

## К ОЦЕНКЕ ВЛИЯНИЯ ОТКЛОНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА РЕЖИМЫ РАБОТЫ ГРУППОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ЭЛЕКТРОВЗОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПО СИСТЕМЕ МНОГИХ ЕДИНИЦ

**Введение.** Технология современного формата грузоперевозок на промышленных предприятиях горнометаллургического комплекса диктует необходимость увеличения сцепной массы электровозов. Прямое увеличение мощности, и соответственно, размеров локомотивов не всегда экономически целесообразно [1]. Поэтому альтернативным подходом к решению данной проблемы видится использование двух локомотивов в одном составе или, так называемое, управление по системе многих единиц. Вместе с тем, при этом возникает сложность в согласовании характеристик тяговых двигателей, т.к. между ними всегда существует определенный разброс параметров [2].

**Цель работы:** оценить влияние изменения параметров двигателей на характеристики группового тягового электропривода промышленных двухосных электровозов при управлении по системе многих единиц.

**Материалы исследований.** Рассмотрим работу группового привода двухосных промышленных электровозов типа К-14 когда каждый электровоз имеет по два приводных тяговых двигателя (один двигатель на одну колесную пару) типа ДНТ45 с параметрами

- номинальная мощность 45 кВт;
- номинальное напряжение 250 В;
- номинальный ток 204 А;
- номинальная частота вращения 1340 об/мин;
- номинальный КПД 0.905;
- возбуждение последовательное.

Питание группы осуществляется от общего широтно-импульсного преобразователя с параметрами

- максимальное напряжение 275 В;
- скважность импульсов 0.75.

При выполнении расчетов введены следующие допущения:

- между всеми колесными парами существует абсолютно жесткая механическая связь;
- работа двигателей происходит в линейной области кривой намагничивания магнитной системы.

Принимаем, что коэффициент потока двигателя линейно зависит от тока якоря

$$k\Phi = bI, \quad (1)$$

где  $b$  – коэффициент наклона кривой намагничивания при номинальном токе возбуждения (коэффициент связи потока и тока возбуждения (тока якоря)).

Наибольший интерес представляют три схмотехнические комбинации включения тяговых двигателей относительно базовой структуры (рис. 1): последовательно-параллельные, параллельные, последовательные.

1. Основные соотношения для системы при последовательно-параллельном соединении двигателей.

Суммарный момент от всех двигателей можно представить с учетом (1) следующим выражением

$$M = I_{12}(k\Phi_1 + k\Phi_2) + I_{34}(k\Phi_3 + k\Phi_4) = I_{12}^2(b_1 + b_2) + I_{34}^2(b_3 + b_4), \quad (2)$$

где  $b_1, b_2, b_3, b_4$  — коэффициент пропорциональности между током якоря и коэффициентом потока.

Из уравнения баланса напряжений для первой ветви

$$U = \omega(k\Phi_1 + k\Phi_2) + I_{12}(R_1 + R_2) = \omega I_{12}(b_1 + b_2) + I_{12}(R_1 + R_2)$$

определяем ток ветви

$$I_{12} = \frac{U}{\omega(b_1 + b_2) + (R_1 + R_2)}. \quad (3)$$

Соответственно из уравнения баланса напряжений второй ветви

$$U = \omega(k\Phi_3 + k\Phi_4) + I_{34}(R_3 + R_4) = \omega I_{34}(b_3 + b_4) + I_{34}(R_3 + R_4)$$

определяем ток ветви

$$I_{34} = \frac{U}{\omega(b_3 + b_4) + (R_3 + R_4)}. \quad (4)$$

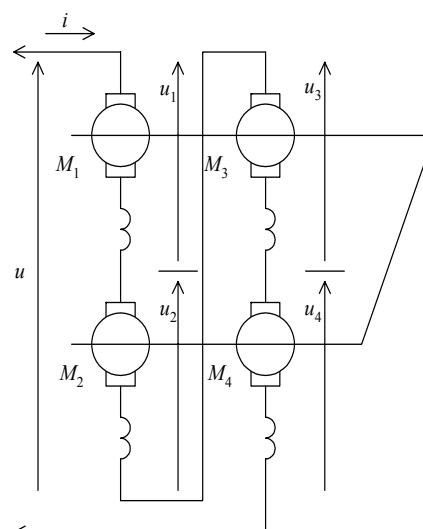


Рис. 1. Схема соединения двигателей

Выполним подстановку (3) и (4) в выражение (2), получим

$$M = \left( \frac{U}{\omega(b_1 + b_2) + (R_1 + R_2)} \right)^2 (b_1 + b_2) + \left( \frac{U}{\omega(b_3 + b_4) + (R_3 + R_4)} \right)^2 (b_3 + b_4).$$

Откуда, после преобразований, получим

$$M = U^2 \cdot \left( \frac{(b_1 + b_2)^2}{(\omega(b_1 + b_2) + (R_1 + R_2))^2} + \frac{(b_3 + b_4)^2}{(\omega(b_3 + b_4) + (R_3 + R_4))^2} \right)$$

2. Основные соотношения для системы при параллельном соединении двигателей.

Уравнения баланса напряжений для каждого двигателя с учетом (1) имеют следующий вид

$$U = I_1(\omega b_1 + R_1); U = I_2(\omega b_2 + R_2); U = I_3(\omega b_3 + R_3); U = I_4(\omega b_4 + R_4).$$

Соответственно токи в двигателях

$$I_1 = \frac{U}{(\omega b_1 + R_1)}; (5) \quad I_2 = \frac{U}{(\omega b_2 + R_2)}; (6) \quad I_3 = \frac{U}{(\omega b_3 + R_3)}; (7) \quad I_4 = \frac{U}{(\omega b_4 + R_4)}. (8)$$

Суммарный момент от всех двигателей определяется выражением

$$M = I_1 k \Phi_1 + I_2 k \Phi_2 + I_3 k \Phi_3 + I_4 k \Phi_4 = I_1^2 b_1 + I_2^2 b_2 + I_3^2 b_3 + I_4^2 b_4. \quad (9)$$

Выполним подстановку (5-8) в выражение (10):

$$M = \left( \frac{U}{\omega b_1 + R_1} \right)^2 b_1 + \left( \frac{U}{\omega b_2 + R_2} \right)^2 b_2 + \left( \frac{U}{\omega b_3 + R_3} \right)^2 b_3 + \left( \frac{U}{\omega b_4 + R_4} \right)^2 b_4.$$

После преобразований получим

$$M = U^2 \cdot \left( \frac{b_1}{(\omega b_1 + R_1)^2} + \frac{b_2}{(\omega b_2 + R_2)^2} + \frac{b_3}{(\omega b_3 + R_3)^2} + \frac{b_4}{(\omega b_4 + R_4)^2} \right).$$

3. Основные соотношения для системы при последовательном соединении двигателей.

Уравнение баланса напряжений

$$U = \omega(k\Phi_1 + k\Phi_2 + k\Phi_3 + k\Phi_4) + I(R_1 + R_2 + R_3 + R_4).$$

После преобразований с учетом (1)

$$U = I \cdot (\omega(b_1 + b_2 + b_3 + b_4) + (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)).$$

Ток якорей всех двигателей одинаков и равен

$$I = \frac{U}{\omega(b_1 + b_2 + b_3 + b_4) + (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)}. \quad (10)$$

Суммарный момент от всех двигателей определяется выражением

$$M = I(k\Phi_1 + k\Phi_2 + k\Phi_3 + k\Phi_4) = I^2(b_1 + b_2 + b_3 + b_4) \quad (11)$$

Выполним подстановку (10) в выражение (11)

$$M = U^2 \frac{(b_1 + b_2 + b_3 + b_4)}{(\omega(b_1 + b_2 + b_3 + b_4) + (R_1 + R_2 + R_3 + R_4))^2}.$$

Для сравнения режимов работы схем на рис. 1 выполним анализ влияния отклонения параметров одного и двух двигателей от номинальных значений (активного сопротивления цепи якоря и потока) на режимы работы всех двигателей системы. Сравнение выполняется на основании следующих показателей:

относительное напряжение на двигателе	относительный ток якоря	относительный момент
$\Delta U = \frac{U - U_{\delta}}{U_{\delta}} 100$	$\Delta I = \frac{I - I_{\delta}}{I_{\delta}} 100$	$\Delta M = \frac{M - M_{\delta}}{M_{\delta}} 100$

где  $U, I, M$  — напряжение, ток и момент двигателя для исследуемого режима;

$U_{\delta}, I_{\delta}, M_{\delta}$  — напряжение, ток и момент двигателя в базовом варианте, т.е. при отсутствии изменения параметров между всеми двигателями.

На основании выражений для тока, момента и напряжений выполним моделирование работы системы электропривода. При выполнении расчетов принято, что суммарная нагрузка двигателей неизменна и равна учетверенной номинальной для одного двигателя.

**Результаты моделирования.** На рис. 2–4 приведены характеристики при изменении параметров одного двигателя, а на рис. 5–7 — характеристики при изменении параметров двух двигателей из четырех.

Анализ режимов работы для разных схем включения двигателей при изменении их параметров (рис. 2-7) показывает следующее. Отсутствует влияние изменения индуктивности ТЭД на токи и моменты в статическом режиме, что вполне очевидно. Напряжение на двигателях изменяется номинального на 50%-75% от номинального или на 50%, что определяется условиями работы широтно-импульсного преобразователя. Отклонение частоты вращения ТЭД от базового режима составляет не более +5% во всех случаях изменений параметров двигателей. Наибольшее отклонение +5.7% происходит только в случае ослабления потока на 20% при параллель-

ном соединении двигателей.

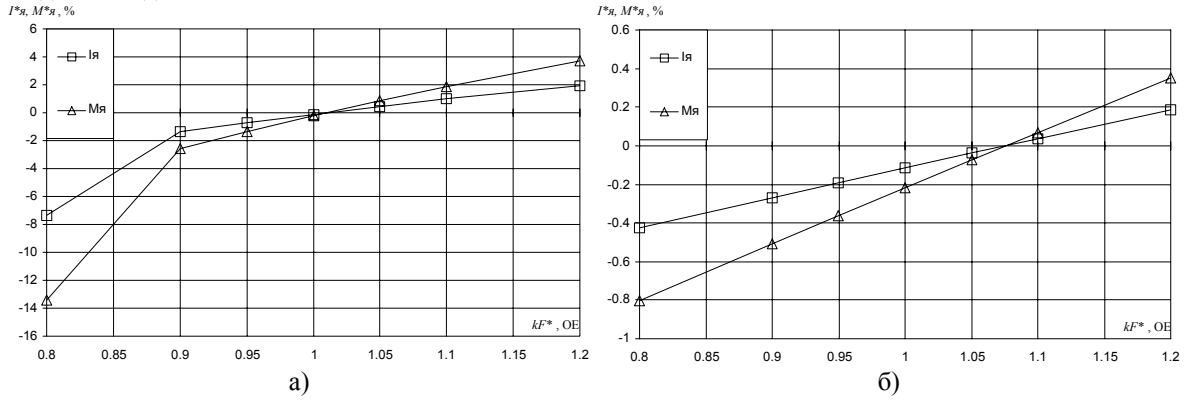


Рис. 2. Характеристики при параллельном соединении двигателей ( $k\Phi_1 \neq k\Phi_2 = k\Phi_3 = k\Phi_4$ ):  
 а) двигатель с измененным параметром; б) двигатели с неизменными параметрами.

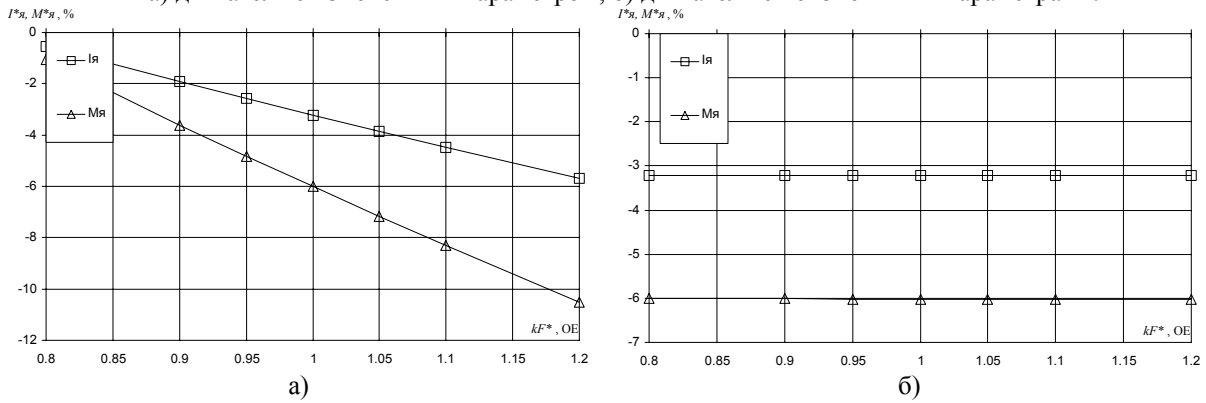


Рис. 3. Характеристики при последовательном соединении двигателей ( $k\Phi_1 \neq k\Phi_2 = k\Phi_3 = k\Phi_4$ ):  
 а) двигатель с измененным параметром; б) двигатели с неизменными параметрами.

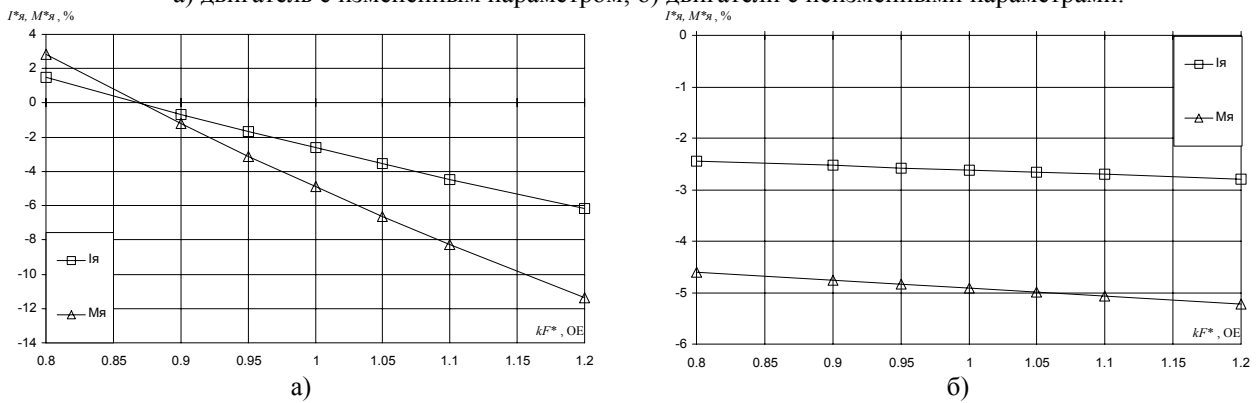


Рис. 4. Характеристики при последовательно-параллельном соединении двигателей ( $k\Phi_1 \neq k\Phi_2 = k\Phi_3 = k\Phi_4$ ):  
 а) двигатель с измененным параметром; б) двигатели с неизменными параметрами.

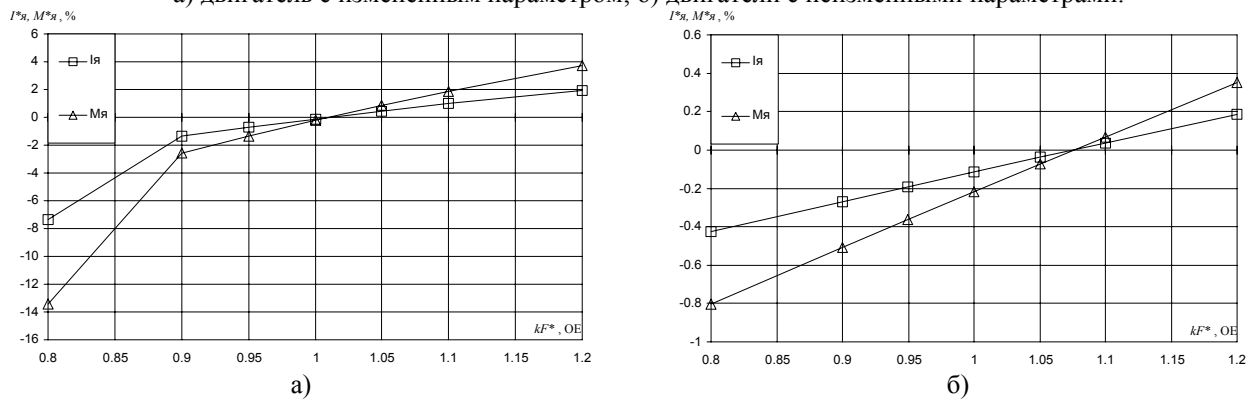


Рис. 5. Характеристики при параллельном соединении двигателей ( $k\Phi_1 = k\Phi_2 \neq k\Phi_3 = k\Phi_4$ ):  
 а) двигатели с измененными параметрами; б) двигатели с неизменными параметрами.

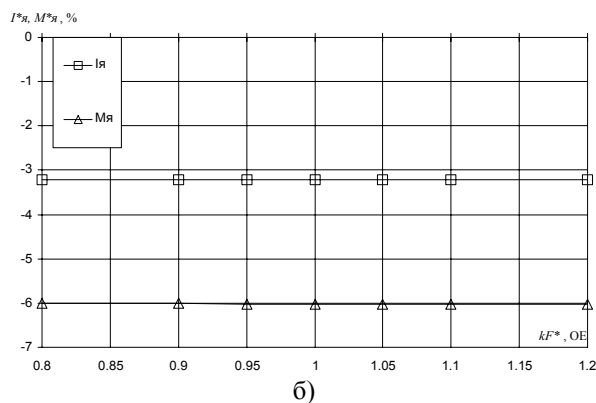
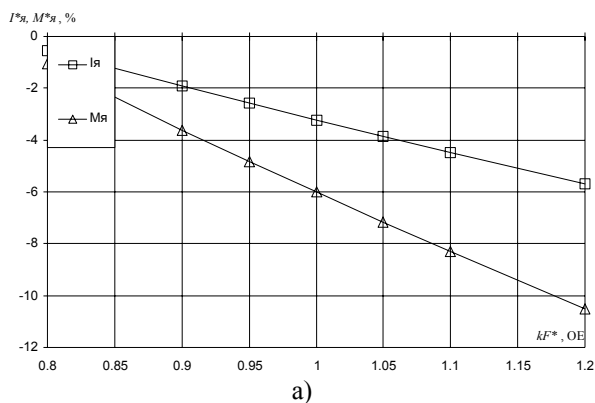


Рис. 6 – Характеристики при последовательном соединении двигателей ( $k\Phi_1 = k\Phi_2 \neq k\Phi_3 = k\Phi_4$ ): а) двигатели с измененными параметрами; б) двигатели с неизменными параметрами.

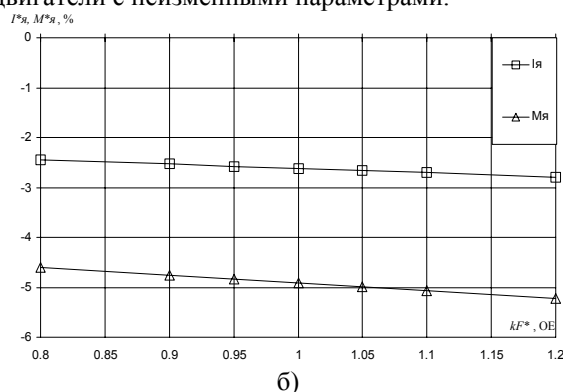
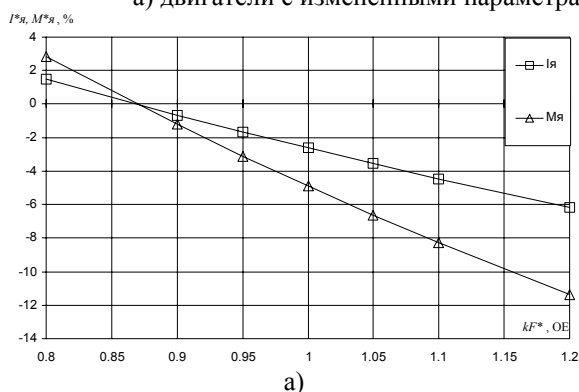


Рис. 7 – Характеристики при последовательно-параллельном соединении двигателей ( $k\Phi_1 = k\Phi_2 \neq k\Phi_3 = k\Phi_4$ ): а) двигатели с измененными параметрами; б) двигатели с неизменными параметрами.

Обобщенное влияние изменения остальных параметров приведено в табл. 1.

Как следует из табл.1, при параллельном соединении двигателей только при изменении коэффициента потока (0.8–1.2) у одного двигателя, существенное изменение характеристик (до -14%...+4%) происходит у двигателя с изменившимся параметром, при изменении остальных параметров (0.8–1.2) изменение характеристик составляет до +2%.

При последовательном, а также последовательно-параллельном, соединении двигателей также существенное влияние на характеристики (до -12%) оказывает изменение потока (0.8–1.2). При изменении остальных параметров (0.8–1.2) изменение характеристик составляет до -6%. Одновременное изменение параметров у двух двигателей приводит к похожему отклонению характеристик. Таким образом, наибольшее влияние на характеристики оказывает изменение коэффициента потока, что вполне очевидно.

#### Выводы.

1. При изменении активного сопротивления якорной цепи существенного влияния на разброс режимов работы ТЭП не наблюдается: двигатели преимущественно недогружены по току и моменту (+2...-6)% вне зависимости от схемы включения двигателей.
2. При изменении коэффициента потока при параллельном включении двигателей в наихудших условиях оказывается двигатель с неизменным коэффициентом потока. Перегрузка по току составит более 1,6.
3. При последовательном включении двигателей двигатели будут недогружены по току на -6%, а по моменту двигатель с измененным коэффициентом будет перегружен до +7,5%.
4. При последовательно-параллельном включении двигателей может быть незначительная перегрузка по току до +1,5% и перегрузка по моменту до +6%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Синчук О.Н. и др. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровозов. Под ред. Синчука О.Н. – Киев. – 2006. – 250с.
2. Синчук О.Н. Анализ влияния параметров тяговых двигателей на режимы работы групповых электроприводов электровозов при управлении по системе многих единиц / Синчук О.Н., Коваль О.А., Хараджян А.А., Ключка А.С. //Вісник КДПУ ім. Михайла Остроградського. – Кременчук.–2007.–Вип.6/2007 (47). Ч.2.–С. 41-45

Табл. 1 – Влияние изменения параметров одного из двигателей

Схема включения двигателей	Параметр двигателя	Двигатель с измененными параметрами		Остальные двигатели	
		I*, %	M*, %	I*, %	M*, %
Параллельная	R(+20%)	+1	+2	+0,5	+0,5 -1
	kF(+20%)	-15 +62	-12 +43	-7 +2	+4 -13
Последовательная	R(+20%)	-3,5	-6	-3,5	-6
	kF(+20%)	-6 0	+7,5 -21	-6 0	-10 -1
Последовательно-параллельная	R(+20%)	-2,1 -2,8	-4 -5	-2,1 -2,8	-4 -5
	kF(+20%)	-6 +1,5	+6 -18	-6 +1,5	-11 +3