

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ РУДНИЧНЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

А. А. Хараджян., к.т.н.

Криворожский государственный педагогический университет

пр-в. Гагарина, 56, 50000, г. Кривой Рог, Украина

kh_aa@mail.ru

Д. А. Шокарев., ст. преп., Е. И. Скапа. студ.

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг., Украина

E-mail: seem@kdu.edu.ua

Предложен способ построения модели шахтных поездов с учетом особенностей их эксплуатации. Приведены особенности моделирования движения шахтных локомотивов с учетом влияния контакта «колесо-рельс». Разработанная модель позволяет моделировать переходные процессы при трогании и торможении подвижного состава.

Ключевые слова: шахтные локомотивы, динамическая модель, система «колесо-рельс».

Введение. Моделирование движения шахтных локомотивов имеет много особенностей. В первую очередь, плохое состояние рельсового полотна (грязь, вода). Также значительное влияние оказывает достаточно жесткая подвеска локомотивов и вагонов и отсутствие эффективных демпферов в сцепных устройствах.

Анализ предыдущих исследований. Характер движения составов таков, что его нельзя рассматривать как установившееся движение, так как три четверти времени движения приходится на погрузочно-разгрузочные операции. Выполнение данных операций сопряжено со старт-стопными режимами на малых скоростях (2–5 км/ч).

Эти особенности существенно отличают динамику движения шахтных локомотивов от магистральных. Без учета этой спецификации нельзя построить синтез уравнения тяговых электротехнических комплексов рудничного электровоза, отвечающего требованиям в условиях подземных работ.

В литературе достаточно много рассматривается вопросов, связанных с моделированием либо математическим описанием процессов, протекающих в точке контакта колесо-рельс [1], статических режимов экипажа [2], динамической устойчивости колесного экипажа электровагонсоставов. Однако вопросы, связанные с моделированием движения всего состава как комплексной электромеханической системы рассматриваются поверхностно [3, 4].

При оптимизации систем тяговых электротехнических комплексов рудничных локомотивов основной задачей является моделирование движения всего состава с учетом особенностей движения каждой ведущей колесной пары. Для решения такой задачи недостаточно рассматривать динамические свойства отдельной колесной пары при ее качении по рельсу.

Цель работы. Разработка динамической математической модели колесной пары рудничного двухосного электровоза.

Материал и результаты исследования. Для анализа движения шахтного локомотива необходимо построение распределенной модели колесных

пар, связанных друг с другом сцепными устройствами или конструктивными элементами локомотива или вагонов. Движение отдельных колесных пар можно описать с помощью уравнений Лагранжа:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial Q}{\partial \dot{x}_i} \right) - \frac{\partial Q}{\partial x_i} = - \frac{\partial U}{\partial x_i} - \frac{\partial R}{\partial \dot{x}_i} + F_i(t),$$

где $R(\dot{x}_i)$ – функция рассеивания энергии; h_i – коэффициент рассеивания энергии вследствие вязкости системы; $F_i(t)$ – обобщенная внешняя сила; Q – кинетическая энергия системы в функции обобщенных координат; U – потенциальная энергия; x_i – обобщенная координата.

Выполнив преобразования, получим дифференциальные уравнения движения одной колесной пары с присоединенными массами:

$$m_i \ddot{x}_{1i} + h_{1i} \dot{x}_{1i} + f(x_{1i} - x_{1i+1})(x_{1i} - x_{1i+1}) = F(t);$$

$$j_i \ddot{x}_{2i} + h_{2i} \dot{x}_{2i} = M(t).$$

При моделировании вагонов внутренние активные силы и моменты равны нулю.

Рассмотрим модель контакта «колесная пара – рельс». Сила тяги определяется силой трения в точке контакта колесо-рельс

$$F_m = N\psi,$$

где N – реакция в точке касания; ψ – коэффициент сцепления (трения) в точке контакта колесо-рельс.

Момент сопротивления определяется силами сопротивления линейного движения колеса:

$$M_c = \frac{F_c R_k}{k_{ред}},$$

где F_c – сила сопротивления; R_k – радиус колеса; $k_{ред}$ – коэффициент передачи редуктора.

Рассмотрим теперь модель силы трения или коэффициента сцепления. Для точки контакта вводятся два режима: скольжение и сцепление. В режиме скольжения сила трения направлена против скорости скольжения точки контакта и равна по модулю произведению коэффициента трения скольжения f на модуль нормальной реакции N . Скорость скольжения равна проекции относительной скорости

точки на контактной плоскости и определяется выражением

$$F_{mp.ck.max} = \psi(V_{ck})gM, \quad (1)$$

где $V_{ck} = V_k - \omega R_k$ – скорость скольжения.

Прежде чем перейти к построению модели силы трения в режиме сцепления рассмотрим критерий перехода от режима скольжения к режиму сцепления [5]. Переход осуществляется, когда скорость скольжения меняет свой знак. В режиме сцепления сила трения вычисляется в соответствии с формулой

$$F_1 = c_{mp}(x_k - x_{k0}) + h_{mp} \left(\frac{dx_k}{dt} \right),$$

где x_k – текущее значение относительной координаты; x_{k0} – значение относительной координаты в момент перехода от режима скольжения к режиму сцепления.

Таким образом, при переходе к сцеплению точка контакта “привязывается” к контактной плоскости линейным упруго-диссипативным элементом.

Режим сцепления заканчивается при достижении силой трения предельного значения, то есть при выполнении условия

$$|F_1| < F_{mp.ck.max}. \quad (2)$$

При выполнении условия (2) на данном шаге интегрирования для силы трения принимается значение в соответствии с формулой (1) и включается режим скольжения. Таким образом сила скольжения в общем виде

$$F_{mp.ck} = \begin{cases} F_1; & |F_1| < F_{mp.ck.max}; \\ F_{mp.ck.max}; & |F_1| \geq F_{mp.ck.max}. \end{cases}$$

Значения параметров жесткости и рассеяния энергии, входящих в модель контактного взаимодействия, для исследования динамики колесных пар должны принимать весьма большие значения, и уравнения движения становятся жесткими, что требует применения специальных методов интегрирования.

Сила трения качения колеса по рельсу

$$F_{mp.кач.} = -\text{sign}(V)gM \frac{k_{кач.}}{R_k}.$$

Сила, возникающая в сцепном устройстве или в связях между осями одного локомотива,

$$F_{сц.} = \begin{cases} 0, & |x_i - x_{i+1}| < x_{сц.л.}; \\ c_{сц.}(x_i - x_{i+1}) + h(V_i - V_{i+1}), & |x_i - x_{i+1}| > x_{сц.л.} \end{cases}$$

На основе разработанной модели выполнено моделирование движения состава, состоящего из двух шахтных локомотивов К14 и 10 (5) вагонеток. Например, переходные процессы тока одного из двигателей на начальном этапе движения приведены на рис. 1, 2.

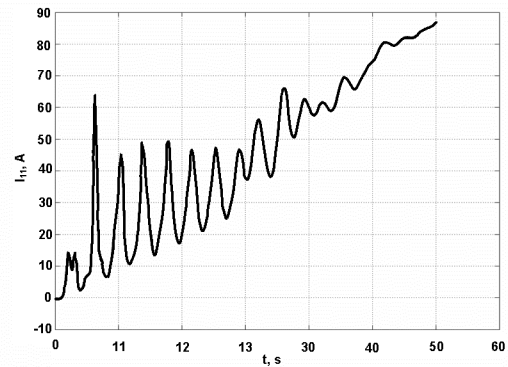


Рисунок 1 – Переходной процесс по току двигателя первой колесной пары локомотива в составе из 2 локомотивов и 10 вагонов

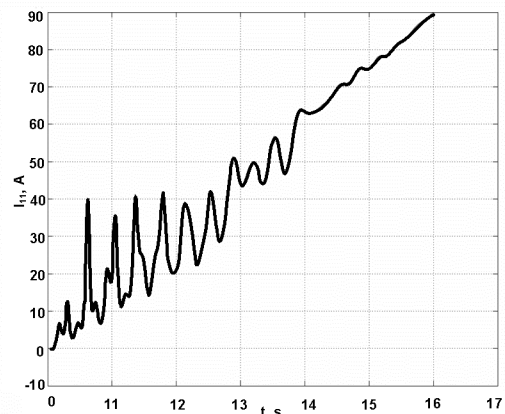


Рисунок 2 – Переходной процесс по току двигателя первой колесной пары локомотива в составе из 2 локомотивов и 5 вагонов

Выводы. Моделирование движения рудничных электровагонсоставов позволяет утверждать, что данная структура модели колесной пары электровагона и состава в целом обеспечивает отображение реального изменения параметров.

Разработанная модель может быть использована для моделирования динамики движения рудничных электровагонов при разработке современных систем управления тяговых электротехнических комплексов, адаптированных к реальным условиям шахт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Денищенко А.В., Биличенко Ю.Н., О скольжении ведущих колес шахтного локомотива // Науковий вісник НГУ. – 2009. – № 10. – С. 81–83.
2. Биличенко Ю.Н., Денищенко А.В., Дополнительная сила прижатия ведущих колес шахтного локомотива к рельсовому пути // Науковий вісник НГУ. – 2009. – № 11. – С. 56–60.
3. Гребенюк П.Т., Долганов А.Н., Скворцова А.И. Тяговые расчеты: Справочник. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
4. Кузьмич В.Д., Руднев В.С., Френкель С.Я. Теория локомотивной тяги: Учебник для вузов ж.-д. транспорта. – М.: «Маршрут», 2005. – 448 с.

5. Моделирование контактных взаимодействий в задачах динамики систем тел / Д.Ю. Погорелов, А.Э. Павлюков, Т.А. Юдакова, С.В. Котов // Динамика, прочность и надежность транспортных

машин: Сб. науч. трудов. – Брянск: БГТУ, 2002. – С. 58–64.

Стаття надійшла 13.03.2011 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Сінчуком О.М

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ КОМПЛЕКСАХ РУДНИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

А. А. Хараджян, к.т.н.

Криворізький державний педагогічний університет

просп. Гагаріна, 56, 50000, Кривий Ріг, Україна

Д. А. Шокар'єв., ст. викл., Е. И Скапа., студ.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна

E-mail: seem@kdu.edu.ua

Запропоновано спосіб побудови моделі шахтних поїздів з урахуванням особливостей їх експлуатації. Наведені особливості моделювання руху шахтних локомотивів з урахуванням впливу контакту «колесо–рейка». Розроблена модель дозволяє моделювати перехідні процеси при русанні та гальмуванні рухомого складу.

Ключові слова: шахтні локомотиви, динамічна модель, система «колесо–рейка».

SPECIAL FEATURE THE DESIGN DYNAMIC PROCESSES IN TRACTION ELECTRICAL ENGINEERING COMPLEXES MINE LOCOMOTIVES

A. Haradzhyan., Cand. of Sc. (Tech.), Assoc. Prof.

Kryvyi Rih State Pedagogical University

prosp. Gagarina, 56, 50000, Kryvyi Rih, Ukraine

D. Shokarev, Sen. Lect., E. Skapa, stud.

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine

E-mail: seem@kdu.edu.ua

Proposed a method for constructing a model of mine trains, taking into account the peculiarities of their operation. The features of modeling the movement of mine locomotive, taking into account the influence of contact "wheel–rail." The developed model allows to simulate the transients when starting and stopping of the rolling stock.

Key words: mine locomotives, dynamic model, the system of "wheel–rail."