

## РАСЧЕТ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ТИПА МОТОР-КОЛЕСО АВТОНОМНЫХ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ

Савко Н.О., Мищенко Е.В., Радкевич А.А.

Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Павлюковец С.А. – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок и технологических комплексов»

**Аннотация.** В работе содержится краткий анализ существующих моделей мотор-колес. Тяговым элементом мотор-колеса выбран синхронный двигатель с постоянными магнитами. Приведено имитационное моделирование электродвигателя в среде MathCAD. Выполненный расчет и моделирование показал высокий крутящий момент при достаточно малых габаритах самого электродвигателя, что позволяет разместить его в теле всенаправленного колеса типа *mesaput*.

**Ключевые слова:** тяговый электродвигатель, мотор-колесо, автономный мобильный робот

**Введение.** Одной из ключевых проблем, которую решает моделирование мотор-колеса автономного мобильного робота (АМР), является увеличение его маневренности и эффективности работы [1-3]. АМР-тележки широко используются в различных отраслях промышленности и складской логистике для транспортировки грузов на короткие расстояния. Моделирование мотор-колеса может помочь оптимизировать работу данного рода тележек, повысить их скорость и точность перемещения, а также увеличить мощность их электропривода. Таким образом, совершенствование механизма мотор-колес для АМР-тележек является актуальной задачей, которая может привести к созданию более эффективных и экономичных транспортных средств, тем самым повысить технико-экономические показатели тележек.

Целью настоящей работы является повышение эффективности работы синхронного двигателя с постоянными магнитами в составе мотор-колеса путем оптимизации его основных параметров за счет совершенствования методов расчета электродвигателей и выработка рекомендаций по его проектированию для транспортных средств.

**Анализ существующих моделей мотор-колес.** Мотор-колесо является типом синхронного двигателя. Единственное отличие состоит в том, что вращающееся магнитное поле создается в двигателе путем переключения его обмоток электронными ключами контроллера с регулируемой частотой. Так же в большинстве случаев под мотор-колесом подразумевают синхронный электродвигатель с внешним ротором.

*Мотор-колесо прямого привода* устроено предельно просто. Вращающий момент, возникающий при переключении обмоток, передается непосредственно на ротор. Отсутствуют какие-либо промежуточные механические передачи.

**Математическое моделирование мотор-колеса.** В зависимости от каждого отдельного направления и скорости колеса, результирующая комбинация всех этих сил создает общий вектор силы в любом желаемом направлении, что позволяет платформе свободно двигаться в любом направлении. Скорости для каждого двигателя вычисляются следующим образом:

$$\begin{bmatrix} \omega_1(t) \\ \omega_2(t) \\ \omega_3(t) \\ \omega_4(t) \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} 1 & 1 & -(l_1 + l_2) \\ -1 & 1 & l_1 + l_2 \\ -1 & 1 & -(l_1 + l_2) \\ 1 & 1 & l_1 + l_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v_x(t) \\ v_y(t) \\ \Omega_z(t) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $\omega_i(t)$  – скорость вращения колеса  $i$  ( $i = 1...4$ );

$v_x(t)$ ,  $v_y(t)$  – линейная и угловая скорости;

$l$  – расстояния между точками контакта колес в продольном и поперечном направлениях;

$R$  – радиус колеса.

Для расчета электродвигателя необходимо задаться необходимыми параметрами, которые хотим получить на выходе. Чаще всего это угловая скорость, диаметр ротора, масса.

Для электродвигателя весь цикл работы разбивается на ряд временных интервалов. На каждом из которых постоянны скорость или ускорение. Сила, действующая на каждом временном интервале, определяются следующим образом:

$$F_i = F_{c,i} + F_{дин,i}, \quad (2)$$

где  $F_i$  – результирующая сила на  $i$ -ом интервале времени;

$F_{c,i}$  – статическая сила на  $i$ -ом интервале времени с учетом потерь в передаче, Н;

$F_{дин,i}$  – динамическая сила на  $i$ -ом интервале.

Электродвигатель на протяжении всего движения изменяет свою скорость, следовательно, сила изменяется по динамическому закону. Рассчитаем динамическую силу для каждого  $i$ -го интервала по формуле:

$$F_{дин,i} = m_i a_i, \quad (3)$$

Статическая сила рассчитывается на основании конкретного процесса, выполняемого механизмом.

$$F_{c,i} = \frac{G_i}{i\eta_i} = \frac{m_i g}{i\eta_i}, \quad (4)$$

В связи с тем, что в нагрузочной диаграмме механизма не учтена инерционность электродвигателя, расчетная мощность  $P_{расч}$  определяется с коэффициентом запаса  $\kappa_{зап} = 1,1 - 1,3$ :

$$P_{расч} = \kappa_{зап} \times P_{э}, \quad (5)$$

**Имитационное моделирование мотор-колеса.** Проведя основные расчеты в среде MathCAD, были получены все необходимые физические параметры, на основании которых построены характеристика холостого хода и характеристика магнитного потока (рисунок 1 и 2).

**Заключение.** В результате проведенных расчетов получены базовые параметры, которые могут быть использованы для оптимизации работы электродвигателей и улучшения их характеристик, что в свою очередь будет способствовать созданию более эффективных и экономичных электродвигатели для различных видов электротранспорта, например, имеющей стремительное развитие транспорт с использованием колес всенаправленного типа. Результаты исследования показали, что предложенная модель синхронного электродвигателя типа мотор-колесо обладает высокой эффективностью и способен развивать значительный крутящий момент при минимальном расходе энергии. Проведенные исследования могут быть использованы в качестве отправной точки для дальнейших исследований в области электропривода и разработки новых моделей мотор-колес.

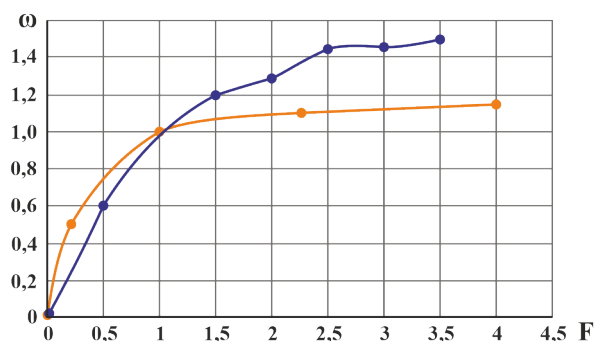


Рисунок 1 – Характеристики при режиме холостого хода  
(оранжевая – расчетная кривая, синяя – экспериментальная кривая)

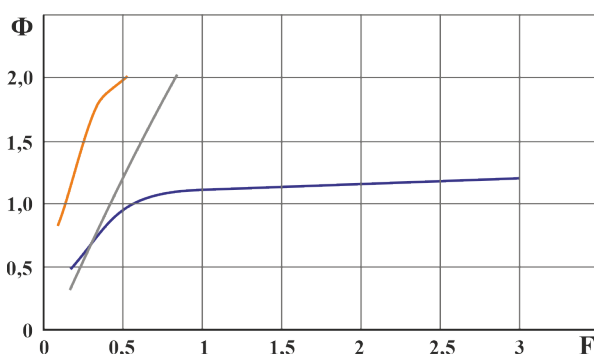


Рисунок 3 – Характеристики магнитного потока  
(оранжевая – поток в сечении, серая – поток у основания, синяя – поток в зазоре)

### Список литературы

1. Построение тягового электропривода транспортного средства на основе многодвигательной схемы / Е. Смотров [и др.] // Журнал автомобильных инженеров. – 2011. – № 5. – С. 30–34.
2. A novel drive implementation for pmsm by using direct torque control with space vector modulation / K. Chikh [et al.] // Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering. – 2011. – Vol. 2, no. 8. – P. 400–408.
3. A New Traction Motor System With Integrated-Gear: A Solution for Off-Road Machinery / J. Montonen [et al.] // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 113740-113750.

UDC 621.34

## CALCULATION AND SIMULATION OF THE PHYSICAL PARAMETERS OF MOTOR-WHEEL TYPE TRACTION ELECTRIC MOTOR OF AUTONOMOUS MOBILE ROBOTS

Sauko N.O., Mishchenko E.V., Radkevich A.A.

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Pauliukavets S.A. – PhD, associate professor, head of the Department of EDAIPTC

**Annotation.** The paper contains a brief analysis of existing models of motor-wheels. The traction element of the motor-wheel is a synchronous motor with permanent magnets. The simulation modeling of an electric motor in the MathCAD environment is given. The performed calculation and modeling showed a high torque with sufficiently small dimensions of the electric motor itself, which makes it possible to place it in the body of an omnidirectional mecanum type wheel.

**Keywords:** traction motor, wheel motor, autonomous mobile robot