

УДК 621.311.001.57

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Голубчик Т.В.

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Москва, Россия (125319, Москва, Ленинградский проспект, 64) tvgolubchik@mail.ru

Многие страны на сегодняшний день направлены на решение будущих потребностей в энергии. В быстро растущем и меняющемся мире, достижение устойчивого развития транспорта стало жизненно важной миссией. Электромобили (ЭМ) представляют собой один из наиболее перспективных путей к увеличению энергетической безопасности и сокращению выбросов парниковых газов и других загрязняющих веществ. В статье рассматриваются методы оптимизации применения электротранспорта. За основу был выбран общественный транспорт, который является наиболее удобной площадкой для апробации новых технологий. Применение методов математического моделирования в среде MatLab, позволяет просчитать энергетический баланс аккумуляторной батареи и проанализировать возможность применения в реальных условиях. Экспериментально были определены ездовые циклы и по их результатам осуществлено моделирование движения электробуса в условиях приближенным к реальным.

Ключевые слова: электромобиль, аккумуляторная батарея, электрификация, зарядная инфраструктура, моделирование, цикл движения.

DETERMINE THE CHARACTERISTICS OF CHARGING STATIONS FOR ELECTRIC VEHICLE

Golubchik T.V.

"Moscow State Automobile and Road Technical University (MADI)", Moscow, Russia (125319Moscow,Leningrad Prospect, 64,) tvgolubchik@mail.ru

Nowadays many countries had taken course on development of future needs of electric energy. In fast developing and changing world, an achievement of sustainable transport has become vitally important mission. Electric vehicles is one of the most perspective ways to increasing of electric safety and reductions of greenhouse (GHG) emissions and other pollutions. The article discusses optimization methods of usage electric vehicles. The basis was chosen public transport, which is the most convenient platform for testing new technologies. The application of methods of mathematical modeling in MatLab, allows to calculate the energy balance of the battery and to analyze the possibility of applying in the real conditions. Driving cycles had been determined experimentally and on their results were performed modeling of driving of electric bus in conditions close to the real.

Keywords: electric vehicle, battery, electrification, charging infrastructure, modeling, driving cycle.

Многие страны на сегодняшний день направлены на решение будущих потребностей в энергии, в быстро растущем и меняющемся мире, достижение устойчивого развития транспорта стало жизненно важной миссией. Электромобили (ЭМ) представляют собой один из наиболее перспективных путей к увеличению энергетической безопасности и сокращению выбросов парниковых газов и других загрязняющих веществ. Электромобиль помогает диверсификации топливного баланса, снижая зависимость от нефти, путем подключения к источнику электроэнергии, которая в большинстве случаев внутри страны относительно недорога. При этом у электромобиля есть потенциал для развития инноваций и создания новых высокотехнологичных отраслей, которые будут стимулировать рост рабочих мест и

повышает экономику. В долгосрочной перспективе электромобили важны для стран, стремящихся к уменьшению уровня выбросов углеводородов от наземного транспорта.

Несмотря на успехи, которые были достигнуты за последнее время, одной из основных проблем массового использования электромобилей, является недостаточно развитая зарядная инфраструктура. Проблема развития инфраструктуры скорее экономическая, чем технологическая. Пока нет большого парка потребителей услуг зарядки (количество электромобилей в эксплуатации), инвесторы не хотят вкладывать средства, поэтому объем продаж электромобилей растет медленнее из-за отсутствия инфраструктуры. [1]

В 2013 году был разработан пилотный проект «Электротранспорт», который предусматривает внедрение и эксплуатацию современного колесного электротранспорта российского производства, оснащенного современными накопителями электрической энергии, при разработке которых использовались современные инновационные разработки [2]. Для оптимизации проекта необходим анализ энергетических показателей электротранспортного средства, который позволит минимизировать расходы по подбору компонентов зарядной инфраструктуры.

Методология исследования

Исследование энергетических показателей электромобиля выполнялось при помощи математического модели электромобиля. Функциональная схема представлена на рисунке 1.

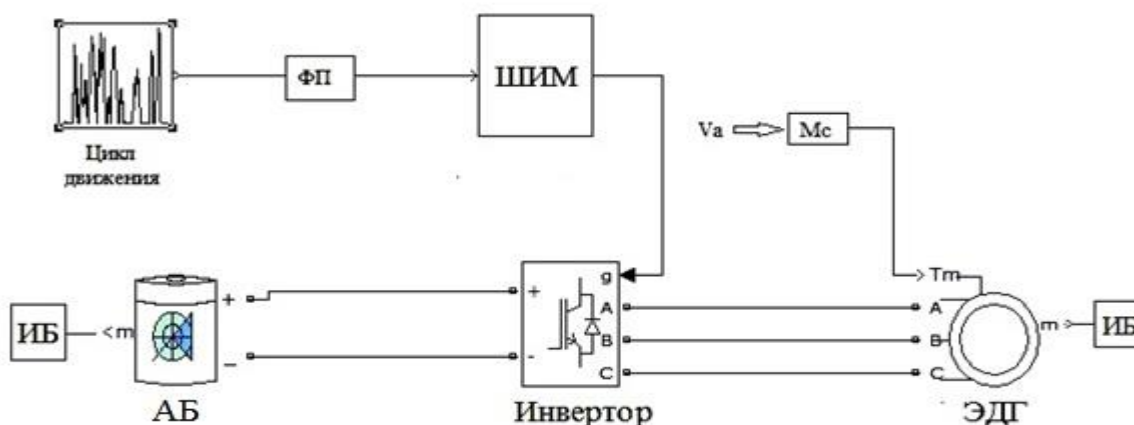


Рис. 1. Функциональная схема системы тягового электрооборудования электромобиля[3]

В состав системных продуктов входит система моделирования динамических процессов SIMULINK. С помощью этой подсистемы возможно объединение блоков, соответствующих отдельным элементам динамической системы в единое целое и изучение их поведения во времени.

Модель содержит: модель асинхронной электрической машины (АМ); модель силового преобразователя напряжения (инвертор на IGBT элементах); модель тяговой аккумуляторной

батареи (АБ); блок задания цикла движения АТС; систему управления инвертором, включающую формирователь управляющего сигнала – функциональный преобразователь (ФП) и блок широтно-импульсной модуляции (ШИМ); блок вычисления момента сопротивления (M_c) на валу электродвигателя-генератора в зависимости от характеристик и скорости движения транспортного средства (V_a); блоки обмена данными и измерительные блоки параметров АМ (ИБ);

Основными исходными данными для модели электромобиля являются: технические характеристики транспортного средства, в том числе масса, радиус колеса, площадь фронтальной проекции, коэффициент сопротивления качению, аэродинамический коэффициент, КПД и общее передаточное число механической трансмиссии (ЭДГ - колеса), приведенный к валу ЭДГ момент инерции АТС; параметры схемы замещения АМ; характеристики аккумуляторной батареи (тип, номинальное напряжение, зарядно-разрядные характеристики, КПД при заряде и разряде); стандартизированный ездовой цикл для движения в городских условиях, а также экспериментально измеренный цикл по маршрутам движения электромобиля.

В качестве ЭДГ в предлагаемой модели рассматривается асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором.

Характеристики математической модели подбирались на основе реальных параметров электробуса ЛиАЗ 6274 [4]

| Параметр | Обозначение | Ед. измерения |
|---|-------------|-----------------|
| Масса АТС, кг | m_a | 15000 |
| Площадь фронтальной проекции АТС, м ² | S_a | 8,05 |
| Коэффициент аэродинамического сопротивления, о.е. | c_x | 0,65 |
| Динамический радиус колеса АТС, м | r_k | 0,958 |
| КПД редуктора, о.е | η_{MT} | 0,98 |
| Передаточное число трансмиссии (между валом электродвигателя и ведущими колесами $i=i_{ГП} \cdot i_{КП}$), о.е | i | 12,67 |
| Передаточное число главной передачи, о.е. | $i_{ГП}$ | 6,21 |
| Передаточное число промежуточного редуктора | $i_{ПР}$ | 2,04 |
| Коэффициент сопротивления качению | f | 0,01 |
| Скорость движения АТС | V_a | Задается циклом |
| Ускорение (замедление) АТС при движении | a | Задается циклом |
| Угол уклона дороги, градус | A | 0 |
| Плотность воздуха кг/м ³ | ρ | 1,19...1,202 |
| Ускорение свободного падения, м/с ² | g | 9,81 |

К одним из основных параметров, определяющих тягово-энергетические характеристики электромобиля можно отнести:

- требуемое тяговое усилие и момент на ведущих колесах транспортного средства;
- частота вращения ведущих колес;

- требуемые момент и частота вращения на валу электромобиля;
- момент сопротивления на валу тягового электродвигателя.

Для повышения эффективности работы транспортного средства необходимо руководствоваться его экономическими параметрами. Основным параметром является вес автомобиля, а в случае электромобиля это именно вес тяговой аккумуляторной батареи (ТАБ). Моделирование движения электромобиля дает возможность, помимо определения параметров системы тягового электрооборудования, воссоздать основные энергетические показатели различных условий движения транспортного средства и сформировать требования к характеристикам зарядного устройства, расчет показателей ЭМ в характерных условиях движения (городской цикл) позволит оценить влияние различных режимов его работы на энергетические показатели батареи.

Исходные данные

Моделирование движения ЭМ проводилось по одному стандартизированному и четырем экспериментально полученным циклам, которые входят в состав пилотного проекта «Электротранспорт» [2].

Был выбран цикл движения NYCC, рисунок 2, поскольку он приближен к реальным условиям городского движения.

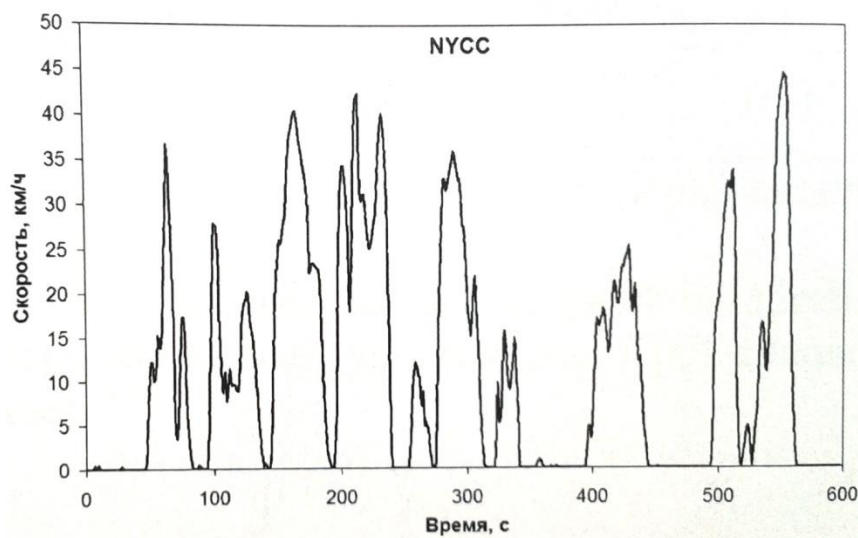


Рис. 2. График цикла NYCC

Данный цикл не является стандартизированным и по причине недостаточного количества времени, не является подходящим, для расчета энергетических показателей ТАБ Электробуса.

По этой причине были определены маршруты, подходящие для определения циклов, которые по своей длительности способны удовлетворить требования для проведению расчетов и последующего сопоставления результатов.

Измерения циклов проводились с помощью программы «Speedview» [5]. Функциональные возможности данной программы включают: возможность измерения ускорения и замедления АТС; измерение пройденной дистанции; фиксирование местоположения с дискретностью каждые 2 секунды. Параметры циклов движения представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры контрольных циклов и движения ЭМ

| Параметр | Контрольный цикл | | | | |
|---|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | NYCC | Маршрут 1 | Маршрут 2 | Маршрут 3 | Маршрут 4 |
| Средняя скорость движения | 11,4 | 21,52509 | 23,36694 | 25,5804 | 27,3314 |
| Максимальная скорость в цикле | 45 | 49,5 | 80,1 | 61,2 | 64,8 |
| Продолжительность в цикле | 598 | 1611 | 2199 | 2076 | 1752 |
| Общая продолжительность холостого хода (стоянок) в цикле, с | 197 | 400 | 534 | 498 | 445 |
| Относительное время стоянок в общем времени цикла | 33 | 40 | 41 | 42 | 40 |
| Пробег в цикле, м | 1898 | 7500 | 9900 | 10400 | 9900 |

Исходными данными для модели батареи накопителей энергии служат характеристики литий-ионной аккумуляторной батареи, установленной на электробусе ЛИАЗ 6274. Номинальное напряжение составляет 400В, номинальный ток заряда 350А, номинальная емкость 700 А·ч (C_{20})

Реализованная математическая модель позволяет проводить расчет движения ЭМ по заданному контрольному циклу, что дает возможность:

- определять основные энергетические показатели движения транспортного средства;
- проводить анализ выбранного типа и мощности ТАБ, а также степени заряженности,

на основе которой возможно определять характеристики зарядной станции.

В ходе моделирования движения электромобиля на базе электробуса ЛИАЗ 6274 определялись следующие показатели работы:

V_a – фактическая скорость движения электромобиля, км/ч;

L – пройденный путь, м;

$M_{эм}$ – электромагнитный момент ЭДГ, Н·м;

I_b – ток АБ, А;

U_b – напряжение АБ, В;

P_b – мощность разряда АБ, кВт;

W_1 – потребленная электрическая энергия ЭДГ, Вт·ч;

ε – степень заряженности

Энергия, отданная батареей:

$$W_p = \frac{1}{\eta_{БНЭ.Р}} \cdot \int_{t_1}^{t_2} P_p \cdot dt, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Получаемые расчетные данные представляются в виде временных зависимостей, мгновенные значения которых определяются с заданной дискретностью на каждом шаге моделирования.

Графики мгновенных значений, изображенные на Рисунках 3,4,5, показывают зависимости изменения силы тока от нагрузочных моментов. На основе мгновенных значений силы тока и напряжения были определены значения мощности. Методом интегрирования мощности были получены значения энергии. Данные значения являются основными для расчета характеристики зарядной станции. Кроме данных зависимостей определены основные тягово-энергетические показатели аккумуляторной батареи электробуса ЛИАЗ 6274.

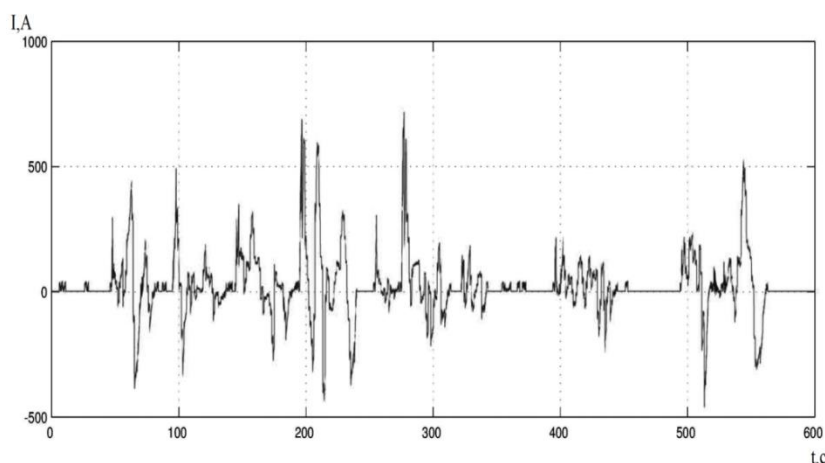


Рис. 3. Зависимость мгновенных значений тока в цикле NYCC

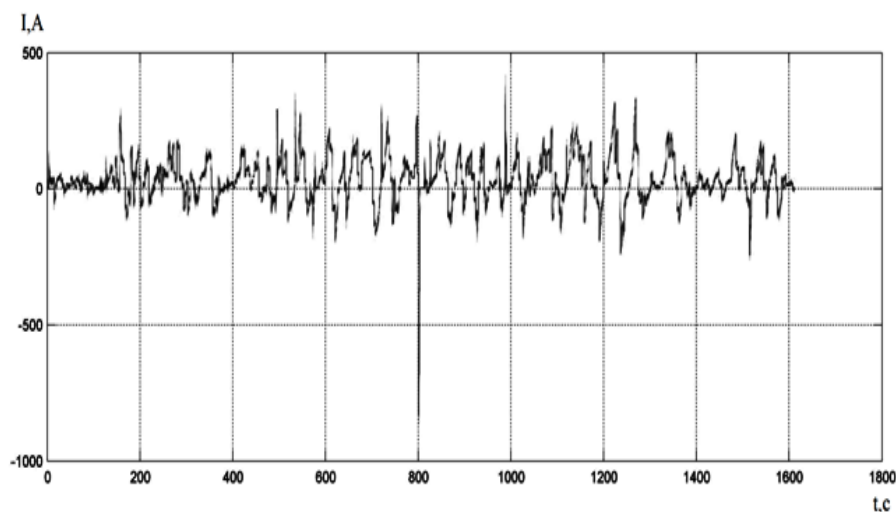


Рис. 4. Зависимость мгновенных значений тока в цикле «Маршрут №1»

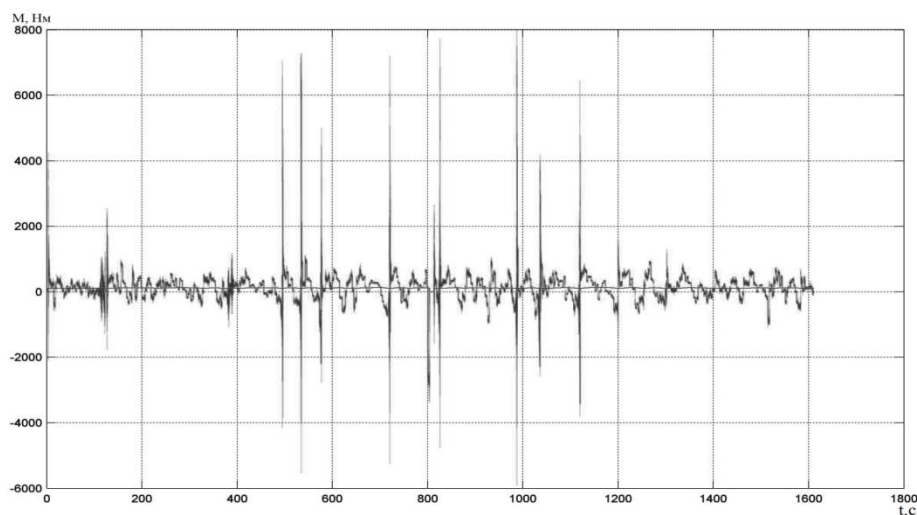


Рис.5. Зависимость мгновенных значений крутящего момента электродвигателя в цикле «Маршрут №1»

Таблица 2

Расчетные характеристики электробуса в цикле NYCC

| Время, с | Электрическая энергия без рекуперации, кВт·ч | Степень заряженности, % | Энергия батареи, кВт·ч | Энергия Рекуперации, кВт·ч |
|----------|--|-------------------------|------------------------|----------------------------|
| 1,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 | 0,00 |
| 10,00 | 0,01 | 100,00 | 0,02 | 0,00 |
| 100,00 | 0,75 | 99,90 | 0,79 | -0,32 |
| 200,00 | 1,93 | 99,75 | 2,01 | -0,80 |
| 300,00 | 3,37 | 99,61 | 3,48 | -1,62 |
| 400,00 | 3,68 | 99,58 | 3,83 | -1,81 |
| 500,00 | 4,17 | 99,51 | 4,36 | -1,99 |
| 600,00 | 5,08 | 99,43 | 5,31 | -2,59 |

Таблица 3

Расчетные характеристики электробуса в цикле Маршрут №1

| Время,с | Электрическая энергия без рекуперации,кВт·ч | Степень заряженности, % | Энергия батареи, кВт·ч | Энергия Рекуперации, кВт·ч |
|---------|---|-------------------------|------------------------|----------------------------|
| 1,00 | 0,00 | 100,00 | 0,00 | 0,00 |
| 10,00 | 0,05 | 99,99 | 0,05 | 0,00 |
| 50,00 | 0,21 | 99,97 | 0,23 | -0,07 |
| 500,00 | 3,80 | 99,42 | 3,97 | -1,15 |
| 1000,00 | 8,94 | 98,75 | 9,29 | -3,30 |
| 1500,00 | 13,98 | 97,99 | 14,49 | -4,98 |
| 1600,00 | 14,66 | 97,92 | 15,20 | -5,35 |
| 1611,00 | 14,70 | 97,91 | 15,24 | -5,36 |

Моделирование проводилось для двух значений номинальной емкости. Первое значение реальной ТАБ электробуса, второе составляет 400А·ч. Снижение номинальной емкости,

позволит сделать анализ автономии электробуса при снижении его веса, а также позволит снизить стоимость ТАБ.

Заключение

Полученные характеристики являются рекомендациями для определения характеристик зарядной станции. Согласно этим характеристикам возможны различные конфигурации тока зарядки. Основным показателем зарядной станции является мощность, которую должна восполнить зарядная станция аккумуляторной батареи за время зарядки электротранспорта. Значения емкости, помогут определить оптимальный ток заряда. При отсутствии рекуперации установка станций быстрой зарядки является обязательным, так как на втором маршруте емкости аккумуляторной батареи будет не достаточно.

Список литературы

1. GlobalEVoutlook// Understanding the electric vehicle landscape to 2020// April 2013, International Energy Agency [Электронный ресурс] URL: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/global-ev-outlook.html>
2. Техническое задание на разработку проектной документации по проекту «Электротранспорт»/Договор №0025/001-S//Горбачев Д.И./ 2012
3. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в Matlab 6.0: Учебное пособие. – СПб.:КОРОНА принт, 2001. – 320 с.
4. Электробус большого класса Лиаз 6274 [Электронный ресурс] URL: <http://liotech.ru/liaz>
5. Speedview Version 3.2.0. Android app [электронный ресурс]. URL: <http://blog.codesector.com/2010/08/21/speedview-free-2-1/>
6. Сурин, Е.И. Энергетическая эффективность электромобилей и гибридных автомобилей / Е.И.Сурин, Т.В.Голубчик // Электроника и электрооборудование транспорта. 2006. № 6. С. 3-5.
7. Сидоров, К.М. Индивидуальный электропривод ведущих колес транспортного средства. Результаты разработки и стендовых испытаний / К.М. Сидоров, В.Е. Ютт, Т.В. Голубчик // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2013. № 1. С. 13а-20.
8. Ютт, В.Е. Перспективные направления развития зарядных станций для электромобилей / В.Е. Ютт, Б.К. Оспанбеков // Электроника и электрооборудование транспорта. 2013. № 6. С. 10-12.

Рецензенты:

Сидоров Б.Н., д.т.н. профессор, профессор кафедры «Электротехника и электрооборудование», ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Москва.

Марсов В.И., д.т.н., профессор, профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», ФГБОУ ВПО ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г. Москва.