

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 62-93

Е.К. Ещин

МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМ СОСТОЯНИЕМ СКРЕБКОВЫХ КОНВЕЙЕРОВ

Исследования электромеханических систем скребковых конвейеров (СК) до настоящего времени можно встретить в значительном числе работ [1-14]. Причина неослабевающего интереса – исполнительный орган в виде тяговой круглозвенной цепи. Именно особенности ее движения по решетчатому ставу формируют крайне неблагоприятный характер нагружения самой цепи и всей электромеханической системы электропривода конвейера.

Было время (период 1970-1990 годов), когда тяговая цепь считалась самым ненадежным элементом системы [1]. Отмечалось, что средние сроки службы круглозвенных цепей калибров 18 x 64, 23 x 86 на конвейерах типа СП в то время составляли 5 - 8 месяцев. Преобладали порывы цепей, вызванные усталостными и фрикционными износами. Экспериментальные исследования состояния тяговых цепей [1,3] показали в них высокий уровень динамической составляющей усилия.

Факты последнего времени эксплуатации современных забойных конвейерных систем позволяют сделать вывод о том, что совершенствование конструкций, качества изготовления и обслуживания ликвидировало (или существенно уменьшило) проблему порывов тяговых цепей.

В [15] отмечено, что введение в состав электропривода СК интеллектуальной системы приводов CST (Controlled Start Transmission) обеспечивает «...идеальное снятие нагрузки на звездочке».

Вывод - системы CST обладают СВОЙСТВАМИ, не допускающими возникновения в электромеханических системах СК автоколебаний. Единственным способом улучшения внутренней динамики ЭМС СК является введение управления их состоянием, что возможно только при изменении мгновенных значений угловой скорости вращения приводной звездочки при сохранении ее среднего значения на заданном уровне.

В этой связи рассмотрим возможности электропривода скребкового конвейера на базе асинхронного электродвигателя по обеспечению аналогичных изменений угловой скорости вращения приводной звездочки. Для этого синтезируем динамическую модель цепного тягового органа на основе наиболее распространенной идеологии – представления его (тягового органа) совокупностью элементарных динамических звеньев (ЭДЗ).

Модель ЭДЗ реализует следующую совокупность уравнений движения:

$$\begin{cases} \frac{dF_y}{dt} = c(V - V_m) + b \frac{d}{dt}(V - V_m), \\ \frac{dV_m}{dt} = \frac{1}{m}(F_y - F_{next} - F_{fr}(V_m)), \end{cases} \quad (1)$$

Здесь обозначения: F_y – усилие в тяговом органе [Н], c – жесткость (упругость) цепи [Н/м], b – вязкость цепи [Н·с/м] (по параметрам c, b см., например [4,16]), V, V_m – скорости движения [м/с] начала тягового органа ДЗ и тела ЭДЗ массой m [кг], F_{next} – усилие в тяговом органе очередного ДЗ [Н], F_{fr} – сила трения скольжения с нелинейным коэффициентом трения, определяемым по [17]:

$$F_{fr}(V_m) = 3R^* \left(1 - \frac{V_m}{V^*} + \frac{V_m^3}{3(V^*)^3} \right),$$

где R^*, V^* – координаты точки экстремума.

Для i -го ЭДЗ из N последовательно соединенных уравнения движения запишутся следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{dF_{yi}}{dt} = c_i(V_i - V_{mi}) + b_i \frac{d}{dt}(V_i - V_{mi}), \\ \frac{dV_{mi}}{dt} = \frac{1}{m_i}(F_{yi} - F_{y(i+1)} - F_{fr}(V_{mi})). \end{cases}$$

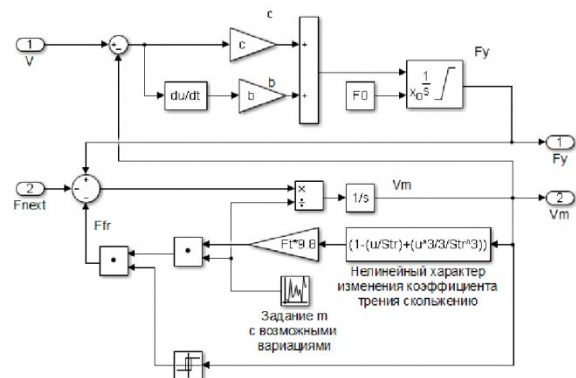


Рисунок 1 Элементарное динамическое звено

В среде моделирования MatLab / SimuLink совокупность (1) для одного ЭДЗ реализуется по рис. 1. Рис. 2 иллюстрирует, вообще говоря, известную ситуацию перемещения тела по плоской поверхности с постоянной скоростью движения начала цепи V , что означает перемещение ЭДЗ источником бесконечно большой мощности.

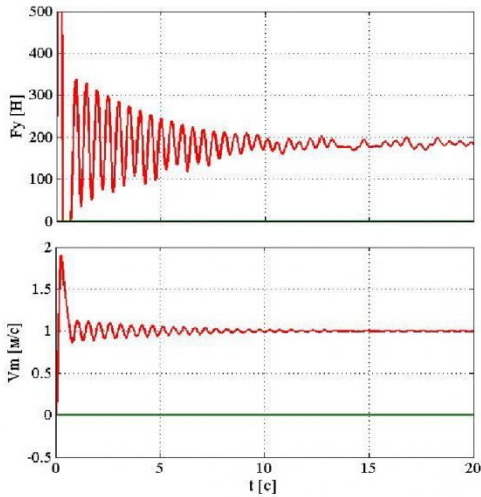


Рисунок 2 Возможный характер изменения усилия в цепи F_y и скорости движения V_m одного ЭДЗ при $V=1$ м/с

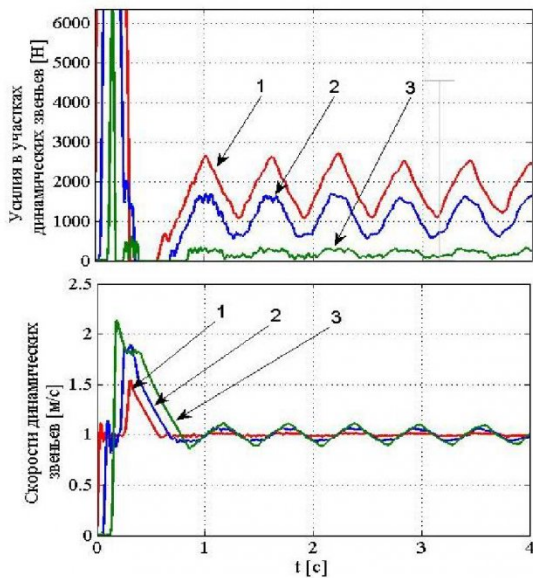


Рисунок 4 Характер движения различных ЭДЗ тяговой цепи (модель по рисунку 4). 1 – 1-е ЭДЗ, 2 – 5-е ЭДЗ, 3 – 10-е ЭДЗ

Модель по рис. 1 учитывает возможность изменения знака скорости, стохастический характер изменения движущейся массы ЭДЗ, а также нелинейный характер изменения силы трения скольжения и отсутствие отрицательных (сжимающих)

усилий в цепи.

Естественно, эти результаты (по рисунку 2) можно считать только приближенными. Для приближения к реальности необходимо организовать модель последовательно соединенных ЭДЗ, например, по рисунку 3, где изображена модель тяговой цепи длиной 10 м. Естественно, в этом случае результаты также обеспечиваются источником энергии бесконечно большой мощности, что, во-первых, ставит вопрос об их достоверно-

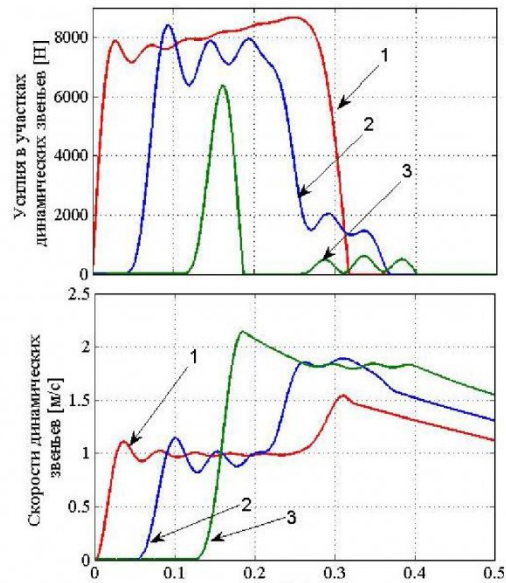


Рисунок 5 Характер движения различных ЭДЗ тяговой цепи в начале движений ЭДЗ (модель по рисунку 4). 1 – 1-е ЭДЗ, 2 – 5-е ЭДЗ, 3 – 10-е ЭДЗ

сти, а во-вторых, идеологически исключает возможность введения управления нагруженностью тяговой цепи СК при помощи формирования силовых управляющих воздействий со стороны электропривода.

Однако, результаты использования моделей, подобных по рис. 3, позволяют сделать вывод о достоверности результатов, получаемых этой ЧАСТЬЮ системы моделирования. Так, например, информация на рис. 4, 5 соответствует физическим представлениям об уровнях нагрузок в последовательно соединенных ЭДЗ и о последовательности начала движения ЭДЗ как в качественном, так и количественном отношениях.

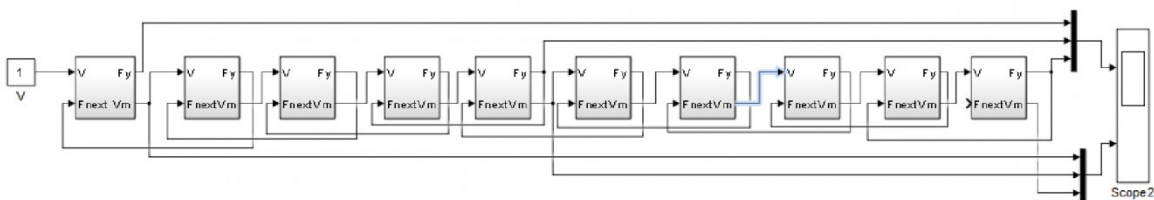


Рисунок 3 Simulink - модель участка тяговой цепи длиной 10 м, приводимой в движение источником энергии бесконечно большой мощности со скоростью $V=1$ м/с.

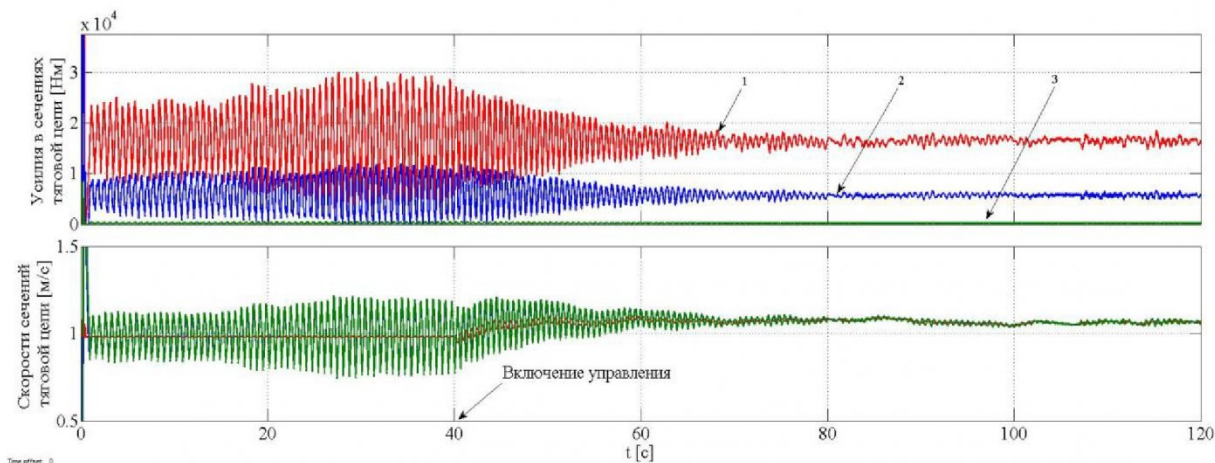


Рисунок 6 Результаты введения управления нагрузкой тяговой цепи. Переход в управляемый режим работы при $t > 40$ с. 1,2,3 – усилия в ЭДЗ: 1-м, 60-м, 90-м.

Для обеспечения максимальной приближенности к реальности расчетной практики в систему необходимо добавить источник движения КОНЕЧНОЙ мощности – асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором (АД). Это не проблема. К настоящему времени это просто технологическая задача, например, [18, 19].

В расчетах этой работы использовался АД ДКВ355LB4 с параметрами: амплитуда питающего напряжения $U=1607$ В (действующее значение 1140 В), синхронная угловая 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 $[кгм^2]$ - $J=4.69$. Мощность АД– 315 кВт. Модель АД реализована в MatLab / SimuLink с

использованием его описания по [20], которое также использовано в MatLab / SimPowerSystem. Управление реализовано по [21].

При моделировании учтено также реальное передаточное отношение используемого редуктора, например, для редуктора PSPL – 15 производства Wolfgang PREINFALK передаточное отношение равно – 39.238 для скорости цепи – 0.95 м/с.

Результаты вычислительного эксперимента – на рис. 6. Видно, что после перевода электромеханической системы СК в управляемый режим работы, начиная с 40 секунды работы, происходит достаточно «плавный» переход в новое динамическое состояние с обеспечением практически постоянными значениями усилий в тяговой цепи и с большими варьированиями скоростей ЭДЗ.

Следует обратить внимание, что когда используются АД различной мощности, то происходит

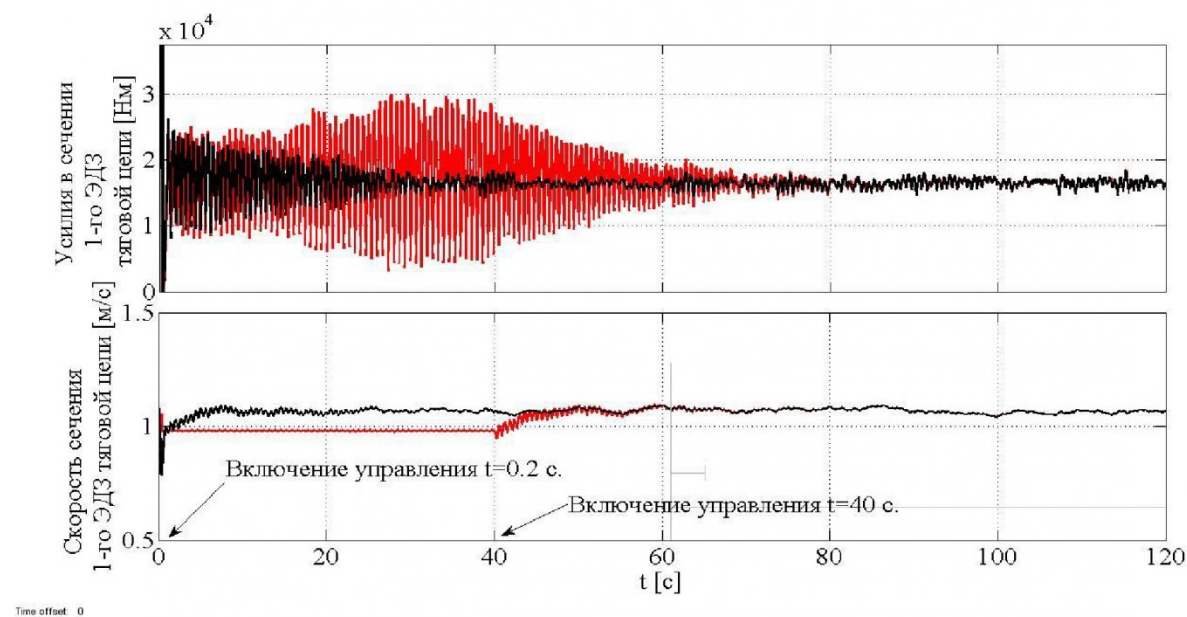


Рисунок 7 Результаты введения управления нагрузкой тяговой цепи. Переход в управляемый режим работы при $t > 0.2$ с. и при $t > 40$ с.

полное расчетное совпадение усилий в тяговой цепи. Однако кривые, описывающие характер изменения скоростей – конгруэнтны. Последнее объясняется тем, что двигатель большей мощности имеет больший критический момент и, следовательно, большую жесткость механической характеристики. Это и объясняет “верхнее” расположение кривой изменения скорости.

Особенностью варианта управления является первоначальный «выбор» системой управления

нового среднего значения технологической скорости, которое может изменяться по каналу управления напряжением питания АД.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что регулируемый асинхронный электропривод скребковых конвейеров позволяет практически полностью исключить пульсации усилий в их цепных тяговых органах аналогично устройствам Controlled Start Transmission.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чугреев Л.И. Динамика скребковых конвейеров с цепным тяговым органом. -М.: -Недра, -1976. -160 С.
2. Спорыхин В. Я., Сноведский В. М. Эксплуатационные параметры тяговых цепей скребковых конвейеров // Уголь Украины. – 1983. – № 7. – С. 28-29.
3. Штокман И.Г. Динамика тяговых цепей рудничных конвейеров. –М.: -Углетехиздат. -1959. -290 С.
4. Осичев А.В. Разработка 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.
5. Галкин Н. А. Усилия в звеньях тяговой цепи на звездочках скребкового конвейера // Изв. вузов. Горный журнал. - 1980. - № 3. - С. 76-79.
6. 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.
7. 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].
8. 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].
9. 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].
10. 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].
11. 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.
12. 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.
13. 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].
14. 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.
15. Интеллектуальная система приводов CST (<http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10332020>) Дата обращения: 25/01/2015)
16. Никитин С.В. Расчетное определение упруго-вязких параметров конвейерных цепей // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 1(190). - 2014. с.156-163.
17. Пановко Я.Г. Устойчивость и колебания упругих систем. / Пановко Я.Г., Губанова И.И. // М.: Недра. - 1967. -336 с.
18. 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.
19. 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.
20. Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока. М.-Л., Госэнергоиздат, -1963. -744 с.
21. Ещин Е.К. Вариант частотного управления асинхронным электроприводом горных машин // *Электротехника*, -1996, №1. С.28-30.

□ Автор статьи

Ещин Евгений Константинович,

докт.техн.наук, проф.каф.прикладных информационных технологий КузГТУ, email: eke@kuzstu.ru

Поступила в редакцию 28.02.2015