

УДК 681.52

ОГРАНИЧЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ ГРУЗА, ПЕРЕМЕЩАЕМОГО МОСТОВЫМИ КРАНАМИ

¹Мещеряков В.Н., ²Колмыков В.В., ²Мигунов Д.В.

¹ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»,
Липецк, e-mail: mesherek@stu.lipetsk.ru;

²ОАО «НЛМК», Липецк, e-mail: kolmykov_vv@mail.ru, dmitrymigunov@yahoo.com

В статье проведен краткий обзор зарубежных систем управления мостовыми кранами с функцией подавления колебаний груза. Предложена система управления электроприводами механизмов перемещения мостовых кранов с автоматической системой ограничения раскачивания груза. Ограничение колебаний происходит за счет ввода в систему управления корректирующего сигнала, полученного по математической модели «точка подвеса – груз», с учетом веса поднимаемого груза и длины подвеса. Расчет веса груза и длины подвеса осуществляется косвенными методами на основании характеристик электропривода механизма подъема. Разработан способ расчета коэффициента коррекции, вводимого в систему управления приводами. Для графического представления результатов работы системы управления мостового крана было произведено цифровое моделирование в приложении Simulink пакета программ Matlab.

Ключевые слова: мостовые краны, система гашения колебаний, математическая модель «точка подвеса – груз», коэффициент коррекции

RESTRICTION OF CARGO SWINGING FOR BRIDGE CRANES

¹Mescheryakov V.N., ²Kolmykov V.V., ²Migunov D.V.

¹Federal State Educational Institution of Higher Professional Education «Lipetsk State Technical University», Lipetsk, e-mail: mesherek@stu.lipetsk.ru;

²OAO «NLMK», Lipetsk, e-mail: kolmykov_vv@mail.ru, dmitrymigunov@yahoo.com

The article presents brief overview of international control systems with the function of cargo swinging restriction for bridge cranes. The automatic electric drive control system of bridge cranes mechanisms with the function of cargo swinging restriction is proposed. The restriction of fluctuations is realized by the input correction signal of control system which is calculated in the mathematical model «suspension center – cargo» allowed for the data of cargo weight and suspension length. The data of cargo weight and suspension length is calculated by indirect methods based on the electric drive lifting mechanism characteristics. The calculation method of the correction factor, which is entered into the electric drives control system, is developed. The graphical representation of the control system bridge crane operation was produced by digital simulation using Simulink application of Matlab software package.

Keywords: bridge crane, damping system, mathematical model «suspension center – cargo», correction factor

Среди механизмов, участвующих в процессе производства промышленной продукции, огромная роль отводится подъемно-транспортным машинам. На промышленных предприятиях наиболее распространенным и универсальным подъемно-транспортным устройством является мостовой кран (рис. 1). Стальная конструкция моста крана 1 опирается на ходовые тележки и с помощью механизма передвижения 3 может перемещаться по подкрановым путям 2, укрепленным над обслуживаемой площадкой на стационарных опорах. Вдоль моста крана проложены рельсы, по которым перемещается тележка 4 с установленными на ней механизмом передвижения и подъемной лебедкой, осуществляющей подъем и спуск грузов [1].

При переходных процессах пуска и торможения приводов передвижения, когда точка подвеса груза движется с ускорением, возникает раскачивание груза относительно

своего положения равновесия. Груз и подвес образуют маятник с подвижной точкой подвеса, которая закреплена на тележке мостового крана. Под действием усилия, приложенного к точке подвеса от приводов передвижения, транспортируемый груз совершает колебания в плоскости движения механизма. Амплитуда и период колебаний груза зависят от изменения длины подвеса груза и веса транспортируемого груза.

Порядка 20% времени полного цикла перегрузочных операций затрачивается на ожидание завершения колебаний груза. Кроме того, раскачивание груза приводит к увеличению динамической нагрузки на привод и металлическую конструкцию крана [3].

В настоящее время на российском рынке присутствует большое количество систем подавления колебаний зарубежных фирм. Одной из систем, позволяющей осуществлять высокоточное, быстрое и плавное передвижение груза с полным отсут-

ствием раскачивания, является система автоматического регулирования колебаний SIMOCRANE Sway Control System фирмы SIEMENS, использующая для ограничения раскачивания груза сигнал с камеры, регистрирующей положение перемещаемого

ном процессе пуска и торможения. Для этого в систему управления приводов тележки и моста вводится корректирующий сигнал, пропорциональный величине отклонения груза от положения равновесия в соответствующей плоскости движения (моста,

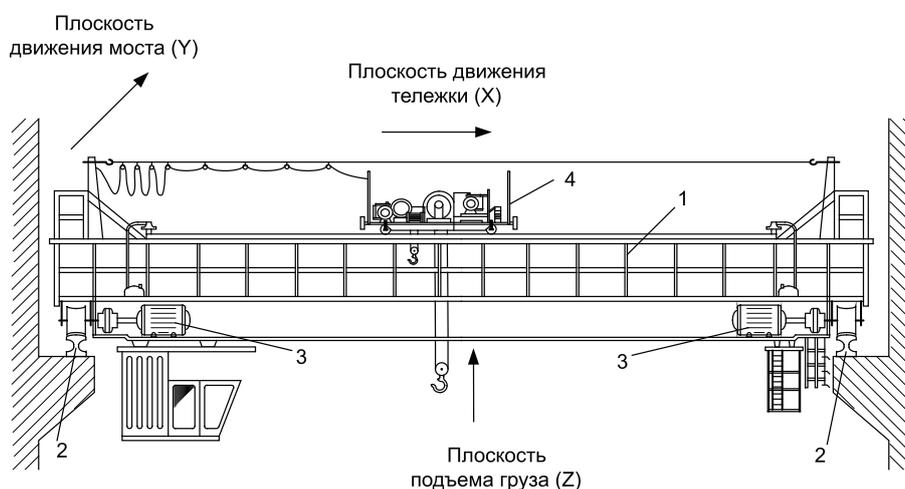


Рис. 1. Схема конструкции мостового крана

груза [7]. Другая система подавления колебаний от фирмы Schneider Electric – крановая карта, предотвращает колебания груза без применения дополнительных датчиков [5]. Использование этих систем позволяет в значительной мере ограничить раскачивание груза, однако существует ряд недостатков, препятствующих внедрению подобных систем на отечественных промышленных предприятиях. Во-первых, это высокая стоимость оборудования и программного обеспечения. Во-вторых, применение сложного датчика отклонения груза ухудшает надежность системы (при работе в запылённых закрытых помещениях). Кроме того, наладку и обслуживание достаточно сложных систем управления должен производить обученный и квалифицированный персонал.

Таким образом, разработка автоматической системы эффективного гашения колебаний транспортируемого груза в подъемно-транспортных механизмах, не уступающей по своим характеристикам зарубежным аналогам, является весьма актуальной задачей.

Решение задачи минимизации колебаний груза, транспортируемого мостовым краном, заключается в формировании такого закона управления электроприводами моста и тележки, чтобы после достижения заданной скорости колебания груза были минимальными и, по возможности, ограничивалась амплитуда колебаний в переход-

тележки). Сигнал рассчитывается на основе математической модели системы «точка подвеса – груз» [6]:

$$\frac{d^2 x_0}{dt^2} + \frac{K_{св}}{m_r} \frac{dx_0}{dt} + \left(1 + \frac{m_r}{m_t}\right) \frac{g}{l_n} x_0 = a_r;$$

$$\frac{d^2 y_0}{dt^2} + \frac{K_{св}}{m_r} \frac{dy_0}{dt} + \left(1 + \frac{m_r}{(m_m + m_t)}\right) \frac{g}{l_n} y_0 = a_m,$$

где $K_{св}$ – сила сопротивления воздуха; x_0, y_0 – отклонение груза от положения равновесия в плоскости движения тележки и моста; m_r – масса груза и тележки соответственно; m_t – масса груза и тележки соответственно; a_r, a_m – ускорения двигателя тележки и моста; l_n – длина подвеса.

На рис. 3 приведена структурная схема электромеханической системы мостового крана с включенной в систему управления моделью системы «точка подвеса – груз». На основании вычисленных величин ускорения моста a_m и тележки a_r (сигнал с задатчика интенсивности), а также измеренных с помощью датчиков длины подвеса l_n и массы груза m_r строится математическая модель системы «точка подвеса – груз», по которой вырабатываются корректирующие сигналы для привода передвижения моста $U_{кор.м}$ и привода передвижения тележки $U_{кор.т}$.

В начальный момент пуска точка подвеса груза разгоняется с постоянным ускорением, определяемым величиной уставки за-

датчика интенсивности. При этом груз под действием сил инерции отклоняется от вертикального положения, вследствие чего появляются отклонения в плоскости движения тележки x_0 и плоскости движения моста y_0 . В какой-то момент времени разница между выходом датчика интенсивности и корректирующим сигналом становится достаточной для того, чтобы регулятор скорости вышел из режима ограничения, причем это происходит до достижения приводом заданной скорости. Следовательно, в конце переходного процесса уменьшается ускорение привода, что приводит к уменьшению динамического момента на валу двигателя, и груз догоняет точку подвеса. В результате после завершения переходного процесса (после достижения заданной скорости) отклонения груза практически отсутствуют.

Влияние корректирующего сигнала на систему регулирования определяется величиной коэффициента коррекции ($K_{кор_т}$ – для привода тележки, $K_{кор_м}$ – для привода моста). Изменение коэффициента коррекции в сторону увеличения его значения приведет к значительному уменьшению колебаний, но в то же время вызовет затягивание переходного процесса. Оптимальное значение коэффициента коррекции определяется из соображения, что максимальному значению корректирующего сигнала должно соответствовать максимальное значение отклонения груза (при максимальном ускорении) [6]:

$$k_{кор_т} = \frac{\Omega_x^2}{2a_t} = \frac{T_{зи_т} g \left(1 + \frac{m_t}{m_t}\right)}{2V_{н_т} l_{п}};$$

$$k_{кор_м} = \frac{\Omega_y^2}{2a_m} = \frac{T_{зи_м} g \left(1 + \frac{m_t}{m_t + m_m}\right)}{2V_{н_м} l_{п}},$$

где Ω_x, Ω_y – частота колебаний груза в плоскости движения тележки и моста; a_t, a_m – ускорение тележки и моста; $T_{зи_т}, T_{зи_м}$ – время выхода на заданную скорость (параметр датчика интенсивности); $V_{н_т}, V_{н_м}$ – номинальная скорость тележки и моста.

Более 80% крановых электроприводов составляют электроприводы с асинхронными двигателями [2]. Эти двигатели технически наиболее просты и надежны в эксплуатации; они могут длительно работать при повышенных скоростях и температурах, в агрессивных и взрывоопасных средах; для их изготовления не требуется много цветных металлов; они имеют меньшую массу, габариты и стоимость. Возможности систем управления асинхронными приводами расширяются за счет создания управляемых преобразователей напряжения и частоты, а также микропроцессорных устройств с высоким быстродействием. В настоящее время наиболее перспективным и экономичным способом управления приводом переменного тока представляется векторное управление [4].

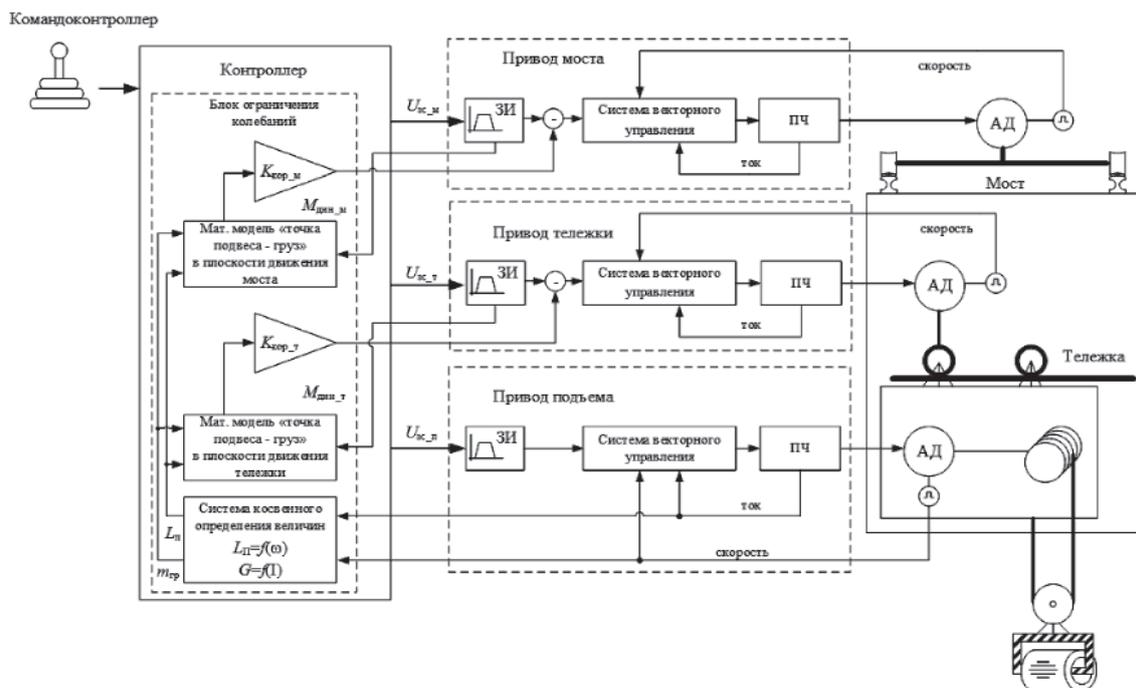


Рис. 2. Структура автоматической системы ограничения колебаний груза: ЗИ – датчик интенсивности; ПЧ – преобразователь частоты; АД – асинхронный двигатель

На рис. 2 представлена функциональная схема автоматической системы ограничения колебаний груза в двух плоскостях. Корректирующий сигнал необходимо вычесть из сигнала задания на скорость механизмов передвижения тележки и моста.

Формирование корректирующих сигналов целесообразно выполнять на базе контроллера, обладающего достаточным быстродействием и имеющим шину связи с микропроцессорной системой управления преобразователя или при наличии возможности реализовать на микроконтроллере

преобразователя частоты. Расчет веса груза и длины подвеса осуществляется косвенными методами на основании функциональных зависимостей тока статора от веса поднимаемого груза и скорости подъема груза (корректировку рассчитываемого значения длины подвеса можно производить при срабатывании ограничителя высоты подъема крюковой подвески). При использовании предложенной системы отпадает необходимость в использовании дорогостоящих датчиков отклонения груза и специализированных плат.

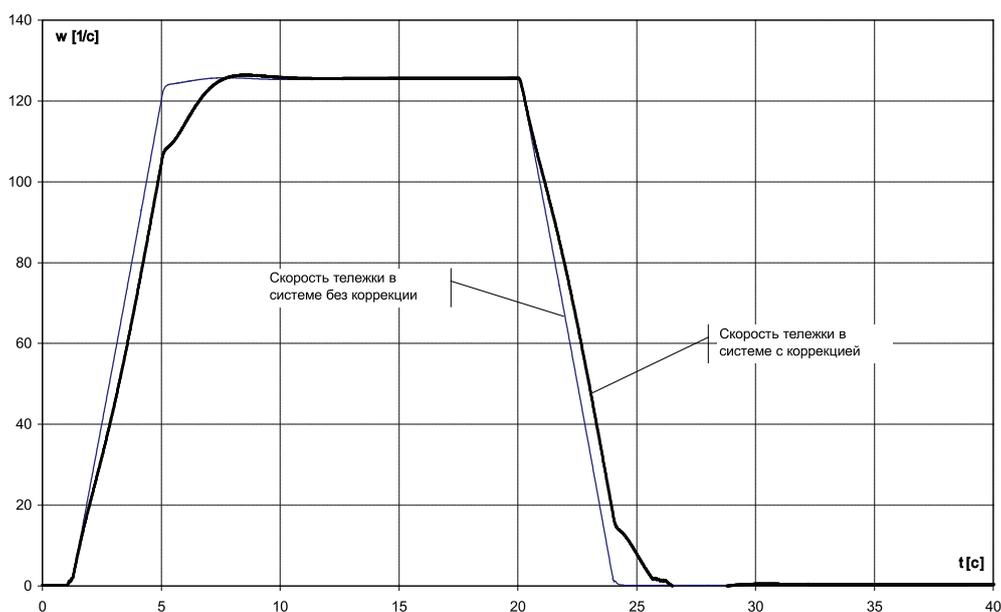


Рис. 3. Переходные процессы в системе с коррекцией и без коррекции

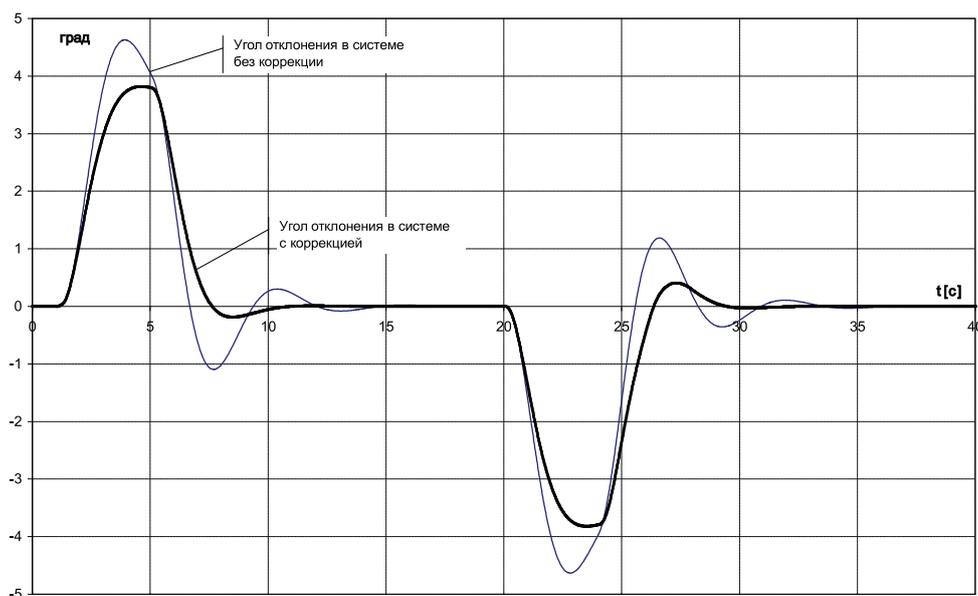


Рис. 4. Угол отклонения груза в плоскости движения тележки в системе с коррекцией и без коррекции

Для предлагаемой системы регулирования в приложении Simulink пакета программ Matlab было произведено цифровое моделирование. На рис. 3 и 4 представлены графики скоростей и отклонения груза от положения равновесия в плоскости движения тележки в системе с использованием коррекции и в системе без коррекции. Масса груза – 20000 кг, длина подвеса – 10 м, режим работы – пуск до номинальной скорости и торможение до останова.

Согласно результатам моделирования можно сделать вывод, что разработанная система отлично справляется с функцией ограничения раскачивания груза. Введение корректирующего сигнала позволяет уменьшить амплитуду колебаний и обеспечивает быстрое гашение колебаний после достижения приводом заданной скорости.

Список литературы

1. Александров М.П., Гохберг М.М., Ковин А.А. и др. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1988. – С. 559.
2. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.1 Линейные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 288 с.
3. Мещеряков В.Н. Динамика электромеханических систем подъемно-транспортных механизмов с асинхронным электроприводом: монография. – Липецк: ЛГТУ, 2002. – 120 с.
4. Мещеряков В.Н., Мещерякова О.В. Модель векторного управления асинхронного двигателя и структурно-топологический анализ модели // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2014. – № 3. – С. 19–22.
5. Руководство по эксплуатации Altivar 71 V.2. – Schneider Electric, 2008. – 48 с.

6. Щедринов А.В., Колмыков В.В., Сериков С.А. Автоматическая система ограничения раскачивания груза // Автоматизация и современные технологии. – 2010. – № 2. – С. 3–8.

7. SIMOCRANE sway control systems (2015), [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://w3.siemens.com/mcsm/mc-solutions/en/mechanical-engineering/cranesolutions/simocrane/sway-control-system/pages/sway-control-systems-simocrane.aspx> (дата обращения: 06.05.2015).

Referens

1. Aleksandrov M.P., Gohberg M.M., Kovin A.A. i dr. Spravochnik po kranam: V 2 t. T. 2. Harakteristiki i konstruktivnye shemy kranov. Kranovye mehanizmy, ih detali i uzly. Tehnicheskaja jekspluatacija kranov. L.: Mashinostroenie. Leningradskoe otdelenie, 1988, 559 p.
2. Kim D.P. Teorija avtomaticheskogo upravlenija. T.1 Linejnye sistemy. – M.: FIZMATLIT, 2003, 288 p.
3. Meshherjakov V.N. Dinamika jelektromehaničeskikh sistem pod'emno-transportnyh mehanizmov s asinhronnym jelektroprivodom [Tekst]: Monografija. Lipeck. LGTU, 2002, 120 p.
4. Meshherjakov V.N., Meshherjakova O. V. Vesti vysshih uchebnyh zavedenij Chernozem'ja. 2014. no. 3. pp 19–22.
5. Operating manual Altivar 71 V.2. Schneider Electric, 2008. 48 p.
6. Shchedrinov A.V., Kolmykov V.V., Serikov S.A. Avtomatizacija i sovremennye tehnologii, 2010, no. 2, pp. 3–8.
7. SIMOCRANE sway control systems (2015), Available at: <http://w3.siemens.com/mcsm/mc-solutions/en/mechanical-engineering/crane-solutions/simocrane/sway-control-system/pages/sway-control-systems-simocrane.aspx> (accessed 6 May 2015).

Рецензенты:

Сараев П.В., д.т.н., профессор, декан факультета автоматизации и информатики, Липецкий государственный технический университет, г. Липецк;

Кудинов Ю.И., д.т.н., профессор, зав. кафедрой информатики, Липецкий государственный технический университет, г. Липецк.