

УДК 630*36

С.А. Голякевич, доц., канд. техн. наук;
 А.Р. Гороновский, доц., канд. техн. наук;
 С.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук.
 (БГТУ, г. Минск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСИЛОВОГО ПРИВОДА МАЛОГАБАРИТНОГО ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА

Для оценки тяговых свойств проектируемого лесохозяйственного мини-трактора была разработана методика и на ее основе реализована в виде компьютерной программы математическая модель электросилового привода.

Несмотря на то, что источником энергии для электродвигателя НРМ-10КВ является аккумулятор постоянного тока, работа двигателя происходит за счет действия синусоидальной волны генерируемой контроллером VEC500. Т. е. на вход электродвигателя подается условный переменный ток. В этой связи моделирование выходной характеристики двигателя для номинальных режимов работы проведено по нижеизложенной методике.

Номинальная эффективная мощность двигателя определяется выражением

$$N_{en} = UI\eta_m \cos \varphi. \quad (1)$$

При этом величина критического крутящего момента зависит от перегрузочной способности электродвигателя λ и определяется по зависимости

$$M_{кр} = 9,55 \frac{N_{en}}{n_{кр}} \lambda. \quad (2)$$

Величина эффективного крутящего момента, реализуемая на роторе а электродвигателя, описывается упрощенной формулой Клосса и представляет собой функциональную зависимость $M_{вых} = f(s)$:

$$M_{вых} = \frac{2M_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}}, \quad (3)$$

где s – текущее значение скольжения двигателя, $s_{кр}$ – критическая величина скольжения.

Критическая величина скольжения обусловлена величиной номинального скольжения s_n и коэффициентом перегрузочной способности λ :

$$s_n = \frac{n_0 - n_{кр}}{n_0}, \quad s_{кр} = s_n (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}). \quad (4)$$

Текущая частота вращения ротора электродвигателя также является функцией скольжения $n_{\text{ВЫХ}} = f(s)$:

$$n_{\text{ВЫХ}} = n_0(1-s). \quad (5)$$

На основе полученных функциональных зависимостей $M_{\text{ВЫХ}} = f(s)$ и $n_{\text{ВЫХ}} = f(s)$ для значений скольжения $s \in (0 \dots s_{\text{кр}}]$ строится механическая характеристика.

Описанная механическая характеристика в ее исходном виде редко используется в реальных конструкциях современных мобильных машин. Для обеспечения плавности работы, стабильности выходных параметров, защиты от перегрузок и продления срока службы электродвигателя применяют различные виды регулирования и ограничения механической характеристики.

Между тем, в основу управления электродвигателям следует положить принцип стабилизации мощности или крутящего момента. В таком случае выходная мощность на роторе электродвигателя определяется по формуле

$$N_{\text{ВЫХ}} = \frac{M_{\text{ВЫХ}}^r n_{\text{ВЫХ}}}{9,55}, \quad (6)$$

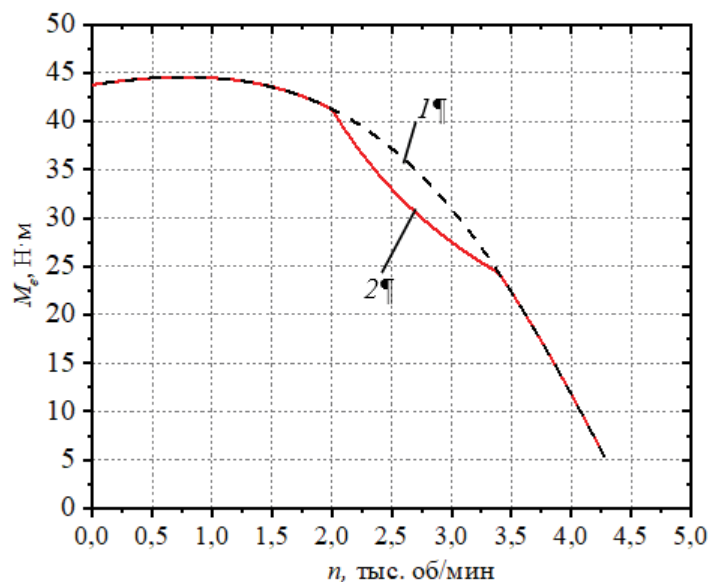
а реальная механическая характеристика $M_{\text{ВЫХ}}^r = f(s)$ электродвигателя может быть описана системой уравнений с учетом вводимых ограничений.

$$M_{\text{ВЫХ}}^r = \begin{cases} M_e, & \text{если } \frac{M_{\text{ВЫХ}} n_{\text{ВЫХ}}}{9,55} \leq N_{en} \text{ и } M_{\text{ВЫХ}} \leq M_{\text{доп}}; \\ M_{\text{доп}}, & \text{если } \frac{M_{\text{ВЫХ}} n_{\text{ВЫХ}}}{9,55} \leq N_{en} \text{ и } M_{\text{ВЫХ}} > M_{\text{доп}}; \\ \frac{9,55 N_{en}}{n}, & \text{если } \frac{M_{\text{ВЫХ}} n_{\text{ВЫХ}}}{9,55} > N_{en}, \end{cases} \quad (7)$$

где $M_{\text{доп}}$ – предельно допустимый крутящий момент электродвигателя, Н·м.

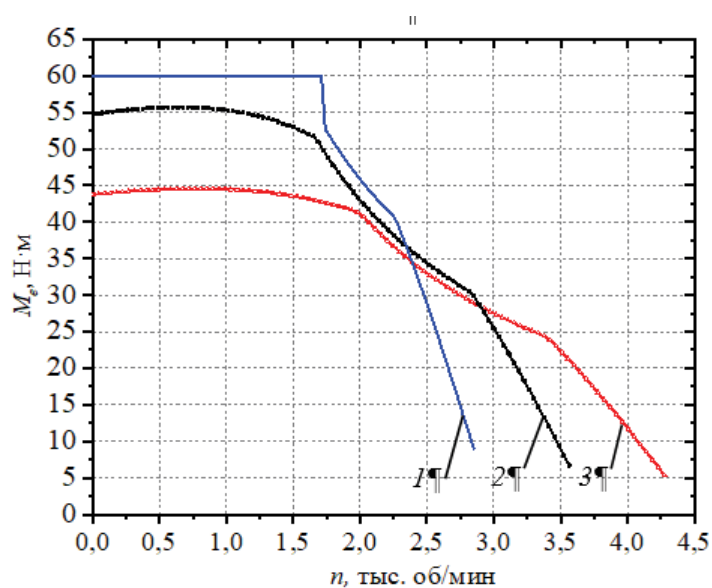
С использованием приведенной расчетной методики проведено компьютерное математическое моделирование электрической части трансмиссии. По результатам моделирования построены внешние механические характеристики электродвигателя НРМ-10кВт, для различных режимов питания.

На рисунке 1 приведены механические характеристики электродвигателя НРМ-10кВт при напряжении питания 72 В и ограничении силы тока 120 А., а на рисунке 2 для иных выходных характеристик.



1 – построенная по зависимостям (3.3 – 3.5); 2 – построенная с учетом ограничения крутящего момента и стабилизации мощности (3.7)

Рисунок 1 – Механическая характеристика электродвигателя НРМ-10кВт при напряжении питания 72 В и ограничении силы тока 120 А



1 – 72 В/120 А, 2 – 60 В/150 А, 3 – 48 В/200 А

Рисунок 2 – Механические характеристики электродвигателя НРМ-10КВт при различных доступных напряжениях питания и ограничениях силы тока, и принудительном ограничении выходного крутящего момента 60 Н·м

После подбора электродвигателя и построения его механической характеристики выполнены проектные расчеты механической части трансмиссии с определением тяговых и скоростных характеристик малогабаритного трактора.

Скорость его движения малогабаритного трактора для каждого значения частоты вращения выходного вала электродвигателя определялась выражением:

$$v = 0,377 \frac{R \cdot n_{\text{вых}}}{k_m} \quad (8)$$

где R – статический радиус колеса, м; k_m – общее передаточное число трансмиссии на соответствующей передаче.

Касательная сила тяги P_k (Н), развиваемая проектируемым трактором, определялась по зависимости

$$P_k = \frac{M_{\text{вых}} k_m \eta_{\text{тр}}}{R}, \quad (9)$$

На основе проведенного моделирования, для различных режимов работы электродвигателя получены тяговые характеристики проектируемого малогабаритного лесохозяйственного трактора с электросиловым приводом двигателя (рисунок 3 и рисунок 4).

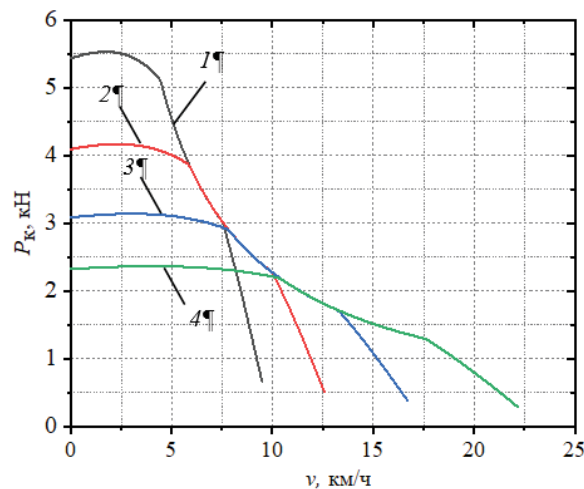


Рисунок 3 – Тяговая характеристика проектируемого малогабаритного лесохозяйственного трактора с электросиловым приводом при напряжении питания электродвигателя 72 В и максимальной силе тока 120А

КПД трансмиссии $\eta_{\text{тр}}$ был принят минимальным для данного класса тракторов и равным 0,73.

С целью анализа тяговых качеств проектируемого трактора и оценки возможностей преодоления сил сопротивления собственному качению и агрегатированию с различным технологическим оборудованием проведено соответствующее математическое моделирование.