

УДК 622-625.28-83

Е. И. Скапа, аспирант

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг, Украина

ДИНАМИКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ШАХТНЫХ КОНТАКТНО-АККУМУЛЯТОРНЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ С АСИНХРОННЫМ ТЯГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

В работе исследованы режимы функционирования тяговых электрических комплексов в функции транспортного цикла движения электровозосоставов по видам горных выработок, что позволило определить поведение слагаемых комплекса: электровоз-вагонетки в динамике их воздействия и взаимовлияния при движении электровозосостава, а также выполнена проверка результатов аналитических исследований путем математического моделирования динамических процессов в тяговом комплексе: рудничный электровоз – вагонетки, как электромеханической системы, по результатам которого установлены максимальные продольно-динамические нагрузки в сцепных устройствах электровозах в процессе трогания и торможения; вычислены максимальные продольно-динамические нагрузки в сцепных устройствах электровозах в процессе трогания и торможения. Библ. 3, табл. 0, рис. 5.

Ключевые слова: контактно-аккумуляторный электровоз, погрузочно-разгрузочные операции, вагонетка, электровозосостав.

У роботі досліджені режими функціонування тягових електричних комплексів у функції транспортного циклу руху електровозосоставов по видах гірських вироблень, що дозволило визначити поведінку доданків комплексу: електровоз-вагонетки в динаміці їх дії і взаємовпливу при русі електровозосостава, а також виконана перевірка результатів аналітичних досліджень шляхом математичного моделювання динамічних процесів в тяговому комплексі: копальневий електровоз – вагонетки, як електромеханічної системи, за результатами якого встановлені максимальні подовжньо-динамічні навантаження в зчпних пристроях електровозах в процесі чіпання і гальмування; обчислені максимальні подовжньо-динамічні навантаження в зчпних пристроях електровозах в процесі чіпання і гальмування. Бібл. 3, таблиця. 0, мал. 5.

Ключові слова: контактно-аккумуляторний електровоз, вантажні операції, вагонетка, електровозосостав.

Введение

Стратегия автоматизации как и стратегия построения систем автоматического управления движением электрифицированными видами транспорта вообще, а шахт и рудников особенно, нацелена на решение глобально стратегической двуединой задачи: повышение производительности работы всего комплекса ВШТ и полное устранение или максимально достижимое снижение травматизма горнорабочих в процессе его эксплуатации.

Проведение экспериментальных исследований

Для решения поставленной задачи был проведен анализ динамических процессов в циклах движения рудничных электровозосоставов в железорудных шахтах. Это связано, прежде всего, с тем, что электровозы с различным типом тягового привода имеют различные сцепные свойства, что при прочих равных условиях во многом определяется различием тяговых и тормозных характеристик (их жесткостью). Поэтому обеспечение устойчивости системы «колесо – рельс» является важной

технической и, в конечном счете, экономической задачей, которая должна решиться усилиями тягового электротехнического комплекса. Для реализации рассмотрен случай прямолинейного движения колеса, давление которого на рельс, с постоянной скоростью в режимах тяги и торможения. Уравнения, описывающие взаимодействие сил привода с силой сцепления, и условия устойчивости имеют вид:

$$m_{ep} \frac{d\Delta V_{ck}}{dt} + \left(\frac{dF_{cл}}{dV_{ck}} - \frac{dF_{K.Д}}{dV_{ck}} \right) \Delta V_{ck} = 0, \tag{1}$$

$$m_{ep} \frac{d\Delta V_{ck}}{dt} + \left(\frac{dF_{cл}}{dV_{ck}} - \frac{dB_{Э.Д}}{dV_{ck}} \right) \Delta V_{ck} = 0. \tag{2}$$

Из данных уравнений следует, что в вопросе устойчивости привода по сцеплению колеса с рельсом ключевую роль играет жесткость тяговых и тормозных характеристик ТЭД: чем выше жесткость, тем большей устойчивостью процесса сцепления будет характеризоваться привод. Непосредственное влияние на сцепные качества тяговой подвижной единицы оказывают особенности электромеханических характеристик тягового электрического двигателя (ТАД). Система автоматического регулирования привода должна формировать по заданному закону тяговую или тормозную характеристики асинхронного тягового привода (ТАД), схематично показанные на рис. 1.

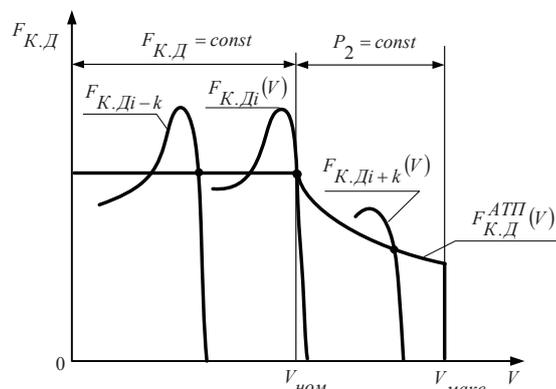


Рис. 1

Возможные варианты взаимодействия силы тяги асинхронного ТАД с силой сцепления в режиме тяги приведены на рис. 2. Из трех случаев рациональным с точки зрения экономии энергии и износа материалов колеса и рельса является только первый, поскольку ему соответствует наименьшее проскальзывание колеса относительно рельса и, следовательно, наибольшее значение КПД сцепления.

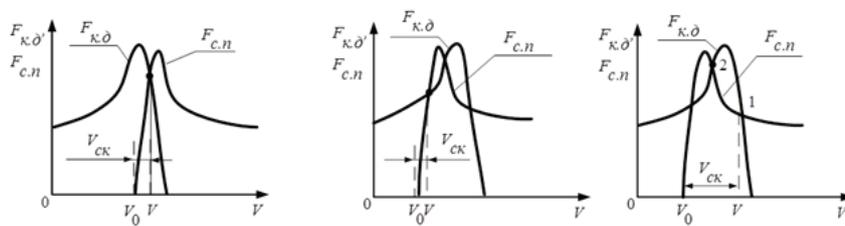


Рис. 2

Максимальные продольно-динамические нагрузки в буферно-сцепных устройствах рудничных электровозов при трогании и торможении состава, могут быть определены из выражений:

$$F_n = F_0 (1 - e^{-\phi K}) + S_K \frac{\cos^2 \frac{\pi}{2K}}{K \left(1 + \frac{\mu l}{m} \right)} \left(1 + \frac{1}{1 - \frac{P_K^2}{\omega^2}} \right), \tag{3}$$

$$F_{П.Т.} = F_0 (1 - e^{-\phi K}) + S_{K.Т.} \frac{\cos^2 \frac{\pi}{2K}}{K \left(1 + \frac{\mu l}{m} \right)} \left(1 + \frac{1}{1 - \frac{P_K^2}{\omega^2}} \right). \tag{4}$$

Значения продольно-динамических усилий в буферно-цепных устройствах вагонеток при взаимодействии с головной частью состава в процессе трогания и торможения устанавливаются из выражений:

$$S_K = \frac{r_K}{\alpha + K} + \sqrt{\left(\frac{F_K}{\alpha + K}\right)^2 + \frac{CKH \left[(F_K - P\omega')(2\alpha + K - 1) - Q\omega'(K - 1) \left(\alpha + \frac{2K - 1}{3} \right) \right]}{(\alpha + K - 1)(\alpha + K)}}, \quad (5)$$

$$S_{K.T.} = \frac{F_{K.T.}}{\alpha + K} + \sqrt{\left(\frac{F_{K.T.}}{\alpha + K}\right)^2 + \frac{CH \left[(F + P\omega') - Q\omega'\alpha \right] \left(\sum_{k=1}^K \sqrt{\frac{\alpha}{K} + 1} \right)^2}{(\alpha + K - 1)(\alpha + K)}}. \quad (6)$$

С целью упрощения расчетов и сохранения достаточно высокой точности применяются зависимости, не имеющие рекуррентности:

$$S_K^\alpha = S_K \left[1,85 - 0,85e^{-0,22(K-1)} \right], \quad (7)$$

$$S_{K.T.}^\alpha = S_{K.T.} \left[1,85 - 0,85e^{-0,22(K-1)} \right]. \quad (8)$$

Выражения для определения усилий в буферно-цепных устройствах электровозов при трогании и торможении поезда с автосцепками имеют вид:

$$F_{II}^\alpha = F_0(1 - e^{-\phi K}) + S_K \left[1,85 - 0,85e^{-0,22(K-1)} \right] \frac{2 \cos^2 \frac{\pi}{2K}}{K}, \quad (9)$$

$$F_{II.T.}^\alpha = F_0(1 - e^{-\phi K}) + S_{K.T.} \left[1,85 - 0,85e^{-0,22(K-1)} \right] \frac{2 \cos^2 \frac{\pi}{2K}}{K}. \quad (10)$$

Результаты расчетов и экспериментальных исследований продольно-динамических нагрузок в буферно-цепных устройства электровозов и вагонеток при трогании и торможении состава приведены на рис. 3, а, б соответственно.

Из анализа графиков следует, что максимальные продольно-динамические нагрузки в буферно-цепных устройствах электровозов в процессе трогания и торможения состава со звеньевыми сцепными устройствами возникают в период первых 4-5 ударов. Первые три удара сопровождаются ростом нагрузки. При последующих ударах нагрузки монотонно снижаются, приближаясь к предельному значению силы тяги по сцеплению. Нагрузки, возникающие в процессе торможения поезда, на 18–20 % выше нагрузок трогания.

С целью снижения нагрузок необходимо реализовать алгоритм движения тяговым приводом электровоза, обеспечивающим плавное трогание и торможение первых 5-6 вагонеток поезда.

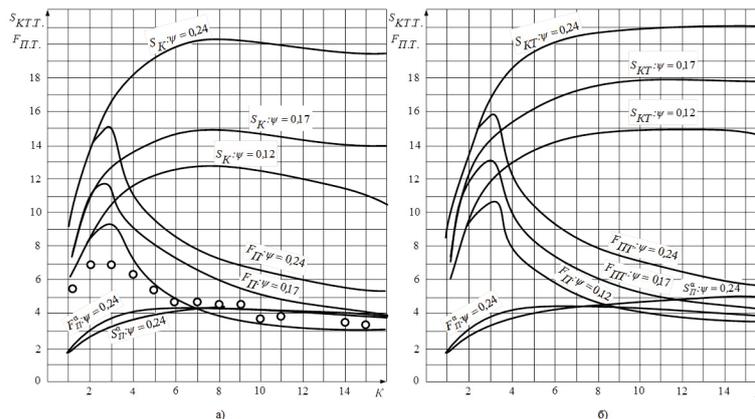


Рис. 3

Для построения алгоритма управления тяговым электротехническим комплексом рудничного электровоза принимается, что зазоры в кинематических звеньях автосцепок желательно проходить с небольшим ускорениями для смягчения ударов, затем величина ускорения могут резко возрасти до допустимых максимальных значений.

Также было проведено моделирование динамических процессов в тяговом комплексе. При погрузочно-разгрузочных операциях ТЭП рудничный электровоз работает в пусковременном режиме. В расчетах переходных процессов применяется трехмассовая модель электровоза и вагонеток, учитывающая упругие и вязкие свойства как электровоза и вагонеток, так и аппарата

сочленения. Параметрами обобщенной трех массовой механической системы являются суммарные приведенные моменты инерции масс и эквивалентные приведенные жесткости механических упругих связей. Для дальнейшего синтеза системы управления и регулирования, рассматривается динамика рудничного электровозного состава как трех массовая система. Уравнения динамики для прямолинейного движения электровоза, а также уравнения, описывающие электромеханические переходные процессы, приведенные к валу электродвигателя, имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{dF}{dt} = (Uz - F - V_1) / T_H, \frac{dV_1}{dt} = (F - F_1 - V_1 \cdot ck_{12} - \text{sign}F_{TP1}) / m_1, \frac{dF_1}{dt} = (V_1 - V_2) \cdot c_{12}, \\ \frac{dV_2}{dt} = (F_1 - F_2 - V_2 \cdot ck_{23} - \text{sign}F_{TP2}) / m_2, \frac{dF_2}{dt} = (V_2 - V_3) \cdot c_{23}, \\ \frac{dV_3}{dt} = (F_2 - \text{sign}F_{TP3}) / m_3, \\ \frac{dX_1}{dt} = V_1, \frac{dX_2}{dt} = V_2, \frac{dX_3}{dt} = V_3. \end{cases}$$

Анализ полученных результатов переходного процесса по положению (рис. 4) показывает, что при обработке заданного перемещения 0,8 в первом случае при загрузке одного вагона ошибка при остановке составляет 2,5 %, процесс колебательный без перерегулирования. Переходные процессы по перемещению рудничного электровоза с использованием регулируемого электропривода, настроенного на симметричный и модульный оптимум, приведенные на рис. 5 показывают, что максимальная установившаяся ошибка по перемещению при треугольном задании составляет 5% при шести загруженных вагонетках.

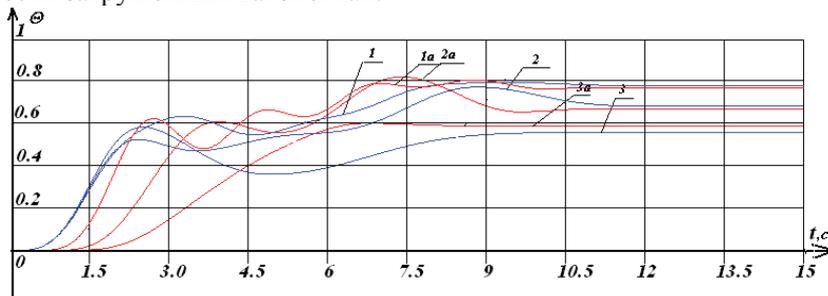


Рис. 4

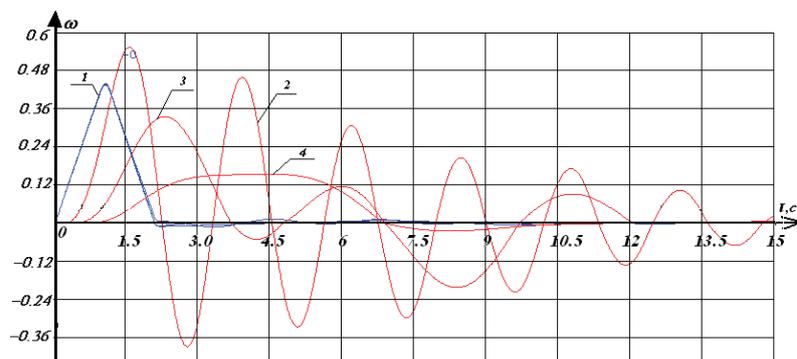


Рис. 5

Из-за больших и резкопеременных динамических режимов, протекающих в коротких (до 5 с) интервалах времени при торможении электровоза при погрузочных операциях основным видом торможения является пневматическое, когда колодочные тормоза фиксируют колесные пары электровоза. Для получения минимального времени торможения и динамических усилий требуется осуществить правильную регулировку тормозов – обеспечить требуемое значение тормозного усилия. Для этого была использована система уравнений:

$$\begin{cases} \ddot{x}_1 = \frac{1}{m_1} [-f(S)(\chi_1 - \chi_2) - W_1 \text{Sign} \dot{\chi}_1], \\ \ddot{x}_2 = \frac{1}{m_2} [f(S)(\chi_1 - \chi_2) - W_2 \text{Sign} \dot{\chi}_2]. \end{cases} \quad (11)$$

В (11) предварительный поиск осуществлялся методом градиента при соответствующих значений коэффициентов C_1 и C_2 60000 и 3000 соответственно. Для получения математического описания поверхности по методике и плану, аналогичному для процесса разгона была проведена серия из 17 экспериментов, результаты которых установили, что при торможении электровозосостава также наблюдается соответствие минимума коэффициента динамичности минимума времени торможения. Это объясняется тем, что при недостаточно интенсивном торможении рудничного электровозосостава, имеющего большую массу, происходит дополнительное ускорение электровоза, сопровождающееся увеличенными динамическими усилиями, что приводит к увеличению суммарного времени торможения системы.

Выводы

1. Исследованы режимы функционирования тяговых электрических комплексов в функции транспортного цикла движения электровозосоставов по видам горных выработок, что позволило определить поведение слагаемых комплекса: электровоз-вагонетки в динамике их воздействия и взаимовлияния при движении электровозосостава.

2. Проанализированы электромеханические процессы в тяговом электрическом комплексе в режимах пуска и торможения контактно-аккумуляторного электровоза; определены уровни взаимовлияния:

– максимальные продольно-динамические нагрузки в сцепных устройствах электровозах в процессе трогания и торможения; возникают в период первых 4–5 ударов. Первые три удара сопровождаются ростом нагрузки. При последующих ударах нагрузки монотонно снижаются, приближаясь к предельному значению силы тяги по сцеплению;

– продольно-динамические нагрузки в сцепных устройствах локомотивов и вагонеток при торможении предварительно растянутого состава на 18–20 % выше нагрузок, возникающих при трогании предварительно осаженого электровозосостава.

Список литературы

1. Шокарев Д. А., Скапа Е. И. Анализ влияния переходных процессов в тяговых двигателях электротехнических комплексов промышленных электровозов на общую динамику состава // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. № 4/2011(16). – С. 58–61.

2. Синчук И. О., Захаров В. Ю., Скапа Е. И. К вопросу анализа электромеханических переходных процессов в рудничных электровозосоставах при погрузочно-разгрузочных операциях // Науковий журнал «Вісник» Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2011. – Вип. № 4(158) Частина 1, 2011. – С.168–172.

3. Синчук О. Н., Скапа Е. И. Система управления контактно-аккумуляторными электровозами при погрузочно-разгрузочных операциях // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ, 2011. – Вип. № 4/2011(16). С. 74–77.

DYNAMICS OF FUNCTIONING AND AUTOMATIC CONTROL MOTION OF MINE PIN-STORAGE-BATTERY ELECTRIC LOCOMOTIVES WITH AN ASYNCHRONOUS HAULING DRIVE

E.I. Skapa

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

The modes of functioning of hauling electric complexes are in-process investigational in the function of a transport cycle of motion of electric locomotives on the types of the mountain making, that allowed to define the conduct of elements of complex: locomotive-trolleys are in the dynamics of their influence and influence at motion of electric locomotive. Verification of results of analytical researches is in-process executed by the mathematical design of dynamic processes in a hauling complex: a mine electric locomotive is trolleys, as an electromechanics system, on results which the maximal longitudinal-dynamic loadings are set in couplings devices electric locomotives in the process of touching and braking; the maximal longitudinal-dynamic loadings are calculated in couplings devices electric locomotives in the process of touching and braking. References 3, tables 0, figures 5.

1. Shokarev D. A., Skapa E. I. Analysis of influence of transients in the hauling engines of electrical engineerings complexes of industrial electric locomotives on the general dynamics of composition //

Electromechanical and energy saving systems. – Kremenchuk: KrNU, 2012. – Iss. 4/2011 (16). – P. 58–61. [in Russian]

2. *Sinchyk I. O., Zakharov V. Yu., Skapa. E.I.* To the question of analysis of electromechanics transients in rudnichnikh electric locomotives at loading-unloading operations // Scientific journal «Announcer» East the Ukrainian national university of the name of Volodymyr Dal. – Lugansk, 2011. – Iss. № 4 (158), Part 1, 2011. – P. 168–172. [in Russian]

3. . *Sinchyk O.N., Skapa. E.I.* Control system by pin-storage-battery electric locomotives at loading-unloading operations // Electromechanical and energy saving systems. – Kremenchuk: KrNU, 2012. – Iss. 4/2011 (16). – P. 74–77. [in Russian]