

УДК 644.1+004.9:517.9

В. В. Бушер, д-р техн. наук,
А. Г. Калинин, Д. И. Акшинцев, Д. В. Бичев

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МАКЕТ ПРИЧАЛЬНОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ С ШАГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Аннотация. Разработан макет причального контейнерного перегружателя для изучения методов управления основными технологическими крановыми механизмами, в том числе для исследования способов демпфирования колебаний груза с согласованным управлением механизмами подъема и горизонтального перемещения, построения автоматизированных систем управления.

Ключевые слова: контейнерный перегружатель, демпфирование колебаний груза, микропроцессорная система управления, шаговый электропривод

V. Busher, ScD.,
A. Kalinin, D. Akshintsev, D. Bichev

THE TRAINING-RESEARCH MODEL OF THE CRANE “SHIP TO SHORE” WITH STEP ELECTRIC DRIVES

Abstract. The model of the crane “Ship to Shore” with step electric drives is prepared. Methods of control of crane mechanisms can be investigated on this basis, including developed method of oscillation damping of load with matched control of hoist and trolley mechanisms, methods of synthesis SCADA.

Keywords: crane “Ship to Shore”, damping of oscillation of load, the microprocessor control, the step electric drive, SCADA

В. В. Бушер, д-р техн. наук,
О. Г. Калинин, Д. И. Акшинцев, Д. В. Бичев

УЧБОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ МАКЕТ КОНТЕЙНЕРНОГО ПЕРЕВАНТАЖУВАЧА З КРОКОВИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Анотація. Виготовлено макет контейнерного перевантажувача з кроковими електроприводами і мікропроцесорною системою керування, на базі якого може бути досліджено різні методи керування крановими механізмами, у тому числі розроблений метод демпфування коливань вантажу з погодженим керуванням механізмами підйому і горизонтального переміщення, методи будівництва автоматизованих систем керування.

Ключові слова: контейнерний перевантажувач, демпфування коливань вантажу, мікропроцесорна система керування, регульований кроковий електропривод

Введение. Грузоподъемные краны являются неотъемлемой частью транспортно-перегрузочного потока (например, в контейнерных терминалах) и оказывают существенное влияние на производительность работ. Большинство кранов представляет собой сложные электромеханические многомассовые системы. Наиболее широким классом являются краны с гибким подвесом груза, что при работе механизмов приводит к раскачиванию груза и, как следствие, к снижению производительности [1]. При изучении кранов в технических учебных заведениях уделяется внимание особенностям электроприводов и правил построения систем управления ими для отдельных механизмов. При этом студентам, оказывается сложно понять и проверить на практике, как взаимодействуют между собой различные механизмы.

Цель работы – разработка макета причального контейнерного перегружателя “Ship to Shore” с действующими основными технологическими механизмами для изучения методов оптимального

управления ими, в том числе методов демпфирования колебаний груза при совмещении операций горизонтального перемещения и подъема, а также для изучения основ построения автоматизированных погрузочно-разгрузочных комплексов.

Материалы исследований. Для управления механизмами горизонтального перемещения груза, согласованного с операцией подъема и обеспечивающего демпфирование колебаний груза с высоким быстродействием, разработан способ, в основу которого положен принцип формирования угла отклонения каната от положения равновесия при пуске (торможении) за счет управления скоростью точки подвеса в три этапа от начального $V_{нач}$ до конечного $V_{кон}$ значения [2] по следующему закону [7, 8]:

$$\begin{cases} 1. V_l = V_{нач} + at - \left(aT_u - \frac{aL}{gT_u} \right) \sin \left(\frac{t}{T_u} \right) \\ 2. V_l = V_{нач} - a\pi T_u + 2at \\ 3. V_l = V_{нач} + a(t + t_2) - \left(aT_u - \frac{aL}{gT_u} \right) \sin \left(\frac{t - t_2}{T_u} \right), \end{cases} \quad (1)$$

© Бушер В.В., Калинин А.Г., Акшинцев Д.И.,
Бичев Д. В., 2014

где для обеспечения максимального быстродействия $T_n = \sqrt{\frac{Lm_1}{2g(m_1 + m_2)}}$, $a = \frac{F_n}{2(m_1 + m_2)} = \varphi_m g$ – линейная составляющая ускорения на 1-м и 3-м интервалах, $t_2 = \frac{V_{кон} - V_{нач}}{2a} - \pi T_n$ – длительность второго интервала, F_{II} – максимальное движущее усилие, развиваемое приводом, φ_m – максимальное отклонение каната от вертикали. Переходные процессы в механизме для этого случая показаны на рис.1.

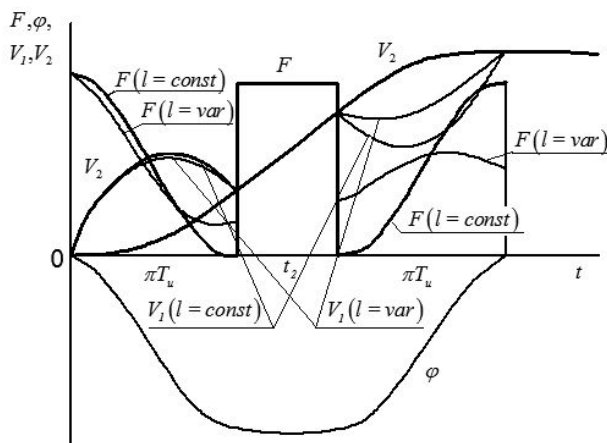


Рис. 1. Демпфирование колебаний груза при постоянной и изменяющейся длине каната

Сопоставление разработанного способа с оптимальным (по принципу максимума Понтрягина [6]) показывает, что быстродействие этого метода при длине каната до 35...40 м ниже лишь на 3...5 %, при большей длине – на 5...15 %. Однако следует учесть, что за счёт управления скоростью механизма нет необходимости точно измерять массы m_1 и m_2 , при выборе F_{II} можно использовать расчётное (паспортное) значения [1, 2, 3].

Основным преимуществом разработанного метода является возможность совмещения операций горизонтального перемещения и подъёма или спуска груза. Допустимость изменения длины оказалась результатом того, что амплитуда гармонической составляющей в (1) зависит от текущего значения длины каната. Характер переходного процесса при подъёме и горизонтальном перемещении груза при типовых значениях скоростей этих механизмов показан на рис. 1 тонкими линиями. Остаточные колебания отсутствуют, как и при постоянной длине каната.

С целью обучения студентов методам управления крановыми механизмами и программированию микропроцессоров и промышленных контроллеров, а также для проверки разработанного способа, создан макет контейнерного перегружателя (рис. 2) с тремя регулируемыми электроприводами – подъёма груза, перемещения тележки и подъёма консоли. Макет собран из алюминиевого каркаса, на котором

закреплены механические и электромеханические элементы. В механической части реализованы технические решения (схемы прокладки тросов, полиспасты, стыковка и фиксация подъёмной консоли без зазоров), аналогичные реальному перегружателю.

В основу электромеханической части положены шаговые микродвигатели, драйверы управления шаговыми двигателями и однокристалльный микроконтроллер. Шаговые двигатели обладают рядом качеств, упрощающих конструкцию электромеханической части крана: большой крутящий момент, простота в управлении, точное регулирование средней скорости при повороте на один шаг за заданное время. Позиционирование – поворот вала двигателя на n -ое количество дискрет (шагов) – обеспечивается конструкцией ротора без использования обратной связи, что в любой момент времени позволяет определять положение каждого механизма при отсчете от некоторой нулевой точки.



Рис. 2. Макет контейнерного перегружателя

На макете крана установлены 3 шаговых двигателя, два из них униполярного исполнения, один – биполярного. Для каждого исполнения двигателя подобраны соответствующие драйверы. Униполярные двигатели имеют меньшую мощность и установлены в механизмах подъёма груза и подъёма стрелы, биполярный двигатель отвечает за перемещение тележки и работает в микрошаговом режиме (от 1:2 до 1:32), который дает возможность фиксировать вал в промежуточных положениях между шагами. Это обеспечивает более высокую точность позиционирования и регулирования скорости, чем в шаговом режиме. Шаговый режим для униполярных двигателей обеспечивается при помощи драйверов L293A, а микрошаговый для перемещения тележки – драйвером Allegro A4983. На рис. 3 приведена условная схема подключения одного из драйверов.

В задачу микроконтроллера входит расчет требуемой скорости в соответствии с выбранным алгоритмом управления, дискретного значения угла поворота вала двигателя и формирование управляю-

щих импульсов для драйверов в заданные моменты времени. Программа реализована в виде одного цикла с параллельным управлением всеми приводами с диапазоном изменения частоты поворота на один шаг (микрошаг) от 0,25 до 33 Гц с шагом 0,25 Гц, что обеспечивает возможность реализации разработанного способа демпфирования груза, определения положения механизмов. Простота подключения и управления приводами позволяет принимать участие в изготовлении и модернизации макета студентам различных курсов – необходимы как базовые знания по механике, микропроцессорной технике, так и знания в области оптимального управления [4, 5, 6].

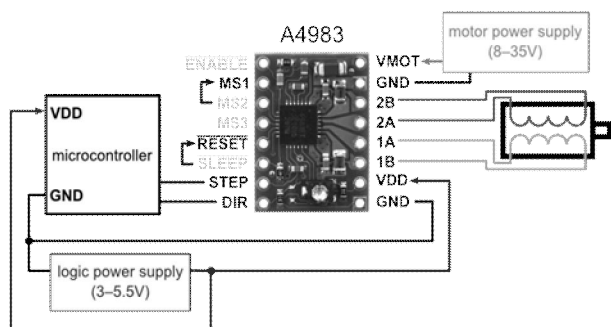


Рис. 3. Схема подключения драйвера Allegro A4983 к микроконтроллеру и шаговому двигателю

Заключение. Изготовлен макетный образец контейнерного перегружателя, на базе которого могут быть исследованы различные методы управления крановыми механизмами, в том числе разработанный способ демпфирования колебаний груза с согласованным управлением механизмами подъема и горизонтального перемещения. Макет используется в качестве лабораторного стенда для обучения студентов, при проведении научно-исследовательской работы магистров и аспирантов. Применение микропроцессорной системы управления позволяет изучать методы автоматизации погрузочно-разгрузочных комплексов, разрабатывать элементы SCADA.

Список использованной литературы

1. Бушер В. В. Анализ и сравнение различных способов демпфирования колебаний подвешенного на канате груза [Текст] / В. В. Бушер, Л. В. Мельникова // Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КГПИ. – Кременчуг : – 2000. – КГПИ. – Вып. 1/ 2000 (8). – С. 236 – 240.
2. Герасимьяк Р. П. Асинхронный электропривод механизма передвижения с подвешенным грузом [Текст] / Р. П. Герасимьяк, В. В. Бушер, Л. В. Мельникова // Вестник Харьковского политехнического университета. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Харьков : – 1999. – Вып. 61. – С. 174 – 176.

3. Герасимьяк Р. П. Цифровая система управления тиристорным асинхронным электроприводом [Текст] / Р. П. Герасимьяк, В. В. Бушер. // Электротехника. – 1989. – № 12. – С. 11 – 15.

4. Герасимьяк Р. П. Математическая модель электромеханической системы механизма передвижения крана с подвешенным грузом при оптимальном управлении [Текст] / Р. П. Герасимьяк, В. В. Бушер, Л. В. Мельникова // Вестник Херсонского государственного технического университета. – Херсон : – 2000. – ХГТУ. – Вып. 2(8). – С. 74 – 76.

5. Герасимьяк Р. П. Микропроцессорное оптимальное по быстродействию управление механизмом передвижения [Текст] / Р. П. Герасимьяк, В. В. Бушер, Л. В. Мельникова // Вісник Харківського державного політехнічного університету. Збірка наукових праць. – Харків : – 2000. – ХДПУ. – Тематичний випуск 113. – С. 69 – 71.

6. Понтрягин Л. С. Математическая теория оптимальных процессов / Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко. – М. : Наука, 1969. – 344 с.

7. А. с. 1472417 СССР, МКИ В66С 13/06. Способ управления механизмом передвижения подвешенного на канате груза / Р. П. Герасимьяк, В. В. Бушер. – 1989. – Б.И. № 14.

8. А. с. 1794865 СССР, МКИ В66С 13/22, 13/06. Способ управления механизмом передвижения подвешенного на канате груза / Р. П. Герасимьяк, В. В. Бушер. – 1993. – Б.И № 6.

Получено 08.07.2014

References

1. Busher V.V., and Melnikova L.V. Analiz i sravnenie razlichnyih sposobov dempfirovaniya kolebaniy podveshennogo na kanate gruzha [Analysis and Comparison of Different Methods of Damping Suspended on a Rope Cargo], (2000), *Problemyi Sozdaniya Novyih Mashin i Tehnologiy. Nauchnyie Trudyi KGPI*, Kremenchug, Ukraine, *KGPI. Vyip. 1/ 2000 (8)*, pp. 236 – 240 <http://aep.at.ua/load/1-1-0-353>.
2. Gerasimyak R.P., Busher V.V., and Melnikova L.V. Asinhronnyiy elektroprivod mehanizma peredvizheniya s podveshennyim gruzom [Asynchronous Electric Drive Mechanism with a Suspended Load], (1999), *Vestnik Harkovskogo Politehnicheskogo Universiteta. Problemyi Avtomatizirovannogo Elektroprivoda. Teoriya i Praktika*. Harkov, Ukraine, Vol. 61, pp. 174 – 176.
3. Gerasimyak R.P., and Busher V.V. Tsifrovaya sistema upravleniya tiristornyim asinhronnyim elektroprivodom [Digital Control Thyristor Asynchronous Electric Motor Drive], (1989), *Elektrotehnika*, No. 12, pp. 11 – 15.

4. Gerasimyak R.P., Busher V.V., and Melnikova L.V. Matematicheskaya model elektromehaničeskoy sistemy mehanizma peredvizheniya kрана s podvешennym gruzom pri optimalnom upravlenii [Mathematical Model of the Crane Electromechanical System with a Suspended load in the Optimal Control], (2000), *Vestnik Hersonskogo Gosudarstvennogo Tehničeskogo Univesiteta*, Herson, Ukraine, *HGTU*, Vol. 2(8), pp. 74 – 76.

5. Gerasimyak R.P., Busher V.V., and Melnikova L.V. Mikroprotsessornoe optimalnoe po bystrodeystviyu upravlenie mehanizmom peredvizheniya [Microprocessor Optimal Control of Movement Mechanism], (2000), *Visnik Harkivskogo Derzhavnogo Politehničnogo Universtitetu. Zbirka Naukovih Prats. Tematičnij Vipusk 113*, Harkiv, Ukraine, *HDPU*, pp.69 – 71.

6. Pontryagin L.S., Boltyanskiy V.G., Gamkrelidze R.V., and Mischenko E.F. Matematicheskaya teoriya optimalnyh protsessov [Mathematical theory of Optimal Processes], (1969). Moscow, Russian Federation, *Nauka*, 344 p.

7. Gerasimyak R.P., and Busher V.V. A. s. 1472417 SSSR, MKI V66S 13/06. Sposob upravleniya mehanizmom peredvizheniya podvешennogo na kanate gruzа. [Method of Controlling Mechanism Movement Suspended on a Rope Cargo], (1989), BI No. 14. <http://patentdb.su/7-1472417-sposob-upravleniya-mekhanizmom-peredvizheniya>.

8. Gerasimyak R.P., and Busher V.V. A. s. 1794865 SSSR, MKI V66S 13/22, 13/06. Sposob upravleniya mehanizmom peredvizheniya podvешennogo na kanate gruzа. [Method of Controlling Mechanism Movement Suspended on a Rope Cargo], (1993), BI No. 6. <http://patentdb.su/7-1794865-sposob-upravleniya-mekhanizmom-peredvizheniya>.



Бушер
Виктор Владимирович,
д-р техн. наук, доц. каф. электромеханических систем с компьютерным управлением Одесского нац. политехнического ун-та (пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044).
Тел.: +38(050)3908809.



Калинин
Александр Георгиевич,
ст. преп. каф. электромеханических систем с компьютерным управлением Одесского нац. политехн. ун-та.
Тел.: +38(050)3921298



Акшинцев
Денис Игоревич,
студент каф. электромеханических систем с компьютерным управлением Одесского нац. политехнического ун-та.
Тел.: 048-728-85-05.



Бичев
Дмитрий Владимирович,
студент каф. электромеханических систем с компьютерным управлением Одесского нац. политехнического ун-та, пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044.
Тел.: 048-728-85-05