

О ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССАХ В ТЯГОВОМ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ ДВУОСНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ЕГО В СТАРТ-СТОПОРНОМ РЕЖИМЕ

Основным источником пополнения валютных запасов Украины является продукция железорудной промышленности и в частности железная руда. В силу ряда объективных причин основным видом добычи руды в стране становится подземный способ [1]. В свою очередь, несмотря на значительную разницу в себестоимости добычи железной руды в шахтах по отношению к открытым (карьерным) способом, всё же отметим, что с увеличением глубины добычи, себестоимость добычи руды в отечественных шахтах из года в год растёт.

Технология шахтной электровозной откатки подразумевает остановку загружаемой рудой вагонетки в строго определенном месте погрузки или выгрузки. Не выполнение этого условия неизбежно приводит к попаданию рудной массы на рельсы, что в свою очередь создает трудности при движении шахтного состава и снижению эффективности работы горно – добывающего участка в целом. Характер движения составов при погрузке или разгрузке в железорудных шахтах таков, что его нельзя рассматривать как установившееся движение, поскольку три четверти времени движения приходится на погрузочно-разгрузочные операции [1]. При этом движение состава являет собой колебательный процесс, т.е. выполнение данных операций сопряжено со старто-стопорными режимами на малых скоростях движения 2-5 км/ч вместо регламентируемых 8-10 км/ч [2-3].

Целью работы является разработка динамической математической модели и исследование динамических процессов в старт – стопорных режимах с анализом показателей качества движения для определения требований к системам управления тяговым электротехническим комплексом шахтных двuosных электровозов.

В известных исследованиях при анализе переходных процессов в тяговых электрических комплексах (ТЭТК) шахтных электровозных составов (электровозов и вагонетки), как правило, для построения математических моделей использовались 1-но массовая модель [4-5]. В работе предложена 3-х массовая модель, учитывающая упругие и вязкие свойства как электровоза и вагонеток, так и аппарата сочленения – автосцепок. Расчетные ситуации, рассматриваемые при моделировании: соударения вагонов при формировании поезда, пуск поезда и полное служебное торможение.

В общем случае механическая часть шахтного электровозного состава представляет собой систему связанных масс, движущихся с различными скоростями колебательно или поступательно. При изменении нагрузки элементы системы (валы, опоры, зубчатые зацепления и т.п.) деформируются, так как, механические связи не являются абсолютно жесткими. Входной вал механизма ТЭТК приводится во вращение со скоростью ω_1 электромагнитным моментом M , возникающим на роторе тягового асинхронного двигателя.

Для исследования динамики шахтного электровозного состава предложена система дифференциальных уравнений движения электровоза массой m_1 , загруженных вагонеток с суммарной массой m_2 , и пустых вагонеток с суммарной массой m_3 . На перечисленные массы действуют силы, обусловленные трением качения, вязким трением и упругостью связи соединения между электровозом с нагруженными вагонетками и нагруженными вагонетками с пустыми вагонетками. Математическая модель имеет вид:

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

где: U_z - напряжение задания; F - сила тяги, развиваемая электродвигателем электровоза; F_1, F_2 - соответственно силы упругости соединения между электровозом и нагруженными вагонетками и между нагруженными и пустыми вагонетками; V_1, V_2, V_3 - соответственно скорость электровоза, нагруженных вагонеток и пустых вагонеток; c_{12}, c_{23} - суммарные коэффициенты упругости соединения электровоза с нагруженными вагонетками и нагруженными вагонетками с пустыми вагонетками; ck_{12}, ck_{23} - коэффициенты вязкого трения нагруженных и пустых вагонеток; X_1, X_2, X_3 - соответственно пути пройденные электровозом, нагруженными и пустыми вагонетками; $F_{TP1}, F_{TP2}, F_{TP3}$ - соответственно силы трения электровоза, нагруженных и пустых вагонеток; m_1, m_2, m_3

- соответственно массы электровоза, нагруженных и пустых вагонеток, рассчитаны переходные процессы по положению электровоза и поочередной загрузке первой (Рис.1), третьей (Рис.2) и шестой вагонеток (Рис.3).

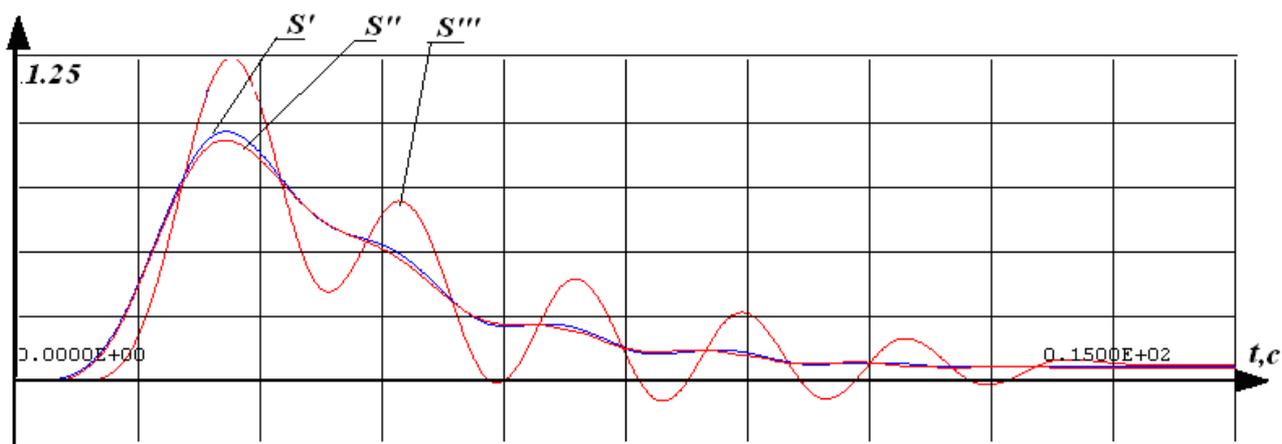


Рис.1 Переходные процессы по положению электровоза и загрузке первой вагонетки.

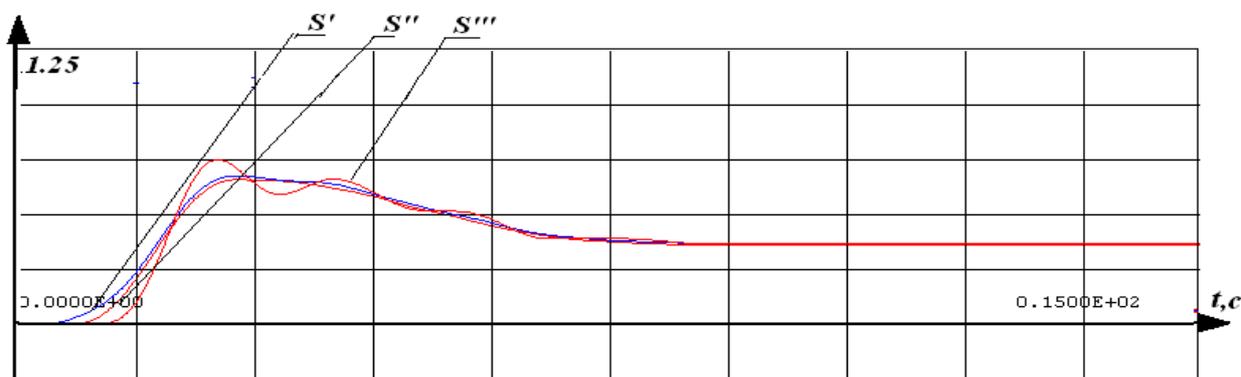


Рис.2 Переходные процессы по положению электровоза и поочередной загрузке трех вагонеток.

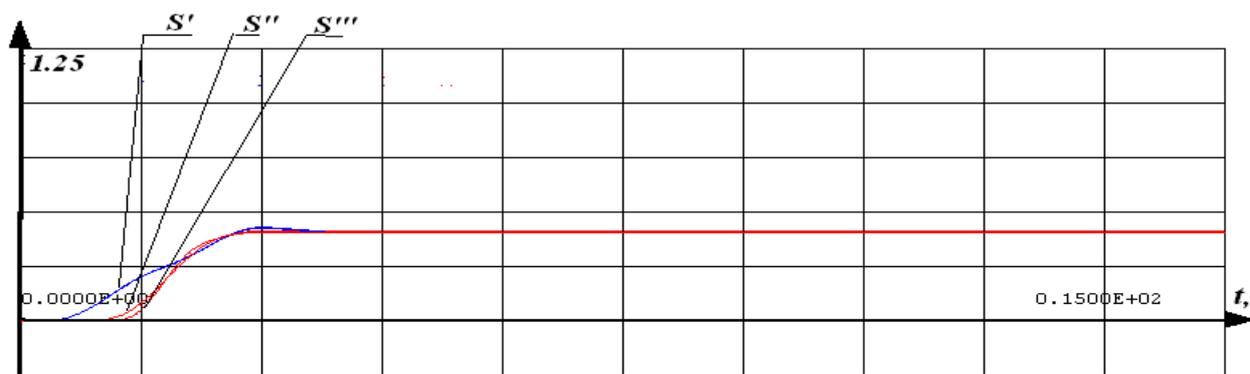


Рис.3 Переходные процессы по положению электровоза и поочередной загрузке шести вагонеток.

Анализ полученных результатов показал, что при загруженной одной вагонетке электровоз и вагонетка обрабатывают одинаковое перемещение равно $\theta = 0,78$, ошибка при остановке составляет 2,5%; при трех загруженных вагонетках $\theta = 0,7$, при шести - перемещение равно $\theta = 0,6$. Таким образом, при обработке заданного перемещения $\theta = 0,8$ ошибка – 12,5% и в первом случае при загрузке одной вагонетки процесс колебательный без перерегулирования. При загрузке в трех других случаях перерегулирование по перемещению электровоза составляет 10% по перемещению загруженной вагонетки. При загрузке шести – переходной процесс колебательный без перерегулирования по перемещению электровоза и аperiodический по перемещению груженых вагонеток.

При треугольном законе изменения напряжения управления и момента, развиваемый двигателем электропривода электровоза, переходный процесс по положению и скорости носит аperiodический с затухающими колебаниями характер. Частота и коэффициент затухания колебаний зависит от количества загруженных вагонеток. Для одной загруженной вагонетки $w_0 = 2\pi / (4,2 - 1,75) = 2,56$ рад/с, для трех –

$w_0 = 2\pi / (3,5 - 1,75) = 3,6$ рад/с, для шести - $w_0 = 2\pi / (4,5 - 1,75) = 2,28$ рад/с. Непропорциональное изменение частоты колебаний системы можно объяснить одновременным изменением коэффициентов упругости и моментов инерции. Максимальное время регулирования (протекания переходного процесса) составляет $t_0 = 11,5$ с при загруженной одной вагонетке. Для трех и шести вагонеток время регулирования составит $t_0 = 9,5$ с. Переходной процесс – колебательный, степень колебательности скорости вращения электровоза, загруженных и пустых вагонеток $m = 1$ (количеству полуволн). Повышение точности остановки загруженных вагонеток улучшается за счет увеличения амплитуды задающего сигнала по увеличению количества груженых вагонеток. Увеличение амплитуды задающего сигнала при загрузке трех вагонеток на $\Delta U_z = 0,06$, при погрузке шести вагонеток на $\Delta U_z = 0,12$. Характер переходных процессов остается неизменным.

Максимальная установившаяся ошибка по перемещению при “треугольном задании” составляет 5% при шести загруженных вагонетках [4, 5]. Процессы носят колебательный характер с меньшим коэффициентом затухания. Время переходного процесса составляет от 12с до 16с, что больше чем при отсутствии САР ТЭТК. Максимальное перерегулирование составляет 45% при загрузке трех вагонеток. Степень колебательности системы: $m = 7$ для одной загруженной вагонетки, $m = 3$ для трех, $m = 1$ для шести.

Вывод. Точность остановки шахтных электровозосоставов может быть улучшена путем ступенчатого увеличения амплитуды сигнала задания на перемещение в зависимости от количества груженых вагонеток, как в разомкнутой системе регулирования, так и с применением систем подчиненного регулирования тяговым электротехническим комплексом. При этом, когда загружено менее шести вагонеток переходной процесс носит колебательный характер.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины в 2009 – 2010 гг. Анализ мировой конъюнктуры рынка ЖРС 2004 – 2011 гг. / Е.К. Бабец, Л.А. Штанько, В.А. Салганик и др. – Кривой Рог: Видавничий дім, 2011 – 329 с.
2. Синчук О.Н. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровозов / О.Н. Синчук, И.О. Синчук, Н.Н. Юрченко, А.А. Чернышов, О.А. Удовенко, О.В. Пасько, Э.С. Гузов. Научное издание. – Київ: ІЕДНАНУ, 2006. – 252с.
3. Синчук О.Н., Чумак В.В., Ершов О.В. Импульсные системы управления и защита на рудничном электровозном транспорте. Монография – АДЕФ – Украина, 1998. – 280 с.
4. Исследование на математической модели процессов, происходящих в механической части электровоза рудничного транспорта АМ8 при разных системах управления электроприводом. Бураковский С.Г., Рафальский А.А. Вестник КДПУ имени Михаила Остроградского. Выпуск 4/2009 (57), 180-182с.
5. Методика анализа динамики шахтного локомотива с дизельным двигателем. Таран А.И. Информационные технологии ХДМИ №1, (2), 2010, 97-194с.
6. Блинов Е.И. Динамика машин. Москва 2004, 100с.