

Эффективное использование инструментов из композитов достигается на высокоточных скоростных станках, обладающих жесткостью и виброустойчивостью, при тщательном контроле состояния режущей части композитов, что предполагает достаточно детализированные представления о требованиях к качеству изготовления деталей, то есть составу инструментов, приспособлений и станочного оборудования.

Литература

1. Смирнов И.М. Повышение эффективности процессов резбообразования скоростным фрезерованием резцами из композитов: дис. ... канд. техн. наук. Чита, 2000. 184 с.
2. Кудряшов Е.А., Смирнов И.М. Кинематика нарезания резьб вращающимися резцами // Инструмент Сибири: сб. ст. Новосибирск. 2000. № 5. С. 10-11.
3. Кудряшов Е.А. Обработка деталей инструментом из композитов в осложненных технологических условиях. Чита: ЧитГУ, 2002. Т. 1. 257 с.
4. Кудряшов Е.А. Обработка деталей инструментом из композитов в осложненных технологических условиях. Чита: ЧитГУ, 2002. Т. 2. 290 с.
5. Кудряшов Е.А. Технология лезвийной обработки деталей повышенной конструктивной сложности // Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения. Технология, 2003: материалы Международной научно-технической конференции. Орел, 25-27 сент., 2003 г. Орел: ОрГТУ, 2003. С. 209-213.
6. Кудряшов Е.А. Технологические преимущества инструментального материала композит при обработке конструк-

тивно сложных поверхностей деталей // Известия ВолГТУ. 2010. № 12. С. 15-20.

7. Кудряшов Е.А., Емельянов С.Г., Яцун Е.И., Павлов Е.В. Технологическое оснащение процессов изготовления конструктивно сложных деталей: монография. Старый Оскол: ТНТ, 2013. 268 с.

References

1. Smirnov I.M. Improving the efficiency of processes retinoblastoma high-speed milling cutters from composites: dis. ... kand. tekhn. nauk. Chita, 2000. 184 p.
2. Kudryashov E.A., Smirnov I.M. Kinematics threading torque cutters // Instrument Sibiri: sb. st. Novosibirsk. 2000. № 5. P. 10-11.
3. Kudryashov E.A. Machining tool of composites in complicated technological conditions. Chita: ChitGU, 2002. T. 1. 257 p.
4. Kudryashov E.A. The machining tool of composites in complicated technological conditions. Chita: ChitGU, 2002. T. 2. 290 p.
5. Kudryashov E.A. Technology blade machining of high structural complexity // Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhnologii mashinostroeniya. Tekhnologiya, 2003: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii. Orel, 25-27 sent., 2003 g. Orel: OrGTU, 2003. P. 209-213.
6. Kudryashov E.A. Technological advantages of the tool material composite in the processing of structurally complex surface details // Izvestiya VolGTU. 2010. № 12. P. 15-20.
7. Kudryashov E.A., Emel'yanov S.G., Yatsun E.I., Pavlov E.V. The technology of manufacturing processes structurally complex parts: monografiya. Staryi Oskol: TNT, 2013. 268 p.

УДК 621.86

Повышение точности и скорости перемещения груза по требуемой траектории грузоподъемным краном мостового типа

В.С. Щербаков^a, М.С. Корытов^b, Е.О. Вольф^c

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, пр. Мира 5, Омск, Россия

^asherbakov_vs@sibadi.org, ^bkms142@mail.ru, ^cwolf_eo@sibadi.org

Статья поступила 14.05.2014, принята 6.11.2014

Предложен способ повышения точности и скорости перемещения груза по требуемой траектории грузоподъемным краном мостового типа, а также компенсации неуправляемых пространственных перемещений груза, размещенного на гибком канатном подвесе. Данный способ позволяет в оперативном режиме, не располагая точной информацией обо всех характеристиках колебательной системы, синтезировать приближенную к требуемой траекторию перемещения точки подвеса. На основе обработки значений требуемых и фактических координат груза по предложенным векторным зависимостям формируются управляющие воздействия на приводы крана с целью приближения фактической траектории движения груза к требуемой. Получено выражение вектора перемещения точки подвеса в неподвижной системе координат из текущего фактического в требуемое положение. Использование разработанного способа, представленного в виде векторных преобразований, на каждом шаге квантования времени при управлении реальным или моделируемым объектом груза, который необходимо переместить краном мостового типа по требуемой траектории произвольного вида, позволяет повысить как точность, так и скорость перемещения груза. В результате пространственные маятниковые колебания груза при достижении целевой точки уменьшаются до их полного устранения, а фактическая траектория перемещения груза приближается к требуемой. Степень точности приближения фактической траектории груза к требуемой может варьироваться через задание максимального значения коэффициента усиления.

Ключевые слова: мостовой кран, траектория груза, точность, раскачивание.

Increasing the accuracy and speed of load shifting along required trajectory by a bridge load crane

V.S. Sherbakov^a, M.S. Korytov^b, E.O. Wolf^c

Siberian State Automobile and Highway Academy; 5, Mira Ave., Omsk, Russia

^asherbakov_vs@sibadi.org, ^bkms142@mail.ru, ^cwolf_eo@sibadi.org

Received 14.05.2014, accepted 6.11.2014

A method is proposed to improve the accuracy and speed of load shifting along required trajectory by a bridge load crane and to compensate unoperated spatial shifting of a load placed on the flexible rope suspension. It allows synthesizing rapidly a trajectory for shifting of a suspension point closer to the required one without accurate information about all the characteristics of a shifting system. Based on processing the values of the required and actual load coordinates on the proposed vector dependencies, control actions on the crane drives are formed in order to close the actual trajectory of load shifting to the required one. There has been received an expression for a vector of the suspension point shifting in the fixed coordinate system from the current actual position of the suspension point to the required position. The method developed has been presented in the form of vector transformations at each step of the time quantization when controlling a real or simulated load object which is necessary to shift along required trajectory of any kind by a bridge load crane. By using the method developed, it allows increasing both the accuracy and speed of load shipping. As a result, when reaching the target point, the pendulum spatial load shifts are reduced to their complete elimination and the actual trajectory of load shifting approaches to the required one. The degree of accuracy for the approach of the actual load trajectory to the required one can be varied by specifying the maximum value of the gain ratio.

Keywords: bridge crane, trajectory of load, accuracy, load swinging.

Введение. Проблема обеспечения безопасной и высокопроизводительной работы кранов мостового типа является актуальной. Ее решение за счет уменьшения времени гашения колебаний груза позволит существенно повысить точность отработки заданных траекторий перемещения грузов в пространстве и производительность подъемно-транспортных и строительно-монтажных работ [1, 2].

Способ управления грузоподъемным краном [3] включает определение положения элементов оборудования, инициирование оператором движений элементов оборудования крана и отключение приводов крана при перегрузке. До определения положения элементов оборудования крана запоминают координаты препятствий на стройплощадке. В памяти процессора формируют контуры препятствий и отображают их на дисплее, а по сигналам датчиков положения элементов оборудования крана определяют координаты начального положения грузозахватного органа, задают координаты конечного положения грузозахватного органа, запоминают и отображают их на дисплее. При инициировании крановщиком движений элементов оборудования крана определяют прогнозируемую траекторию перемещения грузозахватного органа и отображают ее на дисплее. При отсутствии пересечения контуров определяют направления независимых движений элементов оборудования крана, каждого в отдельности, для доставки грузозахватного органа в конечную точку по кратчайшему пути за минимальное время, а при пересечении контуров препятствий прогнозируемой траекторией перемещения грузозахватного органа определяют оптимальную траекторию, запоминают и отображают ее на дисплее. Перемещение грузозахватного органа осуществляют в режимах гашения раскачивания груза, снижения скорости перемещения грузозахватного органа с последующим торможением и остановом движений.

Однако известный способ обеспечивает перемещение грузозахватного органа и гашение раскачивания груза за счет снижения скорости перемещения. Гашение раскачивания заключается в уменьшении максимальных значений угла отклонения грузозахватного органа крана и грузовых канатов от гравитационной вертикали. Такое уменьшение угла отклонения канатов при перемещении груза на свободном и гибком канатном подвесе, согласно динамике маятниковых колебаний, возможно только при уменьшении скоростей и ускорений перемещения, то есть при увеличении общего времени перемещения элементов крана и груза. Для сокращения времени рабочего цикла достаточно обеспечить гашение колебаний груза при приближении грузозахватного органа к точке его доставки, то есть на конечном участке траектории и непосредственно при достижении целевой точки доставки.

Разработан способ повышения точности и скорости перемещения груза по требуемой траектории грузоподъемным краном мостового типа, позволяющий в оперативном режиме, не располагая точной информацией обо всех характеристиках колебательной системы, синтезировать приближенную к требуемой траекторию перемещения точки подвеса [1, 2].

Описание способа. Способ оперативного повышения точности и скорости перемещения груза грузоподъемным краном мостового типа с гибким канатным подвесом по требуемой траектории и уменьшения неуправляемых пространственных перемещений груза обеспечивает:

- приближение фактической траектории перемещения груза грузоподъемным краном мостового типа к требуемой траектории;
- уменьшение неуправляемых пространственных перемещений груза и повышение за счет этого скорости перемещения и производительности работы крана (уменьшение длительности его рабочего цикла).

Дополнительно обеспечивается:

- повышение безопасности работы крана за счет уменьшения отклонений груза от требуемой траектории перемещения и снижения за счет этого вероятности его столкновения с посторонними объектами и препятствиями, находящимися вне требуемой траектории перемещения;

- уменьшение неуправляемых пространственных перемещений груза, возникающих под воздействием внешних случайных (ветровых) нагрузок.

Указанный технический эффект достигается за счет того, что путем воздействия на органы управления краном в автоматическом режиме формируют сигналы управления приводами механизмов перемещения моста и грузовой тележки крана (т. е. перемещения точки подвеса груза) на основе предложенных математических выражений, использующих значения как текущих требуемых, так и текущих фактических декартовых координат положения груза в пространстве. Основа способа заключается не в уменьшении углов отклонения подвеса от гравитационной вертикали, а в управлении ими путем оперативного формирования закона движения точки подвеса с целью приближения фактической траектории движения груза к требуемой. Это позволяет снижать скорость перемещения груза при приближении к целевой точке и таким образом гасить маятниковые колебания груза, используя для этого только перемещения точки подвеса и одновременно стабилизируя положение груза в целевой точке.

Для этого подвижные элементы крана оснащаются датчиками, измеряющими фактические текущие декартовы координаты положения крюковой обоймы с грузом в пространстве.

Способ основан на физической зависимости — придания ускорения грузу в горизонтальной плоскости (в плане) в направлении расположения проекции точки подвеса на горизонтальную плоскость, если координаты точки подвеса не совпадают с координатами центра масс крюковой обоймы с грузом (имеется угол отклонения грузовых канатов от гравитационной вертикали). Очевидно, что ускорение будет тем большим, чем больше угол отклонения канатов от гравитационной вертикали, связанный через выражение $l \cdot \sin \theta$ (l — длина грузового каната крана от точки подвеса до точки центра масс крюковой обоймы с грузом; θ — угол отклонения грузовых канатов крана от гравитационной вертикали) с расстоянием в плане между проекциями точки центра масс крюковой обоймы с грузом и точки подвеса на горизонтальную плоскость. Если груз в каждый текущий момент времени находится в точке координат требуемой траектории или достаточно близко к ней, то наличие угла отклонения грузовых канатов крана от гравитационной вертикали не представляет опасности, и его предельное (максимальное) значение может быть увеличено в несколько раз по сравнению с известными способами, достигая 20-40 угловых градусов. Указанное увеличение предельного значения угла отклонения позволяет повысить скорость и уменьшить время перемещения груза, поскольку больший угол отклонения канатов позволяет придавать грузу большие ускорения перемещения, обеспечивая его переме-

щение по требуемой криволинейной траектории с большей точностью и одновременно за меньшее время.

При отработке требуемой траектории перемещения груза, которая задана в виде временных зависимостей его декартовых координат в неподвижной системе отсчета, закон управляющего воздействия по координатным компонентам вдоль горизонтальных осей x и z в виде координат точки подвеса в плане $x_{П1}$, $z_{П2}$ будет задаваться следующими выражениями:

$$\begin{aligned}x_{П1}(t) &= x_{ТР1}(t) + (x_{ТР1}(t) - x_{ГР1}(t)) \cdot k_y; \\z_{П2}(t) &= z_{ТР2}(t) + (z_{ТР2}(t) - z_{ГР2}(t)) \cdot k_y,\end{aligned}$$

где $x_{ТР1}$, $z_{ТР2}$ — декартовы координаты точки на траектории, в которой в момент времени t должен находиться центр масс крюковой обоймы с грузом (требуемые координаты груза в плане); $x_{ГР1}$, $z_{ГР2}$ — фактические координаты груза в плане в момент времени t , измеряемые при помощи датчиков; k_y — коэффициент усиления управляющего отклонения точки подвеса относительно рассогласования фактического и требуемого положений груза в плане.

При этом координата точки подвеса $x_{П1}$ будет соответствовать перемещению моста крана, а координата $z_{П2}$ — перемещению грузовой тележки крана вдоль моста. Вычисляемые в режиме реального времени зависимости $x_{П1}(t)$, $z_{П2}(t)$ используются для компенсирующего управления приводами подвижных элементов крана — моста и грузовой тележки соответственно. При этом в качестве сигналов отрицательной обратной связи для повышения точности траектории используются сигналы датчиков, измеряющих фактические координаты груза, а также линейные перемещения моста крана и грузовой тележки относительно моста.

Коэффициент усиления управляющего отклонения k_y принимает определенные значения, при этом большим значениям k_y будет соответствовать большая точность реализации требуемой траектории при одновременном увеличении скоростей и ускорений точки подвеса, развиваемых приводами мостового крана. Целесообразно использовать диапазон изменения значений коэффициента усиления k_y от 5 до 50 со средними значениями порядка 10...15. Большие значения k_y целесообразно использовать при большей длине грузового каната l . Длина грузового каната l может при этом меняться произвольным образом согласно любой заданной отдельно зависимости. В результате положение груза в каждый момент времени перемещения будет приближаться к требуемой траектории, отклонение фактической траектории от требуемой будет автоматически уменьшено, а в случае неподвижности точки требуемого положения груза во времени (например, после достижения целевой точки на требуемой траектории) будет происходить автоматическое уменьшение (гашение) маятниковых колебаний груза до полного их устранения, причем положение равновесия при отсутствии колебаний будет совпадать с целевым положением груза.

Компенсирующее управление реализуется с учетом предельно допустимых значений параметров и ограничений на мощность приводов, ограничений по допустимым нагрузкам крана в целом и его отдельных элементов, а также информации о статических и динамических параметрах крана, массе перемещаемого груза, предварительно введенных в бортовое вычислительное устройство. Для этого в выражении изменяется значение коэффициента усиления управляющего отклонения k_y . В процессе движения груза бортовое вычислительное устройство с использованием выходных сигналов датчиков, в реальном режиме времени отслеживает текущее пространственное положение груза, моста и грузовой тележки и осуществляет изменение сигналов управления приводами моста и грузовой тележки, обеспечивая безопасное и быстрое перемещение груза по требуемой траектории.

Реализация способа включает в себя следующие этапы:

а) грузозахватный орган (крюковая обойма) под управлением оператора подводится к грузу, проводится его строповка и минимально возможное натяжение грузового каната и строп без отрыва груза от опорной поверхности;

б) по данным датчиков, измеряющих фактические координаты крюковой обоймы с грузом, определяются начальные координаты крюковой обоймы с грузом, которые заносятся в бортовое вычислительное устройство;

в) формируется требуемая сглаженная траектория перемещения груза в виде временных зависимостей декартовых координат груза в неподвижной системе координат. Требуемая траектория включает в себя задаваемые оператором координаты конечной целевой точки перемещения крюковой обоймы с грузом и определенное количество промежуточных опорных точек. Требуемая траектория характеризуется, помимо геометрических координат начальной, промежуточных опорных и целевой точек, также временем перемещения груза, задаваемым в пределах, которые способны реализовать приводы используемой конструкции крана и их устройства управления;

г) бортовое вычислительное устройство по команде оператора формирует сигналы управления приводами механизмов перемещения моста, грузовой тележки крана и подъема/опускания груза, обеспечивая согласно приведенным выше выражениям автоматическое приближение координат перемещаемого груза в каждый момент времени к координатам на требуемой траектории, а также уменьшение неуправляемых пространственных перемещений груза как во время перемещения, так и на этапе завершения перемещения и в целевой точке.

Математически предлагаемый способ представлен в векторной форме с использованием преобразований в однородных координатах [4 – 11].

Получено выражение вектора перемещения точки подвеса $\vec{R}_y(t)$ в неподвижной системе координат $O_0X_0Y_0Z_0$ из текущего фактического положения точки подвеса C в требуемое положение D в течение одного шага квантования времени Δt .

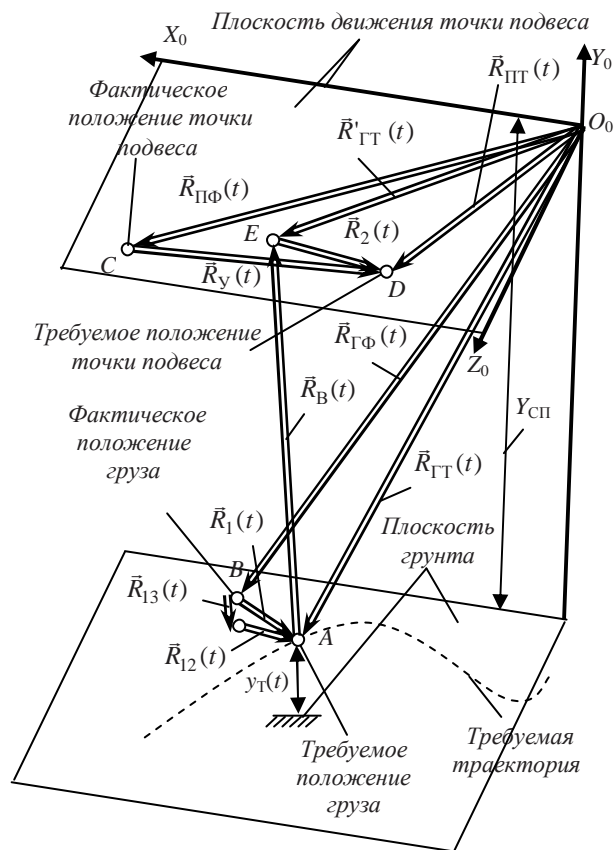


Рис. 1. Векторы точек расчетной схемы перемещения груза по требуемой траектории грузоподъемным краном мостового типа

В качестве исходных данных выступают: вектор точки A требуемого положения груза $\vec{R}_{ГТ}(t)$, вектор точки B фактического положения груза $\vec{R}_{ГФ}(t)$, вектор точки C фактического положения подвеса $\vec{R}_{ПФ}(t)$ (рис. 1). Все указанные векторы заданы в неподвижной системе координат $O_0X_0Y_0Z_0$ в момент времени t .

Согласно расчетной схеме вектор $\vec{R}_1(t)$, соединяющий точки B и A (рис. 1):

$$\vec{R}_1(t) = \vec{R}_{ГТ}(t) - \vec{R}_{ГФ}(t),$$

где:

$$\vec{R}_{ГТ}(t) = [x_{ГТ} \quad y_{ГТ} \quad z_{ГТ} \quad 0]^T;$$

$$\vec{R}_{ГФ}(t) = [x_{ГФ} \quad y_{ГФ} \quad z_{ГФ} \quad 0]^T.$$

В векторах 1 или 0 на месте четвертой компоненты вектора показывают, принимает ли начало координат участие в вычислениях. Обозначим компоненты вектора $\vec{R}_1(t)$ как:

$$\vec{R}_1(t) = [x_1 \quad y_1 \quad z_1 \quad 0]^T.$$

Проекция данного вектора на горизонтальную плоскость вида $[x_1 \quad 0 \quad z_1 \quad 0]^T$, которую обозначим как $\vec{R}_{1_2}(t)$, будет вычисляться умножением на матри-

цу D_{xz} , ограничивающую перемещение горизонтальной плоскостью $O_0X_0Z_0$:

$$\vec{R}_{12}(t) = D_{xz} \cdot \vec{R}_1(t),$$

где:

$$D_{xz} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Вектор $\vec{R}_2(t)$, связывающий точку E в плоскости движения подвеса, находящуюся над точкой на требуемой траектории, и собственно точку подвеса D (ее необходимое для коррекции траектории груза положение) согласно предлагаемому способу должен быть сонаправлен вектору $\vec{R}_{12}(t)$ и больше его по модулю на коэффициент усиления k_y :

$$\begin{aligned} \vec{R}_2(t) &= \vec{R}_{12}(t) \cdot k_y = D_{xz} \cdot \vec{R}_1(t) \cdot k_y = \\ &= D_{xz} \cdot (\vec{R}_{\Gamma T}(t) - \vec{R}_{\Gamma \Phi}(t)) \cdot k_y. \end{aligned}$$

Вертикальный вектор, связывающий точку на требуемой траектории груза в момент времени t и точку в плоскости движения подвеса, находящуюся над точкой на требуемой траектории:

$$\vec{R}_B(t) = [0 \quad l(t) \quad 0 \quad 0]^T,$$

где $l(t) = |\vec{R}_B(t)|$ — длина грузового каната от точки подвеса до центра груза, которая может быть выражена через требуемую высотную координату груза относительно плоскости грунта $y_T(t)$:

$$l(t) = Y_{СП} - y_T(t),$$

где $Y_{СП}$ — постоянная высота плоскости грунта относительно неподвижной системы координат $O_0X_0Y_0Z_0$. Тогда:

$$\vec{R}_B(t) = [0 \quad (Y_{СП} - y_T(t)) \quad 0 \quad 0]^T.$$

Вектор $\vec{R}_{\Pi T}(t)$ точки D положения подвеса, необходимый для коррекции траектории груза:

$$\begin{aligned} \vec{R}_{\Pi T}(t) &= \vec{R}_{\Gamma T}(t) + \vec{R}_B(t) + \vec{R}_2(t) = \\ &= \vec{R}_{\Gamma T}(t) + \vec{R}_B(t) + D_{xz} \cdot (\vec{R}_{\Gamma T}(t) - \vec{R}_{\Gamma \Phi}(t)) \cdot k_y. \end{aligned}$$

Вектор $\vec{R}_y(t)$ вычисляется умножением матрицы D_y , ограничивающей перемещение вертикальным направлением O_0Y_0 , на вектор $\vec{R}_{\Pi T}(t)$:

$$\vec{R}_y(t) = -D_y \cdot \vec{R}_{\Pi T}(t),$$

где:

$$D_y = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Выражение для вычисления вектора требуемого положения точки подвеса D :

$$\vec{R}_{\Pi T}(t) = \vec{R}_{\Gamma T}(t) - D_y \cdot \vec{R}_{\Gamma T}(t) + D_{xz} \cdot (\vec{R}_{\Gamma T}(t) - \vec{R}_{\Gamma \Phi}(t)) \cdot k_y. \quad (1)$$

При известном значении вектора фактического положения точки подвеса $\vec{R}_{\Pi \Phi}(t)$ в момент времени t вектор перемещения точки подвеса $\vec{R}_y(t)$ из текущего фактического положения точки подвеса C в требуемое положение D в течение одного шага квантования времени Δt определится как разность векторов $\vec{R}_{\Pi T}(t)$ и $\vec{R}_{\Pi \Phi}(t)$:

$$\begin{aligned} \vec{R}_y(t) &= \vec{R}_{\Pi T}(t) - \vec{R}_{\Pi \Phi}(t) = \\ &= \vec{R}_{\Gamma T}(t) - D_y \cdot \vec{R}_{\Gamma T}(t) + D_{xz} \cdot (\vec{R}_{\Gamma T}(t) - \vec{R}_{\Gamma \Phi}(t)) \cdot k_y - \vec{R}_{\Pi \Phi}(t). \end{aligned} \quad (2)$$

В течение одного шага квантования времени, согласно приведенному выражению (2), точка подвеса перемещается приводами крана из фактического текущего положения в требуемое. При переходе к следующему шагу квантования времени точка D с предыдущего шага становится точкой C , а новое положение точки D груза определяется согласно (1).

Для компенсации вертикальных смещений груза относительно требуемого положения, необходимо увеличить либо уменьшить длину грузового каната крана на длину вектора $\vec{R}_{13}(t)$. Последний является проекцией вектора $\vec{R}_1(t)$ на вертикальную ось O_0Y_0 системы координат $O_0X_0Y_0Z_0$ и может быть выражен в виде произведения матрицы D_y и вектора $\vec{R}_1(t)$:

$$\vec{R}_{13}(t) = D_y \cdot \vec{R}_1(t) = D_y \cdot (\vec{R}_{\Gamma T}(t) - \vec{R}_{\Gamma \Phi}(t)). \quad (3)$$

Заключение

Использование разработанного способа, представленного в виде выражений (2), (3) на каждом шаге квантования времени при управлении реальным или моделируемым объектом груза, который необходимо переместить краном мостового типа по требуемой траектории, позволяет повысить точность и скорость перемещения груза.

В результате пространственные маятниковые колебания груза при достижении целевой точки уменьшаются до их полного устранения, а фактическая траектория перемещения груза приближается к требуемой. Степень точности приближения фактической траектории груза к требуемой будет определяться требованиями оператора через задание максимального значения коэффициента усиления k_y и ограничиваться мощностью и быстродействием приводов механизмов крана и их устройств управления.

Литература

References

1. Щербаков, В.С., Кoryтов М.С., Вольф Е.О. Способ повышения точности траектории перемещения объекта грузоподъемным краном путем компенсации его неуправляемых пространственных колебаний // Механизация строительства. 2014. № 2. С. 21-25.
2. Кoryтов М.С., Щербаков В.С., Вольф Е.О. Алгоритм обеспечения точности траектории перемещения объекта грузоподъемным краном путем компенсации его неуправляемых пространственных колебаний: электронный ресурс. СВ ГР № 20015 от 24.03.2014 Инв. номер ВНТИЦ № 50201450250 от 28.03.2014.
3. Затравкин М.И., Каминский Л.С., Маш Д.М., Пятницкий И.А., Федоров И.Г., Червяков А.П. Способ управления грузоподъемным краном и устройство для его осуществления: пат. 2325317 Рос. Федерация. № 2006134885/11; заявл. 03.10.06; опубл. 27.05.08, Бюл. № 15. 14 с.
4. Щербаков В.С., Кoryтов М.С. Определение диапазонов управляемых координат автокрана // Научный вестник НГТУ, 2009. Вып. 3 (36). С. 31-40.
5. Щербаков В.С., Кoryтов М.С. Определение значений управляемых координат автокрана по известным координатам груза // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2009. № 2 (10). С. 176-192.
6. Щербаков В.С., Зырянова С.А., Кoryтов М.С. Система автоматизированного моделирования стрелового грузоподъемного крана: монография. Омск: СибАДИ, 2009. 104 с.
7. Щербаков В.С., Реброва И.А., Кoryтов М.С. Автоматизация моделирования оптимальной траектории движения рабочего органа строительного манипулятора: монография. Омск: СибАДИ, 2009. 106 с.
8. Щербаков В.С., Кoryтов М.С., Григорьев М.Г. Автоматизация проектирования устройств управления положением платформы строительной машины: монография. Омск: СибАДИ, 2011. 119 с.
9. Щербаков В.С., Кoryтов М.С., Котькин С.В. Методика решения обратной кинематической задачи грузоподъемного крана // Вестник СибАДИ. 2011. № 2 (20). С. 71-76.
10. Кoryтов М.С. Автоматизация синтеза оптимальных траекторий перемещения грузов мобильными грузоподъемными кранами в неоднородном организованном трехмерном пространстве: монография. Омск: СибАДИ, 2012. 380 с.
11. Кoryтов М.С., Щербаков В.С., Котькин С.В. Система автоматизации моделирования стреловых грузоподъемных кранов: монография. Омск: СибАДИ, 2012. 143 с.
1. Shcherbakov, V.S., Korytov M.S., Vol'f E.O. A method for improving the accuracy of the path of the object by a crane his compensation uncontrolled spatial oscillations // Mekhanizatsiya stroitel'stva. 2014. № 2. P. 21-25.
2. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Vol'f E.O. Algorithm ensure the accuracy of the path of the object by a crane his compensation uncontrolled spatial oscillations: elektronnyi resurs. SV GR № 20015 ot 24.03.2014 Inv. nomer VNTITs № 50201450250 ot 28.03.2014.
3. Zatravkin M.I., Kaminskii L.S., Mash D.M., Pyatnitskii I.A., Fedorov I.G., Chervyakov A.P. Method of controlling a crane and a device for its implementation: pat. 2325317 Ros. Federatsiya. № 2006134885/11; zayavl. 03.10.06; opubl. 27.05.08, Byul. № 15. 14 p.
4. Shcherbakov V.S., Korytov M.S. Identification of ranges of axes controlled truck crane // Nauchnyi vestnik NGTU, 2009. Vyp. 3 (36). P. 31-40.
5. Shcherbakov V.S., Korytov M.S. Determination of controlled axes truck crane from the known coordinates of the goods // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Povolzhskii region. Tekhnicheskie nauki. 2009. № 2 (10). P. 176-192.
6. Shcherbakov V.S., Zyryanova S.A., Korytov M.S. Computer-aided modeling jib crane: monografiya. Omsk: SibADI, 2009. 104 p.
7. Shcherbakov V.S., Rebrova I.A., Korytov M.S. Automation of modeling the optimal trajectory of motion of the manipulator working body building: monografiya. Omsk: SibADI, 2009. 106 p.
8. Shcherbakov V.S., Korytov M.S., Grigor'ev M.G. Design automation devices control the position of a construction machine platform: monografiya. Omsk: SibADI, 2011. 119 p.
9. Shcherbakov V.S., Korytov M.S., Kot'kin S.V. Methods of solving the inverse kinematic problem of the crane // Vestnik SibADI. 2011. № 2 (20). P. 71-76.
10. Korytov M.S. Automating the synthesis of optimal trajectories of movement of goods mobile cranes in a nonuniform organized three-dimensional space: monografiya. Omsk: SibADI, 2012. 380 p.
11. Korytov M.S., Shcherbakov V.S., Kot'kin S.V. Automation system simulation jib lifting cranes: monografiya. Omsk: SibADI, 2012. 143 p.