

**С.Г. БУРЯКОВСКИЙ**, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»;  
**И.В. ЯЛОВОЛ**, аспирант, НТУ «ХПИ»;  
**О.Ю. ТКАЧЕВ**, студент, НТУ «ХПИ»

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ПРОВЕДЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ НА БАЗЕ ЗАЗ -1102**

Проведено розрахунковий та порівняльний аналіз динамічних показників автомобіля «Таврія» зі штатним ДВС і електродвигуном в якості джерела механічної енергії. Обґрунтовано і вибрано тип електродвигуна. Досліджено доцільність і ефективність застосування електричної тяги, як альтернативного джерела механічної енергії. Проведено порівняння швидкісних характеристик автомобіля «Таврія» при використанні різних типів двигунів.

It is organized accounting and benchmark analysis of the dynamic factors of the car "brand" with staff DVS and electric motor as source to mechanical energy. It is motivated and chose type of the electric motor. Explored practicability and efficiency of the using the electric pulling, as alternative source to mechanical energy. The organized comparison of the speed features of the car "brand" when use the different types of the engines.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель (АД), электрическая тяга, скоростные характеристики, преобразователь частоты (ПЧ).

**Постановка проблемы.** На современном этапе развития автомобильная промышленность находится на стадии внедрения новых видов силовых установок. К основным из них можно отнести гибридную силовую установку и тяговый электродвигатель. Применение электрического двигателя в качестве силовой установки является революционным прорывом в автомобилестроении. В данных установках используются энергосберегающие технологии, не требующие привлечения дефицитных и дорогостоящих энергоносителей на базе углеводородов. Это дает возможность утверждать, что отказаться от применения жидкого топлива в городском цикле будет целесообразно и экономически эффективно.

**Цель статьи** – получение и исследование скоростных характеристик автомобиля «Таврия» при использовании различных типов двигателей.

Автоматизированным электроприводом называется электромеханическая система, состоящая из электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройств, предназначенных для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением [1].

В электроприводе, как правило, приходится иметь дело с вращательным движением [2]. Поэтому уравнение движения записывается как уравнение равновесия всех моментов:

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dJ}{d\alpha}, \quad (1.1)$$

где  $M$  – вращающий момент электродвигателя, дж;

$M_c$  – статический момент рабочего механизма, приведенный к валу двигателя, дж;

$J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dJ}{d\alpha}$  – динамический, инерционный момент, дж;

$J$  – момент инерции системы, приведенный к валу двигателя, дж·сек<sup>2</sup>;

$\frac{d\omega}{dt}$  – угловое ускорение, 1/сек<sup>2</sup>;  $\omega = \frac{d\alpha}{dt}$  – угловая скорость, 1/сек;

$\alpha$  – угол поворота, рад;  $t$  – время, сек.

Для большинства рабочих механизмов и машин, имеющих постоянный момент инерции, выражение (1.1) имеет вид:

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (1.2)$$

Как известно, на автомобиль действует реактивный момент, который создается в основном силами трения, всегда противодействует движению и поэтому изменяет свой знак с изменением направления движения [3].

Количественно механические характеристики двигателя и исполнительного органа оцениваются жесткостью  $\beta$ , определяемой как:

$$\beta = \frac{dM}{d\omega} \approx \frac{\Delta M}{\Delta \omega}. \quad (1.3)$$

Используя этот показатель, можно оценивать характеристику асинхронного двигателя, как имеющую переменную жесткость.

Для того, что бы разработать электромобиль необходимо было избавиться от штатного ДВС, заменив его асинхронным электродвигателем с частотным управлением. Применение АД уменьшает стоимость в обслуживании автомобиля и повышает надежность системы. Защита АД по току дает возможность более эффективно защитить обмотки от перегрузок в процессе разгона. Использование частотного преобразователя дает возможность максимальный пусковой момент приблизить к критическому, что позволит при необходимости начать движение с высокой динамикой.

Был проведен тяговый расчет автомобиля с ДВС в программе MATHCAD. В расчете была построена внешняя скоростная характеристика двигателя MeM3-245, рассчитан динамический фактор, получены разгонные характеристики на  $i$ -той передаче и пройденный путь при разгоне.

Эффективная мощность двигателя  $N_{V_{\max}}$  при максимальной скорости определяли в ваттах по уравнению мощностного баланса [4]:

$$N_{V_{\max}} = \frac{G_n \cdot f \cdot V_{\max} + K_b \cdot F \cdot V_{\max}^3}{\eta_m}, \quad (1.4)$$

где  $V_{\max}$  - максимальная скорость движения, м/с;

$G_n$  - вес автомобиля, Н;

$K_b$  - коэффициент сопротивления воздуха, Н·с<sup>2</sup>/м;

$F$  - площадь лобового сопротивления, м<sup>2</sup>;

$\eta_m$  - КПД трансмиссии;

$f$  - коэффициент сопротивления качения.

Максимальная мощность двигателя определяется экспериментальным уравнением:

$$N_{\max} = \frac{N_{V_{\max}}}{\left[ a \cdot \frac{n_{V_{\max}}}{n_{N_{\max}}} + b \cdot \left( \frac{n_{V_{\max}}}{n_{N_{\max}}} \right)^2 - \left( \frac{n_{V_{\max}}}{n_{N_{\max}}} \right)^3 \right]}. \quad (1.5)$$

Значение мощности двигателя внешней скоростной характеристики определяем из уравнения:

$$N = N_{\max} \left[ a \cdot \frac{n}{n_{N_{\max}}} + b \cdot \left( \frac{n}{n_{N_{\max}}} \right)^2 - \left( \frac{n}{n_{N_{\max}}} \right)^3 \right]. \quad (1.6)$$

Вычисляем момент двигателя:

$$M = \frac{N}{\omega}, \quad \omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (1.7)$$

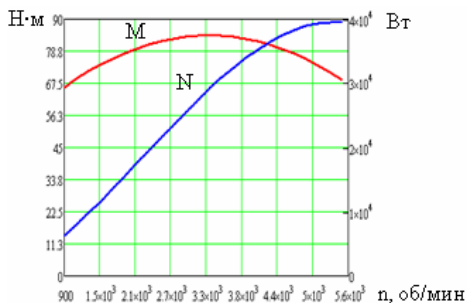


Рисунок 1 – Внешняя скоростная характеристика двигателя МеМЗ-245

Выбор динамической характеристики автомобиля:

$$D = \frac{P_k - P_w}{G_a} \quad (1.8)$$

где  $P_k$  - сила тяги на колесах,  $P_k = \frac{M \cdot i_k \cdot i_0 \cdot \eta_m}{r_k}$ , Н;

$P_w$  – сила сопротивления воздуха,  $P_w = k_b \cdot F \cdot V^2$ , Н;

$G_a$  – полный вес автомобиля.

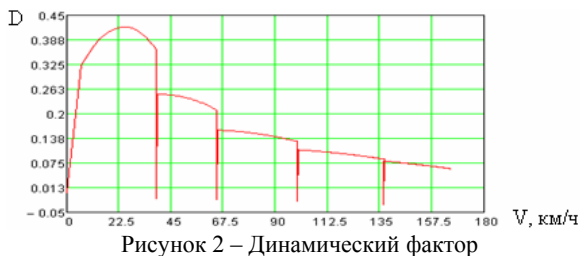
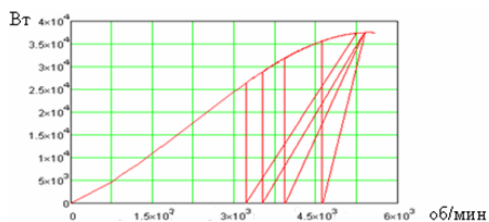


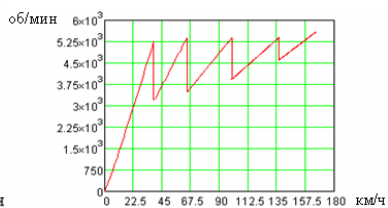
Рисунок 2 – Динамический фактор

Расчет ускорения на  $i$ -той передаче:

$$\frac{dV}{dt} = (D - \psi) \frac{g}{\delta}. \quad (1.9)$$



а)



б)

Рисунок 3 – Графики зависимости мощности от оборотов двигателя  $a$  и обороты двигателя от скорости  $b$

С помощью программы MATLAB была создана математическая модель автомобиля с ДВС и получены следующие графики.

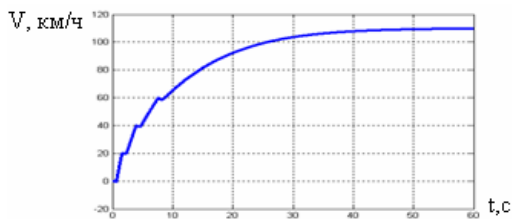


Рисунок 4 – График разгона автомобиля с ДВС

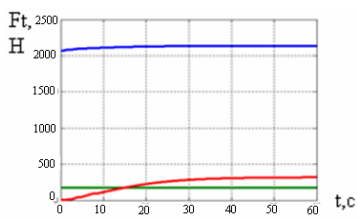


Рисунок 5 – Изменения сил сопротивления в зависимости от времени разгона

По проведенным расчетам был выбран асинхронный электродвигатель фирмы «Lenze» тип МСА 21Х35...F10 мощностью  $N=20,3$  кВт. Получена механическая характеристика АД.

Была построена математическая модель электромобиля с АД на базе автомобиля ЗАЗ 1102 с одноступенчатым редуктором в MATLAB и получены графики разгона автомобиля с АД и изменения силы тяги в функции времени.

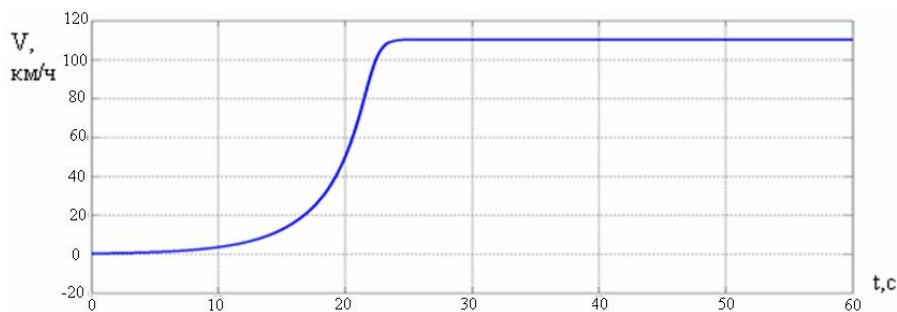


Рисунок 6 – График разгона автомобиля с АД

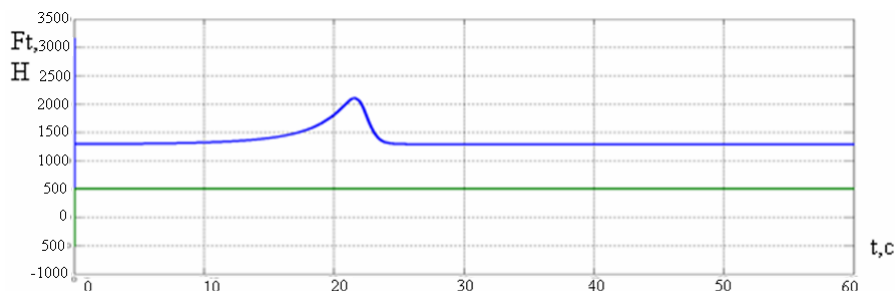


Рисунок 7 – Изменение силы тяги в функции времени

**Результаты.** Было проведено сравнение графиков разгона автомобиля ЗАЗ 1102 с ДВС (рис. 4) и тяговым асинхронным электродвигателем (рис. 6).

**Выводы.** Проведенное исследование показало, что автомобиль ЗАЗ 1102 с использованием АД разгоняется до скорости в 100 км/ч за меньшее время ( $\Delta t = 4$  сек). Интенсивность разгона можно регулировать в широком диапазоне и она ограничивается лишь условиями срыва в буксование и глубиной разряда АКБ.

**Список литературы:** 1. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. – 6-е изд., доп. и перераб. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с., ил. 2. Свириденко П.А. и Шмелев А.Н. Основы автоматизированного электропривода. Учеб. пособие для вузов по спец. «Автоматизация и комплексная механизация процессов легкой и текстильной промышленности». М., «Высш. школа», 1970. 392 с. с илл. 3. Москаленко В.В. Электрический привод. М., «Высш. школа», 1991. 423 с. 4. Чернышев В.А. Тягово-динамический и топливно-экономический расчет автомобиля: Методические рекомендации по выполнению курсовой работы. – М.: МГАУ, 2002. – 39 с.

Поступила в редколлегию 02.05.2011