

б. А. с. 1036975 СССР, МКИ F 16 F 11/00. Гидравлический демпфер / И. К. Чирков, С. С. Грибов, И. Ф. Бубнов, М. Б. Липкин; Могилевский ПКТИ СТО АиМ. – № 3432788/25-28; заявл. 06.05.82; опубл. 23.08.83, Бюл. № 31.

Представлено 01.04.2020

УДК 629.03

**ВЕРИФИКАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ЛЕГКОВОГО
ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ НА ОСНОВАНИИ РАСЧЕТА
ТЯГОВО-СКОРОСТНЫХ СВОЙСТВ**
COMPUTER MODEL VERIFICATION FOR PASSENGER
ELECTRIC VEHICLE BASED ON THE TRACTION
AND SPEED PROPERTIES CALCULATION

А.Г. Выгонный, канд. техн. наук, **Александр.Л. Кравченко**,
Алексей.Л. Кравченко,

ГНУ «Объединенный институт машиностроения Национальной
академии наук Беларуси», г. Минск, Беларусь

A.Vigonny, Ph.D. in Engineering, Al-dr Krauchonak,
Al-ei Krauchonak,

State Scientific Institution "Joint Institute of Mechanical Engineering
of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, Belarus

На основе анализа параметров легковых электромобилей аналогов и результатов аналитического расчета тягово-скоростных свойств исследуемого легкового электромобиля проведена верификация ее компьютерной динамической модели, разработанной в среде моделирования ADAMS.

Verification of the computer dynamic model based on an analysis of the parameters of the similar passenger electric car and the results of an analytical calculation of the tractive and speed properties of the passenger electric car under research was carried out.

Ключевые слова: электромобиль, динамическая модель, компьютерное моделирование тягово-скоростные свойства, ADAMS.

Key words: electric vehicle, dynamic model, computer simulation, tractive and speed properties, ADAMS.

ВВЕДЕНИЕ

По сравнению с работающим на традиционных видах топлива, электрический транспорт обладает преимуществом в плане экологичности, сравнительной надежности и долговечности, затрат на эксплуатационные расходы. Мировым трендом является применение электрического тягового привода на транспортных средствах малого класса, используемых для пассажирских и грузовых перевозок в городских условиях. В Беларуси также актуально стоит задача разработки отечественного электротранспорта и компонентной базы силового электропривода. Для успешной реализации данных разработок необходимо сформировать соответствующую современную методологию проектирования, основывающуюся на применении эффективных компьютерных методов и средств.

Поэтому, необходимо разработать методическое обеспечение по расчетному определению характеристик электромобилей и его систем на стадии проектирования с применением современных методов численного моделирования.

На начальной стадии разработки электромобиля следует определить некоторые общепринятые показатели (свойства) транспортного средства, такие как маневренность, устойчивость, динамичность и т.д. С этой целью необходимо разработать компьютерную динамическую модель электромобиля, включающую описание характеристик основных систем и агрегатов, провести виртуальные испытания по определенному циклу. При этом для обеспечения достоверности результатов расчетов такая расчетная модель на начальной стадии должна быть верифицирована. В этих целях предлагается использовать имеющиеся в открытом доступе данные по техническим и эксплуатационным характеристикам выпущенных и разрабатываемых электромобилей.

Объектом исследований является легковой электромобиль с колесной формулой 4x2 и технически допустимой общей массой 1140 кг.

ОБЗОР И АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ АНАЛОГОВ ЛЕГКОВЫХ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

Проведен анализ характеристик легковых электромобилей, разрабатываемых или выпускаемых ведущими мировыми производителями.

Исследуемый сегмент включал автомобили снаряженной массой от 1 до 1,5 тонн. Результаты анализа сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Сводные технические характеристики легковых электромобилей

Модель электро-мобилia	Масса, т	Мощность двигателя Ne, кВт	Емкость батареи, кВт*ч	Макс. скорость V, км/ч	Разгон до 100 км/ч, сек
Chevrolet Spark EV	1.37	104	19	145	7.4
Mitsubishi i-Miev	1.1	49	16	130	15.9
Skoda Citigo iV	1.2	61	36.8	130	12.5
Fiat 500e	1.35	83	24	140	9.1
Smart Eq	1.2	60	17.6	130	12.7
Peugeot iOn	1.2	48	16	130	15.9
BVW i3 2019	1.27	125	44.2	150	7.3
Citroen Berlingo Electric	1.39	49	22.5	110	18.7

Графики зависимостей мощности двигателя, емкости батареи и максимальной скорости от массы электромобилia показаны на рисунке 1.

Анализ показывает, что в современных легковых электромобилiaх массой от 1,0 до 1,5 тонн используют двигатели мощностью от 48 до 125 кВт (от 35 до 98 кВт/т), батареи емкостью от 16 до 44 кВт*ч, а максимальная скорость при этом варьируется от 110 до 150 км/ч.

РАСЧЕТ ТЯГОВО-СКОРОСТНЫХ СВОЙСТВ

Расчет тягово-скоростных характеристик для легкового электромобилia проводился по методике [1]. Перечень исходных данных, используемых в расчете, представлен в таблице 2.

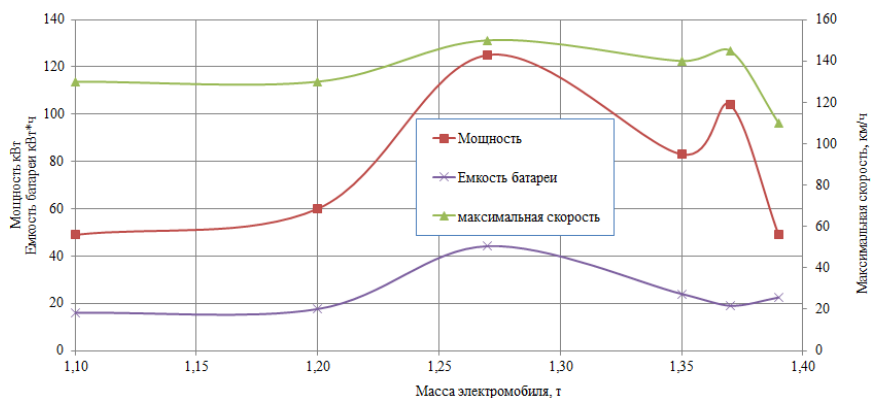


Рисунок 1 – Графики зависимостей мощности двигателя, емкости батареи и максимальной скорости от массы электромобиля

Таблица 2 – Исходные данные автомобиля

Наименование параметра, единицы измерения	Значение
Полная масса, кг	1140
Габаритные размеры, м	3700x1700x1410
Максимальная скорость, км/ч	120
Радиус колеса, м	0,302
Коэффициент сцепления	0,8
КПД трансмиссии	0,97

Определенному выше диапазону удельной мощности рассматриваемых электромобилей соответствует электродвигатель BOSCH SMG180 номинальной мощностью 60 кВт. На рисунке 2 представлена его теоретическая характеристика. Таким образом, проведем расчетную оценку характеристик электромобиля, приводимого в движение данным электродвигателем.

В результате аналитических расчетов по методике [1] получены следующие характеристики: тяговая, мощностная, динамическая, ускорения, а также рассчитаны время и путь при разгоне. Итоговые значения тягового расчета приведены в таблице 3.

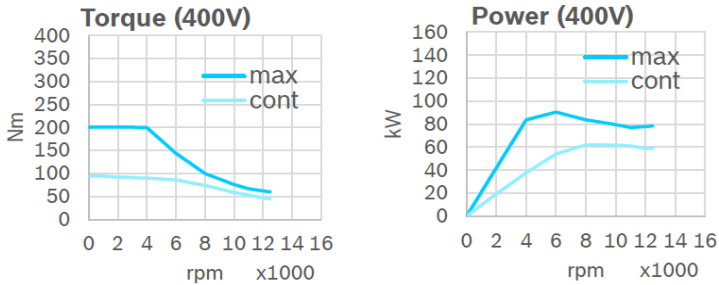


Рисунок 2 – Теоретическая характеристика тягового электродвигателя номинальной мощностью 60 кВт [2]

Таблица 3 – Итоговые значения аналитического тягового расчета

Наименование параметра, единицы измерения	Значение
Максимальное ускорение, м/с ²	2,7
Путь разгона до 100 км/ч, м	205
Время разгона до 100 км/ч, с	13,1

МОДЕЛИРОВАНИЕ В СРЕДЕ ADAMS

Разработка динамической компьютерной модели электромобиля выполнена в среде моделирования Adams Car. Модель учитывает распределение массо-инерционных характеристик, переходные процессы в нелинейных системах (шина, подвеска), имеется возможность автоматизации и оптимизации расчетов.

Массы основных узлов электромобиля имеют следующие значения:

- рама с кузовом и вспомогательными элементами – 913 кг;
- мост передний с подвеской – 74 кг;
- мост задний с подвеской – 32 кг;
- силовая установка – 30 кг;
- рулевое управление (в сборе) – 13 кг;
- колеса (4 шт.) – 80 кг.

Разработанная динамическая модель исследуемого легкового электромобиля приведена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Динамическая модель исследуемого легкового электромобиля в программе Adams Car

Для определения времени разгона использован стандартный для Adams Car тест Full-Vehicle Analysis Acceleration [3], в котором были заданы такие параметры как: начальная скорость, положение педали газа, продолжительность маневра.

В результате моделирования получен график зависимости скорости электромобиля от времени. Сравнения полученных скоростных характеристик «разгона» для традиционного аналитического тягового расчета и результатов компьютерного моделирования в Adams Car показаны на рисунке 4 и таблице 4.

Таблица 4 – Сравнение результатов тягового расчета

Время разгона, сек	Скорость, км/ч					
	10	30	50	70	100	120
Аналитический расчет	1,04	3,17	5,39	7,86	13,14	18,86
Моделирование в ADAMS	1,12	3,41	5,82	8,44	14,24	20,7
Разница, %	8	7,7	8	7,4	8,4	9,73

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализированы основные технические характеристики легковых электромобилей допустимой общей массой 1–1,5 т. На первоначальном этапе проектирования эта информация используется для верификации расчетной модели электромобиля аналогичного класса.

Для расчетной оценки тягово-скоростных свойств в программной среде Adams Car разработана компьютерная динамическая модель исследуемого легкового электромобиля допустимой общей массой 1140 кг. Данная модель позволяет проводить полный комплекс вир-

туальных испытаний по оценке показателей устойчивости, управляемости и плавности хода, а также анализ силовой нагруженности узлов и агрегатов электромобиля.

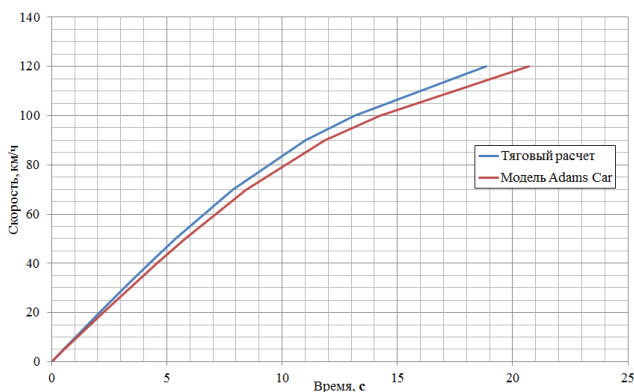


Рисунок 4 – Скоростные характеристики «разгона»

Проведена верификация компьютерной динамической модели по полученным данным оценки показателей скоростной характеристики «разгон». Отличия результатов аналитического расчета и компьютерного моделирования не превышают 10 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руктешель О.С. Выбор параметров и оценка тягово-скоростных и топливно-экономических свойств автомобиля. Учебно-методическое пособие. – Минск: БНТУ, 2015. – 78с
2. Presentazione standard di PowerPoint - 2019_10_30_Denmark_TechDay_Billund_ELMO_Customer.pdf [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dc-dk.resource.bosch.com/media/dk/documents_6/2019_12/techday/presentations_1/ma_7/2019_10_30_Denmark_TechDay_Billund_ELMO_Customer.pdf – Дата доступа: 11.02.2020.
3. Full-Vehicle Analysis: Acceleration [Электронный ресурс]. – Режим доступа: file:///C:/MSC.Software/Adams/2017/help/wwhelp/wwhimpl/js/html/wwhelp.htm#href=adams_car/dialogboxes/dbox_ana_full_acc_sub.html - Дата доступа: 15.04.2020.

Представлено 14.05.2020