

УДК 621.873.2

Н.В. Хиценко (канд. техн. наук, доц.),
А.И. Хиценко (канд. техн. наук, доц.), **С.Р. Бежин** (магистр)
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВОЙ ТЕЛЕЖКИ ПРОЛЕТНОГО КРАНА

В работе на основе математического моделирования выполнен анализ различных законов управления движением грузовой тележки пролетного крана. Предложен закон управления, практически исключая остаточные колебания груза после остановки тележки.

Ключевые слова: математическая модель, режим движения, грузовая тележка, груз, колебания.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Раскачивание груза, возникающее на протяжении режимов движения крановой тележки, является причиной дополнительных нагрузок на элементы крана, создает неудобства, которые угрожают безопасности работников, уменьшает производительность погрузочно - разгрузочных, транспортных операций. Колебания груза затрудняют прицельное наведение грузозахватных устройств и установку груза на заданное место. Особенно это относится к грузам с большими габаритами. Внедрение современных систем микропроцессорного управления приводами грузоподъемных механизмов позволяет существенно повысить технический уровень подъемно-транспортных машин. В частности, за счет управления приводом перемещения грузовой тележки пролетного (козлового, мостового) крана можно существенно повысить точность позиционирования за счет снижения раскачивания груза вследствие переходных процессов пуска и остановки.

Анализ исследований и публикаций. Качество многих технологических процессов зависит от перемещения грузов подъемно-транспортными машинами. Вопросы оптимизации режимов движения крановых механизмов рассматриваются в работах таких ученых как В.С. Ловейкин, А.А. Дорофеев, Б.В. Квартальнов, В.И. Ключев, Ю.А. Борцов, Б.Ш. Бургин, Г.Г. Соколовский, Л.Б. Масандилов, И.Я. Браславский и др.

В работе [1] рассмотрена двухмассовая динамическая система «тележка - груз», предложены интегральные критерии, отражающие несовершенство режимов движения системы. Проведена оптимиза-

© Хиценко Н.В., Хиценко А.И., Бежин С.Р., 2013

ция режимов движения крановой тележки с грузом с помощью комплексного критерия. Обоснованы структура и общий алгоритм работы системы для реализации оптимального управления крановой тележкой. Следует отметить, что колебания груза были существенно снижены, но не исключены.

Для исследования движения системы «тележка-груз» методами имитационного моделирования в работе [2] была составлена трехмассовая динамическая схема (рис.1) и разработана математическая модель. Система имеет три массы: тележка M_1 (поступательное движение), крюковая подвеска M_2 (материальная точка, поступательное движение) и груз M_3 (твердое тело, плоское движение). Отличительная особенность модели по сравнению с приведенной в [1] – учет момента инерции груза I_3 . Движение масс описывается координатами x_1, x_2, x_3, y_2, y_3 с началом отсчета в точке, положения центра масс тележки до начала движения, а также углом отклонения груза от вертикали φ_3 . Скорость движения тележки V задается тахограммой, реализуемой системой управления.

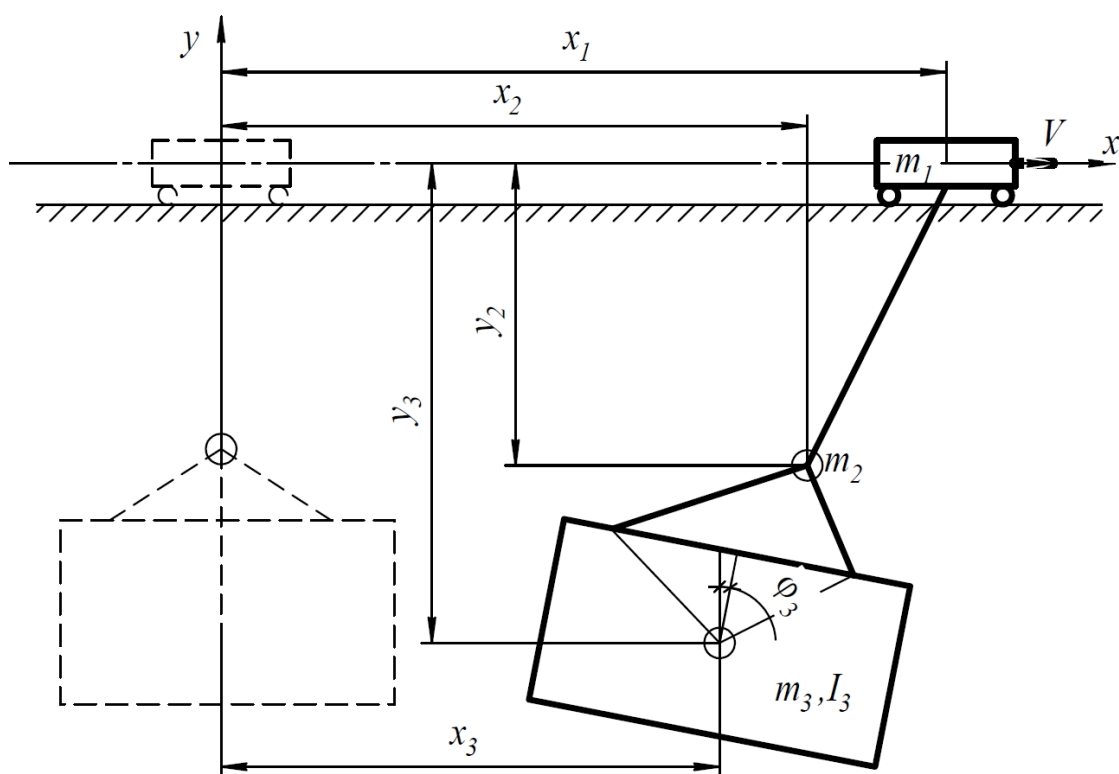


Рис. 1. Расчетная динамическая схема движения грузоподъемного механизма

Модель планировалось использовать для определения оптимального закона движения крановой тележки, при котором колебания практически исчезают после завершения переходных режимов ее

движения. Важным вопросом является обоснование структуры и алгоритмов работы системы, которая могла бы реализовать оптимальное управление движением крановой тележки.

Постановка задачи. Целью работы является устранение колебаний груза за счет формирования оптимальных переходных режимов движения и разработка структуры системы управления механизмом перемещения крановой тележки.

Изложение материала и результаты. Исследования выполнены методами имитационного моделирования с применением математической модели [2]. Для повышения достоверности результатов экспериментально оценивались значения коэффициентов сопротивления при движении крюка и груза. Целью эксперимента было исследование затухающих колебаний системы «грузовая тележка - груз». Полученные данные были обработаны и по результатам измерений были получены экспериментальные коэффициенты сопротивления движению прицепного устройства $c_k=9,9$ Нс/м и груза $c_z=18,9$ Нс/м.

Исследование и оптимизация переходных режимов движения грузовой тележки проводилась с использованием законов управления механизмом ее перемещения: трапецеидальная тахограмма с постоянным ускорением, трапецеидальная тахограмма с плавно переменным ускорением и др.

Наиболее эффективным законом управления является трапецеидальная тахограмма с оптимизированным участком остановки. Для этого закона уравнения движения тележки на участке остановки задается интерполяционным полиномом с узлами, равномерно расположенными (по времени) на участке остановки. Принято 6 узлов (рис. 2), положение первого и шестого заданные (длительная скорость движения тележки $V_{дл}$ и 0), а значения скорости в 2-5 узлах являются параметрами, требующими оптимизации. Форма зависимости скорости движения от времени задается положением узлов интерполяции. Условием существенного снижения раскачивания груза после остановки тележки является оптимизация значений относительных скоростей (узлов интерполяции $V1/V_{дл}...V6/V_{дл}$) на участке остановки. Подбор значений относительных скоростей осуществлялся с учетом таких величин как масса груза m_3 , длина отвеса каната L и время остановки t_o .

Оптимизация проводилась методом покоординатного спуска. Суть метода заключается в поочередной смене положений узлов интерполяции на определенный шаг от исходного положения, модели-

ровании перемещения груза и сравнению конечного отклонения груза от вертикали. Вариант, при котором отклонение груза является минимальным, признается рациональным.

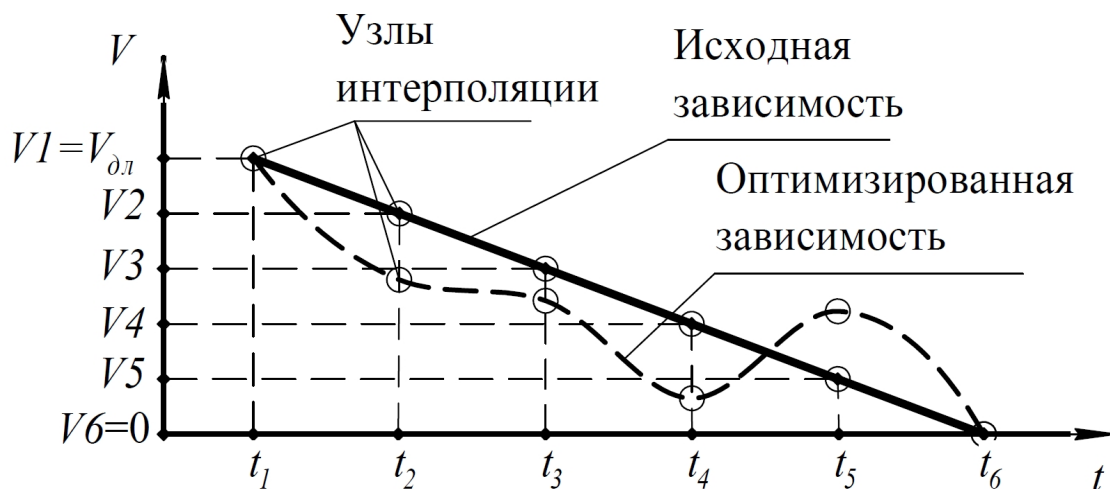


Рис. 2. Зависимость скорости движения тележки от времени на участке остановки

Скорость движения тележки на участке остановки задается по формуле:

$$V = V_{\text{дл}} \left[\frac{V1}{V_{\text{дл}}} \frac{(t-t_2)(t-t_3)(t-t_4)(t-t_5)(t-t_6)}{(t_1-t_2)(t_1-t_3)(t_1-t_4)(t_1-t_5)(t_1-t_6)} + \right. \\ \left. + \frac{V2}{V_{\text{дл}}} \frac{(t-t_1)(t-t_3)(t-t_4)(t-t_5)(t-t_6)}{(t_2-t_1)(t_2-t_3)(t_2-t_4)(t_2-t_5)(t_2-t_6)} + \dots \right. \\ \left. \dots + \frac{V6}{V_{\text{дл}}} \frac{(t-t_1)(t-t_2)(t-t_3)(t-t_4)(t-t_5)}{(t_6-t_1)(t_6-t_2)(t_6-t_3)(t_6-t_4)(t_6-t_5)} \right],$$

где $t_1 \dots t_6$ - моменты времени, соответствующие узлам интерполяции; t - текущее время.

Для трапецеидальной тахограммы движения тележки с оптимизированным участком остановки при $t_0 = 3,85$ с, $m_3 = 5000$ кг, $L = 6$ м методом покоординатного спуска получены рациональные узловые значения относительных скоростей $V1/V = 1$, $V2/V = 0,58$, $V3/V = 0,48$, $V4/V = 0,28$, $V5/V = 0,38$, $V6/V = 0$, при этом максимальное отклонение груза от вертикали после остановки движения тележки составляет $\Delta x = \max(x_3 - x_1) = 0,008$ м, что значительно меньше, чем для других тахограмм.

Для оценки применимости трапецеидальной тахограммы перемещения тележки с оптимизированным участком остановки было промоделировано движение тележки при изменении длины отвеса каната, скорости движения тележки, массы груза, момента инерции груза. В ходе анализа полученных результатов было установлено, что на остаточные колебания груза влияют скорость грузовой тележки, масса груза, длина отвеса и не влияет момент инерции груза (что подтверждает соответствующее допущение работы [1]). Так как большое влияние на отклонение груза от вертикали после остановки грузовой тележки оказывает длина отвеса, были проведены исследования для нахождения рационального значения времени остановки при изменении этого параметра (рис. 3).

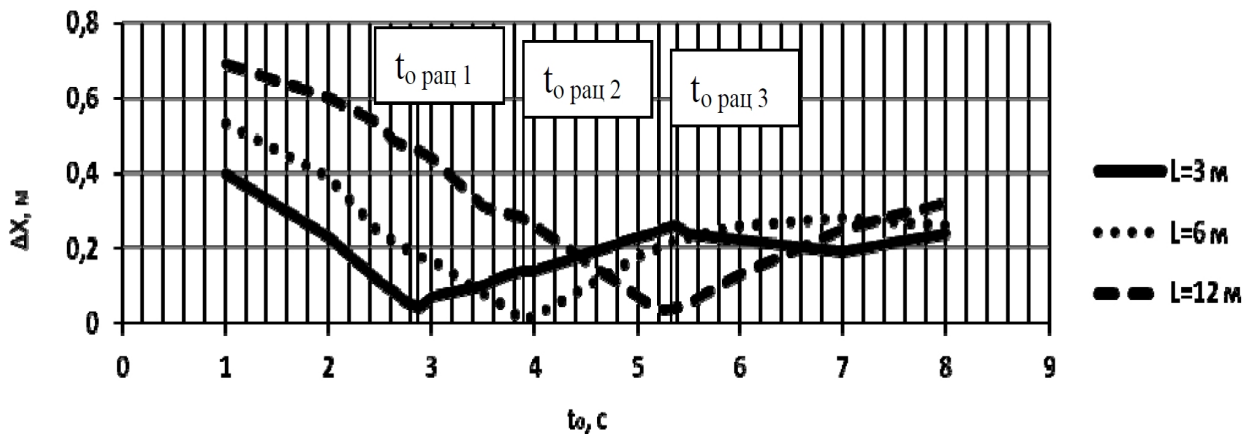


Рис. 3. Зависимость остаточного отклонения груза от вертикали от времени остановки

Полученные рациональные значения времени остановки были сопоставлены с значениями периода колебаний груза. Таким образом, было установлено, что оптимальное значение времени остановки

$t_o = (t_6 - t_1)$ равняется $3/4$ периода колебаний груза $t_o = \frac{3}{4} T_o = \frac{3}{2} \pi \sqrt{\frac{L}{g}}$, где

L – длина отвеса каната, T_o – период колебаний груза, g – ускорение свободного падения. Важным результатом является то, что рациональная длительность остановки не зависит от массы груза. Путем имитационного моделирования установлено, что значения относительных скоростей $V1/V_{дл} \dots V6/V_{дл}$ могут быть использованы для различных соотношений массы груза, скорости движения тележки $V_{дл}$ и длины отвеса каната L .

Для практической реализации рационального закона управления движением грузовой тележки необходимо построить мехатронную

систему (рис. 4). В приводе грузовой тележки используют электродвигатель с частотным регулированием. Управление электродвигателем предусматривает автоматизацию всей его работы, включая пуск, торможение и изменение скорости вращения электродвигателя.

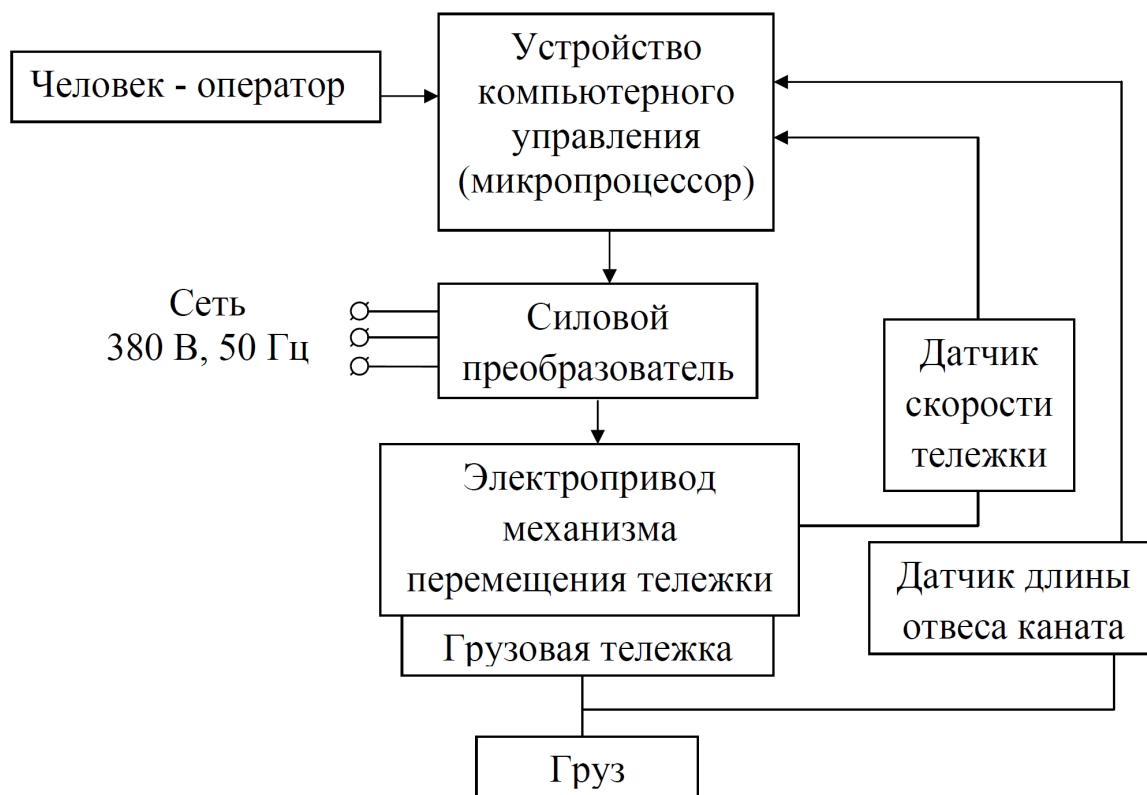


Рис. 4. Функциональная схема управления движением грузовой тележки

Алгоритм работы системы управления состоит из трех этапов: сбор исходных данных (опрос датчика длины отвеса каната), расчет параметров тахограммы (времени движения и длины пути на участках разгона, длительного движения, остановки), задание закона движения. В качестве датчика скорости можно использовать цифровой энкодер, который взаимодействует в кинематической связи с путем по которому движется тележка. Датчик длины отвеса каната также может быть энкодером (с кинематическим взаимодействием с ребордами канатного барабана).

Выводы и направления дальнейших исследований. Установлено, что реализация рационального управления движением грузовой тележки пролетного крана на участке остановки позволяет практически исключить (до 8–10 мм) остаточное раскачивание груза. Рациональным законом управления является тахограмма в виде интерполяционного полинома с 6 равномерно расположенными по времени узловыми точками. При этом относительные значения скорости, соответствующие узлам интерполяции, не зависят от массы груза, дли-

тельной скорости движения тележки, длины отвеса каната. Рациональная длительность остановки тележки равна $3/4$ периода собственных колебаний груза и, таким образом, зависит только от длины отвеса каната. Предложена структура мехатронной системы привода перемещения тележки, позволяющая повысить безопасность работ и производительность крана за счет сокращения длительности цикла и более точного позиционирования.

Список литературы

1. Ловейкин В.С. Оптимизация переходных режимов движения механизма передвижения тележки грузоподъемных машин / В.С. Ловейкин, В.Ф. Ярошенко // Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенка. – 2007. – 460 с.
2. Хиценко А.И. Моделирование колебаний груза при перемещении тележки мостового крана / А.И. Хиценко, С.Р. Бежин // Машинознание. Матеріали 13 регіональної науково-методичної конференції. – Донецьк: ДонНТУ, 2010. – С. 55-59.

Стаття надійшла до редакції 15.10.2013

М.В. Хиценко, Г.І. Хиценко, С.Р. Бежин. ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Оптимізація перехідних режимів руху вантажного візка прольотного крана

У роботі на основі математичного моделювання виконано аналіз різних законів управління рухом вантажного візка пролітного крана. Запропоновано закон керування, який практично виключає залишкові коливання вантажу після зупинки візка.

Ключові слова: математична модель, режим руху, вантажний візок, вантаж, коливання.

N. Khitsenko, A. Khitsenko, S. Bezhin. Donetsk National Technical University

Optimization of Transient Movement of Bay Crane's Trolley

Different laws of motion control of bay crane's trolley are analyzed using mathematical modeling. Proposed law of motion control eliminates residual vibration of load after stopping the trolley. The most effective law of trolley movement is tachogram with an optimized stop mode. Implementation of rational motion control of trolley during stop mode eliminates residual sway of load. The relative values of the trolley's speed at the interpolation nodes doesn't depend on the weight of the load, long-term rate of movement and length of the rope. Rational duration of the stop is equal to the $3/4$ of period of free oscillations of load and depends on the rope length only. The structure of mechatronic drive system of the trolley motion is proposed. It allows increasing the performance of the crane by reducing the cycle time movements of the load and to improving the safety of works.

Keywords: mathematical model, mode of motion, trolley, load, fluctuations.