

УДК 629.113

**А. Н. Блохин**, кандидат технических наук, доцент, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева

**В. В. Беляков**, доктор технических наук, профессор, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева

**Д. В. Зезюлин**, аспирант, Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева

## РАСХОД ЭНЕРГИИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПРИ ДВИЖЕНИИ В ГОРОДСКИХ УСЛОВИЯХ

*Представлены основные составляющие расхода энергии при движении транспортного средства с электроприводом (электромобиля). Приведены результаты математического моделирования движения легкого коммерческого электромобиля в европейском ездовом городском цикле. Проведено сравнение полученного пробега электромобиля на одной зарядке с известными мировыми аналогами.*

**Ключевые слова:** электромотобиль, городской цикл движения, расход энергии в городском цикле, пробег на одной зарядке.

**Н**ефтяное топливо как источник энергии обладает очень высокими удельными характеристиками, в частности, в 1 кг бензина содержится 11,6 кВт энергии [1]. Аккумуляторы любых возможных электрохимических систем имеют теоретический запас энергии в 6–10 раз меньший. По этой причине вопросы выбора количества и рационального использования имеющейся на транспортных средствах с электроприводом (электромобилях) энергии являются важнейшими для тяговых электрических систем любых типов.

Известно, что электрические тяговые системы имеют гораздо меньшие потери энергии, чем системы с тепловыми двигателями, в том числе и с двигателями внутреннего сгорания. Коэффициент полезного действия существующих тепловых двигателей составляет 25–30 %, поэтому только около 3 кВт · ч/кг исходной удельной энергии топлива используется на выходе двигателя.

Степень полезного использования энергии электрохимического аккумулятора (при современном состоянии техники) может быть гораздо выше, а достигнутый уровень КПД электродвигателей составляет 85–94 %. Таким образом, уровень полезно используемой удельной энергии электрохимических источников может достигнуть 25–30 % от приведенной выше величины на выходе теплового двигателя. Этот ориентировочный расчет показывает, что, существенно проигрывая в исходной теоретической энергии энергоносителя, электрические тяговые системы могут отчасти компенсировать это при реализации имеющихся возможностей более эффективного ее использования. Это обстоятельство имеет важное значение для оценки перспектив развития электрических тяговых систем, а также правильного подхода к их созданию [2].

В основу исследования энергетических систем положен метод баланса энергии. Из анализа конструкций и схем тяговых систем электромотобилей следует, что любая тяговая система состоит из следующих энергетических модулей, осуществляющих последовательное преобразование энергии: тяговой

аккумуляторной батареи контроллера (устройства управления: инвертер, включая и силовой преобразователь), тягового электродвигателя, трансмиссии. Энергетическая диаграмма в общем виде показана на рис. 1. Эта диаграмма иллюстрирует следующее уравнение баланса энергии:

$$W_B - W_P = \Delta W_B + \Delta W_K + \Delta W_M + \Delta W_{TP} + \Delta W_T + \Delta W_A, \quad (1)$$

где  $W_B$  – энергия аккумуляторной батареи;  $W_P$  – энергия рекуперации;  $\Delta W_B, \Delta W_K, \Delta W_M, \Delta W_{TP}$  – потери энергии в модулях тяговой системы – батарее, контроллере, электродвигателе, трансмиссии;  $\Delta W_T, \Delta W_A$  – составляющие потерь энергии при движении, затрачиваемой на трение качения и аэродинамические потери [3].

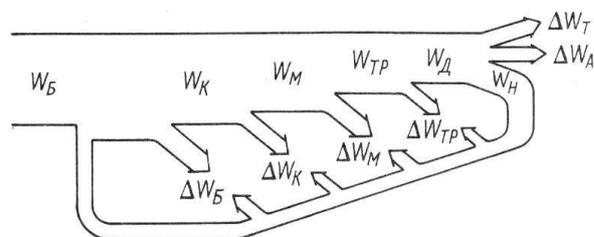


Рис. 1. Энергетическая диаграмма электромотобилей

Кроме этого на рис. 1 показаны:  $W_K, W_M, W_{TP}$  – энергия на входе соответствующих моделей тяговой системы;  $W_D$  – энергия, необходимая для движения;  $W_H$  – накопленная при движении энергия.

Верхняя ветвь энергетической диаграммы отображает режим движения электромотобилей, при котором все составляющие расхода энергии покрываются за счет энергии батареи. Нижняя ветвь диаграммы условно показывает путь энергии и ее потери при возврате энергии в батарею. Чаще всего в каждый момент времени существует только одно из указанных двух направлений передачи энергии, что соответствует основным энергетическим режимам: потребление энергии батареи, которое назовем для

краткости тяговым; возврата энергии в батарею, или иначе – рекуперации.

Кроме баланса энергии принято в ряде случаев рассматривать уравнение баланса мощности, который является первичным по отношению к балансу энергии. Однако условия эксплуатации городского транспорта характеризуются циклическими изменениями режимов движения транспортных средств. В связи с этим практической ценностью представляет баланс энергии, составляемый для определенного расчетного цикла движения.

Определение показателей энергетических затрат (энергетических свойств) электромобиля (например, пробег/радиус действия электромобиля на одной зарядке) целесообразно проводить в городских условиях движения. Моделировать движение транспортного средства следует с помощью существующих городских ездовых циклов. Ездовые циклы [4, 5] представляют зависимость скорости движения от времени, причем в каждый момент времени нормируются значения ускорений, замедлений и участков постоянной скорости, выполняемых в определенной последовательности. Для легковых и легких коммерческих автомобилей (полной массой до 3,5 т) протяженность европейского городского цикла – 1,013 км, продолжительность – 195 сек., средняя скорость за цикл – 19,0 км/ч, максимальная скорость – 50 км/ч. Городской цикл состоит из четырех простых городских циклов, представленных на рис. 2. Время движения в одном простом городском цикле составляет 195 сек., а общее время движения в цикле 780 сек.

В рамках данного исследования в программном комплексе *MATLAB/Simulink* разработана математическая модель движения легкого коммерческого автомобиля с электроприводом, которая позволяет оценить затраты энергии при движении в городском

цикле с использованием уравнения (1). Кроме уравнений динамики транспортного средства [3] базовая модель включает модели компонентов электропривода, которые представлены статическими характеристиками КПД (для батарей и электромашин). Кинематическая схема транспортного средства с электроприводом представлена на рис. 3, а исходные параметры для моделирования – в табл. 1. Для примера на рис. 4 представлена основная подсистема Simulink-модели.

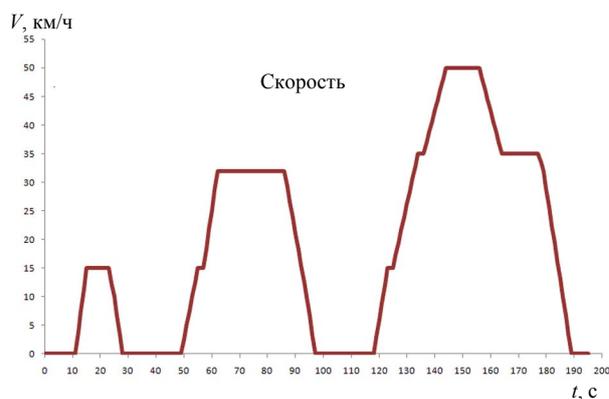


Рис. 2. График простого европейского городского цикла

На рис. 5–7 показаны основные результаты имитационного моделирования движения автомобиля с электроприводом в условиях городского цикла.

Потери энергии в тяговой системе за расчетный европейский ездовой цикл отличаются для разных типов тяговых систем и, таким образом, являются характеристикой энергетического качества тяговой системы. Оценить потери энергии позволяет мощность на валу электродвигателя, необходимая для движения в городском цикле (рис. 7).

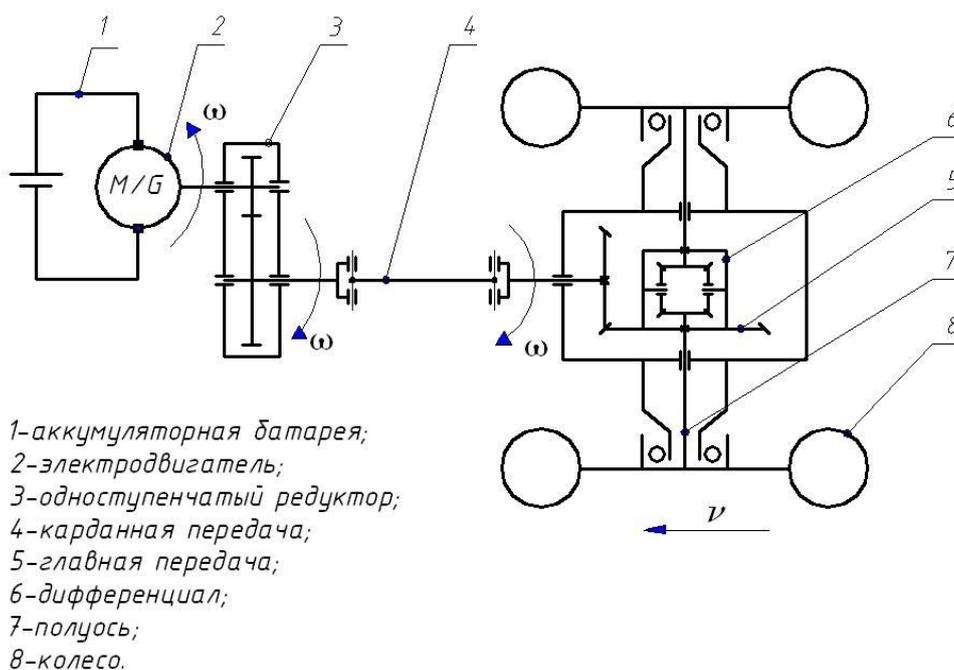


Рис. 3. Кинематическая схема трансмиссии электромобиля

Таблица 1. Исходные данные по транспортному средству

Параметр	Значение
Полная масса транспортного средства, кг	3500
Колесная формула транспортного средства	4×2
Электродвигатель	Siemens 1PV5135-4ws24
Номинальная мощность, кВт	61
Пиковая мощность, кВт	150
Обороты при номинальной мощности, об/мин	5000–10000
Номинальный момент, Нм	160
Пиковый момент, Нм	370
Обороты при номинальном моменте, об/мин	0–3000
Максимальные обороты, об/мин	10000
Аккумуляторные батареи	Thunder Sky, литийжелезопосфатные, 40 кВт · ч
Коэффициент сопротивления качению при малых скоростях	0,012
Коэффициент влияния скорости на увеличение силы сопротивления качению	0,0004
Коэффициент лобового сопротивления	0,51
Радиус качения колеса, м	0,33
КПД трансмиссии	0,92
Площадь миделева сечения, м <sup>2</sup>	4,69
Передаточное число одноступенчатого редуктора	2,4
Передаточное число главной передачи	5,125

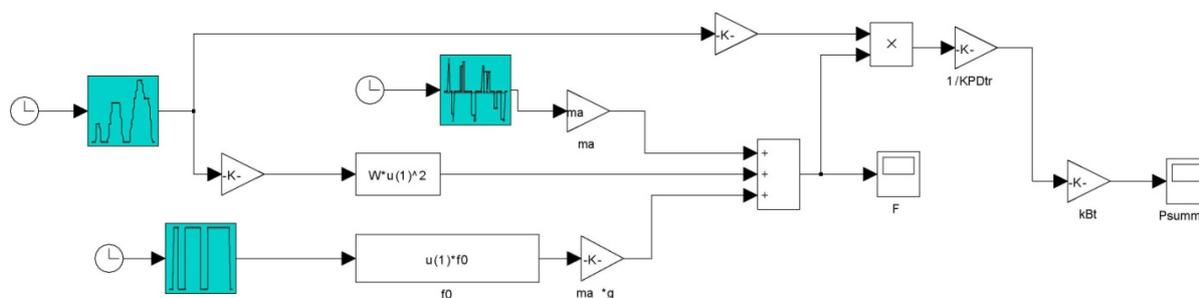


Рис. 4. Подсистема расчета параметров динамики электромобиля в условиях городского цикла

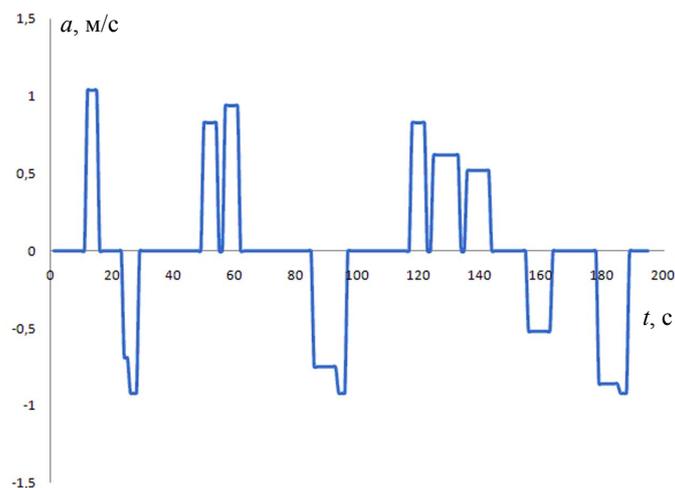


Рис. 5. Интенсивность разгона в городском цикле

Расход энергии аккумуляторной батареи определяется выражением [1]

$$W = W_B - W_P = \frac{\int P_{M\_тяг} dt}{\eta_{M\_тяг} \eta_{B\_разр}} - \eta_{B\_зар} \eta_{M\_ген} \int P_{M\_ген} dt, \quad (2)$$

где  $\eta_B$  – степень использования аккумуляторной батареи (накопителя);  $\eta_M$  – КПД электродвигателя;  $P_M$  – мощность на валу электродвигателя. Дополнительные индексы для электродвигателя: тяг – тяговый режим; ген – генераторный режим, для аккумуляторной батареи: зар – режим зарядки (рекуперации), разр – режим разрядки (тяговый).

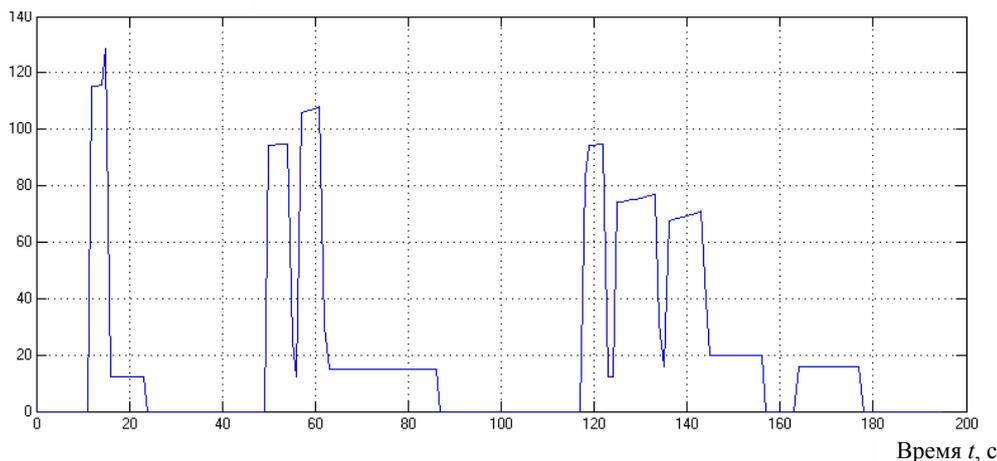
Крутящий момент  $T_e$ , НмВремя  $t$ , с

Рис. 6. Характер изменения крутящего момента на валу электродвигателя

Мощность, кВт

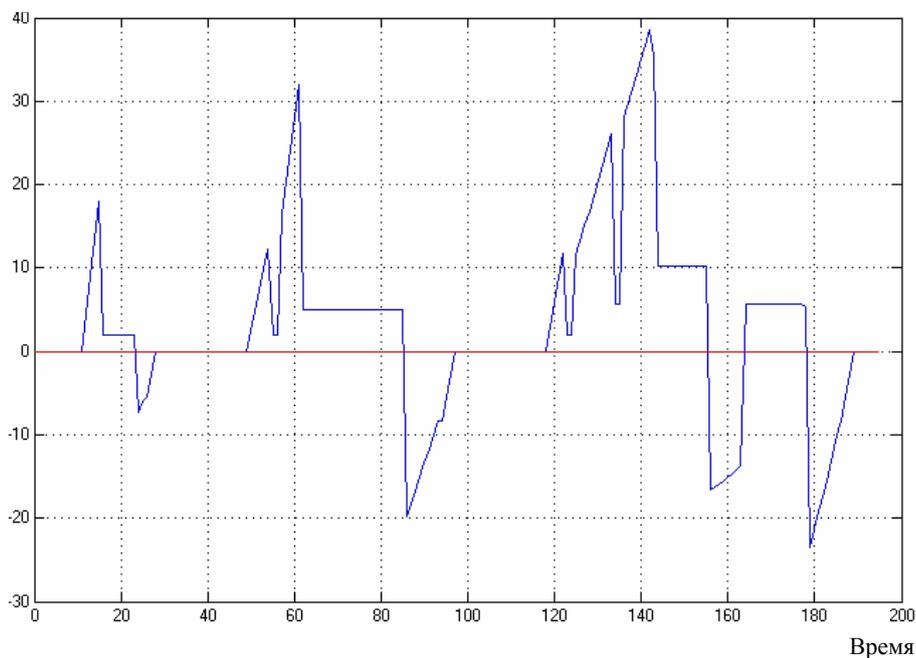
Время  $t$ , с

Рис. 7. Зависимость мощности на валу электродвигателя, необходимой для движения в городском цикле

В соответствии с выражением (2) и данными на рис. 7 определим составляющие расхода энергии аккумуляторной батареи. Общий расход энергии в простом городском цикле составил  $W_B = 750$  кВт · с, а энергия, которая могла бы возвратиться (энергия рекуперации) равна  $W_P = 239$  кВт · с. Учитывая степень использования литий-ионной аккумуляторной батареи SOC = 75 % [1], можно ожидать возврат энергии  $W_P = 179$  кВт · с.

Пересчитывая полученные значения для всего европейского городского цикла (состоящего из четырех простых городских циклов), получаем расход энергии из аккумуляторных батарей за 1 городской цикл  $W_B = 0,83$  кВт · ч, а ее возврат в батареи  $W_P = 0,2$  кВт · ч, т. е. суммарный расход энергии батарей в городском цикле  $(W_B - W_P) = 0,63$  кВт · ч.

Отсюда нетрудно определить, что за один час работы в городском цикле суммарный расход энергии будет равен  $(W_B - W_P) = 2,9$  кВт · ч, а в расчете на пройденный путь  $(W_B - W_P)_{уд} = 0,158$  кВт · ч/км.

С учетом средней скорости движения в цикле [4, 5], выбранной энергоемкости аккумуляторной батареи (табл. 1) и полученных затрат энергии пробег на одной зарядке электромобиля в городском режиме движения для рассматриваемого случая составит  $L = 199,5$  км.

Следует отметить, что проведенный расчет не учитывает дополнительных потребителей энергии, связанных с отоплением салона, системой кондиционирования, освещения и т. д. В первом приближении эти затраты целесообразно учесть общим коэффициентом увеличения расхода энергии на 25 % [1]. С учетом

данных затрат энергии ожидаемый пробег электро-мобиля на одной зарядке в городском цикле составит  $L = 160$  км.

Для сравнения в табл. 2 представлен пробег на одной зарядке лучших мировых аналогов данного класса электромобилей [6, 7, 8].

**Таблица 2. Пробег на одной зарядке легких коммерческих электромобилей**

Модель электромобиля	Пробег на одной зарядке, км
Edison Smith Electric Vehicles	160
Modec	160
Peugeot eMonarch	150
Ford Transit Connect Electric	130
Mercedes-Benz Vito E-CELL	130
EcoDaily Electric 35S	120

Поэтому полученный в результате исследования пробег электромобиля на одной зарядке в городском цикле движения, характеризующий энергетические свойства транспортного средства, зависящий от конструктивных параметров тяговой системы транспортного средства (табл. 1) и затрат энергии на движение в цикле, является достаточным, а указанные конструктивные параметры – приемлемыми для создания современного легкого коммерческого электромобиля.

В заключение следует отметить, что данная научно-исследовательская работа проводится в рамках

федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.».

#### Библиографические ссылки

1. Электромобиль: Техника и экономика / В. А. Щетина [и др.] ; под общ. ред. В. А. Щетины. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд., 1987. – 253 с.
2. Блохин А. Н., Чивенков А. И. Концепция создания экологически безопасного легкого коммерческого электромобиля с перспективными источниками и накопителями энергии // Материалы 71-й Междунар. науч.-техн. конф. ААИ «Безопасность транспортных средств в эксплуатации». – Н. Новгород : НГТУ, 2010. – С. 56–59.
3. Тарасик В. П. Теория движения автомобиля : учебник для вузов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 478 с.
4. Правила ЕЭК ООН № 83. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении выброса загрязняющих веществ в зависимости от топлива, необходимого для двигателей.
5. Правила ЕЭК ООН № 84. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения дорожных транспортных средств, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения потребления топлива.
6. Smith Electric Vehicles. – URL: <http://www.smithelectricvehicles.com/index.asp>.
7. Allied Electric. – URL: <http://www.alliedelectric.co.uk/>
8. Modec Limited. – URL: <http://www.modeczev.com/>

*A. N. Blokhin*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Nizhny Novgorod State Technical University after R. E. Alekseev

*V. V. Belyakov*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Nizhny Novgorod State Technical University after R. E. Alekseev

*D. V. Zezulin*, Postgraduate Student, Nizhny Novgorod State Technical University after R. E. Alekseev

#### Power Consumption During Movement of an Electromobile in Urban Cycle

*The basic components of power consumption during movement of the vehicle with electric drive (electric vehicle) are presented. The results of mathematical modeling of motion of light commercial electric vehicle in the European Driving Urban Cycle (ECE15 driving cycle) are presented. The comparison of the mileage of electric vehicle on a single charge with known world analogues is made.*

**Key words:** electric vehicle, urban driving cycle, energy consumption during urban driving cycle, single charge mileage.

УДК 343.72:368 - 519.8:61

**Н. П. Кузнецов**, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

**М. А. Тарасова**, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ФАКТА МОШЕННИЧЕСТВА ПРИ ИНСЦЕНИРОВКЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ КУЗОВА

*Показана возможность применения методов математической статистики для выявления мошенничества при инсценировке ДТП.*

**Ключевые слова:** страховое мошенничество, коррозия металла, цветовая модель RGB, скорость коррозии, выборка, генеральная совокупность, статистические гипотезы.

**Н**а сегодняшний день мошенничество в сфере страхования, методы его распознавания и предотвращения являются наиболее об-

суждаемой и актуальной проблемой в кругу специалистов российского страхового рынка. Страховщики обеспокоены ростом числа случаев страхового мо-