

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 62-93. 622.6.621.313.333

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА В SIMULINK

Ещин Е.К.,

докт.техн.наук, профессор, e-mail: eke_kuzstu@mail.ru

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева». Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

Аннотация

Актуальность работы: Почти за два века использования скребковых конвейеров они претерпели существенные "физические" изменения, связанные с совершенствованием конструкций, качества используемых материалов для их изготовления, устройств улучшения режимов работы, электроприводов. Однако дальнейшая тенденция развития горно - транспортного оборудования при увеличении длин лав угольных шахт и, соответственно, длин скребковых забойных конвейеров, обеспечивает ухудшение условий эксплуатации забойного оборудования. Поэтому необходимо создание программных комплексов для моделирования перспективных электромеханических систем скребковых конвейеров.

Цель работы: Разработка в программном пакете MatLab SimuLink модели электромеханической системы забойного скребкового конвейера и исследование на ее основе основных эксплуатационных характеристик скребковых конвейеров.

Методы исследований: Основаны на процедуре создания компьютерной модели электромеханической системы скребкового конвейера на базе пакета программ MatLab (SimuLink) и существующего математического описания процессов сложных систем электроснабжения. Модель учитывает возможность обмена энергией между головным и хвостовым электроприводами скребкового конвейера по путям механических передаточных устройств приводов через цепные тяговые органы грузовой и холостой ветви, а также по путям системы электроснабжения. Рассмотрены результаты моделирования.

Результаты: Получена SimuLink – модель скребкового конвейера, которая учитывает большинство факторов, определяющих состояние электромеханической системы этого объекта. Приведены результаты компьютерных экспериментов.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, электропривод, скребковый конвейер, цепной тяговый орган.

Введение. Неотъемлемой стороной функционирования асинхронного электропривода забойных машин являются условия и характер работы приводимых ими в действие механизмов, например, очистных комбайнов и скребковых конвейеров. Условия и характер функционирования указанных машин определяются сложным комплексом взаимодействия горно-геологических условий с принципиальным конструкционным решением машин и их конкретными конструктивными параметрами.

Скребокый конвейер (СК) с этой точки зрения – идеологически крайне простая машина, эксплуатируемая и изучаемая по крайней мере с начала XIX века [1]. Разумеется, почти за два века использования скребковых конвейеров они претерпели существенные "физические" изменения, связанные с совершенствованием конструкций, качества используемых материалов для их изготовления, устройств улучшения режимов работы, электроприводов. Сформировались теоретические

основы расчетной практики конструкций и исследования режимов работы СК [2÷24].

Важно отметить, что имеет место и предусматривается дальнейшее увеличение длин лав угольных шахт (300÷350 метров и более уже реальность) и, соответственно, длин скребковых забойных конвейеров, т.е. дальнейшая тенденция развития горно - транспортного оборудования как бы предполагает ухудшение условий эксплуатации забойного оборудования в смысле их динамической нагруженности, обуславливая "рост" нелинейностей.

Последствия динамических режимов работы крайне неудовлетворительны. Взаимодействие свойств угледобывающих машин, проявляющихся в возникновении таких режимов, со свойствами исполнительного асинхронного электродвигателя, представляющего из себя динамическое звено 5-го порядка, создает весьма опасные режимы как с позиции появления экстренных перегрузок, так и с позиций усталостной прочности элементов кон-

струкций всей электромеханической системы (ЭМС).

Цель работы. Разработка в MatLab SimuLink модели электромеханической системы забойного скребкового конвейера и исследование на ее основе основных эксплуатационных характеристик ЭМС СК.

Материал и результаты исследований. Рассмотрим электромеханическую систему скребкового конвейера в варианте использования по рисунку 1. Здесь используется забойный СК (А34) с длиной става более 200 метров. Электродвигатели получают питание от через кабельные линии (КГЭШ 3х95) с длинами 90 (головной) и 310 (хвостовой) метров от общего источника TN 6 – PO2.1 (1200 6-1.2). Заметим, что общность энергоснабжения означает, что, во-первых, в этих условиях электродвигатели будут работать с разными уровнями питающего напряжения, а во-вторых, при изменяющейся нагрузке на их валах появляется электрический контур для обмена электрической энергией между двигателями.

В этом варианте электроснабжения математическая модель электромеханического преобразования энергии совокупностью связанных электромеханических преобразователей (асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором) в общей для них системе электроснабжения по рисунку 1 будет выглядеть по [25], где: Nm – количество электродвигателей в модуле, N – количество электродвигателей в системе электроснабжения, $Nu = \text{int}((j + Nm - 1) / Nm)$ – номер модуля ($\text{int}(\langle \text{выражение} \rangle)$ – выделяет целую часть выражения). Параметры, начинающиеся с R и индексами s, r – активные сопротивления обмоток статоров и роторов АД, p_j – число пар полюсов, ω_j – геометрическая угловая скорость вращения ротора электродвигателя, Ψ_s, Ψ_r с индексами α, β – составляющие потокосцеплений статора и ротора по осям неподвижной системы координат, j – в индексном обозначении определяет номер двигателя; k_{rj}, L'_{sj} – коэффициенты электромагнитной связи и переходные индуктивности; L_{ko}, R_{ko} – индуктивность и активное сопротивление общего участка питающего кабеля; L_{kNu}, R_{kNu} – индуктивность и активное сопротивление общего участка

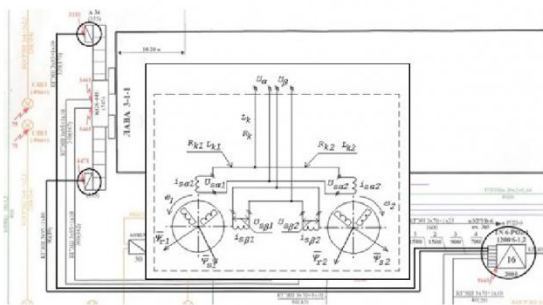


Рисунок 1 Принципиальная и расчетная схемы электроснабжения электроприводов скребкового конвейера

кабельной сети; L_{kNu}, R_{kNu} – индуктивности и активные сопротивления кабелей модулей;

$$\begin{aligned} & \frac{d\Psi_{s\alpha i}}{dt} + L_{ko} \sum_{j=1}^N \frac{1}{L'_{sj}} \cdot \frac{d\Psi_{s\alpha j}}{dt} + \\ & + L_{kNu} \sum_{j=[Nm \cdot Nu - Nm + 1]}^{[Nm \cdot Nu]} \frac{1}{L'_{sj}} \cdot \frac{d\Psi_{s\alpha j}}{dt} = \\ & = U_{\alpha} + L_{ko} \sum_{j=1}^N \frac{k_{rj}}{L'_{sj}} f_j^3 - R_{ko} \sum_{j=1}^N i_{s\alpha j} + \\ & + L_{kNu} \sum_{j=[Nu \cdot Nm - Nm + 1]}^{[Nu \cdot Nm]} \frac{k_{rj}}{L'_{sj}} f_j^3 - \\ & - R_{kNu} \sum_{j=[Nu \cdot Nm - Nm + 1]}^{[Nu \cdot Nm]} i_{s\alpha j} - R_{si} i_{s\alpha i}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{d\Psi_{s\beta i}}{dt} + L_{ko} \sum_{j=1}^N \frac{1}{L'_{sj}} \cdot \frac{d\Psi_{s\beta j}}{dt} + \\ & + L_{kNu} \sum_{j=[Nu \cdot Nm - Nm + 1]}^{[Nu \cdot Nm]} \frac{1}{L'_{sj}} \cdot \frac{d\Psi_{s\beta j}}{dt} = \\ & = U_{\beta} + L_{ko} \sum_{j=1}^N \frac{k_{rj}}{L'_{sj}} f_j^4 - R_{ko} \sum_{j=1}^N i_{s\beta j} + \\ & + L_{kNu} \sum_{j=[Nu \cdot Nm - Nm + 1]}^{[Nu \cdot Nm]} \frac{k_{rj}}{L'_{sj}} f_j^4 - \\ & - R_{kNu} \sum_{j=[Nu \cdot Nm - Nm + 1]}^{[Nu \cdot Nm]} i_{s\beta j} - R_{si} i_{s\beta i}, \end{aligned}$$

$$\frac{d\Psi_{r\alpha i}}{dt} = -R_{ri} i_{r\alpha i} - p_i \omega_i \Psi_{r\beta i} = f_i^3,$$

$$\frac{d\Psi_{r\beta i}}{dt} = -R_{ri} i_{r\beta i} + p_i \omega_i \Psi_{r\alpha i} = f_i^4.$$

Для синтеза математической модели цепного тягового органа была принята наиболее распространенная [8] дискретная модель упруго - пластического тела:

Такая модель позволяет достаточно просто организовать средствами MatLab SimuLink взаимодействие отдельных элементарных динамических звеньев (ЭДЗ) – рисунок 3:

Обозначения на рисунке 2 в соответствии с математической моделью для k -го ЭДЗ из N последовательно соединенных таковы - F_y – усилие в участке тягового органа с координатой k [Н], c – жесткость (упругость) цепи [Н/м], b – вязкость цепи [Н·с/м], V, V_m – скорости движения [м/с] начала тягового органа ЭДЗ и тела ЭДЗ массой m [кг], F_{next} – усилие в тяговом органе очередного ЭДЗ

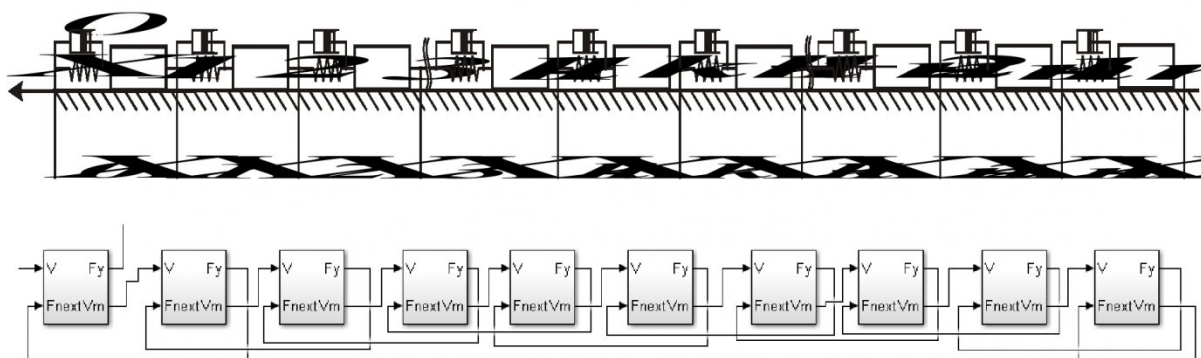


Рисунок 2 Последовательность ЭДЗ при моделировании цепного тягового органа.

[Н], F_{fr} – сила трения скольжения с нелинейным коэффициентом трения



Рисунок 3 Измерительное звено тяговой цепи скребкового конвейера

Нужно обратить внимание на следующее. Экспериментальные исследования динамических процессов в цепных тяговых органах проводились путем фиксации измерительного инструмента

Каждое элементарное звено представимо в SimuLink по [26] следующим образом (рисунок 4):

Агрегирование отдельных элементарных динамических звеньев в отдельные подсистемы последовательно, например, по 10 ЭДЗ и из полученных подсистем далее по 30 для грузовой и холостой ветвей СК дает структуры, в которых предусмотрен вывод информации о мгновенных значениях усилия в тяговой цепи и ее скорости в фиксированных сечениях тяговой цепи грузовой и холостой ветвях (рисунок 5 - координаты сечений по длине става [м] от 0 до 270 с шагом 30):

Видно, что участки тяговой цепи, находящиеся на различном расстоянии от начала координат (приводной звездочки) начинают движение последовательно во времени. Конечный элемент цепи с координатой $X=270$ м. начинает движение через 0.22 секунды после первого элемента. Естественно-

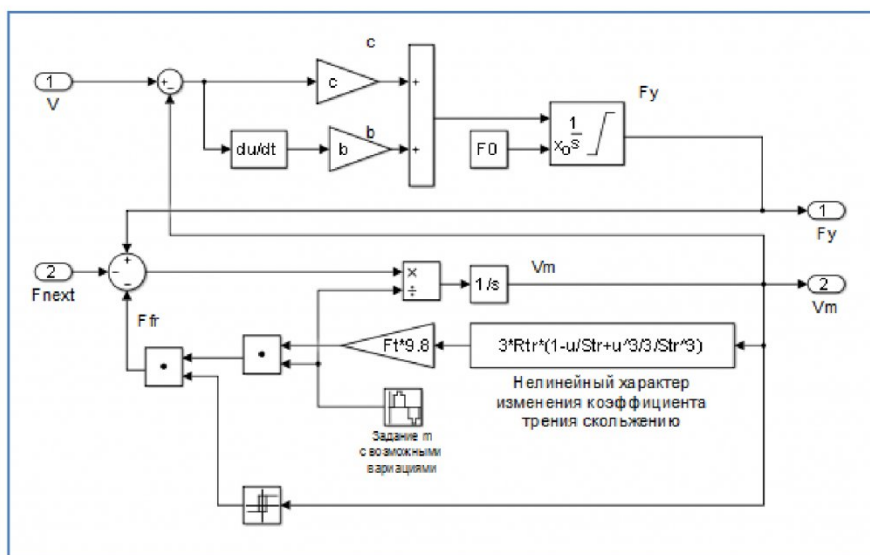


Рисунок 4 SimuLink – модель элементарного динамического звена (ЭДС)

(например, тензометрического датчика) в каком-то звене тяговой цепи (рисунок 3). Измерения проводились в этом звене при его движении, т.е. при изменяющейся координате X .

При использовании модели по рисунку 2 результаты расчетов будут получаться для фиксированных значений X .

но, что пусковой режим сопровождается максимальными значениями отклонений скоростей и усилий от значений установившегося режима (рисунок 6).

Организация связей между блоками моделирования грузовой и холостой ветвями тяговой цепи и асинхронными электродвигате-

лями головного и хвостового приводов приведена на рисунке 7, а структура связей электродвигате-

лей головного и хвостового приводов с тяговой цепью (груженой и холостой ветвями), а также с

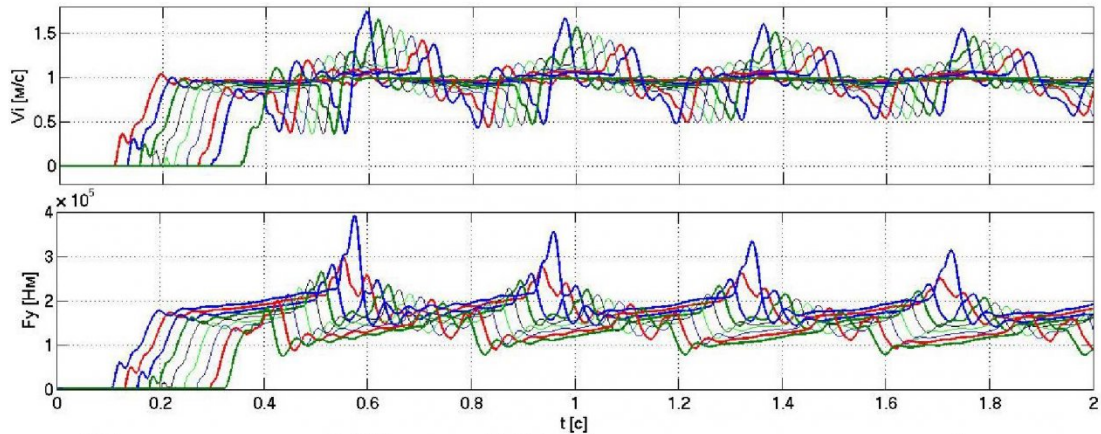


Рисунок 5 Изменение скоростей (V_i) и усилий (F_y) в фиксированных сечениях тяговой цепи грузовой ветви (координаты сечений по длине става [м] от 0 до 270 с шагом 30).

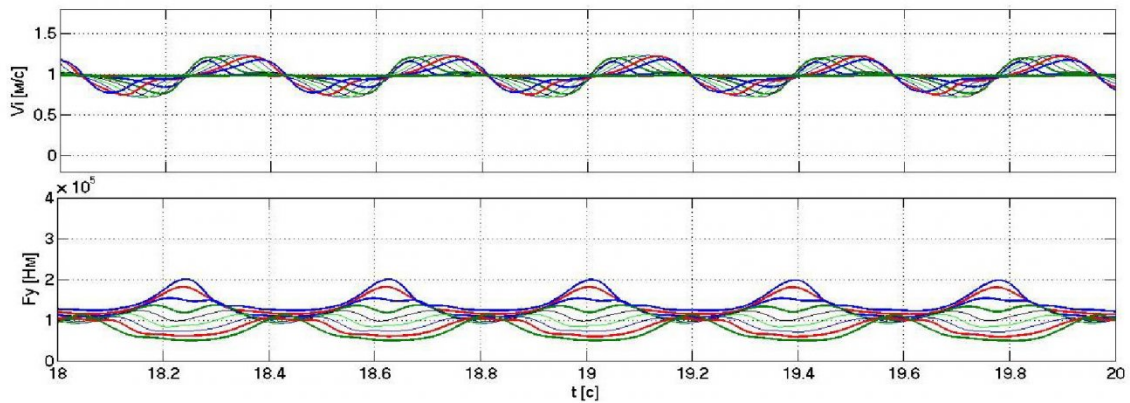


Рисунок 6 Изменение скоростей (V_i) и усилий (F_y) в фиксированных сечениях тяговой цепи грузовой ветви (координаты сечений по длине става [м] от 0 до 270 с шагом 30. Установившийся режим.

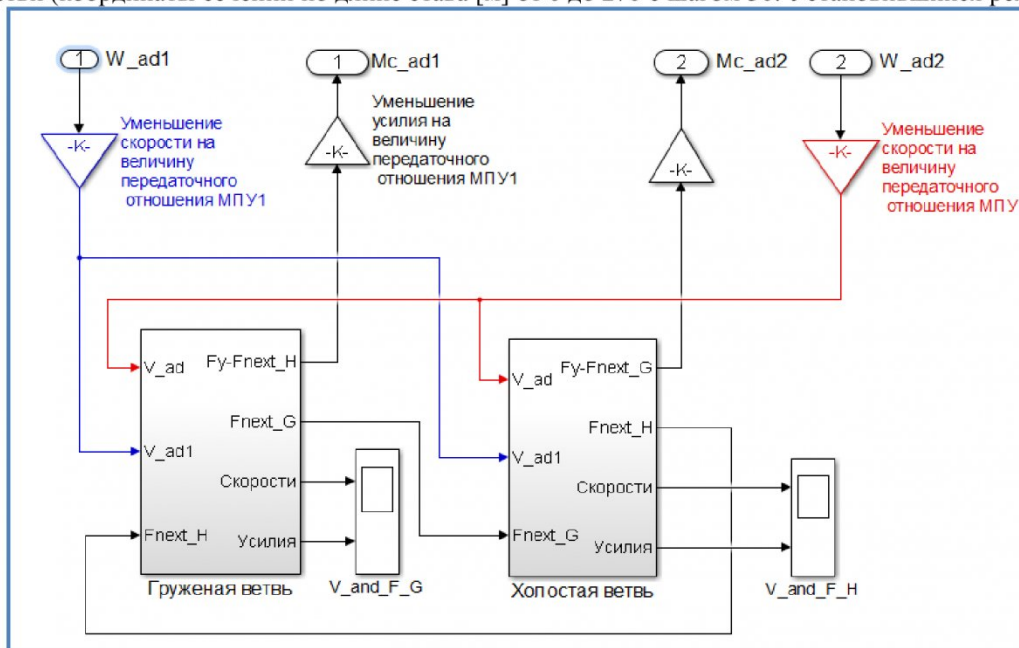


Рисунок 7 Организация связей между компонентами SimuLink – модели электромеханической системы СК

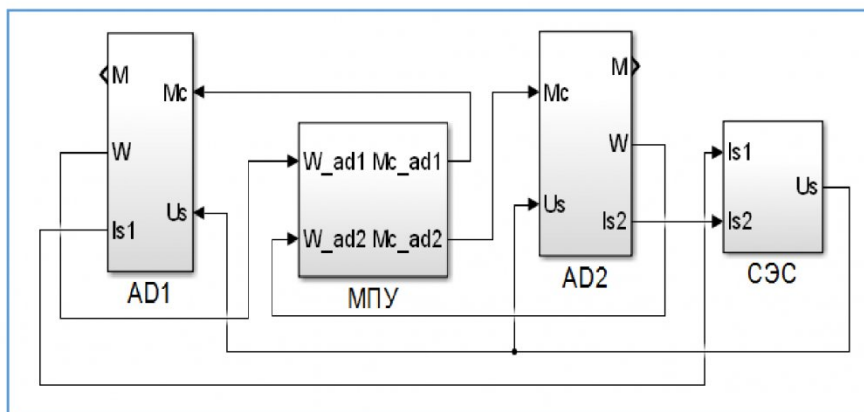


Рисунок 8 Структура связей электродвигателей головного и хвостового приводов с тяговой цепью

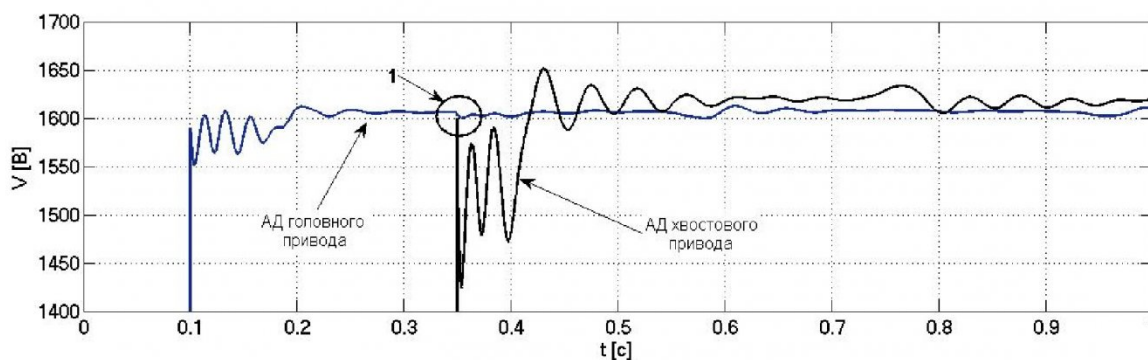


Рисунок 9 Изменение амплитуд питающего напряжения АД головного и хвостового приводов при пуске конвейера. 1 – изменения из-за пуска АД хвостового привода.

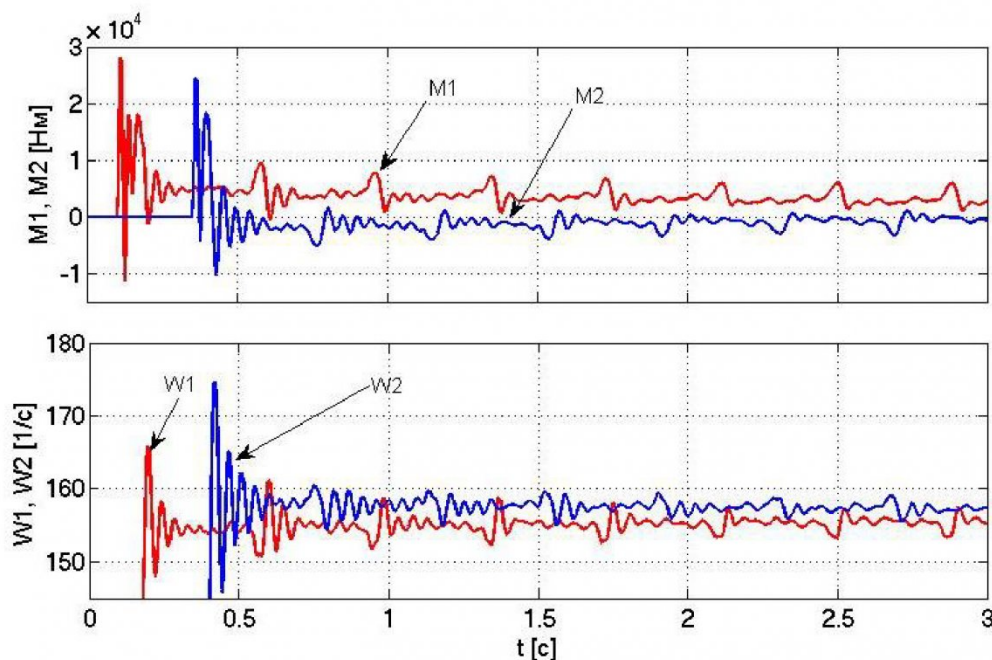


Рисунок 10 Пуск головного и хвостового приводов СК. Двигательный режим головного АД (индекс – 1). Генераторный режим хвостового АД (индекс – 2).

компонентами системы электроснабжения (СЭС) на рисунке 8.

Переходные процессы пуска головного и хвостового электроприводов приведены на рисунках

10, 11. Задержка пуска АД хвостового привода – 0.25 с. Двигатели АД ДКВ355LB4 с параметрами: амплитуда питающего напряжения $U=1607$ В (действующее значение 1140 В), синхронная угло-

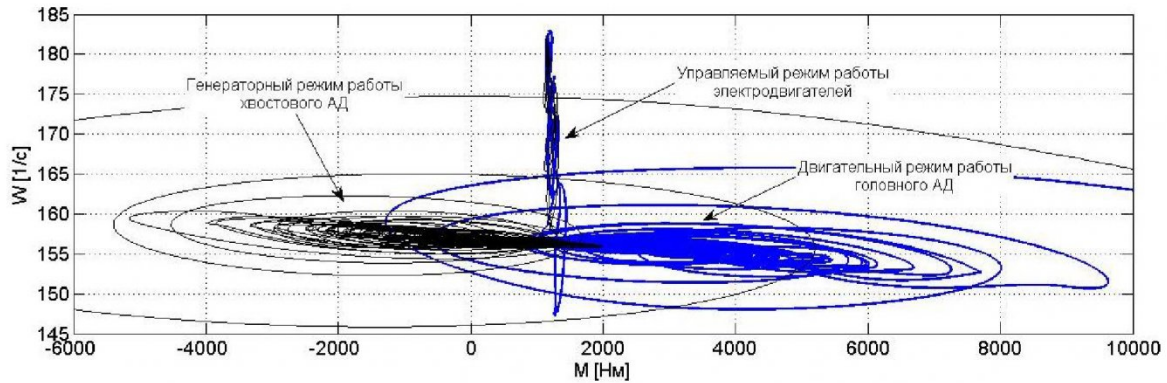


Рисунок 11. Динамические механические головного и хвостового АД после пуска. Постоянная составляющая значений электромагнитных моментов – 1500 Нм.

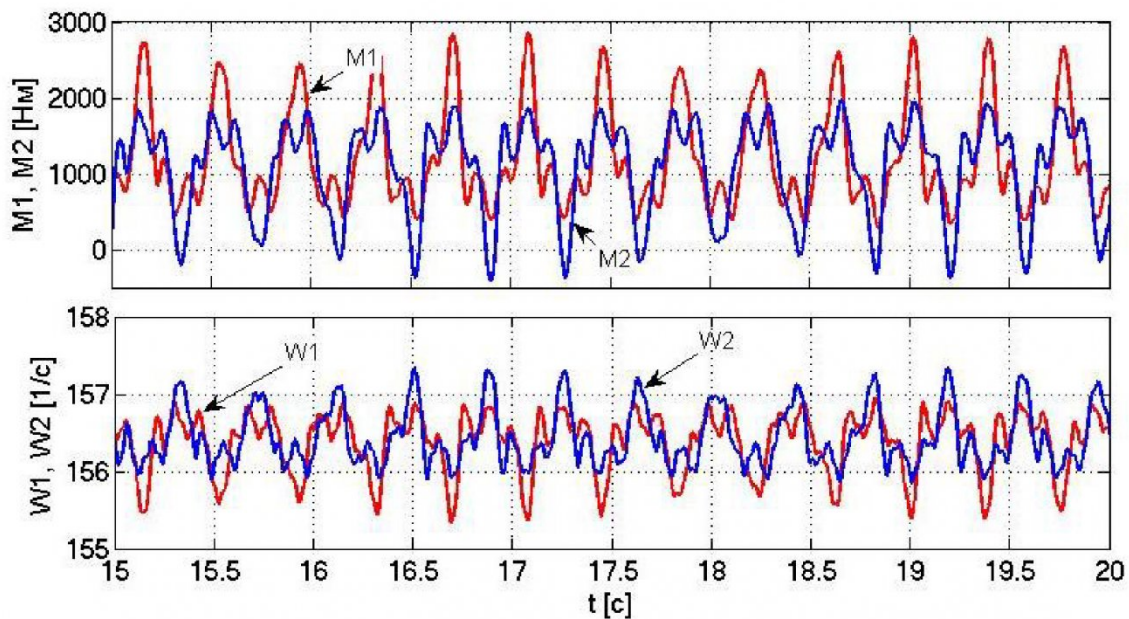


Рисунок 12 Выравнивание нагрузок АД головного и хвостового приводов.

вая скорость вращения поля статора $\omega_n=314$ рад/с, активные и реактивные сопротивления обмоток статора и ротора [Ом] - $R_s=0.054$, $R_r=0.083$, $X_s=0.183$, $X_r=0.287$, индуктивное сопротивление цепи намагничивания [Ом] - $X_m=10.8$, число пар полюсов $P=2$, величина момента инерции [$\text{кг}\cdot\text{м}^2$]- $J=4.69$. Мощность АД – 315 кВт.

Можно отметить, что пуск электромеханической системы СК происходит при пониженном напряжении на статорах АД, получающем питание через протяженные участки кабельной сети различной длины (рисунок 9) и сопровождается работой АД головного привода в двигательном режиме, а АД хвостового привода – в генераторном.

Последнее объясняется обеспечением асинхронным электродвигателем головного привода активного момента сопротивления для хвостового АД и незначительным у последнего реактивного момента сопротивления.

В дальнейшем нагрузки электродвигателей выравниваются по статической составляющей электромагнитных моментов (см. рисунок 11). Динамические составляющие электромагнитных моментов непостоянны и изменяются по амплитуде с частотой ≈ 5 Гц. Это объясняется наличием обменных процессов энергии между АД по замкнутой тяговой цепи, а также по статорным цепям АД через замкнутые кабельные участки системы электроснабжения (см. рисунок 12 - изменение угловых скоростей вращения АД с последовательным переменным превышением мгновенными значениями скоростей АД).

Рост статической составляющей усилий во времени в холостой ветви тяговой цепи представлен на рисунке 13. Этот процесс сопровождается "разгрузкой" грузовой ветви конвейера (на рисунке 11 - сгущение траекторий динамических механических характеристик электродвигателей).

Выводы.

Несмотря на значительный рост качества и надежности забойных СК последнего поколения они остаются объектами с неудовлетворительным состоянием внутренней динамической нагруженности всей электромеханической системы.

Электромеханическая система СК представляет собой объект, обладающий внутренними обратными связями по емкостным компонентам механической системы (цепной тяговый орган) и емкостным компонентам АД и системы электропитания. Здесь под емкостными компонентами понимаются те, кто может запасать и отдавать энергию.

С перспективным увеличением длин ставов СК происходит рост динамических составляющих усилий в тяговых цепях СК и амплитуд пульсаций электромагнитных моментов асинхронных электродвигателей в приводах СК.

Наиболее нагруженным режимом работы СК является режим пуска, что вызывает необходимость поиска и введения управления этим режимом со стороны электропривода СК, обладающего возможностями комплексного решения управления динамическим состоянием СК с одновременным решением задач технологического управления – аналогом [20].

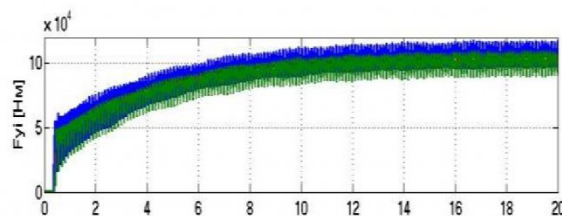


Рисунок 12 Рост статической составляющей усилия в холостой ветви тяговой цепи СК после пуска (по оси абсцисс – время [с])

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Albert, W. A. J.* (1838) "Über Treibseile am Harz" Archive für Mineralogie Geognosie Bergbau und Hüttenkunde, vol. 10, pp 215-34.
2. ГОСТ Р 55152-2012 Оборудование горно-шахтное. Конвейеры шахтные скребковые передвижные. Общие технические требования и методы испытаний. Дата введения 2014-01-01. М.: Стандартинформ, 2013.
3. *Чугреев Л.И.* Динамика скребковых конвейеров с цепным тяговым органом. -М.: -Недра, -1976. -160 с.
4. *Штокман И.Г.* Динамика тяговых цепей рудничных конвейеров. -М.: -Углетехиздат. -1959. -290 с.
5. *Осичев А.В.* Разработка Спорыхин В. Я., Сноведский В. М. Эксплуатационные параметры тяговых цепей скребковых конвейеров // Уголь Украины. – 1983. – № 7. – С. 28-29.
6. *Осичев А.В.* Семейства компьютерных моделей для исследования динамических процессов в электроприводах скребковых конвейеров / Осичев А.В., Ткаченко А.А. // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. Випуск 3/2008 (50). Частина 2. с.154-157.
7. *Галкин Н. А.* Усилия в звеньях тяговой цепи на звездочках скребкового конвейера // Изв. вузов. Горный журнал. - 1980. - № 3. - С. 76-79.
8. *Бандурин А.Н.* Моделирование динамики рабочего органа скребкового конвейера. // Вестник Кузбасского государственного технического университета - 1999. № 2. С. 46 - 49.
9. *Z. Chunzhi and M. Guoying*, "Dynamic modeling of scraper conveyor sprocket transmission system and simulation analysis," in 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2011, 2011, pp. 1390–1394.
10. Dynamic modeling and simulation of heavy scraper conveyor. [Online]. Available: <http://www.linknovate.com/publication/dynamic-modeling-and-simulation-of-heavy-scraper-conveyor-1875348/>. [Accessed: 14-Jan-2015].
11. Analysis of Scraper Conveyor Running Resistance - «Coal Mine Machinery» 2009 [Online]. Available: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-MKJX200901003.htm. [Accessed: 27-Feb-2015].
12. Dynamic modeling and simulation of heavy scraper conveyor. [Online]. Available: <http://www.linknovate.com/publication/dynamic-modeling-and-simulation-of-heavy-scraper-conveyor-1875348/>. [Accessed: 14-Jan-2015].
13. Оценка влияния приводной звездочки на динамические усилия в рабочем органе скребкового конвейера ср72. [Online]. Available: [http://www.kdu.edu.ua/statti/2009-4-1\(57\)/10.PDF](http://www.kdu.edu.ua/statti/2009-4-1(57)/10.PDF). [Accessed: 27-Dec-2014].
14. *J. G. Shi, J. Mao, and X. H. Wei*, "Research on Dynamic Tension Control Theory for Heavy Scraper Conveyor," in Applied Mechanics and Materials, 2010, vol. 34–35, pp. 1956–1960.
15. *D. S. Zhang, X. H. Liu, J. G. Shi, J. Mao, and Z. Li*, "Scraper Conveyor Dynamic Modeling and Simulation," in Advanced Materials Research, 2011, vol. 217–218, pp. 426–430.

16. Dynamic modeling and simulation of heavy scraper conveyor. [Online]. Available: <http://www.linknovate.com/publication/dynamic-modeling-and-simulation-of-heavy-scraper-conveyor-1875348/>. [Accessed: 14-Jan-2015].
17. *Marian Dolipski*. Dynamics of non-uniformity loads of AFC drives / Marian Dolipski, Eryk Remiorz, Piotr Sobota // Arch. Min. Sci., Vol. 59 (2014), No 1, p. 155–168.
18. *Васильченко В.А.* Скребокый конвейер. Тяговый расчет /Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине "Машины непрерывного транспорта" для студентов специальности 190602 // Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского. Владивосток, 2009 г. – 48 с.
19. *Кузьменко В.И.* Горные транспортные машины (теория и расчеты). Учеб. пособие. - Алчевск: ДГМИ, 2001. -232 с.
20. Интеллектуальная система приводов CST (<http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10332020> Дата обращения: 25/01/2015)
21. *Никитин С.В.* Расчетное определение упруго-вязких параметров конвейерных цепей // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 1(190). -2014. с.156-163.
22. *Пановко Я.Г.* Устойчивость и колебания упругих систем. / Пановко Я.Г., Губанова И.И. // М.: Недра. -1967. -336 с.
23. *Терёхин В.Б.* Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0.1): учебное пособие / В.Б. Терёхин; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд - во Томского политехнического университета, 2010. – 292 с.
24. *D. M. D. A A Ansari*, "Mathematical Model of Asynchronous Machine in MATLAB Simulink," Int. J. Eng. Sci. Technol., vol. 2, pp. 1260–1267, 2010.
25. *Ещин Е.К.* Моделирование электромеханических систем горных машин [Электронный ресурс] // 2013 г. – Режим доступа: (<http://catalog.inforeg.ru/Inet/GetEzineByID/297147> [14.05.15], <http://www.twirpx.com/file/1600093/> [14.05.15])
26. *Ещин Е.К.* Моделирование и управление динамическим состоянием скребокых конвейеров // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2015. №2. С.118-122.

Поступило в редакцию 15.04.2015

UDC 62-93. 622.6.621.313.333

SIMULATION OF ELECTROMECHANICAL SYSTEM OF SCRAPER CONVEYOR IN SIMULINK

Eshchin E.K.

Dr. Sc. in Engineering, e-mail: eke.kuzstu@mail.ru

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Abstract

The urgency of the discussed issue: Almost two centuries of using conveyors, they have undergone substantial "physical" changes associated with the improvement of design, quality of materials used for their manufacture, devices to improve modes of operation and electric drives. However, the future trend of development of mining - transport equipment with increasing lengths of lava of coal mines and, respectively, of the lengths of the scraping face conveyors provides deteriorating conditions downhole equipment. Therefore, it is necessary the creation of software systems for advanced modeling of electromechanical systems conveyors.

The main aim of the study: Development software package MatLab SimuLink model of electromechanical system of scraper conveyor and a study on its basis the main characteristics of conveyors.

The methods used in the study: Based on the procedure for creating a computer model of electromechanical system scraper conveyor-based software package MatLab (SimuLink) and existing mathematics description of the processes of complex power systems. The model takes into account the possibility of the exchange of energy between the head and tail electric drive of scraper conveyor in the ways of mechanical transmission devices through a chain drive traction truck bodies and idle branch, as well as the ways of power supply system.

The results: Received SimuLink - scraper conveyor model, which takes into account most of the factors determining the state of the electromechanical system of the object. The results of computer experiments.

Keywords: induction motor, electric drive, scraper conveyor, chain traction body.

REFERENCES

1. Albert, W. A. J. (1838) "Über Treibseile am Harz" Archive für Mineralogie Geognosie Bergbau und Hüttenkunde, vol. 10, pp 215-34..
2. GOST R 55152-2012 Oborudovanie gorno-shahtnoe. Konvejery shahtnye skrebkovye peredvizh-nye. Obshhie tehicheskie trebovanija i metody ispytaniy. Data vvedenija 2014-01-01. M.: Standar-tinform, 2013.
3. Chugreev L.I. Dinamika skrebkovyh konvejerov s cepnym tjagovym organom. -M.: -Nedra, -1976. -160 s.
4. Shtokman I.G. Dinamika tjagovyh cepej rudnichnyh konvejerov. -M.: -Ugletehizdat. -1959. -290 s.
5. Osichev A.V. Razrabotka Sporyhin V. Ja., Snovedskij V. M. Jekspluatacionnye parametry tjago-vyh cepej skrebkovyh konvejerov // Ugol' Ukrainy. – 1983. – № 7. – S. 28-29.
6. Osichev A.V. Semejstva komp'juternyh modelej dlja issledovanija dinamicheskikh processov v jelektroprivodah skrebkovyh konvejerov / Osichev A.V., Tkachenko A.A. // Visnik KDPU imeni Mihajla Ostrogradskogo. Vipusk 3/2008 (50). Chastina 2. s.154-157.
7. Galkin N. A. Usilija v zven'jah tjagovoj cepi na zvezdochkah skrebkovogo konvejera // Izv. vuzov. Gornyj zhurnal. - 1980. - № 3. - S. 76-79.
8. Bandurin A.N. Modelirovanie dinamiki rabocheho organa skrebkovogo konvejera. // Vestnik Kuz-basskogo gosudarstvennogo tehicheskogo universiteta - 1999. № 2. S. 46 - 49.
9. Z. Chunzhi and M. Guoying, "Dynamic modeling of scraper conveyor sprocket transmission system and simulation analysis," in 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, ICMA 2011, 2011, pp. 1390–1394.
10. Dynamic modeling and simulation of heavy scraper conveyor. [Online]. Available: <http://www.linknovate.com/publication/dynamic-modeling-and-simulation-of-heavy-scraper-conveyor-1875348/>. [Accessed: 14-Jan-2015].
11. Analysis of Scraper Conveyor Running Resistance - «Coal Mine Machinery» 2009 [Online]. Available: http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-MKJX200901003.htm. [Accessed: 27-Feb-2015].
12. Dynamic modeling and simulation of heavy scraper conveyor. [Online]. Available: <http://www.linknovate.com/publication/dynamic-modeling-and-simulation-of-heavy-scraper-conveyor-1875348/>. [Accessed: 14-Jan-2015].
13. Ocenka vlijanija privodnoj zvezdochki na dinamicheskie usilija v rabochem organe skrebkovogo konvejera sr72. [Online]. Available: [http://www.kdu.edu.ua/statti/2009-4-1\(57\)/10.PDF](http://www.kdu.edu.ua/statti/2009-4-1(57)/10.PDF). [Accessed: 27-Dec-2014].
14. J. G. Shi, J. Mao, and X. H. Wei, "Research on Dynamic Tension Control Theory for Heavy Scraper Conveyor," in Applied Mechanics and Materials, 2010, vol. 34–35, pp. 1956–1960.
15. D. S. Zhang, X. H. Liu, J. G. Shi, J. Mao, and Z. Li, "Scraper Conveyor Dynamic Modeling and Simulation," in Advanced Materials Research, 2011, vol. 217–218, pp. 426–430.
16. Dynamic modeling and simulation of heavy scraper conveyor. [Online]. Available: <http://www.linknovate.com/publication/dynamic-modeling-and-simulation-of-heavy-scraper-conveyor-1875348/>. [Accessed: 14-Jan-2015].
17. Marian Dolipski. Dynamics of non-uniformity loads of AFC drives / Marian Dolipski, Eryk Remiorz, Piotr Sobota // Arch. Min. Sci., Vol. 59 (2014), No 1, p. 155–168.
18. Vasil'chenko V.A. Skrebkovyj konvejer. Tjagovyj raschet /Metodicheskie ukazaniya k vypolneniju kursovogo proekta po discipline "Mashiny nepreryvnogo transporta" dlja studentov special'nosti 190602 // Morskoj gosudarstvennyj universitet imeni admirala G. I. Nevel'skogo. Vladivostok, 2009 g. – 48 s.
19. Kuz'menko V.I. Gornye transportnye mashiny (teorija i raschety). Ucheb. posobie. - Alchevsk: DGMI, 2001. -232 s.
20. Intellektual'naja sistema privodov CST (<http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10332020> Data obrashhenija: 25/01/2015)
21. Nikitin S.V. Raschetnoe opredelenie uprugo-vjazkih parametrov konvejernyh cepej // Nauchno-tehicheskie vedomosti Cankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta. 1(190). -2014. s.156-163.
22. Panovko Ja.G. Ustojchivost' i kolebanija uprugih sistem. / Panovko Ja.G., Gubanova I.I. // M.: Nedra. -1967. -336 s.
23. Terjohin V.B. Modelirovanie sistem jelektroprivoda v Simulink (Matlab 7.0.1): uchebnoe posobie / V.B. Terjohin; Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politehnicheskij universitet. – Tomsk: Izd -vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2010. – 292 s.
24. D. M. D. A A Ansari, "Mathematical Model of Asynchronous Machine in MATLAB Simulink," Int. J. Eng. Sci. Technol., vol. 2, pp. 1260–1267, 2010.
25. Eshhin E.K. Modelirovanie jelektromehaniceskikh sistem gornyh mashin [Jelektronnyj resurs] // 2013 g. – Rezhim dostupa: (<http://catalog.infores.ru/Inet/GetEzineByID/297147> [14.05.15], <http://www.twirpx.com/file/1600093/> [14.05.15])
26. Eshhin E.K. Modelirovanie i upravlenie dinamicheskim sostojaniem skrebkovyh konvejerov // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehicheskogo universiteta, 2015. №2. S.118-122.

Received 15 April 2015