

V МЕХАНІЗАЦІЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА РОБОТИЗАЦІЯ

УДК 621.873–52

Канд. техн. наук Л. М. Мартовицкий, канд. техн. наук В. И. Глушко,
канд. техн. наук А. И. Сочава, И. А. Федерякин, канд. техн. наук Л. В. Гальченко,
канд. техн. наук З. М. Шанина, А. В. Клименко

Национальный технический университет, г. Запорожье

КОНСТРУКТИВНЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ КРАНОВ-РОБОТОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Комплексно исследованы конструктивные и эксплуатационные предпосылки трансформации специальных грузоподъемных кранов с жестким подвесом груза в подъемно-транспортные краны-роботы. Проведен позиционно-точностной, структурный, функционально-стоимостной и динамический анализ основных приводов специальных кранов мостового типа. Результаты исследования позволили считать обоснованным создание подъемно-транспортных кранов-роботов, а также переквалификацию целого ряда существующих специальных кранов в краны-роботы при условии дооснащения их системами автоматического управления.

Ключевые слова: подъемно-транспортный кран-робот, мультидисциплинарный анализ, точность позиционирования, функционально-стоимостной анализ, динамические исследования.

Введение

Сокращение технологического цикла производства, в определенной мере, связано с механизацией и автоматизацией подъемно-транспортных и складских работ. При осуществлении комплексной автоматизации производства слабым местом все еще остаются транспортные и перегрузочные операции. В современных производствах одним из эффективных средств автоматизации есть роботизация. Разработка и развитие подъемно-транспортных промышленных роботов (ПТПР) отстает от общего развития ПР, а их грузоподъемности пока ограничены. Наряду с этим существуют и успешно выполняют функции ПТПР некоторые специальные технологические краны, например, краны-штабелеры, баланс-краны, клещевые, стрипперные, мульдозавалочные, пратцен-краны, контейнерные перегружатели и другие. Некоторые из них, оснащенные программным управлением, обеспечивают автоматический захват, удержание и перенос самых различных объектов, а при необходимости и манипулирование ими. Структурный, динамический, позиционно-точностной и функционально-стоимостной анализы манипуляционных систем таких кранов должны подтвердить, что принципы их построения и технические характеристики соответствуют манипуляционным системам ПР. Такие краны-манипуляторы имеют от 3 до 6 степеней подвижности и, следует комплексно доказать, что эти краны могут быть использованы в качестве базовых для создания тяжелых и сверхтяже-

лых ПТПР. Это и есть основной целью данной статьи.

1 Структурно-точностной анализ

Рассмотрим класс мостовых кранов с жестким подвесом груза, которые используются на большинстве предприятий в качестве основного оборудования для выполнения перегрузочно-транспортных работ. Они, по существу, являются манипуляционными системами с числом степеней подвижности три и более, работающими в прямоугольной и цилиндрической системах координат. Разработка способов и средств программируемого управления этими кранами позволит перевести их в класс промышленных роботов и исключить присутствие человека в опасных зонах.

Для мультидисциплинарного исследования был взят металлургический клещевой кран с жестким подвесом груза. Этот кран на комбинате «Запорожсталь» загружает слитки стали массой $Q = 20$ т в колодцевые печи, и перемещает нагретые слитки из колодцев на слитковоз, который подает их на прокатку. Размещение колодцевых печей, нормированное расположение слитков в печах, положение платформ с достаточно точной координацией положения слитков, автоматически управляемый слитковоз – все это создает очевидную необходимость перевода клещевого крана в категорию крана-робота.

Для проведения позиционно-точностного анализа составлена структурная схема (рис. 1) клещевого крана по принципу разомкнутой кинематической цепи манипулятора ПР.

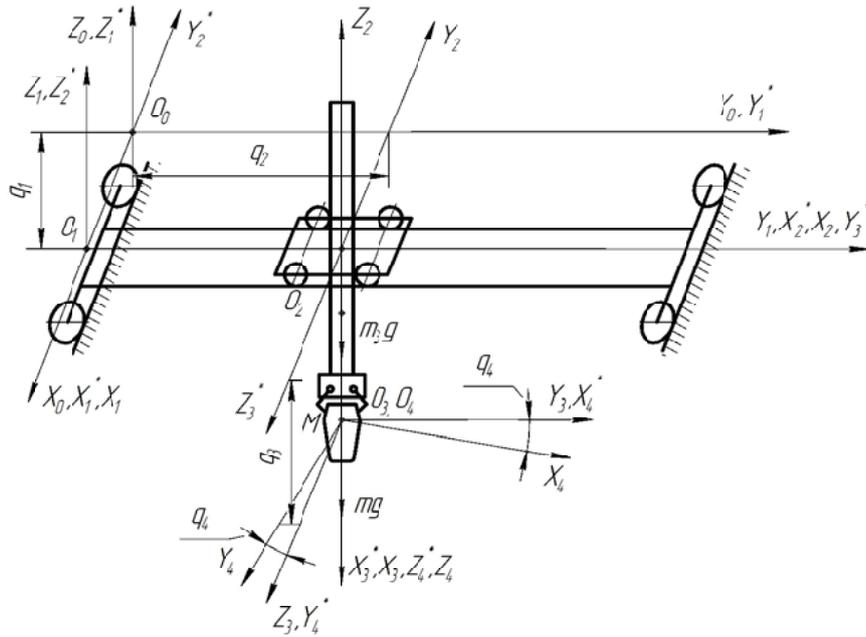


Рис. 1. Структурная схема подъемно-транспортного металлургического клещевого крана-робота

На схеме указано: X_0, Y_0, Z_0 – абсолютная Декартова система координат, первый октант; X_i, Y_i, Z_i – относительная система координат после исполнения i -го обобщенного перемещения; X_i^*, Y_i^*, Z_i^* – переходная система координат; q_1, q_2, q_3, q_4 – обобщенные перемещения степеней подвижности (движение приводов крана); m_3g, mg – силы тяжести, соответственно, третьего звена MC (колонны крана) и груза в схвате (слитка в клещах крана).

Все перемещения точки M схвата, которые обеспечивают привода степеней подвижности в реальном клещевом кране, выполняются с отклонениями от программных движений (с ошибками), что влияет на точность позиционирования слитка (т. M) в Декартовой

системе координат. На точность позиционирования влияют: ошибки обработки обобщенных координат, зазоры в сопряжениях, износ контактных элементов кинематических пар, статические ошибки упругих деформаций от весового воздействия, динамические ошибки при переходных процессах срабатывания приводов.

По ошибкам для клещевого крана был собран статистический материал в производственных условиях и взяты нормативные данные. Весовые и жесткосные данные каждого звена MC получены из проектной документации на кран и путем расчета.

В общем виде для структурной схемы MC составлена функция положения (1) точки M (точка закрепления кернов клещевого крана на слитке).

$$r_M^{(0)} = \left\{ \begin{aligned} & [X_e(\alpha\varphi - \cos\alpha\cos\varphi) + Y_e(\varphi\cos\alpha + \alpha\cos\varphi)]\sin(q_4 + \Delta q_4) - \\ & [X_e(\alpha\cos\varphi + \varphi\cos\alpha) + Y_e(\cos\alpha\cos\varphi - \alpha\varphi + (\beta + \theta)\cos\varphi)]\sin(q_4 + \Delta q_4) + \\ & [Z_e(1 - (\beta + \theta)\cos\alpha) - X_e\alpha(\beta + \theta)]\sin(q_4 + \Delta q_4) - \\ & - [X_e(\varphi\cos\alpha + \alpha\cos\varphi) + Y_e(\cos\alpha\cos\varphi + \alpha\varphi)]\cos(q_4 + \Delta q_4) + \\ & + [X_e(\alpha\varphi - (\beta + \theta)\cos\varphi - \cos\alpha\cos\varphi) + Y_e(\alpha\cos\varphi + \varphi\cos\alpha)]\cos(q_4 + \Delta q_4) + \\ & - Y_e\alpha(\beta + \theta) + X_e(1 - (\beta + \theta)\cos\alpha)\cos(q_4 + \Delta q_4) - \\ & - Z_e\gamma(\varphi\cos\alpha + \alpha\cos\varphi) + (q_1 + \Delta q_1) \\ & + Z_e\cos\varphi(\gamma\cos\alpha - \beta - \theta) - [(H + q_3 + \Delta q_3)(\beta + \theta) + (q_2 + \Delta q_2)]\cos\varphi, \\ & - Z_e(1 - \gamma(\beta + \theta)\cos\alpha - H - (q_3 + \Delta q_3)) \end{aligned} \right. \quad (1)$$

где $\Delta q_1, \Delta q_2, \Delta q_3, \Delta q_4$ – ошибки обработки обобщенных координат, м, рад;

H – максимальная высота подъема слитка, м;

X_e, Y_e, Z_e – координаты эксцентриситета центра тяжести слитка относительно т. M , м;

φ, α, κ – перекосы крана, тележки, колонны, м, рад;

$\beta + \theta$ – ошибки (нормативные отклонения) установки подкрановых и подтележечных рельс, в том числе статические, м, рад.

Путем разложения функции положения (1) в ряд Тейлора и дальнейшего частного дифференцирования по обобщенным координатам q_i и по ошибкам Δq_i получен вектор-столбец ошибок позиционирования т. М для клещевого металлургического крана-робота в общем виде. После подстановки в вектор-столбец фактических и расчетных параметров клещевого крана $Q = 20$ т завода «Запорожсталь» получены следующие максимальные значения ошибок позиционирования точки схвата М: $\Delta X = 175$ мм; $\Delta Y = 75$ мм; $\Delta Z = 61$ мм;

Полученные значения ошибок вполне удовлетворяют допускаемой точности позиционирования металлургических слитков на всех фазах работы с ними в печном отделении заводов «Запорожсталь» и «Днепропесчсталь» и др.

2 Функционально-стоимостной анализ

Так как наибольшие ошибки позиционирования имеют место по осям продольных перемещений крана и тележки, более глубокому мультидисциплинарному анализу следует подвергнуть приводы механизмов передвижения кранов мостового типа.

Трансформация мостового крана в ПР сопровождается расширением его функциональных возможностей. Согласно ГОСТ 25 686-86 ПР должен обеспечивать управляемое позиционирование, исполнение управляющей программы, заданную погрешность позиционирования и т. д. Однако, указанный ГОСТ характеризует функции, в основном, стационарных ПР, тогда как кран-робот – это перемещающийся в горизонтальной плоскости объект. Мостовой кран-робот должен обладать такой важной потребительской характеристикой, как точность позиционирования, особенно необходимой на операциях погрузки материалов в транспортное средство со стабильными размерами, а также при сборке строительных объектов, машин, судов и др.

Предварительно проведенный сравнительный функционально-структурный анализ ПР и мостового крана показал, что наряду с общими функциями, характерными для этих машин, имеются и существенные отличия, определяемые назначением главной функции ПР и крана. Поэтому формальная переклассификация мостового крана в кран-робот невозможна, так как смена функций при неизменной структуре в технических системах, как правило, нереальна. Развитие мостового крана в кран-робот сопровождается увеличением числа функций исправления управляющей программы. Но такие функции, как: точность позиционирования, движение в нужном программируемом направлении и быстрота реакции на управляющие команды процессора составляют присущее только крану-роботу свойство – управляемость. Одновременно механизмы крана-робота должны иметь высокий уровень надежности и безотказности, обеспечивающий его функционирование как автоматического манипулятора. Следовательно, потребительские характеристики крана-робота предполагают высокое

конструктивное совершенство всех его узлов, работающих в режиме ПР, и уровень управляемости, соответствующий современным технологиям.

Для обоснования возможности трансформации мостового крана в кран-робот был проведен мультидисциплинарный анализ нескольких конструктивных схем механизмов передвижения крана (рис. 2).

Полнота представительства функции имеет место в механизме передвижения с центральным приводом для мостового крана грузоподъемностью $Q = 20$ т и пролетом $L = 28,5$ м (рис. 2 схема 1).

Указанная схема принята в качестве базовой для функционального анализа. Выбор объекта анализа обусловлен его значимостью с точки зрения обеспечения управляемости крана-робота, так как конструкция механизма передвижения определяет его динамические характеристики, от которых зависит исполнение управляющей программы и точность позиционирования. Управляемость крана-робота, в свою очередь, выступает одним из основных факторов, влияющих на точную производительность крана в автоматическом режиме. Прочие технические свойства рассматриваемых схем механизма передвижения адекватны.

Сложность задачи трансформации мостового крана в кран-робот потребовало дополнения функционально-структурного анализа механизма передвижения расчетом его функциональной организованности, определением количественных оценок его динамических характеристик, а также определением точности позиционирования.

На информационном этапе исследования механизма передвижения были разработаны структурно-стоимостная схема (табл. 1) и функционально-структурная матрица механизма (табл. 2).

Характеристики структурно-стоимостной схемы указывают на значительное расхождение в количественных оценках по первоначальной стоимости и текущих затратах на ремонт. Рассмотренная модель механизма передвижения выступает отправным моментом для установления и формулировки функции механизма передвижения с центральным приводом и входящих в него узлов (табл. 2).

Установленные и систематизированные функции совместно с конструктивными элементами оценивались по значимости в обеспечении работоспособности механизма передвижения крана. Кроме того, функциональную матрицу необходимо дополнить новыми функциями, присущими крану-роботу: исполнение управляющей программы, позиционирование с заданной точностью, быстроедействие.

Сопоставление структурно-стоимостной модели (табл. 1) с функционально-структурной матрицей (табл. 2) механизма передвижения позволило установить затраты на осуществление функций и выявить источники затрат. Согласно табл. 2 функции F_7 , F_8 и F_{12} могут быть полностью исключены, а вместе с ними и такие конструктивные узлы, как трансмиссионный вал и муфты.

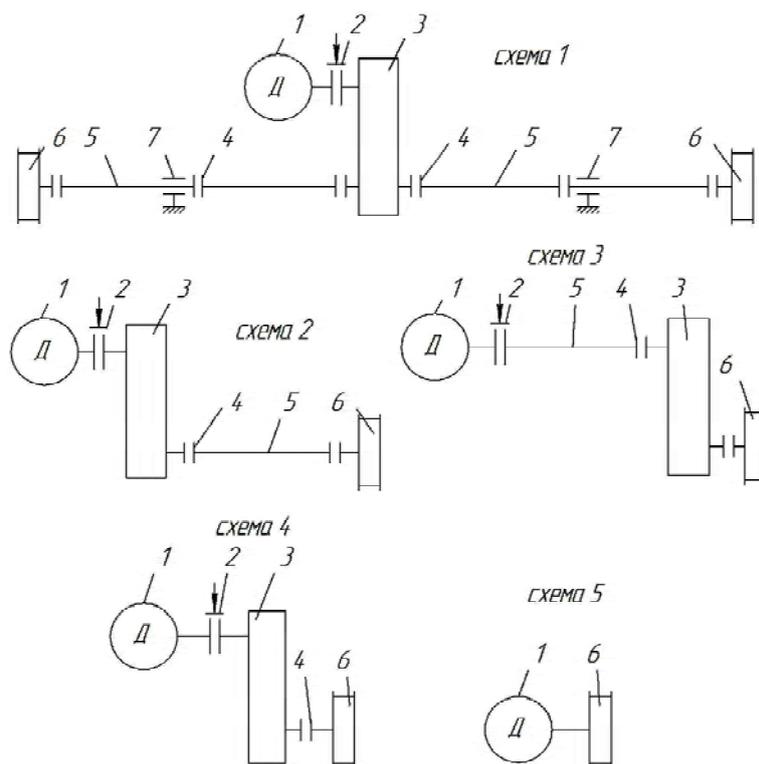


Рис. 2. Конструктивные схемы приводов мостовых кранов:

1 – двигатель; 2 – тормоз; 3 – редуктор; 4 – муфта; 5 – трансмиссионный вал; 6 – ходовое колесо; 7 – промежуточная опора

Таблица 1 – Структурно-стоимостная схема механизма передвижения с центральным приводом

Удельный вес узла, %	Электро-двигатель	Редуктор	Тормоз	Трансмиссионный вал	Муфты	Ходовые колеса
В стоимости механизма	17	26	8	9	15	25
В эксплуатационных затратах	10	15	12	13	23	27

Экономия затрат можно рассчитать по формуле

$$C = \mathcal{E}_{ТВ} + \mathcal{E}_M + \mathcal{E}_P - \mathcal{E}_У, \quad (2)$$

где C – экономия затрат в производстве и эксплуатации на модернизации механизма передвижения (стоимость функции F_7, F_8, F_{12} и F_6, F_9, F_{10}), грн;

$\mathcal{E}_{ТВ}$ – стоимость трансмиссионного вала, грн;

\mathcal{E}_M – стоимость муфты, грн;

\mathcal{E}_P – затраты на ремонт валов и муфт, грн;

$\mathcal{E}_У$ – стоимость устройства микропроцессорного управления приводом, грн.

Окончательная стоимостная оценка механизма передвижения может быть выполнена по выбранному лучшему варианту конструкции механизма передви-

жения крана-робота.

Техническое воплощение функций крана-робота в морфологической матрице было рассмотрено в четырех возможных вариантах конструктивных решений привода механизма передвижения (рис. 2) в совокупности с базовым.

Передача крутящего момента с редуктора 3 на колесо 6 осуществляется через трансмиссионный вал 5 и муфты 4 (рис. 2, схема 1 и 2). Кроме того, на схеме 1 для поддержания трансмиссионных валов используются промежуточные опоры 7. Эта схема с центральным приводом. В схеме 2 редуктор передает вращение на одно приводное колесо 6 через муфту 4 и вал 5. На схемах 3 и 4 вращение от редуктора 3 передается через муфту 4 на колесо 6 без трансмиссионных валов. Варианты 2, 3, 4 и 5 являются схемами с отдельными приводами.

Таблиця 2 – Состав функций механизма передвижения и их носители

Виды функций		Индекс	Наименование функции	Носитель функций
Главная		F_0	Перемещение крана	Механизм перемещения крана
Основные (рабочие)		F_1	Движение крана Создание крутящего момента Торможение крана Опорная	Ходовое колесо Электродвигатель Тормоз Ходовое колесо
		F_2		
		F_3		
		F_4		
Вспомогательные	Обеспечивающие	F_5	Передача крутящего момента Снижение числа оборотов	Трансмиссионный вал Редуктор
		F_6		
	Соединительные	F_7	Соединение двигателя и редуктора Соединение редуктора и ходового колеса	Муфта Муфты и трансмиссионный вал
		F_8		
	Фиксирующие	F_9	Фиксация соосности выходного вала и редуктора Фиксация соосности валов редуктора и ходового колеса Соосность вала двигателя и трансмиссионного вала Закрепление механизма передвижения на главной балке	Муфта Муфты и трансмиссионный вал Редуктор Площадка (постель)
		F_{10}		
		F_{11}		
		F_{12}		

Схема 5 имеет двигатель 1 со встроенным тормозом 2. Крутящий момент передается сразу на приводное колесо 6 без передающих элементов. Данная схема представляет бестрансмиссионный привод и может иметь модульное исполнение.

Мультидисциплинарная оценка рационального варианта привода механизма передвижения крана-робота выполнялась в два этапа: исследование конструктивного (организационного) совершенства, а затем были рассчитаны динамические характеристики всех пяти вариантов морфологической матрицы.

В результате системного исследования функционально-структурной модели механизма передвижения получены количественные оценки конструкций, которые позволяют более достоверно оценить их технические характеристики на соответствие новым функциям, составляющим свойство крана-робота – управляемость.

Уровень функциональной организованности конструкции механизма передвижения для крана-робота определяется с помощью совокупности коэффициентов уровня функциональной организации I ; коэффициента организованности системы $K_{орг}$; коэффициента

функционального воплощения $K_{фв}$ и коэффициента функционального разнообразия $K_{фр}$. Числовые величины коэффициентов (табл. 3) отражают степень технического совершенства исследуемых конструкций морфологической матрицы по отношению к базовому.

Параметр I характеризует степень информационной целесообразности технической системы, коэффициент $K_{орг}$ показывает уровень функциональной нагрузки, $K_{фр}$ отражает актуализацию функций (удельный вес основных функций), $K_{фв}$ измеряет степень сосредоточения основных функций.

Динамика параметров функциональной организации структурных схем приводов уменьшается, тем самым, характеризуя возрастающий уровень упорядоченности системы. Она сопровождается повышением конструктивного совершенства механизма передвижения, так как выполнение необходимых функций обеспечивается меньшим количеством деталей.

Численные параметры конструкции были дополнены парным корреляционным анализом их динами-

ки от числа вспомогательных функций в узле.
 Полученные характеристики организованности рассмотренных схем доказывают, что наиболее совершенной конструкцией механизма передвижения для крана-робота является схема 5 (рис. 2).

Таблица 3 – Оценка организованности конструкций механизма передвижения для крана-робота

Показатель	Номер схемы (рис. 2)				
	1	2	3	4	5
Число элементов в системе	17	16	16	10	4
I	4,08	4,0	4,0	3,32	2,0
$K_{орг}$	0,24	0,25	0,25	0,33	0,5
$K_{фр}$	0,051	0,052	0,052	0,09	0,33
$K_{фв}$	0,065	0,055	0,055	0,1	0,5

3 Динамический анализ

Для наиболее полного удовлетворения потребительской функции управляемости и точности позиционирования система кран-робот должна иметь исполнительные органы, особенно исполнительные приводы, с хорошими динамическими свойствами.

Динамические свойства без учета демпфирования различных схем приводов кранов могут быть оценены по динамическим ошибкам и коэффициентам динамичности в элементах приводов во время переходных и установившихся режимах работы [3]. Динамический анализ удобно проводить на цепных многомассных моделях приводов (рис. 3).

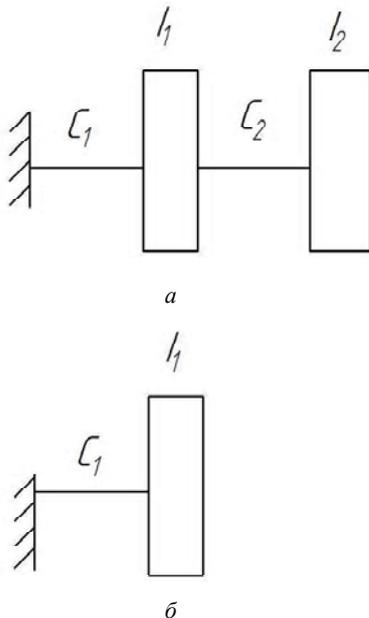


Рис. 3. Цепные модели приводов:

a – двухмассная модель; *б* – одномассная модель

Первые три схемы приводов (рис. 2) механизмов передвижения мостовых кранов представлены в виде двухмассной (рис. 3, *a*), а остальные две – в виде одномассной цепными системами с защепленными левыми концами. На моделях через C_1, C_2 обозначены приведенные к валу двигателя жесткости элементов привода, а через I_1, I_2 – приведенные к этому же валу моменты инерции масс привода и крана.

Собственные частоты и формы масс цепных систем определяются путем решения дифференциального уравнения свободных колебаний

$$I\ddot{\varphi} + C\bar{\varphi} = 0, \tag{3}$$

где I – диагональная матрица моментов инерции масс; C – ленточная матрица жесткостей цепной системы.

После подстановки решения в уравнение (3) и упрощения получено выражение

$$(C - Ik_m^2)\bar{h}_m = 0, \tag{4}$$

где k_m – собственные частоты колебаний масс;

\bar{h}_m – амплитуды колебаний масс (собственные формы).

Собственные частоты k_m определяются из частотного определителя

$$C - Ik_m^2 = 0. \tag{5}$$

Подставляя частоты k_m в уравнение (4), можно определить собственные формы \bar{h}_m .

Собственные частоты и формулы колебаний масс цепных систем необходимы для определения динамических ошибок, т.е. отклонений от программных движений, определяемых по уравнению

$$\Psi_s = - \sum_{m=1}^n k_m \rho_s^m A_m, \tag{6}$$

где ρ_s^m – коэффициент усиления;

A_m – амплитуды колебаний масс.

Коэффициент усиления равен

$$\rho_s^m = \frac{h_{ms} c}{k_m^4 \sum_{l=1}^n I_l h_{ml}^2}. \tag{7}$$

Амплитуду колебаний можно определить с помощью интеграла Дюамеля

$$A_m = \int_0^t \sin k_m(t - \tau) \epsilon(\tau) d\tau, \tag{8}$$

где $\epsilon(\tau)$ – программное ускорение ротора двигателя исполнительного привода;

τ – период колебательной системы.

Таблиця 4 – Результати динамічного аналізу приводов

Схема привода	Приведенные				Собственные частоты k_m, c^{-1}	Ошибки $\varphi, 1 \times 10$		Коэффициент динамичности k_d	
	Жесткость, $rad \times 10^4$		Момент инерции, кгм			Масса I_1	Масса I_2	с зазорами	без зазоров
	01	02	I_1	I_2					
1	1,04	0,14	0,03	22,89	31	0,017	0,141	2,4	1,8
2	0,69	0,25	0,014	11,49	14	2,830	9,620	2,4	1,66
3	5,46	0,60	0,024	11,49	22	0,480	4,800	2,2	1,60
4	0,60	–	11,490	–	23	–	4,460	2,56	1,65
5	512,30	–	11,490	–	103	–	0,023	2,8	1,63

В качестве иллюстрации для всех пяти схем принят прямоугольный закон разгона ротора двигателя. Динамический анализ (табл. 4) показывает, что наибольшими ошибками обладают приводы с промежуточными трансмиссионными элементами, т. е. схемы 1, 2, 3 (рис. 2). Схемы бестрансмиссионные 4 и 5 (рис. 2) дают малые отклонения от программного движения исполнительного двигателя. Приводное колесо (рис. 2, схема 5) обрабатывает наиболее точно и с высокой собственной частотой закон движения приводного двигателя, что способствует быстрейшему затуханию возмущений. В этой связи следует считать мотор-колесо наиболее подходящим приводом для программного автоматического управления передвижением мостовых кранов, как наиболее точно выполняющими программный закон движения.

Элементы таких приводов имеют несколько большую динамическую напряженность во время переходных режимов работы, что определялось с помощью коэффициентов динамичности после численного решения дифференциальных уравнений движения для двухмассных моделей. Наличие зазоров в элементах привода увеличивает динамическую напряженность и неточность исполнения движения. Сокращение числа промежуточных элементов в передаче привода ослабляет влияние неточности изготовления и сборки привода на точность позиционирования крана-робота.

Для достижения наибольшей динамической точности и минимальной динамической напряженности бестрансмиссионный привод требует высокой точности изготовления и сборки, а также выбора наиболее приемлемого закона ускорения и торможения высокомоментных двигателей.

Параметры такого привода механизма передвижения, полученные в динамическом анализе, позволяют установить наличие у него важнейшего свойства – управляемости, что отвечает условиям поставленной задачи.

Выводы

Расчетные величины характеристик механизма передвижения (табл. 3, 4) показывают, что наибольшее конструктивное совершенство присуще бестрансмиссионному модульному приводу. Он позволяет обеспечить перевод мостового крана в управляемый автоматический режим работы крана-робота. Кроме того, повышается ремонтпригодность механизма передвижения и одновременно уменьшается его металлоемкость. Актуальность полученных выводов усиливается стремлением ведущих мировых крановых фирм применять безредукторные приводы с частотным и другим регулированием.

Перечень ссылок

1. Моисеева Н. К. Выбор технических решений при создании новых моделей / Моисеева Н. К. – М. : Машиностроение, 1980. – 181 с.
2. Моисеева Н. К. Основы теории и практики функционально-стоимостного анализа / Моисеева Н. К., Карпунин М. Г. – М. : Высш. шк., 1988. – С. 10–15.
3. Вейц В. Л. Динамика управляемых машинных агрегатов / Вейц В. Л., Коловский М. З., Кочура А. В. – М. : Наука, 1984. – 352 с.
4. Козлов В. В. Динамика управления роботами / [Козлов В. В., Макарычев В. П., Тимофеев А. З., Юревич Е. И.]. – М. : Наука, 1984. – 336 с.
5. Казак С. А. Динамика мостовых кранов / Казак С. А. – М. : Машиностроение, 1968. – 332 с.

Одержано 18.12.2009

L. M. Martovickiy, V. I. Glushko, A. I. Sochava, I. A. Federyakin,
L. V. Gal'chenko, Z. M. Shanina, A. V. Klymenko

CONSTRUCTIVE AND EXPLOATAION PREREQUISITES FOR CREATION OF LIFTING-TRANSPORT CRANES-ROBOTS IN MACHINE BUILDING

Комплексно досліджені конструктивні й експлуатаційні передумови трансформації спеціальних вантажопідійомних кранів з жорстким підвісом вантажу в підійомно-транспортні крани-роботи. Проведений позиційно-точнісний, структурний, функціонально – вартісний і динамічний аналіз основних приводів спеціальних кранів мостового типу. Результати дослідження дозволили вважати обґрунтованим створення підійомно-транспортних кранів-роботів, а також перекваліфікацію цілого ряду існуючих спеціальних кранів у крани-роботи за умови дооснащення їх системами автоматичного керування.

Ключові слова: *підійомно-транспортний кран-робот, мультидисциплінарний аналіз, точність позиціонування, функціонально-вартісний аналіз, динамічні дослідження.*

Constructive and operational prerequisites for transformation of special cranes with rigid suspension of cargo to lifting- transport cranes-robots were complexly investigated. Positional-precision, structural, functional-cost and dynamic analysis of the main drives of special crane bridge type was made. Results of investigation allow to consider creating of lifting- transport cranes -robots and also requalify a whole class of existing special cranes to cranes-robots reasonable if they are provided with systems of automatic control.

Key words: *lifting- transport crane-robot, multidisciplinary analysis, precision of positioning, functional-cost analysis, dynamic researches.*
