

Д.Н. Аксаментов

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОСТОВЫМ КРАНОМ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ГРУЗА ПО ДВУМ ОСЯМ

Аннотация. Настоящая работа посвящена исследованию адаптивного закона управления с идентификационным алгоритмом, построенным по «упрощенным» условиям адаптируемости, в программной среде Matlab/Simulink. В исследовании рассматривается задача по перемещению груза на заданное расстояние и демпфирование колебаний, вызванных передвижением крана и воздействием внешних неконтролируемых возмущений. Груз перемещается одновременно по двум осям, расположенных в горизонтальной плоскости. Основные параметры объекта управления были взяты из ранее разработанного макета мостового крана.

Ключевые слова: адаптивный закон управления, макет мостового крана, управление по скорости, исследование системы управления, маятниковые колебания.

D.N. Aksamentov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

STUDY OF AN ADAPTIVE CONTROL SYSTEM OF THE OVERHEAD CRANE AT LOAD MOVEMENT ON TWO AXIS

Abstract. This work is devoted to the study of an adaptive control law with an identification algorithm built according to "simplified" adaptability conditions in the Matlab/Simulink software environment. The study considers the problem of moving a load over a given distance and damping oscillations caused by the movement of a crane and the impact of external uncontrolled disturbances. The load moves simultaneously along two axes located in a horizontal plane. The main parameters of the control object were taken from the previously developed model of the overhead crane.

Keywords: adaptive control law, overhead crane model, speed control, research control system, the pendulum vibrations.

Введение

При эксплуатации грузовых кранов с подвесным креплением груза, в частности мостовых кранов, зачастую возникают трудности в управлении из-за раскачивания транспортируемого груза. Колебания груза могут возникать по разным причинам: ускорение или торможение тележки, неровности подкранового пути, воздействие ветра. Все эти факторы могут в значительной мере повлиять на точность перемещения груза, качество, эффективность управления и безопасность эксплуатации крана. Достаточно большое количество работ направлено на разработку способа управления краном, который позволит снизить раскачивание переносимого груза и обеспечение его точное перемещения за наименьший промежуток времени [1–10].

Известен метод, в основе которого лежит обычное релейное управление приводом крана [1]. В [2] предлагается закон управления с ПИД-регулятором, который обеспечивает плавный разгон и торможение. В [3] представлена двухконтурная система управления с ПИД-регулированием: в первом контуре обеспечивается гашение колебаний груза, а во втором решается задача перемещения груза в заданное место. В [4] описан модернизированный ПД-регулятор с сигмоидальной функцией. В [5–6] демпфирование колебаний достигается за счет управления с нечёткой логикой. В [7] используется ПД-регулятор с самонастраивающимся коэффициентом усиления посредством нейронной сети. В [8] предложена комбинация нейронной сети и управления скользящим режимом.

Управление скользящим режимом использовано в качестве алгоритма самонастройки в целях определения необходимых параметров. Известен способ [9] адаптивной системы управления с идентификационным алгоритмом, с помощью которого в начальный момент времени оцениваются параметры крана, затем строится управление на основе использования функции Ляпунова.

Из всех упомянутых способов управления более эффективным является адаптивный способ управления с идентификационным алгоритмом и неявной эталонной моделью [10]. Преимущество данного метода наглядно представлена в [11], где на имитационной компьютерной модели исследовались три способа управления мостовым краном: управление с ПИД-регулированием, управление с нечёткой логикой и способ адаптивного управления [10].

В большинстве случаев при разработке и исследовании способов управления мостовым краном рассматривается перемещение груза только по одной оси. Цель данной статьи – исследование эффективности адаптивного способа управления [10] при одновременном перемещении груза по двум горизонтальным осям, при одновременном движении тележки и поперечной балки.

Описание объекта управления

Математическое описание рассматриваемого объекта управления с перемещением груза по одной оси хорошо изучено в [12]. Схема движения тележки крана и линейного перемещения подвешенного груза представлена на рисунке 1. На рисунке введены следующие обозначения: тележка с линейным перемещением x по оси X с массой m_1 ($V_{x\text{зад}} = V_x = \dot{x}$ – скорость перемещения тележки, она же – управляющий сигнал); на тележку действует управляющая сила $f_{x\text{упр}}$ и сила трения $f_{x\text{тр}}$; груз массой m_2 и центральным моментом инерции J ; на груз действует горизонтальная сила воздействия ветра $f_{x\text{вет}}$; груз связан с тележкой с помощью гибкой подвески длиной l ; φ_x – угол отклонения троса от вертикальной оси; $x_{\text{гр}}$ – координата перемещения груза по оси X .

Если считать управляющим воздействием силу привода, то уравнения поступательного и вращательного движения системы «тележка–маятник» без учета массы троса и трения углового движения (в силу их малости) и без учета начальных значений переменных по положению и скорости имеют следующий вид [12]:

$$\begin{cases} (m_1 + m_2)\ddot{x} + (m_2 l \cos \varphi_x)\ddot{\varphi}_x = f_{x\text{упр}} + m_2 l \dot{\varphi}_x^2 \sin \varphi_x - k_x \dot{x} - f_{x\text{тр}}; \\ (m_2 l \cos \varphi_x)\ddot{x} + (m_2 l^2 + J)\ddot{\varphi}_x = -m_2 g l \sin \varphi_x - l f_{x\text{вет}} \cos \varphi_x; \\ x_{\text{гр}} = x + l \sin \varphi_x, \end{cases} \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения; указанные производные переменных взяты по времени (t); $f_{x\text{тр}}$ – сила сухого трения; k_x – коэффициент вязкого трения поступательного перемещения тележки.

Поскольку угол отклонения груза от вертикальной прямой менее 30 градусов и небольшая угловая скорость, примем следующие упрощения: $\sin \varphi_x \approx \varphi_x$, $\cos \varphi_x \approx 1$, $\dot{\varphi}_x^2 \sin \varphi_x \approx 0$. При этом система (1) переписется относительно переменных \ddot{x} , φ_x^2 , $x_{\text{гр}}$ в следующем виде [13]:

$$\begin{cases} \ddot{x} \approx a_{x1} f_{x\text{упр}} + a_{x2} \varphi_x + a_{x3} \dot{x} + a_{x4}; \\ \ddot{\varphi}_x \approx a_{\varphi1} f_{x\text{упр}} + a_{\varphi2} \varphi_x + a_{\varphi3} \dot{x} + a_{\varphi4}; \\ x_{\text{гр}} \approx x + l \varphi_x, \end{cases} \quad (2)$$

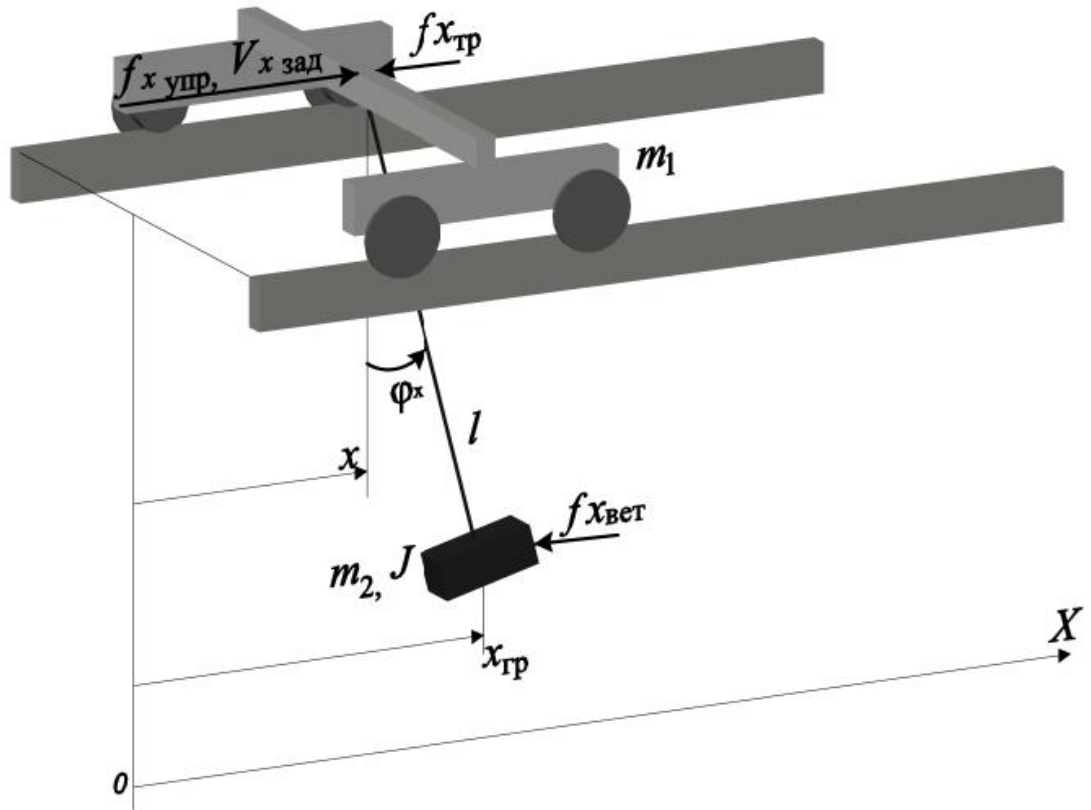


Рис. 1. Схема перемещения груза по оси X

$$\text{где } a_{x1} \triangleq \gamma^{-1}(m_2 l^2 + J); \quad a_{x2} \triangleq \gamma^{-1}g(m_2 l)^2; \quad a_{x3} \triangleq -\gamma^{-1}(m_2 l^2 + J)k_x;$$

$$a_{x4} \triangleq \gamma^{-1}[-(m_2 l^2 + J)f_{x \text{ тр}} + m_2 l^2 f_{x \text{ вет}}]; \quad a_{\varphi 1} \triangleq -\gamma^{-1}m_2 l; \quad a_{\varphi 2} \triangleq -\gamma^{-1}(m_1 + m_2)m_2 g l;$$

$$a_{\varphi 3} \triangleq \gamma^{-1}m_2 l k_x; \quad a_{\varphi 4} \triangleq \gamma^{-1}l[m_2 f_{x \text{ тр}} - (m_1 + m_2)f_{x \text{ вет}}]; \quad \gamma \triangleq [m_1 m_2 l^2 + (m_1 + m_2)J].$$

Из последнего равенства системы (2) на основании первых двух получаем уравнение динамики исследуемого объекта, управляемого силой [11]:

$$\ddot{x}_{\text{гр}} \approx a_1 f_{x \text{ упр}} + a_2 \varphi_x + a_3 \dot{x} + a_4, \quad (3)$$

$$\text{где } a_1 \triangleq a_{x1} + l a_{\varphi 1}; \quad a_2 \triangleq a_{x2} + l a_{\varphi 2}; \quad a_3 \triangleq a_{x3} + l a_{\varphi 3}; \quad a_4 \triangleq a_{x4} + l a_{\varphi 4}.$$

Для вывода уравнения динамики перемещения груза в зависимости от скорости тележки выполним следующее. Из первой зависимости системы (2) выразим значение $f_{x \text{ упр}}$ и подставим его в (3), получим, с учетом того, что $(a_3 - a_1 a_{x3}/a_{x1}) = 0$:

$$\ddot{x}_{\text{гр}} \approx a_1^V \dot{V}_x + a_2^V \varphi_x + a_3^V. \quad (4)$$

$$\text{где } a_1^V = a_1/a_{x1} = J/(J + m_2 l^2), \quad 1 \geq a_1^V > 0, \quad a_2^V = (a_2 - a_1 a_{x2}/a_{x1}),$$

$$a_3^V = (a_4 - a_1 a_{x4}/a_{x1}).$$

Далее это уравнение будем использовать в качестве объекта управления.

Закон управления

В соответствии с [14], в качестве эталонной модели, задающей требуемые характеристики перемещения груза, принимается неявная модель в виде колебательного

звена со значениями переменных в начальный момент времени, равными соответствующим для исходного объекта [12]:

$$\ddot{x}_m = a_{m1}\dot{x}_m + a_{m0}(x_m - x_{гр}^{зад}), \quad x_m(t_0) = x_{гр}(t_0), \quad (5)$$

где x_m – переменная, описывающая эталонную динамику движения груза по оси X ; $x_{гр}^{зад}$ – заданное значение $x_{гр}$; $a_{m1} = -2\xi_m\omega_m$; $a_{m0} = -(\omega_m)^2$ – выбираемые параметры эталонной модели; $\xi_m > 0$ – эталонное значение относительного коэффициента затухания; $\omega_m = 0,5\sqrt{g/\hat{l}_{30\%}} > 0$ – эталонное значение собственной частоты; $\hat{l}_{30\%}$ – оценка длины подвеса груза с погрешностью не более $\pm 30\%$ [11]; t_0 – начальный момент времени.

Если правая часть уравнения (4) описывается в соответствии с назначенным эталоном (5), то в силу принятых условий и (2) поведение объекта будет близко к поведению эталонной модели:

$$\ddot{x}_{гр} \cong a_{m1}\dot{x}_{гр} + a_{m0}(x_{гр} - x_{гр}^{зад}). \quad (6)$$

Подставляя в уравнение (4) вместо его левой части правую часть уравнения (6) и заменяя $\dot{x}_{гр}$ на \dot{x} , чтобы устранить внутреннюю неустойчивость [14], определяем управляющую скорость $V_{x\text{ зад}}$:

$$\hat{T}\dot{V}_{x\text{ зад}} + V_{x\text{ зад}} = -a_{m1}^{-1} \left[a_{m0}(\hat{x}_{гр} - x_{гр}^{зад}) - \hat{a}_2^V \varphi_x - \hat{a}_3^V \right] \quad (7)$$

где $T = -a_1^V/a_{m1}$.

Для поиска оценок параметров объекта управления (a_1^V, a_2^V, a_3^V) в текущий момент времени используется рекуррентный метод наименьших квадратов с фактором забывания [11]. Как вариант, можно построить двухэтапную процедуру идентификации, как это предложено в [15].

Результаты моделирования

Для исследования основные параметры объекта управления приняты в соответствии с разработанным макетом мостового крана [16]: $m_1 = 1[\text{кг}]$; длина троса $l = 0,5[\text{м}]$. Принято, что переменные угловой скорости троса, линейного ускорения груза и линейного положения тележки измеряются с зашумлением, гауссовским центрированным со среднеквадратичным отклонением соответственно: $0,05[\text{град/с}]$; $0,1[\text{м/с}^2]$; $0,1 \cdot 10^{-3}[\text{м}]$.

Основное отличие исследуемой имитационной модели от макета мостового крана [16] – одновременное перемещение груза по двум осям в горизонтальной плоскости, движение груза по диагонали рабочей зоны крана. На макете мостового крана представляется возможным имитировать перемещение груза только по одной оси, движение тележки мостового крана вдоль поперечной балки.

В данной статье исследуется эффективность адаптивного закона управления при одновременном перемещении груза по двум осям, ось X – движение груза вдоль поперечной балки крана, ось Z – движение груза поперек балки крана, перемещается сама балка вдоль рабочей зоны мостового крана. Масса балки вместе с тележкой принимается $m_3 = 3[\text{кг}]$. Схема движения балки крана и линейного перемещения подвешенного груза по оси Z представлена на рисунке 2.

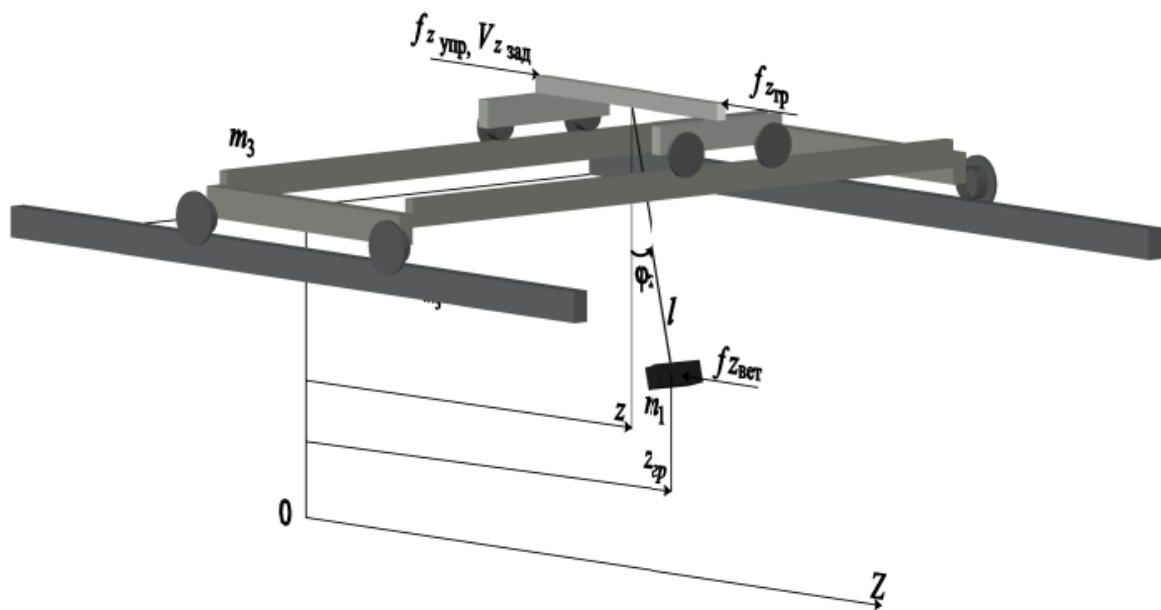


Рис. 2. Схема перемещения груза по оси Z

На рисунке введены следующие обозначения: балка с линейным перемещением z по оси Z с массой m_3 ($V_{z\text{зад}} = V_z = \dot{z}$ – скорость перемещения тележки, она же – управляющий сигнал); на тележку действует управляющая сила $f_{z\text{упр}}$ и сила трения $f_{z\text{тр}}$; на груз действует горизонтальная сила воздействия ветра $f_{z\text{вет}}$; φ_z – угол отклонения троса от вертикальной оси; $z_{\text{тр}}$ – координата перемещения груза по оси Z .

В силу того, что динамика движения объекта управления по оси Z будет такая же, как и по оси X , то для перемещения груза по оси Z будет использоваться способ управления, описанный выше.

Параметры эталонной модели для перемещения по двум осям принимаем: $\xi_m = 0,9$; $\omega_m = 1,28 [\text{с}^{-1}]$. Параметры алгоритма идентификации и закона управления: $\Delta t = 0,01 [\text{с}]$; $\vartheta = 10$; $\beta = 0,99$. Рассчитанный закон управления перед подачей на объект фильтруется на апериодическом звене с постоянной времени $0,05 [\text{с}]$, моделирующим привод. Также была сформирована задержка при подаче закона управления на объект величиной $0,01 [\text{с}]$, $\hat{a}_1 = 0,1 [\text{кг}^{-1}]$. Заданное расстояние, на которое необходимо перенести груз, по обеим осям – 1 м . Для анализа свойств парирования внешних возмущений, смоделировано воздействие ветра на подвешенный груз по двум осям движения. Это воздействие начинается в момент времени 8 с , имеет импульсный вид и пропорционально массе груза.

Разработанная имитационная модель в программной среде Matlab/Simulink представлена на рисунке 3.

На рисунке 4 представлены результаты исследования работоспособности системы управления при параметрах груза $m_2 = 1 [\text{кг}]$, $J = 0,008 [\text{кг} \cdot \text{м}^2]$.

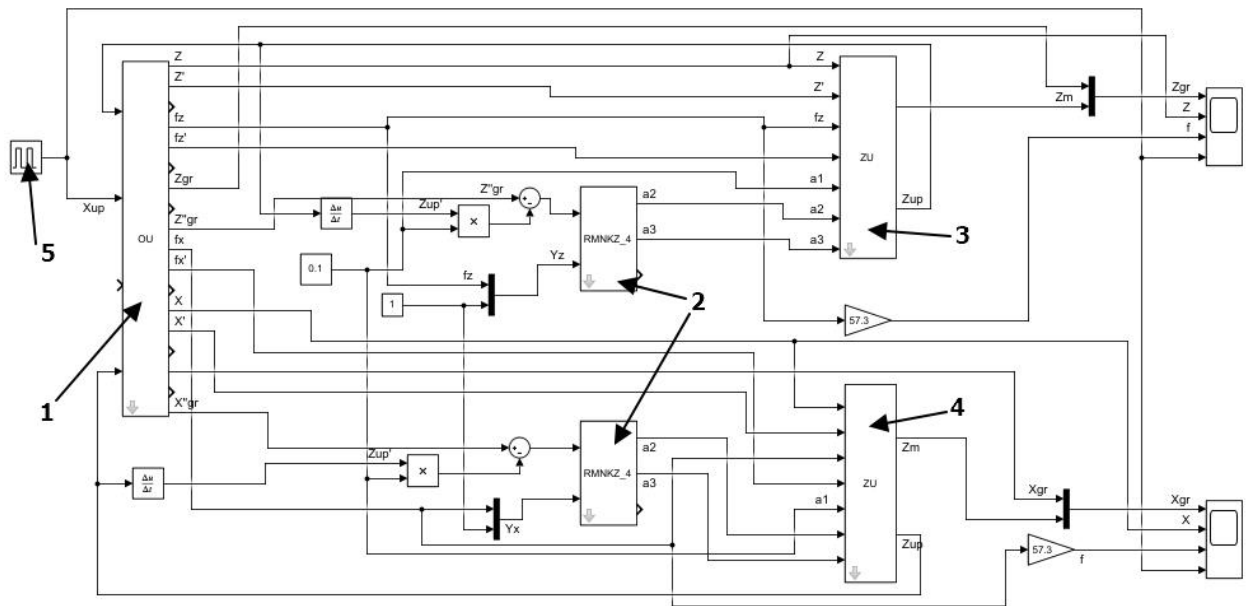


Рис. 3. Модель адаптивной системы управления мостовым краном. 1 – модель объекта управления; 2 – блоки идентификации параметров объекта управления; 3 – блок вычисления заданной скорости перемещения по оси Z; 4 – блок вычисления заданной скорости перемещения по оси X; 5 – блок внешних возмущений

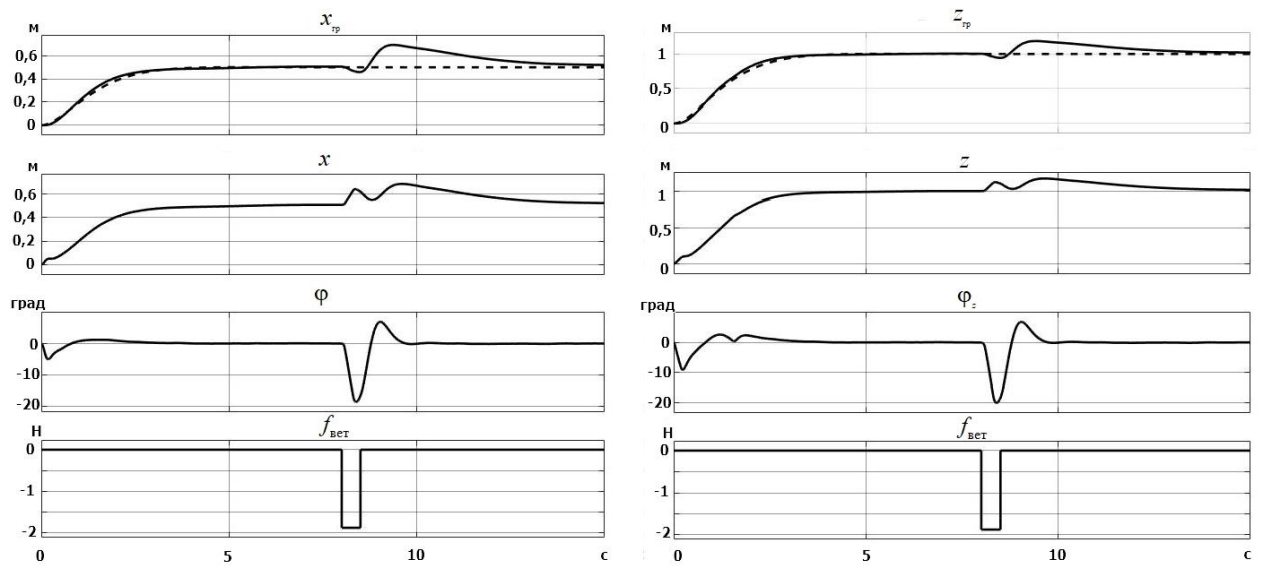


Рис. 4. Результаты исследования системы управления в программной среде Matlab/Simulink

Подобные результаты были получены и при других параметрах груза и длине подвеса. Также были исследованы другие внешние возмущения, например, изменение силы трения передвижения тележки крана, система управления успешно парировала и их. Время регулирования не превышает 3,5 секунд.

Заключение

Результаты исследования показывают высокую эффективность закона управления, предложенного в работе [11], при одновременном перемещении груза по двум осям горизонтальной плоскости. Закон управления обеспечивает точное перемещение груза за короткий промежуток времени, гасит колебания груза, возникающие от ускорения и торможения тележки, а также парирует внешнее импульсное возмущение, направленное по диагонали относительно двум перпендикулярным осям движения.

Очевидно, что внедрение данного способа управления способно обеспечить значительное увеличение производительности крана. Поскольку чаще всего при эксплуатации мостовых кранов груз перемещают по осям движения поочередно. Это связано со сложностью гашения диагональных колебаний груза, которые возникают при одновременном движении балки и тележки крана.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щедринов А.В., Сериков С.А., Колмыков В.В. Автоматическая система успокоения колебаний груза для мостового крана // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2007. № 8. С. 13–17.
2. Кобытов М.С., Щербаков В.С., Шершнева Е.О. Обоснование значений коэффициентов регуляторов гашения колебаний груза мостового крана // Вестник СибАДИ. 2017. № 1(53). С. 12–19.
3. Рогова Н.С., Юркевич В.Д. Разработка алгоритмов управления для перемещения груза порталным краном // Сборник научных трудов НГТУ. 2015. № 3. С. 43–54.
4. Антипов А.С., Краснова С.А. Система стабилизации положения тележки крана с использованием сигмоидальной функции // Мехатроника, автоматизация, управление. 2019. Т. 20, № 10. С. 609–614.
5. Ухоботов В.И., Величко В.С. Стабилизация математического маятника с основанием на колесе с помощью нечеткого алгоритма управления // Вестник ЮУрГУ. 2014. Т. 14, № 2. С. 18–23.
6. Петренко Ю.Н., Алави С.Э., Александровский С.В. Исследование работы крана с контроллером нечеткой логики на основе трехмерной имитационной модели // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2011. № 3. С. 20–25.
7. Saiedi H., Naraghi M., Raie A.A. A neural network self tuner based on input shapers behavior for anti sway system of gantry cranes, J. Vib. Control. 2013. No. 19. P. 1936–1949.
8. Parallel neural network combined with sliding mode control in overhead crane control system, J. Vib. / L. Lee, P. Huang, Y. Shih, et al. // Control. 2014. № 20. P. 749–760.
9. Boustany F., d'Andrea-Novel B. Adaptive Control of an Overhead Crane using Dynamic Feedback Linearization and Estimation Desig. Centre Automatique et Systemes, Ecole des Mines de Paris. 1992. P. 1963–1968.
10. Круглов С.П., Аксаментов Д.Н. Метод адаптивного управления мостовым краном с прямым отслеживанием перемещения груза // Мехатроника, автоматизация, управление. 2020. № 21(12). С. 682–688.
11. Аксаментов Д.Н., Круглов С.П., Ковыршин С.В. Сравнительный анализ методов управления мостовым краном // Электронный научный журнал «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами». 2019. Т. 4. С. 29–39.
12. Черноусько Ф.Л., Ананьевский И.М., Решмин С.А. Методы управления нелинейными механическими системами. – М.: Физматлит, 2006. 328 с.
13. Круглов С.П., Ковыршин С.В., Ведерников И.Е. Адаптивное управление перемещением груза мостовым краном с идентификационным алгоритмом // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 4. С. 114–122.
14. Круглов С.П. Условия адаптируемости систем управления с идентификатором и эталоном. – М.: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbuckten, Deutschland, 2012. – 125 с.
15. Пат. на изобретение RU 2231819 С2. Адаптивная система управления с двухэтапным идентификатором и неявной эталонной моделью / В.Н. Буков, С.П. Круглов, А.М. Бронников, Р.А. Сегедин; Приоритет 13.02.02.; опубл. 27.06.04, Бюл. № 18.

16. Аксаментов Д.Н., Круглов С.П., Ковыршин С.В. Установка по исследованию алгоритмов успокоения колебаний груза мостового крана // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2019. Т. 2. С. 288-292.

REFERENCES

1. Shedrinov A.V., Serikov S.A., Kolmykov V.V. Avtomaticheskaya sistema uspokoeniya kolebaniy gruzha dlya mostovogo kрана [Automatic load damping system for overhead crane]. Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika [Devices and systems. Management, control, diagnostics], 2007, № 8. pp. 13–17.
2. Korytov M.S., Shherbakov V.S., Shershneva E.O. Obosnovanie znachenij koefficientov regulyatorov gasheniya kolebaniy gruzha mostovogo kрана [Substantiation of values of factors of bridge crane cargo vibration damping regulators]. Vestnik SibADI [Vestnik SibADI], 2017, № 1(53) P. 12-19.
3. Rogova N.S., YUrkevich V.D. Razrabotka algoritmov upravleniya dlya peremeshheniya gruzha portal'nym kранom [Development of control algorithms for moving load by a portal crane]. Sbornik nauchnykh trudov NGTU [Collection of scientific works of NSTU], 2015, № 3. pp. 43–54.
4. Antipov A.S., Krasnova S.A. Sistema stabilizatsii polozheniya telezhki kрана s ispol'zovaniem sigmoidal'noj funktsii [Crane trolley stabilization system using sigmoidal function]. Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie [Mechatronics, automation, control], 2019, № 10. pp. 609–614.
5. Uxobotov V.I., Velichko V.S. Stabilizatsiya matematicheskogo mayatnika s osnovaniem na kolese s pomoshch'yu nechyotkogo algoritma upravleniya [Stabilisation of the mathematical pendulum with the base on the wheel using an odd control algorithm]. Vestnik YuUrGU, Vol.14 №2. 2014. P 18-23.
6. Petrenko Yu.N., Alavi S.E., Aleksandrovskij S.V. Issledovanie raboty kрана s kontrollerom nechyotkoj logiki na osnove trexmernoj imitacionnoj modeli [Investigation of crane operation with odd logic controller based on 3D simulation model]. Belorusskij nacional'nyj texnicheskij universitet. 2011. P 20-25.
7. Saeidi H., Naraghi M., Raie A.A. A neural network self tuner based on input shapers behavior for anti sway system of gantry cranes, J. Vib. Control. 2013. No. 19. P. 1936–1949.
8. Parallel neural network combined with sliding mode control in overhead crane control system, J. Vib. / L. Lee, P. Huang, Y. Shih, et al. // Control. 2014. № 20. P. 749–760.
9. Boustany F., d'Andrea-Novel B. Adaptive Control of an Overhead Crane using Dynamic Feedback Linearization and Estimation Desig. Centre Automatique et Systemes, Ecole des Mines de Paris. 1992. P. 1963–1968.
10. Kruglov S.P., Aksamentov D.N. Metod adaptivnogo upravleniya mostovym kранom s pryamym otslezhivaniem peremeshheniya gruzha [Method of adaptive control of an overhead crane with direct tracking of the movement of the load]. Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie [Mechatronics, automation, control], 2020. № 21(12). pp. 682–688.
11. Aksamentov D.N., Kruglov S.P., Kovyreshin S.V. Sravnitel'nyj analiz metodov upravleniya mostovym kранom [Comparative analysis of overhead crane control methods]. EHlektronnyj nauchnyj zhurnal «Informatsionnye tekhnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami» [Electronic scientific journal "Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems"], 2019, №. 4, pp. 29–39.
12. Chernousko F.L., Anan'evskij I.M., Reshmin S.A. Metody upravleniya nelinejnyimi mexanicheskimi sistemami [Control methods of nonlinear mechanical systems]. – M.: Fizmatlit, 2006. 328 p.
13. Kruglov S.P., Kovyreshin S.V., Vedernikov I.E. Adaptivnoe upravlenie peremeshheniem gruzha mostovym kранom s identifikacionnym algoritmom [The adaptive

control of movement of cargo by the overhead crane with an identification algorithm].
Sovremennyy'e tekhnologii. Sistemny`j analiz. Modelirovanie № 4, 2017, pp. 114-122.

14. Kruglov S.P. Usloviya adaptiruемости sistem upravleniya s identifikatorom i ehtalom [Conditions for the adaptability of control systems with an identifier and a standard] – M.: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, Saarbucken, Deutschland, 2012. – 125 P.

15. Pat. na izobrenenie RU 2231819 C2. Adaptivnaya sistema upravleniya s dvukhehtapnym identifikatorom i neyavnoj ehtalonnoj model'yu [Adaptive control system with two-stage identifier and implicit reference model], V.N. Bukov, S.P. Kruglov, A.M. Bronnikov, R.A. Segedin; Prioritet 13.02.02.; opubl. 27.06.04, Byul. № 18.

16. Aksamentov D.N., Kruglov S.P., Kovyrshin S.V. Ustanovka po issledovaniyu algoritmov uspokoeniya kolebanij gruza mostovogo krana [Installation for the study of algorithms for calming load oscillations of an overhead crane] Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona [Transport infrastructure of the Siberian region], 2019, №. 2. pp. 288-292.

Информация об авторе

Аксаментов Дмитрий Николаевич – аспирант «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Gaastra104@mail.ru

Information about the author

Aksamentov Dmitriy Nikolaevich – postgraduate of department «Automation of production operations», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Gaastra104@mail.ru.