

УДК 629.03

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ В УЗБЕКИСТАНЕ

### PROSPECTS FOR THE USE OF ELECTRIC VEHICLE BATTERIES IN UZBEKISTAN

**Бойков В. П.**, д-р техн. наук, проф.,  
**Халмурзаев Н. Б.**, аспирант, **Поздняков Н. А.**, ст. преп.,  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь

V. Boikov, Doctor of Technical Sciences, Prof.,  
N. Khalmurzaev, Postgraduate student, N. Pozdnjakov, Senior Lecturer,  
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

*Электромобиль, как транспортное средство, перспективно влияющее на дальнейшее развитие страны, требует правильного внедрения методов его эксплуатации как отдельного вида транспорта.*

*При дальнейшем увеличении количества электромобилей необходимо соответствующие оборудования и другие материалы для дальнейшего расширения использования электромобиля как одним из основных видов транспорта в Республике Узбекистан.*

*Для улучшения необходимо привлечение ведущих компаний по утилизации аккумуляторных батарей электромобиля и других видов транспорта как электробуса и других видов батарей.*

*As a vehicle that has a promising impact on the further development of the country's population, it is also necessary to correctly introduce methods of operating electric vehicles as a separate mode of transport.*

*With a further increase in the number of electric vehicles, appropriate equipment and other materials are needed to further expand the use of electric vehicles as one of the main modes of transport in the Republic of Uzbekistan.*

*To improve it, it is necessary to attract leading companies for the disposal of batteries of electric vehicles and other types of transport such as electric buses and other types of batteries.* Background. Methods. Result. Conclusion.

**Ключевые слова:** *электромобиль; аккумуляторная батарея; утилизация; оптимальная температура; электроны.*

**Keywords:** *electric vehicle; battery; recycling; optimum temperature; electrons.*

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Согласно Постановлению Кабинета Министров Республики Узбекистан [1] «О мерах по популяризации использования электромобилей в Республике Узбекистан и упрощению процедур в области безопасности дорожного движения» а также другим Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан [2] «О дополнительных мерах по поддержке приобретения и сдачи в аренду автотранспортных средств (АТС), использования электромобилей и мототранспортных средств, а также развития велосипедного путешествия по стране» необходимо разработать мероприятия для привлечения все большего количества электромобилей в Республике.

К сожалению, транспорт на электротяге имеет определенные недостатки, связанные с высокой стоимостью, ограниченным запасом хода, временем восполнения энергии, а также потерю мощности при экстремально низких температурах. Все перечисленные недостатки в первую очередь связаны с электрохимическими накопителями энергии.

Актуальность тематики электрифицированных транспортных средств (ЭТС) подтверждается увеличением объемов продаж во всем мире. Однако значительный массовый и стоимостной удельный вес тяговой аккумуляторной батареи (ТАБ) в системе узлов ЭТС определяют описанные выше проблемы, связанные с запасом хода и мощностными показателями. Поэтому выбор основных параметров ТАБ требует тщательного научно обоснованного подхода.

Целью исследования является улучшение эксплуатационных показателей пассажирского ЭТС категории МЗ за счет обоснованного выбора параметров ТАБ.

Теоретические исследования основаны на методах теоретической механики, теории движения автомобиля, теории электротехники, теории тепловых процессов, вычислительной математики, теории полного факторного эксперимента и математического моделирования. В качестве теоретической базы для проведения исследо-

ваний использовались фундаментальные и прикладные труды ведущих отечественных и зарубежных ученых.

Анализ основных эксплуатационных свойств ЭТС показал, что каждое конкретное свойство зависит от определенного параметра накопителя энергии. Так, диапазон напряжения ТАБ влияет на эффективность работы тягового электродвигателя, пиковые и длительные разрядные токи влияют динамические показатели ТС, пиковые зарядные токи – на снижение затрат энергии при рекуперации, соответственно длительные токи влияют на скорость заряда, энергоемкость и максимальный пробег ТС, а ресурс ТАБ – на срок службы ТС. Анализ влияния характеристик ТАБ на эксплуатационные свойства требует комплексного подхода, учитывающего параметры аккумуляторной батареи в самых тяжелых условиях эксплуатации ТС.

Анализ научных работ [1–3] показал высокий уровень проработки материалов связанных с моделированием химических источников тока, исследований энергопотребления ТС при движении по циклу, а также эффективное использование электроэнергии. При этом работ, связанных с методикой оценки характеристик ТАБ в составе ТС не обнаружено. В связи с чем развитие данной темы является актуальной задачей, для решения которой необходимо связать опыт моделирования, как электрических характеристик батареи, так и аспектов, связанных с расчетом тягового баланса движения ТС.

В связи с чем формируется актуальная задача для тщательного исследования влияния характеристик аккумуляторной батареи на эксплуатационные показатели ЭТС.

1. Представлена новая комплексная математическая модель движения ЭТС, отличающаяся тем, что позволяет рассчитывать затраты энергии на движение ТС с учетом работы климатической системы (зимой – подогрев, летом – охлаждение салона), а также с учетом потребления энергии системой термостатирования батареи в зависимости от температурных условий.

2. Разработана новая методика анализа характеристик аккумуляторной батареи, отличающаяся тем, что позволяет выбрать или разработать накопительную систему с энергетическими показателями, которые смогут обеспечить все потребности транспортного средства для выполнения поставленных задач в техническом задании на ТС.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ АТС

Математическая модель представляет собой систему уравнений, описанную в [9] и дополненную коэффициентами  $a_M$ ,  $b_M$  и  $c_M$  в аппроксимирующей функции зависимости крутящего момента  $M_k$  электродвигателя от его угловой скорости вращения  $\omega_e$ :

$$M_k = a_M \cdot \omega_e^2 + b_M \cdot \omega_e + c_M.$$

Для решения большинства задач анализа и синтеза используется уравнение силового (тягового) баланса машины, который можно представить в виде:

$$M_T = P_\psi + P_w + P_j + P_{кр},$$

или

$$\frac{M_e \cdot u_p \cdot \eta_p}{r_k} = \psi \cdot G_a + W \cdot v_x^2 + m_a \cdot \delta_{вр} \cdot j + P_{кр}, \quad (1)$$

где  $M_e$  – развиваемый электродвигателем крутящий момент;  $u_p$  – передаточное число редуктора;  $\eta_p$  – КПД редуктора;  $r_k$  – радиус колеса;  $\psi$  – коэффициент дорожного сопротивления;  $G_a$  – вес ЭТС;  $W$  – фактор обтекаемости автомобиля;  $v_x$  – поступательная скорость движения;  $m_a$  – масса ЭТС;  $\delta_{вр}$  – коэффициент учета вращающихся масс;  $j$  – ускорение.

При этом тяговый баланс ЭТС будет иметь вид, представленный на рис. 1.

## МЕТОДИКА АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК АККУМУЛЯТОРНОЙ БАТАРЕИ

С учетом предъявляемых к ТАБ требований по заданному запасу хода необходимо определить требуемую емкость ТАБ. Другое условие, устанавливающее взаимосвязь емкости батареи и ее массы, определяет нелинейный характер зависимости запаса хода от емкости батареи. Такая зависимость с учетом влияния массы ТАБ на путевой расход электроэнергии может быть определена

по количеству потребляемой энергии в зависимости от динамических параметров работы электродвигателя, работающего в тяговом режиме:

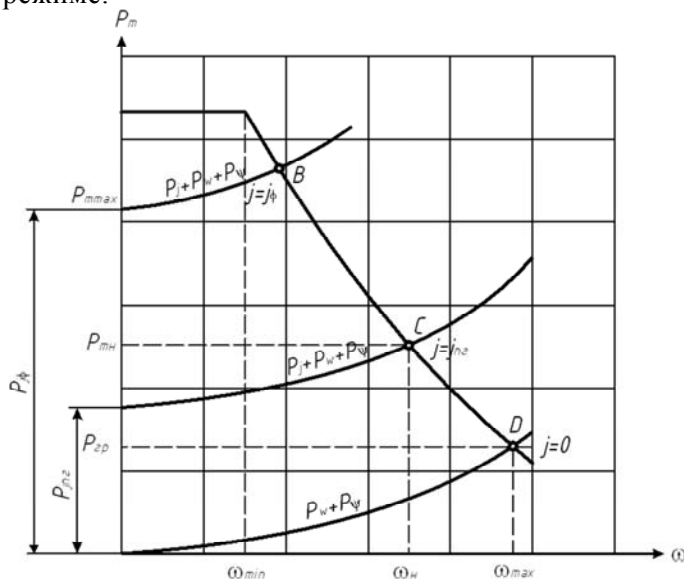


Рисунок 1 – Характеристика тягового баланса ЭТС

$$E_i = \left( \frac{M_{ei} \cdot \omega_i}{\eta_m \cdot \eta_{em}} - P_{pi} \right) dt + E_{i-1}, \quad (2)$$

где  $E_i$  – текущее значение энергии;  $E_{i-1}$  – значение энергии в предыдущий момент;  $dt$  – шаг времени;  $M_{ei}$  – момент на валу, создаваемый электродвигателем, либо прикладываемый к нему;  $\eta_m$  – КПД электродвигателя в тяговом режиме;  $\eta_{em}$  – КПД инвертора электродвигателя;  $P_{pi}$  – мощность, идущая на работу дополнительных потребителей энергии.

К дополнительным потребителям энергии отнесены электрооборудование ЭТС, оборудование, связанное с системой термостатирования батареи и питания климатической установки.

Момент на валу электродвигателя определяется из формулы (1) в зависимости от заданных условий движения и зависит от величины  $G_a$ , которая включает вес  $G_b$  батареи. Таким образом,

зависимость запаса хода ЭТС от емкости ТАБ (с учетом прямой зависимости массы от емкости) будет иметь вид, представленный на рис. 2.

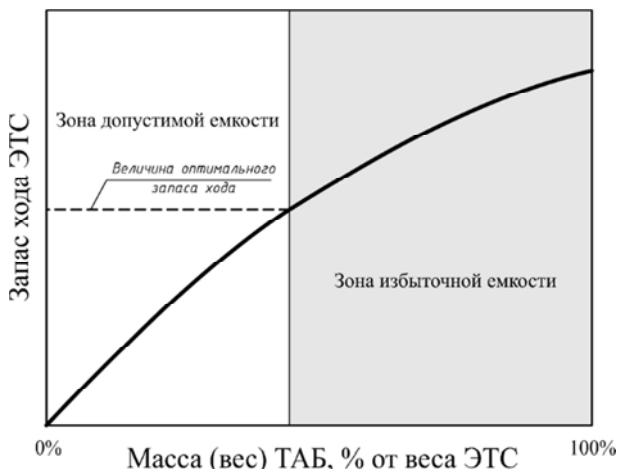


Рисунок 2 – Зависимость запаса хода ЭТС от емкости ТАБ

На рис. 2 отмечен уровень оптимального запаса хода, соответствующий искомой емкости ТАБ. Ее положение найдено как точка «А» заметного перегиба кривой, т. е. там, где характер зависимости начинает существенно отклоняться от линейного. Положение точки «А», главным образом, зависит от типа ТАБ, удельной мощности двигателя  $N_{уд}$  и условий эксплуатации ЭТС.

Удельная мощность двигателя  $N_{уд}$ , равная отношению мощности двигателя к массе ЭТС влияет, прежде всего, на его разгонные свойства и может быть ограничена условиями комфортного разгона  $1,0\text{--}1,2\text{ м/с}^2$  для городского транспорта и  $1,2\text{--}1,5\text{ м/с}^2$  – для пригородного и междугороднего.

Тип батареи характеризуется своим значением удельной емкости  $C_{уд}$ , которое определяется отношением емкости ТАБ к ее массе. Например, для литиевых батарей  $C_{уд} = 0,20\text{--}0,22\text{ кВт}\cdot\text{ч/кг}$ .

Найденное значение емкости для конкретного ЭТС, соответствующее точке «А» (рис. 2) по описанной методике следует считать предельной по условиям утяжеления ЭТС.

Для окончательного выбора типа и емкости ТАБ для заданного ЭТС не менее важно учитывать экономические показатели, на которые влияют срок службы (количество циклов заряда-разряда) и стоимость ТАБ, что требует дальнейших исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан, от 12.08.2021 г. № 513 : [сайт]. – URL: <https://www.lex.uz/uz/docs/5571952> (дата обращения: 01.09.2024).

2. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан, от 29.12.2020 г. № 812 : [сайт]. – URL: <https://www.lex.uz/uz/docs/5191107> (дата обращения: 01.09.2024).

3. Применение беспилотных электромобилей в современном мире / Т. С. Грининг [и др.] // Технологии будущего, 2020.

4. Смит, Дж. Инновационные технологии в автомобилестроении: перспективы развития беспилотных электромобилей / Дж. Смит. – Изд-во «АвтоМедиа», 2019.

5. Хантер, Р. Экологические аспекты использования беспилотных электромобилей / Р. Хантер // Экология и транспорт, 2018.

6. Ли, Ч. Перспективы применения беспилотных электромобилей в городском транспорте / Ч. Ли // Материалы конференции «Инновации в автомобилестроении», 2021.

7. Браун, А. Технологии беспилотных электромобилей: современное состояние и перспективы развития / А. Браун, С. Картер. – Изд-во «Автомобильный мир», 2017.

8. Паркер, М. Будущее автомобильной промышленности: роль беспилотных электромобилей / М. Паркер // Автоновости, 2020.

9. Литвинов, А. С. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. – М. : Машиностроение, 1989. –240 с.

Представлено 05.10.2024