

УДК 621.331

М.В. ЯРОСЛАВЦЕВ, к.т.н., ассоциированный профессор (доцент)

(Торайгыров Университет)

И.А. ХАЖИН, магистрант (Торайгыров Университет)

Д.Р. КОРАМБАЕВ, магистрант (Торайгыров Университет)

М.А. ДОБРЕНКО, магистрант (Торайгыров Университет)

г. Павлодар, Казахстан

## ВЛИЯНИЕ БОРТОВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЯГОВОГО АККУМУЛЯТОРА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

**Введение.** В настоящее время находят широкое распространение электромобили с литий-ионными аккумуляторами. Их применение обосновывается снижением вредных выбросов в атмосферу, что особенно актуально в условиях горного рельефа [1-3]. Так, примерно 27% выбросов парниковых газов производится транспортной отраслью, причем на долю транспортных средств приходится более 70% этих выбросов, согласно данным Европейского союза. Электромобили приобрели широкую популярность и признание в качестве решения этих проблем выбросов благодаря своей способности сокращать выбросы парниковых газов и решать проблемы глобального потепления.

Как правило, заряд аккумуляторов производится от городской сети. В то же время, рядом авторов предлагается прямое питание электромобилей от солнечных панелей, в том числе их установка на крышу. На практике такие решения применяются в первую очередь в рекреационных целях.

Несмотря на то, что солнечные панели, как правило, неспособны обеспечить полный заряд транспортного средства, их использование позволит не только сократить потребление энергии из сети, но и снизить глубину разряда аккумулятора, что позволит достичь повышения ресурса тяговой батареи [1-3]. Чтобы определить величину этого эффекта, для легкого туристического электромобиля полной массой 1 т был выполнен тяговый расчет при помощи имитационной модели, разработанной в Simulink.

**Расчет потребления энергии транспортным средством.** Для определения расхода энергии был рассмотрен маршрут, охватывающий основные достопримечательности города Алматы (рисунок 1). При моделировании движения транспортного средства учитывались подъемы, спуски и остановки на светофорах. Протяженность маршрута составляет 13 км, схема маршрута приведена на рисунке 1.

Вид модели, использованной для расчета, показан на рисунке 2. Расчет потребления энергии электромобилем выполнен по методике, описан-

ной в [4-7]. Исходной величиной являлась зависимость положения контроллера водителя от времени, задающая реализуемую тяговым электроприводом долю силы тяги в единицах от максимальной. Её значение изменилось от 1 до -1, что соответствует режимам тяги и торможения.

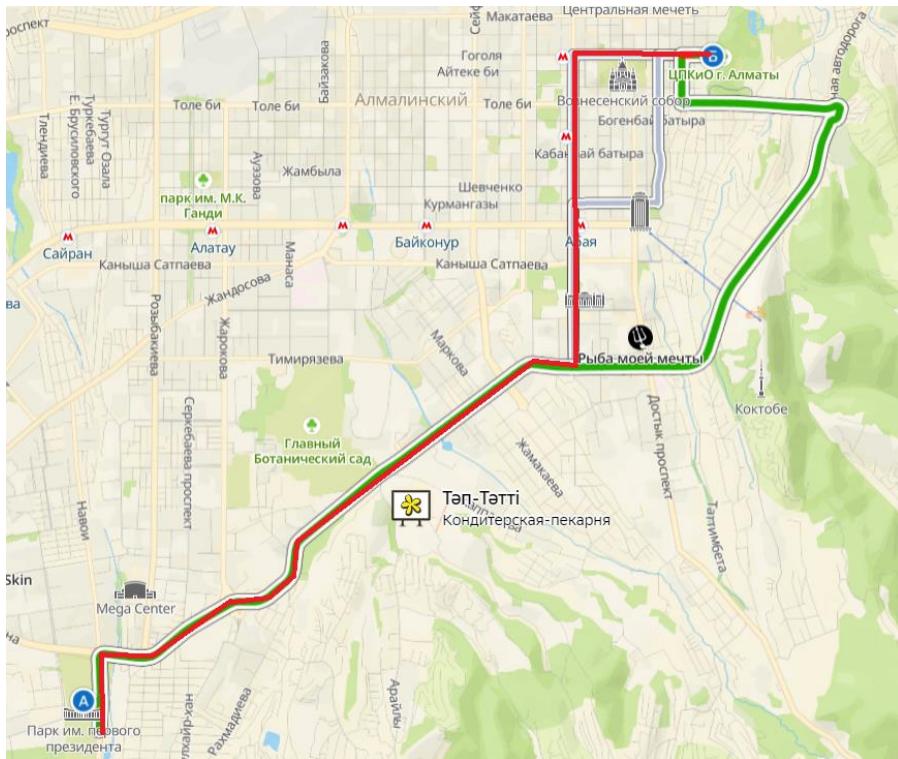


Рис. 1. Схема туристического маршрута

Полученные достаточно точные результаты применения метода главных компонент для расчета проектируемых электрических нагрузок говорят о возможности более точного проектирования электроснабжения чем по нормам СП, но в тоже время для этого необходимо иметь большое количество экспериментальных данных электрических нагрузок уже с эксплуатируемых домов. Одним из вариантов получения такой информации является применение в системах электроснабжении технологий Smart Grid.

Таким образом, решение упомянутых выше проблем по энергосбережению и повышению энергетической эффективности затрудняется наличием нормативных документов по проектированию системы электроснабжения, применение которых приводит к несоответствию расчетных и фактических данных в потреблении электроэнергии. Устранение указанных несоответствий возможно при использовании данных, полученных при использовании в системах электроснабжения технологий Smart Grid. Их применение будет способствовать повышению энергоэффективности систем электроснабжения и позволит сделать процесс передачи и потребления электрической энергии более устойчивым.

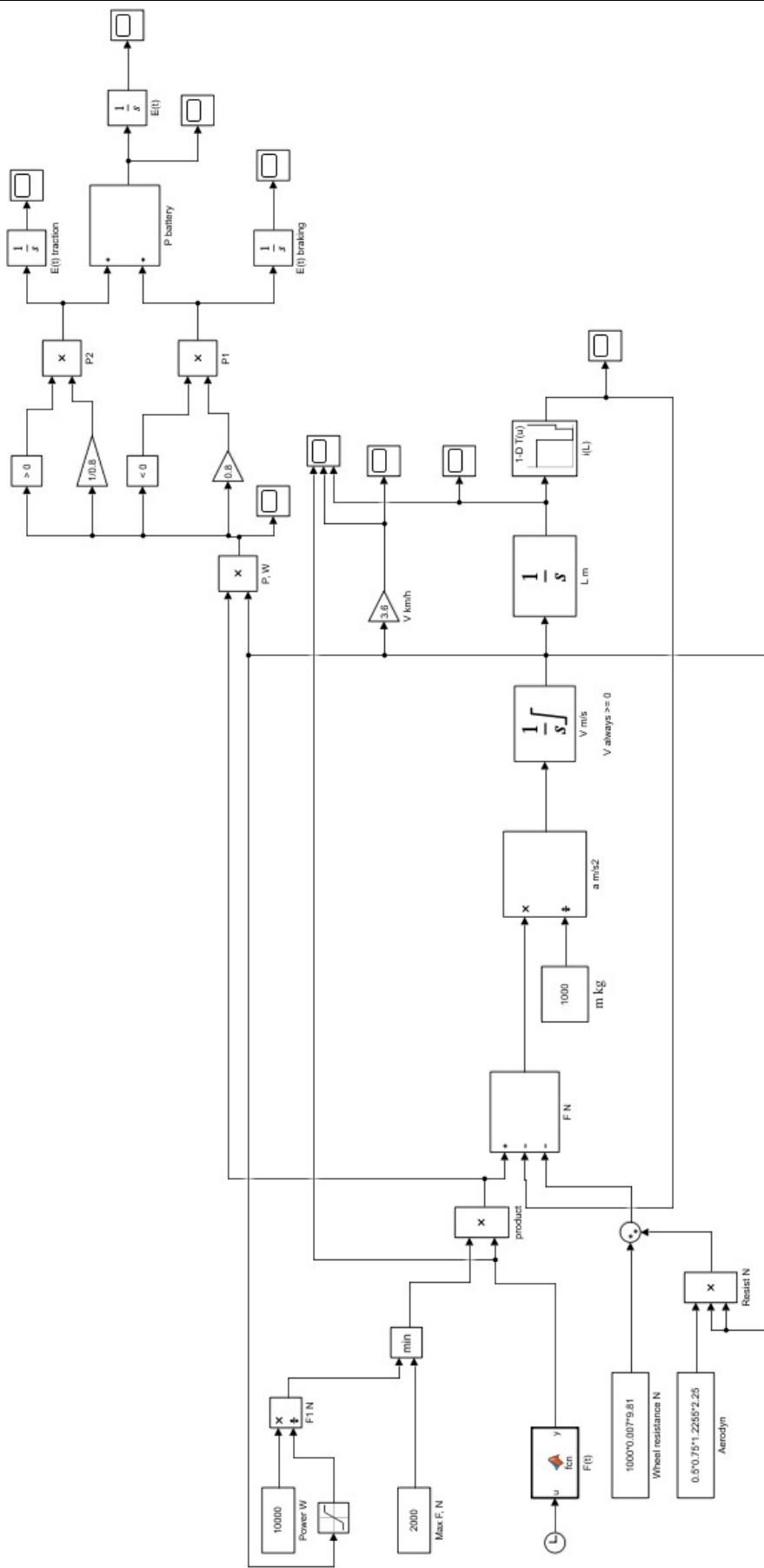


Рис. 2. Структура имитационной модели электромобиля

Сила сопротивления качению [4] была рассчитана по выражению (1).

$$F_w = f_{cp} \cdot G_a, \quad (1)$$

где  $f_{cp}$  – осреднённый коэффициент сопротивления качению;  $G_a$  – сила тяжести (вес) автомобиля.

Сила аэродинамического сопротивления была рассчитана по (2) [4].

$$F_a = 0,5 \cdot c_x \cdot \rho_e \cdot A_e \cdot V^2, \quad (2)$$

где  $c_x$  – коэффициент лобового сопротивления автомобиля;  $\rho_e$  – плотность воздуха;  $A_e = \alpha BH$  – площадь миделя;  $V$  – скорость;  $\alpha$  – коэффициент полноты сечения;  $B$  – ширина автомобиля;  $H$  – высота автомобиля [4].

Блок  $i(L)$  выдает значение силы сопротивления подъему в зависимости от расстояния. Данная сила была рассчитана по выражению (4).

$$F_i = G_a \cdot \sin \alpha, \quad (4)$$

где  $G_a$  – сила тяжести (вес) автомобиля,  $\alpha$  – угол подъема [4].

Рассчитанное мгновенное значение действующей силы делится на массу для получения ускорения, полученное ускорение дважды интегрируется для расчета скорости и пройденного расстояния.

Потребляемая тяговой батареей мощность определяется по мощности тягового привода с учетом кпд накопителя энергии [5-7]. При наборе скорости, т.е.  $P > 0$  происходит потребление энергии, а при торможении, т.е.  $P < 0$ , происходит её накопление. Интегрированием мощности по времени был определен расход энергии.

**Результаты моделирования.** Расчетная кривая движения транспортного средства показана на рисунке 3. При времени хода, равном 1650 с, расход энергии составил 8,7 МДж (2,4 кВт·ч). Доля энергии, возвращаемая в тяговую батарею, для выбранного маршрута составила 23%.

При площади поверхности крыши 3 м<sup>2</sup> и средней мощности горизонтально расположенных солнечных панелей 0,2 кВт/м<sup>2</sup> в дневное время оказывается возможным покрыть до 25% потребления энергии электромобиля за счет солнечных батарей. Как показано в [8], снижение глубины разряда аккумулятора на 25% позволит увеличить объем энергии, перерабатываемой в течение срока службы аккумуляторной батареи, на 25 – 50%, что эквивалентно увеличению срока службы батареи на 65 – 100%. Таким образом, становится возможным повысить ресурс тяговой батареи с 4000 до 6500 – 8000 рейсов.

Поскольку тяговая аккумуляторная батарея является одним из наиболее дорогостоящих узлов электромобиля и необходимость её периодической замены существенно влияет на стоимость владения, применение солнечных панелей способно дать значительный экономический эффект.

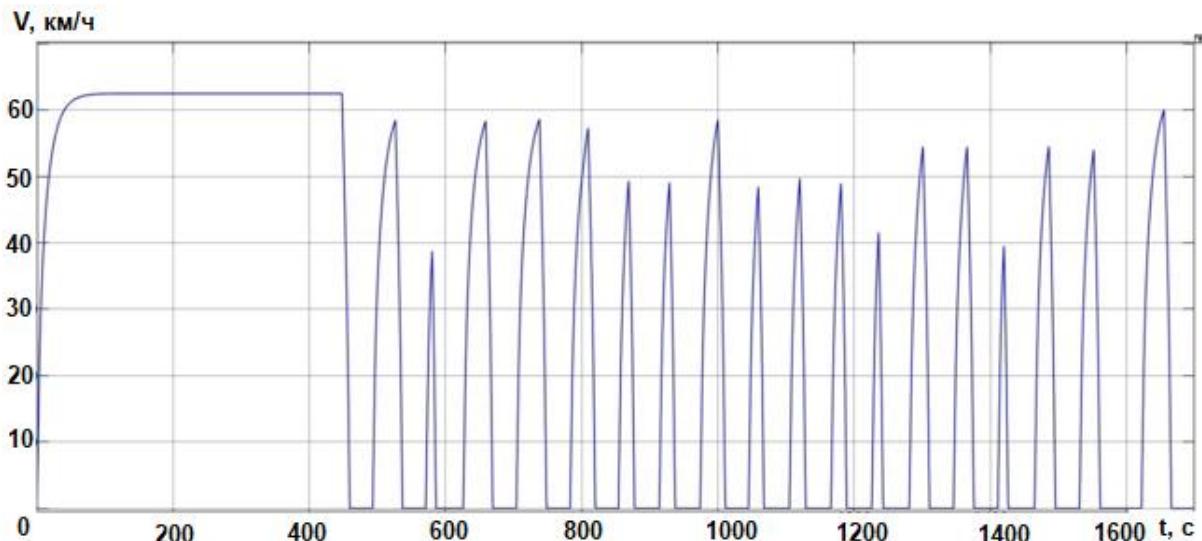


Рис. 3. График зависимости скорости от времени

#### Список литературы:

1. Lipu, M.S.H., Miah, M.S., Jamal, T., et al. Artificial Intelligence Approaches for Advanced Battery Management System in Electric Vehicle Applications: A Statistical Analysis towards Future Research Opportunities // Vehicles. - 2024. – Vol. 6. – pp. 22-70. – DOI: 10.3390/vehicles6010002.
2. Saiteja, P., Ashok, B., Upadhyay, D. Evaluation of Electric Vehicle Performance Characteristics for Adaptive Supervisory Self-Learning-Based SR Motor Energy Management Controller under Real-Time Driving Conditions // Vehicles. – 2024. – Vol. 6. – pp. 509-538. – DOI: 10.3390/vehicles6010023
3. Оспанбеков, Б. К. Повышение энергетической эффективности и эксплуатационных показателей электромобилей: дисс. ... к. т. н., специальность 05.09.03 – Электротехническое комплексы и системы. – ФГБОУ ВО «Российский университет транспорта», 2017. – 170 с. – EDN: VXZUOH.
4. Кравец, В. Н. Теория автомобиля: учебник. – 2-е изд., переработ. – Нижний Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева, 2013. – 423 с. – EDN: QLUZKD.
5. Yaroslavtsev, M. V., Schurov, N. I., Belova, E. A. Assessment Of Performance Factors Of Hybrid Electric Vehicle Powertrain // Applied Mechanics and Materials. – 2014. – Vol. 698. – pp. 7-11. – EDN: TZGZMR.
6. Ярославцев, М. В. Выбор основных параметров тягового привода гибридного транспортного средства // Электротехника. Энергетика. Ма-

шиностроение: сб. науч. тр. I Международной научной конференции молодых ученых. – Новосибирск, 2014. – сс. 290-293. – EDN: TXILTT.

7. Щуров, Н. И., Ярославцев, М. В. Эффективное использование энергии буферного накопителя гибридного транспортного средства // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: Сб. тр. V Междунар. науч.-практич. конф. – Томск, 2014. – сс. 312-315. – EDN: SRKISD.

8. Азаматов, М. Т., Ярославцев, М. В. Определение ресурса аккумуляторной батареи по распределению энергии циклов заряда-разряда // Энергостарт: Материалы VI Международной молодежной научно-практической конференции в рамках Десятилетия науки и технологий в Российской Федерации. – Кемерово, 2023. – С. 401-1. – EDN: NBILDC.

**Информация об авторе:**

Ярославцев Михаил Викторович, к.т.н., ассоциированный профессор (доцент), НАО «Торайғыров Университет», Казахстан, 140000, г. Павлодар, ул. Ломова, д. 64, myaroslav54@gmail.com

Хажин Ильгиз Азаматович, магистрант, НАО «Торайғыров Университет», Казахстан, 140000, г. Павлодар, ул. Ломова, д. 64.

Корамбаев Данат Рустемович, магистрант, НАО «Торайғыров Университет», Казахстан, 140000, г. Павлодар, ул. Ломова, д. 64.

Добренко Максим Александрович, магистрант, НАО «Торайғыров Университет», Казахстан, 140000, г. Павлодар, ул. Ломова, д. 64.