

УДК 621.3

**В.И. НОСКОВ**, д-р техн. наук, профессор, НТУ "ХПИ",  
**Н.В. МЕЗЕНЦЕВ**, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ",  
**Г.В. ГЕЙКО**, ст. преп., НТУ "ХПИ"

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ОТ БОКСОВАНИЯ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА

Предлагается модель для проведения исследования системы обнаружения и защиты от боксования тягового асинхронного привода дизель-поезда. Выполнена разработка структурной схемы модели, описана работа системы обнаружения и защиты от боксования. Приводятся результаты имитационного моделирования, подтверждающие правильность разработанной модели. Ил.: 2. Библиогр.: 9 назв.

**Ключевые слова:** боксование, тяговый асинхронный привод, имитационное моделирование, система обнаружения и защиты от боксования.

**Постановка проблемы и анализ литературы.** Как известно, потери энергии, расходуемой на тягу поездов, при работе на предельных условиях сцепления колеса с рельсом, составляют 10 – 30%. Для обеспечения высоких тяговых свойств локомотива, исключения потерь энергии и повышенного износа бандажей колёсных пар при боксовании, необходимо в процессе движения постоянно контролировать и иметь возможность регулировать сцепление колеса с рельсом. Эта проблема актуальна для локомотивов с электроприводами, использующими как тяговые электродвигатели постоянного тока, так и асинхронные тяговые двигатели [1, 2].

В настоящее время, в связи с резким подорожанием энергоносителей, требования к противобоксовочным системам изменились. Вместо ограничения скорости скольжения колеса относительно рельса (после его выявления) теперь требуется поддержание такой его величины, при которой реализуется максимально возможная по условиям сцепления сила тяги. Это представляет собой достаточно сложную задачу, т.к. на этот процесс существенно влияет целый ряд внешних факторов, таких как температура и погодные условия, состояние рельсов и др. Существующие системы управления включают в себя устройства обнаружения боксования и подавления его развития, с этой целью используются различные средства, которые повышают коэффициент сцепления: механическая и химическая очистка рельсов, очистка рельсов источниками высокой энергии, подсыпка песка,

кратковременное снижение силы тяги, приложение на короткое время тормозной силы [3, 4].

Для обнаружения боксования существует ряд способов, основанных на измерении: разности скоростей вращения колесных пар, разности токов (напряжений) тяговых двигателей, механических колебаний (вибраций) тяговых осей моторно-колесного блока. Однако, необходимо отметить, что процесс боксования требует дальнейшего изучения и в настоящее время нет такого метода, который бы не имел недостатков [5, 6]. Например, повышение чувствительности устройств обнаружения боксования приводит к ложным срабатываниям, а понижение чувствительности приводит к неспособности распознать начавшийся процесс боксования. Поэтому разработка модели, позволяющей проводить исследования тягового электропривода с целью построения наиболее приемлемой системы обнаружения и подавления боксования, является актуальной задачей [8].

**Целью статьи** является разработка модели системы обнаружения и защиты от боксования на тяговом асинхронном электроприводе.

На рис. 1 приведена структурная схема разработанной модели для исследования боксования.

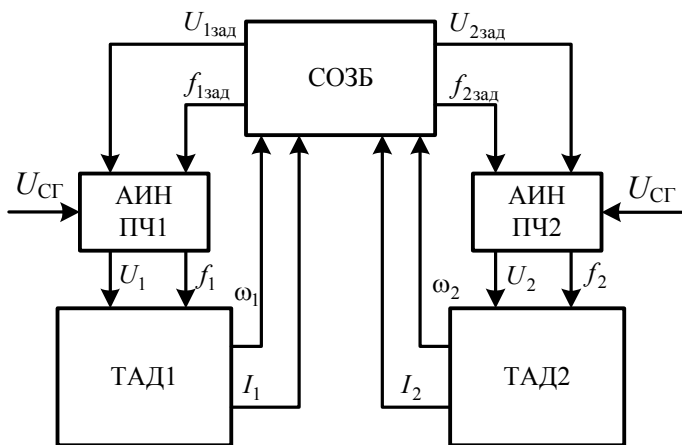


Рис. 1. Структурная схема разработанной модели для исследования боксования

Здесь приведены следующие обозначения: СОЗБ – система обнаружения и защиты от боксования; АИН ПЧ – автономный инвертор

напряжения – преобразователь частоты; ТАД – тяговый асинхронный двигатель;  $U_i, f_i$  ( $i = \overline{1,2}$ ) – соответственно напряжение и частота питания  $i$ -го двигателя;  $\omega_i, I_i$  ( $i = \overline{1,2}$ ) – соответственно частота вращения ротора и ток, протекающий в обмотках статора  $i$ -го двигателя,  $U_{\text{СТ}}$  – напряжение на выходе синхронного генератора.

В качестве модели ТАД использовалась известная математическая модель тягового асинхронного привода с учетом общеизвестных допущений, представленная в неподвижной системе координат  $(\alpha, \beta, 0)$  и выраженная через токи следующим образом [9]:

$$\frac{di_{s\alpha}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} U_{s\alpha} - \gamma i_{s\alpha} + \frac{\beta}{T_r} \Psi_{r\alpha} + p\beta\omega\Psi_{r\beta}; \quad (1)$$

$$\frac{di_{s\beta}}{dt} = \frac{1}{\sigma L_s} U_{s\beta} - \gamma i_{s\beta} + \frac{\beta}{T_r} \Psi_{r\beta} + p\beta\omega\Psi_{r\alpha}; \quad (2)$$

$$\frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{s\alpha} - \frac{\Psi_{r\alpha}}{T_r} - p\omega\Psi_{r\beta}; \quad (3)$$

$$\frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{s\beta} - \frac{\Psi_{r\beta}}{T_r} - p\omega\Psi_{r\alpha}; \quad (4)$$

$$M = \frac{3}{2} p \frac{L_m}{\sigma L_r} (\Psi_{r\alpha} i_{s\beta} - \Psi_{r\beta} i_{s\alpha}); \quad (5)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{p}{J} (M^* - M_c), \quad (6)$$

где  $i_{s\alpha}, i_{s\beta}$  – соответственно проекции тока статора на оси  $\alpha$  и  $\beta$ ;  $t$  – время;  $\sigma = 1 - k_s k_r = 1 - L_m^2 / (L_s L_r)$  – полный коэффициент рассеивания;  $L_m, L_s, L_r$  – соответственно взаимная индуктивность, индуктивность статора и ротора;  $U_{s\alpha}, U_{s\beta}$  – соответственно проекции напряжения статора на оси  $\alpha$  и  $\beta$ ;  $\gamma = \frac{R_s}{\sigma L_s} + \frac{R_r L_m^2}{\sigma L_s L_r^2}$ ;  $R_s, R_r$  – активные сопротивления статора и ротора;  $\beta = \frac{L_m}{\sigma L_s L_r}$ ;  $T_r = \frac{L_r}{R_r}$  – постоянная времени ротора;  $p$  – число пар полюсов;  $\Psi_{r\alpha}, \Psi_{r\beta}$  – соответственно проекции потокосцеплений ротора на оси  $\alpha$  и  $\beta$ ;  $\omega$  – частота вращения ротора;  $J$  – приведенный момент инерции двигателя;  $M$  – электромагнитный момент

одного двигателя;  $M^*$  – суммарный момент двух двигателей (одна головка дизель-поезда);  $M_c$  – момент сопротивления движению.

В блоке СОБЗ (рис. 1) для обнаружения боксования выполняются следующие операции: вычисляются разницы частот вращения тяговых двигателей (колесных пар), а также потребляемых токов каждым из двигателей; кроме этого, рассчитываются значения производных частот вращения и потребляемых токов. При обнаружении боксования система удерживает напряжение питания ТАД на уровне, которой соответствовал моменту обнаружения боксования.

На рис. 2 приведены зависимости частот вращения небоксующей колесной пары ( $\omega_1$ ) и боксующих колесных пар с учетом воздействия ( $\omega_2$ ) и без учета воздействия ( $\omega_3$ ) системы защиты от боксования. В момент времени  $t = 5$  с была смоделирована ситуация потери сцепления второй колесной пары ( $\omega_2$ ). Система защиты отреагировала соответствующим ограничением роста частоты и амплитуды питающего напряжения ТАД боксующей колесной пары ( $U_2$ ). Как видно из рис. 2, частоты вращения первой и второй колесных пар практически не отличаются, что свидетельствует о правильности работы системы защиты от боксования.

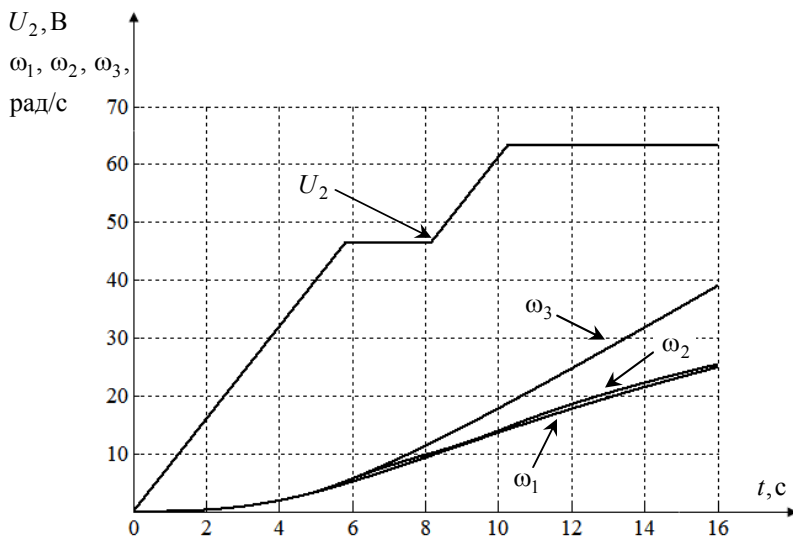


Рис. 2. Результат моделирования процесса боксования

**Выводы.** Разработана математическая модель, которая обладает универсальностью и позволяет проводить исследования асинхронного тягового электропривода при различных видах боксования колесных пар. Данная модель была использована при создании системы управления асинхронным тяговым приводом дизель-поезда ДЭЛ-02.

**Список литературы:** 1. *Воробьев А.А.* Исследование напряженного состояния пятна контакта колеса и рельса / *А.А. Воробьев, П.Г. Сорокин* // Новые материалы и технологии в машиностроении. – Брянск: БГИТА. – 2004. – С. 8-18. 2. *Федяева Г.А.* Управление тяговым электроприводом на пределе по сцеплению колёс с рельсами и подавление фрикционных автоколебаний / *Г.А. Федяева, С.Ю. Матюшков, Г.В. Роговцев, А.Н. Тарасов* // Вісник СНУ ім. В. Дая. – 2011. – № 4 (158). – С. 31-35. 3. *Фролов А.В.* Повышение тяговых свойств тепловозов / *А.В. Фролов* // Известия ПГУПС. Исторические аспекты науки и техники. – 2011. – № 1. – С. 391-402. 4. *Самме Г.В.* Новые результаты в теории сцепления локомотива / *Г.В. Самме* // Транспорт Российской Федерации. Подвижной состав. – 2010. – № 3 (28). – С. 14-16. 5. *Polach O.* Influence of Locomotive Tractive Effort on the Forces Between Wheel and Rail / *O. Polach* // Vehicle System Dynamics Supplement. – 2001. – Vol. 35. – P. 7-22. 6. *Pichlik P.* Overview of Slip Control Methods Used in Locomotives / *P. Pichlik, J. Zdenek* // Transactions on Electrical Engineering. – 2014. – Vol. 3. – № 2. – P. 38-43. 7. *Артемченко А.Н.* Система автоматического выравнивания нагрузки тягового электропривода карьерного электровоза / *А.Н. Артемченко* // Електромеханічні системи та автоматизація. Вісник КДУ ім. М. Остроградського. – 2010. – Вип. 4 (63). – С. 56-58. 8. *Ляпушкин Н.Н.* Моделирование процесса сцепления колеса локомотива с рельсом / *Н.Н. Ляпушкин, А.Н. Савоськин, А.А. Чучин* // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 6 (31). – С. 50-53. 9. *Сандлер А.С.* Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями / *А.С. Сандлер, Р.С. Сарбатов.* – М.: Энергия. – 1974. – 328 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Vorob'ev A.A.* Issledovanie naprjzhenного sostojanija pjatna kontakta kolesa i rel'sa / *A.A. Vorob'ev, P.G. Sorokin* // Noveye materialy i tehnologii v mashinostroenii. – Brjansk: BGITA. – 2004. – S. 8-18. 2. *Fedjaeva G.A.* Upravlenie t'jagovym jelektroprivodom na predele po scepленiju koljos s rel'sami i podavlenie frikcionnyh avtokolebanij / *G.A. Fedjaeva, S.Ju. Matjushkov, G.V. Rogovcev, A.N. Tarasov* // Visnik SNU im. V. Dalja. – 2011. – № 4 (158). – S. 31-35. 3. *Frolov A.V.* Povyshenie t'jagovyh svojstv teplovozov / *A.V. Frolov* // Izvestija PGUPS. Istoricheskie aspekty nauki i tehniki. – 2011. – № 1. – S. 391-402. 4. *Samme G.V.* Noveye rezul'taty v teorii scepленija lokomotiva / *G.V. Samme* // Transport Rossijskoj federacii. Podvizhnoj sostav. – 2010. – № 3 (28). – S. 14-16. 5. *Polach O.* Influence of Locomotive Tractive Effort on the Forces Between Wheel and Rail / *O. Polach* // Vehicle System Dynamics Supplement. – 2001. – Vol. 35. – S. 7-22. 6. *Pichlik P.* Overview of Slip Control Methods Used in Locomotives / *P. Pichlik, J. Zdenek* // Transactions on Electrical Engineering. – 2014. – Vol. 3. – № 2. – S. 38-43. 7. *Artemenko A.N.* Sistema atomaticheskogo vyravnivanija nagruzki t'jagovogo jelektroprivoda kar'ernogo jelektrovoza / *A.N. Artemenko* // Elektromehanichni sistemi ta avtomatizacija. Visnik KDU im. M. Ostrogradskogo. – 2010. – Vip. 4 (63). – S. 56-58. 8. *Ljapushkin N.N.* Modelirovanie processa scepленija kolesa lokomotiva s rel'som / *N.N. Ljapushkin, A.N. Savos'kin, A.A. Chuchin* // Transport Rossijskoj federacii. – 2010. – № 6 (31). – S. 50-53. 9. *Sandler A.S.* Avtomaticheskoe chastotnoe upravlenie asinhronnymi dvigateljami / *A.S. Sandler, R.S. Sarbatov.* – M.: Jenergija. – 1974. – 328 s.

*Поступила (received) 19.12.2014*

*Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ"  
Дмитриенко В.Д.*

Noskov Valentin, Dr.Sci.Tech, Professor  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
Str. Frunze, 21, Kharkov, Ukraine, 61002  
Tel.: (067) 421-44-66, e-mail: val1942@mail.ru  
ORCID ID: 0000-0002-7879-0706

Mezentsev Nikolay, Cand.Sci.Tech, Docent  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
Str. Frunze, 21, Kharkov, Ukraine, 61002  
Tel. (098) 859-88-98, e-mail: besitzer@i.ua  
ORCID ID: 0000-0001-7834-2797

Gejko Gennadij, Senior Lecturer  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
Str. Frunze, 21, Kharkov, Ukraine, 61002  
Tel. (098) 929-85-28, e-mail: e2901@rambler.ru  
ORCID ID: 0000-0001-6958-8306