

## АЛГОРИТМ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БАШЕННЫМ КРАНОМ С МАХОВОЙ И БАЛОЧНОЙ СТРЕЛОЙ

### ALGORITHM FOR MODERNIZATION OF A TOWING CRANE CONTROL SYSTEM WITH A MOW AND BALED ARROW

*M. Igoshev*

*Summary.* Tower cranes with a flywheel and a beam boom are equipped with on-board electronic control systems, which include a microprocessor, sensors and a control panel. The article presents the process of developing algorithms based on mathematical, logical methods, a dynamic two-dimensional mathematical model of the process of working a tower crane with a flywheel and a beam boom.

*Keywords:* tower cranes with a flywheel and beam boom, control system, algorithm, ready-made working block of the algorithm.

**Игошев Матвей Геннадьевич**

Аспирант, Арзамасский политехнический институт  
(филиал) ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный  
технический университет им. П. Е. Алексеева» (НГТУ),  
г. Арзамас  
lazareva@apingt.u.edu.ru

*Аннотация.* Башенные краны с маховой и балочной стрелой оснащены бортовыми электронными системами управления, в состав которых входят микропроцессор, датчики и пульта управления. В статье представлен процесс разработки алгоритмов, основанных на математических, логических методах, динамической двумерной математической модели процесса работы башенного крана с маховой и балочной стрелой.

*Ключевые слова:* башенные краны с маховой и балочной стрелой, система управления, алгоритм, готовый рабочий блок алгоритма.

**В** [1] дается определение башенного крана, как грузоподъемного механизма со стрелой, расположенной в верхней части вертикально закрепленной башни, служащей для перемещения груза.

Башенный кран характеризуется следующими параметрами: вылет стрелы, грузоподъемность, скорость подъема и опускания, глубина опускания, быстрота перемещения, угол поворота башни и так далее.

Башенный кран используется на крупных строительных объектах, где высока степень ответственности рабочих, и даже небольшие ошибки могут привести к серьезным последствиям — от разрушений зданий до человеческих жертв. Именно поэтому автоматизация и контроль безопасности так важны и актуальны в тяжелых условиях высотного строительства. Башенные краны с маховой и балочной стрелой оснащены бортовыми электронными системами управления, в состав которых входят микропроцессор, датчики и пульт управления.

Автоматизация делает процесс эксплуатации крана не только более удобным и простым, но даже более безопасным, чем при постоянном контроле специалистов. Следовательно, является актуальной задача разработки алгоритмов, абстрагированных от электросхемотехнической части систем управления, основанных на математических, логических методах, динамической двумерной математической модели процесса работы башенного крана с балочной стрелой и их практической реализации.

Анализ исследований, публикаций, архива Федерального института промышленной собственности [2, 3] показал, что такие алгоритмы ранее не разрабатывались.

Разработка алгоритма или готового рабочего блока алгоритма (ГРБА) для системы управления (СУ) башенным краном с маховой и балочной стрелой является целью исследования.

Для ее достижения необходимо было решить следующие задачи:

1. Проанализировать существующие подходы к построению СУ; типовые алгоритмы и анализы обработки параметров; средства эффективного сжатия данных модели. Оценить применимость типовых алгоритмов, методов, средств для решения задачи обработки параметров в ГРБА. Сформулировать критерий оценки работы ГРБА по обработке данных.
2. Построить распределенную структурную схему ГРБА, структурную схему СУ, ориентированных на обработку данных динамической двумерной математической модели процесса работы башенного крана с балочной стрелой (рисунок 1).
3. Разработать метод построения СУ на основе построения ГРБА.
4. Разработать алгоритмы управления данными модели в зависимости от распределенных преобразователей информации, а также критерий оценки эффективности работы адаптивной СУ.

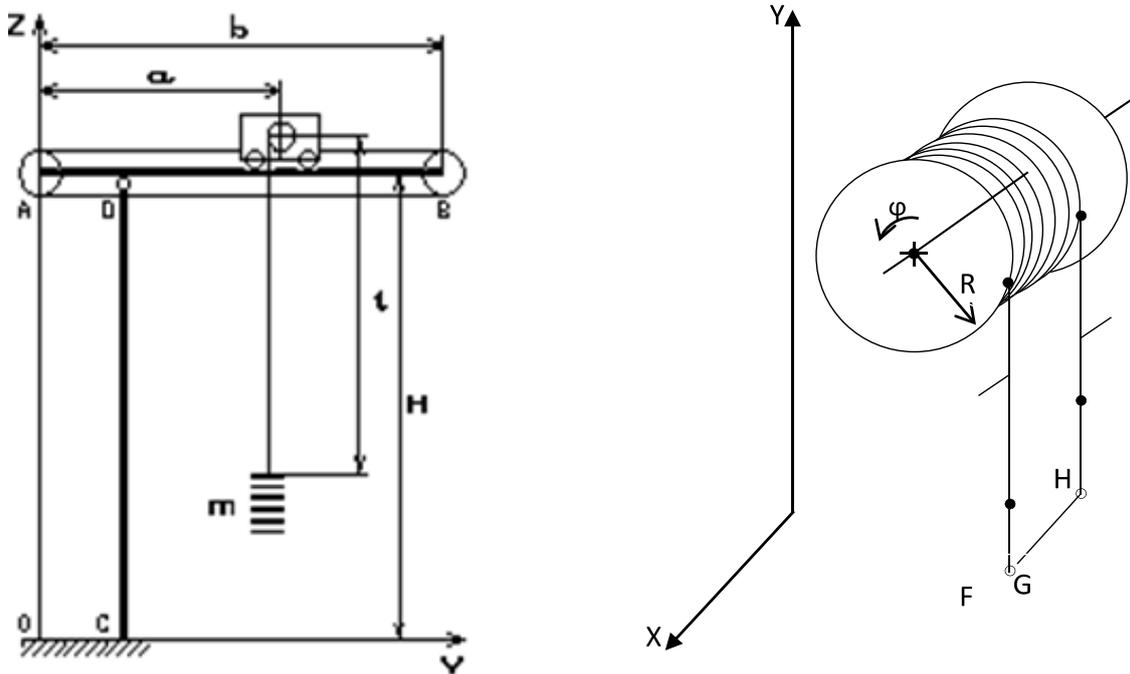


Рис. 1. Положения поднимаемого груза в двух состояниях: в точке В, когда длина каната  $l_0$ , барабан повернулся на угол  $\varphi$ , длина  $l$

5. Спроектировать комплекс проблемно-ориентированных алгоритмов, позволяющий выполнять эффективное управление сжатием информации от преобразователей на основе сформулированного критерия.

На базе проведенного анализа выделены основные этапы обработки данных модели, включающие спектрально-временное преобразование, их последующее сжатие и транслирование по каналам связи. На рисунке 1 показаны положения поднимаемого груза в двух состояниях: в точке В, когда длина каната  $l_0$ , барабан повернулся на угол  $\varphi$ , длина  $l$

Положение в пространстве точки D в принятой декартовой системе координат, определяемое двумя координатами  $x, y$ , определяется соотношениями:

$$x = x_c, y = y_c - l, \tag{1}$$

где  $x_c, y_c$  — текущие координаты точки C.

Считая, что намотка каната выполняется с шагом  $h$ , положение точки C определяется по формуле 2:

$$x_c = x_A - h\varphi / (2p), y_c = y_A \tag{2}$$

где  $x_A, y_A$  — координаты A, R — радиус барабана.

В уравнениях (2) координаты точки A ( $x_A, y_A$ ), угол поворота барабана ( $\varphi$ ) определяются перемещением крана вдоль осей X, Y и намоткой каната:

$$x_A = X(t), y_A = H, \varphi = \Phi(t), \tag{3}$$

где  $X(t), Y(t), \Phi(t)$  — функции от времени  $t$ ,

H — высота подъема, равная расстоянию по вертикали от основания крана до оси барабана.

Установим связь длины  $l$  с координатными угла  $\varphi$ . Допускаем, что груз не отклонился от вертикали, канат представляет собой гибкую абсолютно нерастяжимую нить, тогда [4,5]

$$l = l_0 - R \int_0^t \frac{d\varphi}{dt} dt = l_0 - R \int_0^{\varphi} d\varphi = l_0 - R\varphi. \tag{4}$$

$$l = l_0 - R(\Phi) + \delta, \tag{5}$$

где  $\delta$  — упругая продольная деформация каната длины  $l' = l_0 - R(\Phi)$ , возникающая в результате действия на канат статических и динамических нагрузок.

Обобщая формулы (1), (2), (4) и (5), координаты груза запишем в виде:

$$\left. \begin{aligned} x &= X - h\psi / (2p), \\ y &= H - [l_0 - R(\Phi) + d]. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Составляющие вектора скорости на основании (6) представим в виде (7):

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= \dot{X} - h\dot{\Phi} / (2p), \\ \dot{y} &= -\dot{d}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Для определения кинетической энергии системы используем уравнения Лагранжа второго рода, тогда:

$$T = \frac{J_0 + q(l_0 - l')R^2}{2} \dot{\psi}^2 + \frac{m}{2} [\dot{x}^2 + \dot{y}^2], \quad (8)$$

где  $\psi$  — текущий угол поворота барабана;  
 $q$  — погонная масса каната;  
 $l'$  — упругая продольная деформация каната;  
 $J_0$  — начальный момент инерции барабана;  
 $m$  — масса груза;  
 $\dot{x}, \dot{y}$  — компоненты абсолютной скорости массы (7).

Потенциальная энергия системы обусловлена изменением положения массы груза в гравитационном поле Земли и упругой деформацией каната:

$$U = mg(H - l) + \frac{C_{кан} d^2}{2}, \quad (9)$$

где  $C_{кан}$  — коэффициент жесткости каната.

$$C_{кан} = k_{\Pi} \frac{E \bar{a} d_{кан}^2}{l'}, \quad (10)$$

где  $k_{\Pi}$  — кратность полиспафта;  
 $E$  — модуль упругости стали проволоки ( $E = 2,06 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$ );  
 $\bar{a}$  — параметр каната  $\approx 0,315$ ;  
 $d_{кан}$  — диаметр каната, м;  
 $l'$  — упругая продольная деформация каната.

Функция Лагранжа

$$L = T - U,$$

где  $T$  и  $U$  — соответственно, кинетическая и потенциальная энергия системы примет вид:

$$L = \frac{q(l_0 - l')R^2}{2} \dot{\psi}^2 + \frac{m}{2} [\dot{x}^2 + \dot{y}^2] - mg(-l) - \frac{C_{кан} d^2}{2}. \quad (11)$$

Производная функции Лагранжа задается уравнением (12):

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i \quad (i = 1, 2, 3). \quad (12)$$

Уравнения (13) задают координаты и скорости дискретных элементов

$$\left. \begin{aligned} q_1 &= D, \\ \dot{q}_1 &= \dot{D}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Полагая  $Q_i = 0$ , получаем:

$$\frac{\partial L}{\partial D} = m \left( \dot{x} \frac{\partial \dot{x}}{\partial D} + \dot{y} \frac{\partial \dot{y}}{\partial D} \right) - C_{кан} D, \quad (14)$$

Уравнение динамического состояния груза получим подстановкой (14) в уравнение Лагранжа:

$$m \left( \dot{x} \frac{\partial \dot{x}}{\partial D} + \dot{y} \frac{\partial \dot{y}}{\partial D} \right) - \frac{\partial L}{\partial D} = 0.$$

Полученные уравнения относительно упругой деформации каната  $d$  принадлежат к классу линейных дифференциальных уравнений, численные решения которых позволяют разработать алгоритм или готовый рабочий блок алгоритма для системы управления башенным краном с маховой и балочной стрелой, установить рациональные режимы управления частотными приводами крана для исключения превышения допустимых параметров.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27555-87 (ИСО 4306-1-85) Краны грузоподъемные. Термины и определения: Государственного комитета СССР по стандартам от 24.12.87 N4926 // Внесён Министерством строительного, дорожного и коммунального машиностроения СССР: 1989-01-01; Переиздан: Декабрь
2. Под ред Близнаца И. А. Интеллектуальная собственность в современном мире. Монография. — Издательство «Проспект», 2017-03-15. — 844 с.
3. Патентный поиск [Электронный ресурс]. URL: www1.fips.ru (дата обращения 01.03.2019).
4. Лобов Н. А. Динамика грузоподъемных кранов. — М.: Машиностроение. — 1987. — 156 с.
5. Казак С. А. Динамика мостовых кранов. — М.: Машиностроение. — 1968. — 332 с.

© Игошев Матвей Геннадьевич (lazareva@apingu.edu.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»