

УДК 62-529

**МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
ГРУЗОВОГО ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ**

**METHODS FOR IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY
OF AN ELECTRIC CARGO VEHICLE**

Поддубко С. Н., канд. техн. наук, доц.,

Калинин М. В., Кравцов И. П.,

Государственное научное учреждение «Объединенный
институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси»
г. Минск, Республика Беларусь

S. Poddubko, Ph. D. in Eng., Ass. prof., M. Kalinin, I. Kravzov
The State Scientific Institution «The Joint Institute of Mechanical
Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus»
Minsk, Republic of Belarus

Статья посвящена разработке методических положений по автоматизации управления двухступенчатой КПП в составе энергоэффективного тягового силового электропривода грузового электромобиля полной массой 12 тонн.

The article is devoted to the development of methodological provisions for the automation of control of a two-stage gearbox as part of an energy-efficient traction electric drive of an electric cargo vehicle with a gross weight of 12 tons.

Ключевые слова: электромобили, многоскоростные коробки передач, электродвигатели, электромеханическая характеристика, алгоритм.

Key words: electric vehicles, multi-speed gearboxes, electric motors, electromechanical characteristics, algorithm.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день существенным недостатком электромобилей является недостаточный пробег на одной зарядке аккумуляторной батареи, что особенно выражено на моделях, оборудованных одноступенчатым понижающим редуктором и обусловлено необходи-

мостью работы электродвигателя в широком диапазоне скоростей вращения. В городских условиях эксплуатации тяговый электропривод значительную часть времени работает в диапазоне низких скоростей вращения и высоких крутящих моментов, как правило, этой области соответствует значение электромеханического КПД электропривода на 13–15 %, рис. 1, ниже номинальной величины [1–5].

Многочисленные исследования показали, что наиболее рационально переводить на электрическую тягу транспортные средства категорий M_3 , N_3 [6]. С целью удовлетворения двух критериальных условий: преодоления максимального подъема, равного 25 % и достижения необходимой максимальной скорости движения, целесообразно использовать двухскоростные коробки передач.

ОПИСАНИЕ ПОДХОДА К ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ С МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ ТРАНСМИССИЕЙ

Задача повышения энергоэффективности электромобилей является в целом разносторонней. Эту задачу можно решать на уровне механизмов, участвующих в передаче мощности, на уровне вспомогательных систем, используемых в процессе эксплуатации электрического транспортного средства и на других уровнях. В данной статье предлагается рассмотреть подход к повышению энергоэффективности электромобиля посредством использования алгоритма управления, позволяющего электроприводу, находится в зоне более высокого КПД, а также осуществлять рекуперативное торможение в режиме синхронизации оборотов.

Особенность алгоритма заключается в том, что для запрашиваемого момента M , рис. 1 и текущих оборотов, система управления сравнивает значения КПД из карты эффективности и отдает предпочтение передаче с большим КПД. Также система осуществляет принудительное переключение с первой на вторую передачу при достижении максимальных оборотов.

В процессе переключения передач алгоритм позволяет адаптировать скорости вращения ведущих и ведомых деталей вальной КПП, посредством изменения оборотов электродвигателя. Синхронизация текущей скорости вращения ротора двигателя к требуемой, осуществляется с помощью ПИ-регулятора скорости.

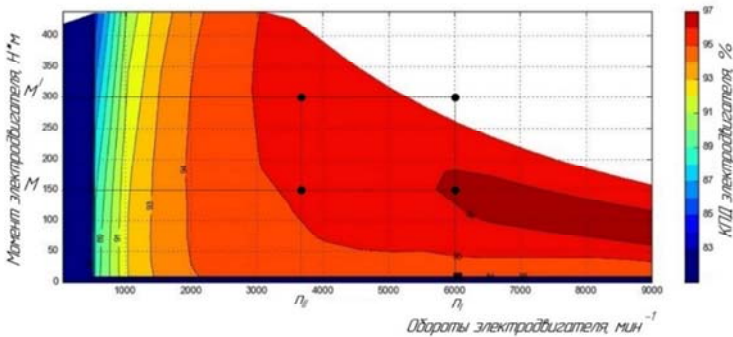


Рисунок 1 – Электромеханическая характеристика асинхронного электродвигателя с картой эффективности

Стоит отметить, что особенность синхронизации скорости с помощью ПИ-регулятора заключается в том, что по мере приближения текущей скорости вращения ротора двигателя к требуемой скорости синхронизации уменьшается момент задания с выхода регулятора скорости, эта особенность позволяет произвести включение передачи без нагрузки. Результаты моделирования работы алгоритма в Matlab представлены на рис. 2.

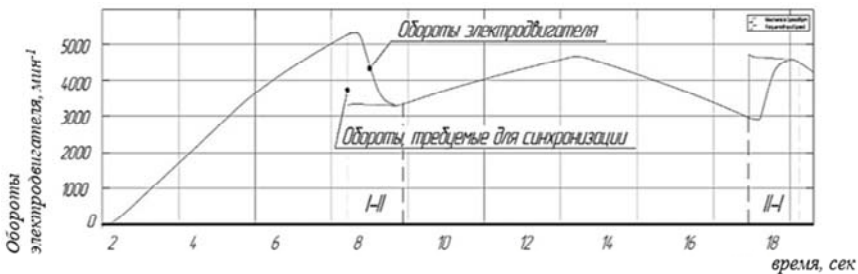


Рисунок 2 – Моделирование разгона с переключением передач

В качестве объекта апробирования вышеприведенных методик выбран грузовой электромобиль МАЗ-4388ЕЕ. Силовая установка, рис. 3, данного электрогрузовика имеет тяговый асинхронный электродвигатель номинальной мощностью 130 кВт и двухступенчатую валную КПП.

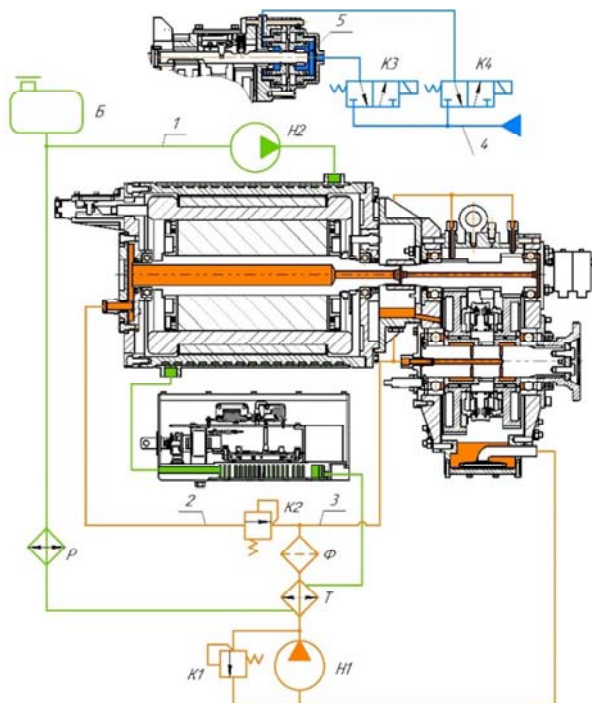


Рисунок 3 – Система тягового электропривода с двухступенчатой КПП
 1 – система охлаждения статора электродвигателя и инвертора; 2 – система охлаждения ротора электродвигателя; 3 – система смазки КПП; 4 – система управления рабочими камерами включений передач; 5 – пневмокамера управления КПП; H1 – насос смазки и охлаждения ротора; H2 – насос системы охлаждения статора электродвигателя и инвертора; T – теплообменник; P – радиатор; Ф – фильтр; K1 – предохранительный клапан; K2 – клапан смазки; K3, K4 – пневмоклапаны переключения передач; Б – расширительный бачок

На рис. 4 изображены результаты переключения передач в движении электрогрузовика МАЗ-4388ЕЕ. Приведен график изменения скорости вращения ротора тягового электродвигателя в процессе переключения с первой передачи на вторую. Следует отметить участки:

- сброса момента и выведения муфты синхронизатора в «нейтраль» 0,2 с;
- «подстройка» под скорость вращения ротора на второй передаче 0,9 с;

– включение второй передачи и выход на исходное значение крутящего момента 0,6 с.

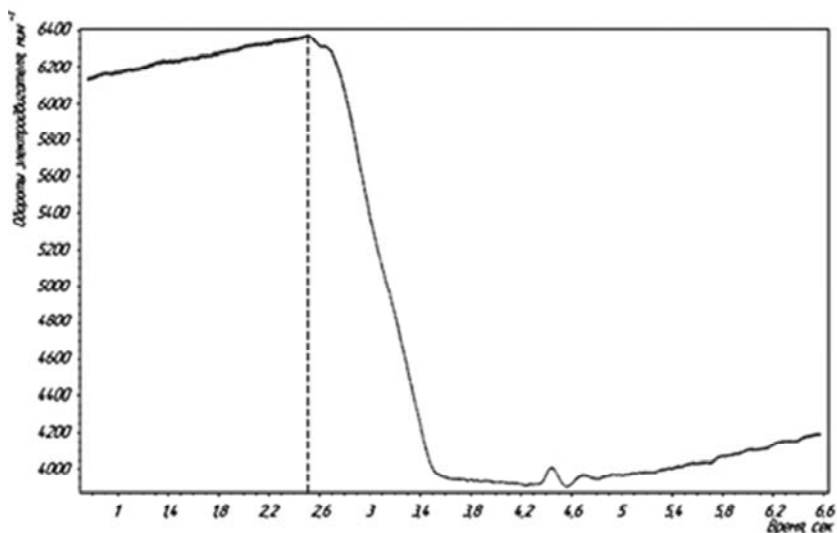


Рисунок 4 –Разгон электрогрузовика МАЗ-4388ЕЕ с переключением передач

В среднем процесс переключения в движении занимает 1,7–2 с.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение в тяговом электроприводе электромобиля двухступенчатой коробки передач и алгоритма управления процессом переключения на основе карт эффективности позволяет повысить энергоэффективность электропривода за счет работы в зоне с более высоким КПД, а также использовать электродвигатель с меньшим значением максимального крутящего момента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харитонов, С. А. Перспективы использования коробок передач в электрических транспортных средствах / С. А. Харитонов, Э. И. Абасов // Тр. НАМИ. – 2017. – № 2(269). – С. 101–106.
2. Hajduga, A. The use of multi-speed mechanical transmission in electric drives / A. Hajduga, A. Kieracińska // The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji. – 2017. – Vol. 75, no. 1. – P. 39–67.

3. Ruan, J. Comparison of power consumption efficiency of CVT and multi-speed transmissions for electric vehicle / J. Ruan, P. Walker, N. Zhang // International Journal of Automotive Engineering. – 2018. – Vol. 9, no. 4. – P. 268–275.

4. Energy consumption and lifecycle cost analysis of electric city buses with multispeed gearboxes / A. Ritari [et al.] // Energies. – 2020. – Vol. 13, no. 8. – 20 p.

5. Multi-speed gearboxes for battery electric vehicles: current status and future trends / F. A. Machado [et al.] // IEEE Open Journal of Vehicular Technology. – 2021. – Vol. 2. – P. 419–435.

6. О безопасности колесных транспортных средств: ТР ТС 018/2011: принят 09.12.2011: вступ. в силу 01.01.2015 / Комис. Тамож. союза. – М.: Стандартинформ, 2014. – 465 с.

7. Выбор рационального количества передач при разработке типоразмерного ряда высокоскоростных коробок передач электромобилей / С. Н. Поддубко [и др.]. // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С. Н. Поддубко [и др.]. – 2023. – Вып. 12. – С. 225–230.

Представлено 25.04.2024