует расчетной.

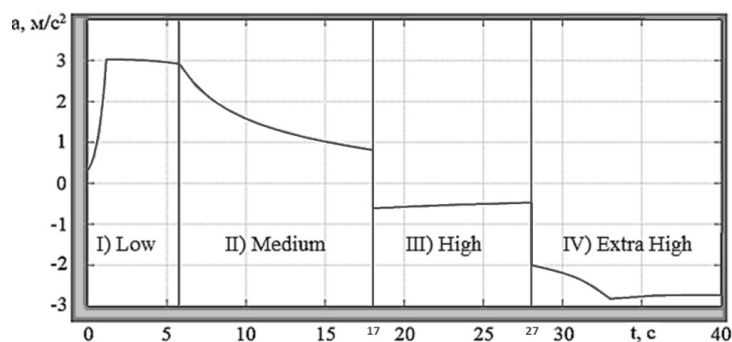


Рис. 7 – График зависимости ускорения от времени

Fig. 7 – Acceleration versus time graph

Для достижения скорости в 120 км/ч, выбега (20 %) и остановки потребуется 1,388 МДж (или 0,385 кВт · ч) энергии (рис. 8).

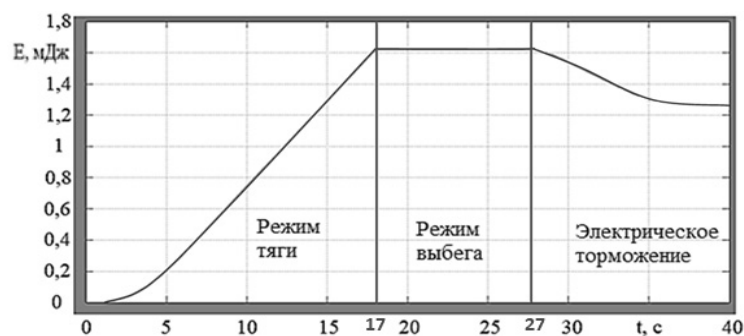


Рис. 8 – График зависимости энергии от времени

Fig. 8 – Energy versus time graph

При такой энергии общий путь, который пройдет электромобиль, составит 1247 м (рис. 9).

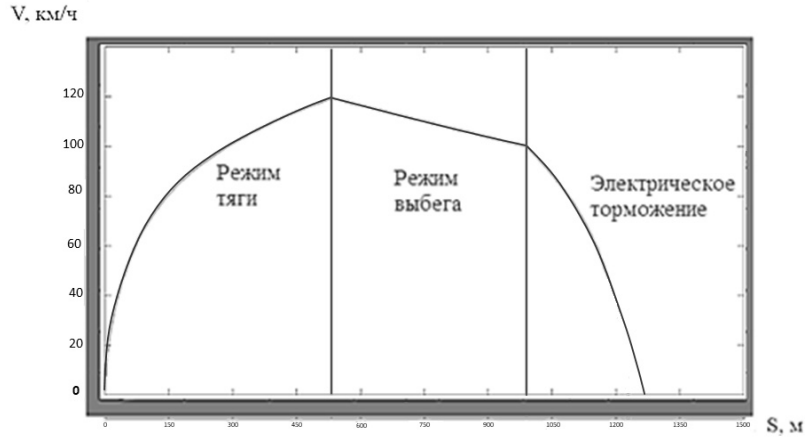


Рис. 9 – Кривая движения скорости от пройденного пути

Fig. 9 – The curve of the speed movement from the distance traveled

4. Выбор накопителя энергии

Чтобы обеспечить электромобиль запасом хода в 450 км, потребуется накопитель энергии объемом в $(450/1,247) \cdot 0,38 = 137$ кВт · ч, где $L = 450$ км – запас хода электромобиля, $S = 1,247$ км – расстояние, $E = 0,38$ кВт · ч – энергия электромобиля [12].

Для оптимального выбора накопителя энергии необходимо сравнить существующие аккумуляторы, которые будут наиболее выгодно использоваться при эксплуатации электромобиля [13–15]. Каждый тип аккумуляторов с литий-ионной структурой наиболее перспективен в качестве бортового накопителя. В табл. 6 сравниваются различные типы наиболее часто используемых литий-ионных батарей.

Таблица 6/ Table 6

Сравнительная таблица литий-ионных батарей LFP, NCA, NMC

A comparative table of LFP, NCA, NMC lithium-ion batteries

Характеристика	Единица Измерения	NMC	NCA	LFP
Материалы катода	—	Оксиды никеля, марганца, кобальта, лития	Оксиды никеля, кобальта, алюминия, лития	Фосфат железа, лития
Плотность энергии, удельная	Вт · ч/кг	150–200	200–260	90–160
Напряжение элемента макс./рабочее/ мин. элемента макс./рабочее/мин.	В	4,3/3,7/2,6	4,2/3,6/3,0	3,65/3,3/2,0
Число циклов	—	1000	500	2000
Начало теплового разгона при перезарядке	°C	80	65	140
Разогрев при тепловом разгоне	°C	500–700	739–1075	283–448
Безопасность	—	Хорошо	Удовлетворительно	Отлично

Исходя из табл. 6, ввиду лучших параметров, чем с аналогами, выбран тип тяговой аккумуляторной батареи LiFePO_4 .

При напряжении аккумуляторной батареи в 500 В, равном напряжению питания тягового электродвигателя, необходимая емкость накопителя составит $137\,000/500 = 274 \text{ А} \cdot \text{ч}$.

Обеспечить подобную емкость может сборка аккумуляторной батареи на базе стандартных ячеек формата LiFePO_4 32700.

Параметры ячейки LiFePO_4 32700 6Ah представлены в табл. 7.

Таблица 7/Table 7

Ячейка LiFePO_4 32700 6Ah

The LiFePO_4 32700 6Ah Cell

Параметр	Значение
Номинальное напряжение	3,2 В
Максимальный ток разряда	Непрерывный ток разряда -3C (18А)
Максимальный ток заряда	Максимальный ток заряда -1C (6А)
Внутреннее сопротивление	$\leq 8 \text{ m}\Omega$
Число циклов до потери 20 % емкости при 1С	2000 циклов/емкость 80 %

Для обеспечения напряжения 500 В понадобится 158 ячеек LiFePO_4 32700. Общая масса бортового источника энергии составит 524 кг.

5. Выводы

Таким образом, в процессе данного исследования были выполнены следующие задачи.

- Проанализирован цикл WLTC.
- Осуществлен расчет мощности электродвигателя, которая составила 59 кВт, построены зависимости мощности от скорости и выбрана модель электродвигателя Siemens 1PV5135-4WS24.
- Составлена имитационная модель в программной среде “MatlabSimulink” на базе цикла WLTC, получены зависимости ускорения от времени, энергии от времени, а также скорости от пройденного пути. В ходе моделирования пройденный путь электромобиля составил 1247 м, а для достижения максимальной скорости в 120 км/ч и выбега (20 %) потребуется 0,385 кВт · ч энергии.
- Чтобы обеспечить электромобиль необходимым запасом хода в 450 км потребуется буферный накопитель, объем которого составит 137 кВт · ч, а его необходимая емкость 274 А · ч. Ячейки LiFePO_4 32700 6Ah были приняты в качестве прототипа буферного накопителя, которые размещены в электромобиле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Штанг А.А., Ярославцев М.В. Контактно-аккумуляторный манёвровый электровоз с накопителем энергии на основе литий-ионных аккумуляторов // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2016. – № 1. – С. 13–16.
2. Штанг А.А. Повышение эффективности электротранспортных систем на основе использования накопителей энергии: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03: защищена 18.10.2006. – Новосибирск, 2006. – 233 с.
3. Щуров Н.И., Мятёж С.В., Малозёмов Б.В. Анализ и расчет неактивной мощности в сети питания электропотребителей рудничного транспорта // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 12-2. – С. 270–283.

4. **Щуров Н.И.** Энергоэффективная силовая установка для автономных транспортных средств // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника: труды Седьмой Всероссийской научно-практической конференции, Новокузнецк, 23–24 ноября 2016 г. – Новокузнецк, 2016. – С. 107–108.
5. Инновационные технологии в электротранспортных комплексах: монография / Н.И. Щуров, В.В. Бирюков, С.В. Мятёж, А.А. Штанг, Е.А. Спиридонов, Б.В. Малозёмов, С.М. Кузнецов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2022. – 159 с.
6. **Малозёмов Б.В., Мятёж С.В., Щуров Н.И.** Повышение количества рабочих зон в трёхфазном выпрямителе переменного тока // Электротехника. – 2021. – № 6. – С. 56–60.
7. **Щуров Н.И., Дедов С.И.** Определение токовых нагрузок электромобиля на основе стандартизированного цикла WLTC // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2021. – № 1. – С. 12–16.
8. Анализ влияния режимов движения электромобилей на процесс старения тяговых аккумуляторов на основе цикла WLTC / Н.И. Щуров, А.А. Штанг, С.И. Дедов, У. Сяоган // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2020. – № 13 (8). – С. 977–990. – DOI: 10.17516/1999-494X-0279.
9. **Малозёмов Б.В., Трухин Ф.В.** Повышение эффективности и надёжности тягового двигателя троллейбуса // Интеллектуальный потенциал Сибири: 26-я Региональная научная студенческая конференция, Новосибирск, 22–24 мая 2018 г.: в 2 ч. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – Ч. 2. – С. 650–652.
10. **Ярославцев М.В.** Определение потерь в тяговом приводе автономного транспортного средства с комбинированной энергетической установкой методом имитационного моделирования // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов, Новосибирск, 1–5 дек. 2015 г.: в 9 ч. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – Ч. 5. – С. 174–175.
11. **Дедов С.И.** Анализ современных ездовых циклов и их актуальность при определении параметров гибридной энергетической установки // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов, Новосибирск, 4–8 дек. 2017 г.: в 10 ч. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – Ч. 5. – С. 191–194.
12. **Бирюков В.В., Панченко Ю.В.** Повышение надёжности транспортного обслуживания городов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2017. – № 3–4. – С. 34–36.
13. **Спиридонов Е.А.** Повышение эффективности использования энергии в электротранспортных комплексах с накопительными устройствами: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. – Новосибирск, 2009. – 165 с.
14. **Бирюков В.В., Бахолдин Д.А.** Электробус для внутригородских перевозок пассажиров // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2017. – № 3–4. – С. 196–198.
15. Источники и накопители электрической энергии на транспорте: монография / Н.И. Щуров, В.В. Бирюков, С.В. Мятёж, А.А. Штанг, Е.А. Спиридонов, Б.В. Малозёмов, П.С. Лисицын, Е.Ю. Абрамов, С.И. Дедов, С.Н. Андрияшин, Р.Н. Латышев, И.И. Сингизин, П.А. Бахолдин, Д.А. Бахолдин; под ред. В.В. Бирюкова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2023. – 162 с.

MODELING THE POWER PART OF AN ELECTRIC VEHICLE BASED ON A DRIVING CYCLE

Shchurov N.I., Shabalin R.V.
Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

Nowadays, improving the power train of an electric vehicle, particularly an electric vehicle, is one of the major research areas in the field of transportation vehicles. Due to unstable load levels, frequent braking and acceleration, the efficiency of the power train needs to be improved using the latest components and techniques. The aim of the paper is to develop an efficient power train for an electric vehicle based on the world driving cycle.

In this study, the existing driving cycles were analyzed and the most optimal one was selected based on its performance under different operating conditions. As a result of the obtained calculations, the optimum power of a traction motor (TEM) was selected. Based on the selected power, the corresponding model of the motor is selected and its traction characteristics are built.

In the MatlabSimulink software environment the modeling of traction drive, based on the driving cycle WLTC, is performed, the blocks of the model are presented and described mathematically, the dependencies $a(t)$, $E(t)$ and $V(S)$ are obtained, which confirm the adequacy of mathematical modeling. An appropriate drive is selected in comparison with other models.

Keywords: Power train, traction drive, WLTC drive cycle, electric vehicle, storage.

DOI: 10.17212/1727-2769-2024-3-57-68

REFERENCES

1. Shtang A.A., Yaroslavtsev M.V. Kontaktno-akkumulyatornyi manevrovyyi elektrovoz s nakopitelem energii na osnove litii-ionnykh akkumulyatorov [Battery-electric shunting locomotive with lithium-ion storage batteries]. *Elektronika i elektrooborudovanie transporta = Electronics and electrical equipment of transport*, 2016, no. 1, pp. 13–16.
2. Shtang A.A. *Povyshenie effektivnosti elektrotransportnykh sistem na osnove ispol'zovaniya nakopitelei energii*. Diss. kand. tekhn. nauk [Increasing efficiency of electric transit systems by means of energy storage devices. PhD eng. sci. diss.]. Novosibirsk, 2006. 233 p.
3. Shchurov N.I., Myatezh S.V., Malozyomov B.V. Analiz i raschet neaktivnoi moshchnosti v seti pitaniya elektropotrebiteli rudnichnogo transporta [Analysis and calculation of inactive power in the power network of electric consumers of mining transport]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' = Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2022, no. 12-2, pp. 270–283.
4. Shchurov N.I. [Energy efficient power plant for autonomous vehicles]. *Avtomatizirovannyi elektropriivod i promyshlennaya elektronika* [Automated electric drive and industrial electronics]. Proceedings of the Seventh All-Russian Scientific and Practical Conference. Novokuznetsk, 2016, pp. 107–108. (In Russian).
5. Shchurov N.I., Biryukov V.V., Myatezh S.V., Shtang A.A., Spiridonov E.A., Malozyomov B.V., Kuznecov S.M. *Innovatsionnye tekhnologii v elektrotransportnykh kompleksakh* [Innovative technologies in electric transport complexes]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2022. 159 p.
6. Malozyomov B.V., Myatezh S.V., Shchurov N.I. Povyshenie kolichstva rabochikh zon v trekhfaznom vypryamitele peremennogo toka [Increasing the number of working zones in a three-phase AC rectifier]. *Elektrotehnika = Russian Electrical Engineering*, 2021, no. 6, pp. 56–60. (In Russian).
7. Shchurov N.I., Dedov S.I. Opredelenie tokovykh nagruzok elektromobilya na osnove standartizirovannogo tsikla WLTC [Determination of the electric vehicle current loads based on the WLTC]. *Elektronika i elektrooborudovanie transporta = Electronics and Electrical Equipment of Transport*, 2021, no. 1, pp. 12–16.
8. Shchurov N.I., Shtang A.A., Dedov S.I., Xiaogang Wu. Analiz vliyaniya rezhimov dvizheniya elektromobiley na protsess stareniya tyagovykh akkumulyatorov na osnove tsikla WLTC [Analysis of Electric vehicles motion modes influence on traction batteries aging based on WLTC]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii = Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies*, 2020, no. 13 (8), pp. 977–990. DOI: 10.17516/1999-494X-0279.
9. Malozyomov B.V., Trukhin F.V. [Increasing the efficiency and reliability of the trolleybus traction engine]. *Intellektual'nyi potentsial Sibiri* [Intellectual potential of Siberia]. 26th Regional Scientific Student Conference, Novosibirsk, May 22–24 2018. Novosibirsk, NSTU Publ., 2018, pt. 2, pp. 650–652. (In Russian).
10. Yaroslavtsev M.V. [Determination of losses in the traction drive of an autonomous vehicle with a combined power plant using the simulation modeling method]. *Nauka. Tekhnologii. Innovatsii* [Science. Technologies. Innovation]. Collection of scientific papers, Novosibirsk, December 1–5, 2015. Novosibirsk, 2015, pt. 5, pp. 174–175. (In Russian).
11. Dedov S.I. [Analysis of modern driving cycles and their relevance in determining the parameters of a hybrid power plant]. *Nauka. Tekhnologii. Innovatsii* [Science. Technologies. Inno-

- vation]. Collection of scientific papers, Novosibirsk, December 4–8, 2017. Novosibirsk, NSTU Publ., 2017, pt. 5, pp. 191–194. (In Russian).
12. Biryukov V.V., Panchenko Yu.V. Povyshenie nadezhnosti transportnogo obsluzhivaniya gorodov [Improving the reliability of transport services for cities]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka = Scientific Problems of Transportation in Siberia and the Far East*, 2017, no. 3–4, pp. 34–36.
 13. Spiridonov E.A. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya energii v elektrotransportnykh kompleksakh s nakopitel'nymi ustroystvami. Diss. kand. tekhn. nauk [Improving the efficiency of energy use in electric transport complexes with storage devices. PhD eng. sci. diss.]. Novosibirsk, 2009. 165 p.
 14. Biryukov V.V., Bakhholdin D.A. Elektrobus dlya vnutrigorodskikh perevozok passazhirovo [Electrobus for intra-city passenger transportation]. *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka = Scientific Problems of Transportation in Siberia and the Far East*, 2017, no. 3–4, pp. 196–198.
 15. Shchurov N.I., Biryukov V.V., Myatezh S.V., Shtang A.A., Spiridonov E.A., Malozhomov B.V., Lisitsyn P.S., Abramov E.Yu., Dedov S.I., Andriyashin S.N., Latyshev R.N., Singizin I.I., Bakhholdin P.A. *Istochniki i nakopiteli elektricheskoi energii na transporte* [Sources and storage devices of electric energy in transport]. Novosibirsk, NSTU Publ., 2023. 162 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



Щуров Николай Иванович – родился в 1947 году, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой электротехнических комплексов Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: энергосбережение на электрическом транспорте. Опубликовано 147 научных работ. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. E-mail: nischurov@mail.ru).

Shchurov Nikolay Ivanovich (b. 1947) – Doctor of Sciences (Eng.), Professor, Head of the Department of Electrical Complexes in Novosibirsk State Technical University. His research interests are currently focused on energy saving in electric transport. He is the author of 147 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: nischurov@mail.ru).



Шабалин Роман Викторович – родился в 1998 году, аспирант кафедры электротехнических комплексов Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: повышение энергоэффективности процесса рекуперации электрического транспорта. Опубликовано три научные работы. (Адрес: 630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. E-mail: romanshabalinnstu@mail.ru).

Shabalin Roman Viktorovich (b. 1998) – postgraduate student at the Department of Electrical Engineering Complexes in Novosibirsk State Technical University. The area of his scientific interests includes improvement of energy efficiency of the electric transport regeneration process. He has published 3 scientific works. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: romanshabalinnstu@mail.ru).

Статья поступила 02 июня 2024 г.
Received June 02, 2024

To Reference:

Shchurov N.I., Shabalin R.V. Modelirovanie silovoi chasti elektromobilya na baze ezdogovotsikla [Modeling the power part of an electric vehicle based on a driving cycle]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii = Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2024, no. 3 (64), pp. 57–68. DOI: 10.17212/1727-2769-2024-3-57-68.