

УДК 004:007.52

## ПОСТРОЕНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ РОБОТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ

Умнов В.П.

ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ), Владимир, e-mail: mex-rob@yandex.ru

Одной из актуальных задач, стоящих перед разработчиками робототехнических систем, является создание комплексов, способных обрабатывать объекты больших габаритов, в том числе в полевых условиях. Рассмотрены обобщенные манипуляционные функции, реализуемые в системе, и последовательность ее комплексирования. Система должна удовлетворять следующим требованиям: оптимальное число манипуляторов; минимум величины потребляемой энергии; обеспечение необходимой точности при значительной длине звеньев; возможность обработки объектов в условиях неопределенности их геометрической формы и положения; выполнение комплексных технологических операций с одной позиции; транспортабельность. Предложена структура манипуляционной исполнительской системы с системой управления. Манипуляционная система состоит из двух манипуляторов. Координатный манипулятор обладает тремя степенями подвижности, и на его выходном звене размещен производственный манипулятор с пятью степенями подвижности, выполняющий рабочие операции сменным инструментом. Параметры манипуляторов, условия их совместной или раздельной работы будут оказывать значительное влияние на качество движения и выполнения операции. В исполнительных кинематических цепях с вращательными парами пятого класса указанная компенсация может быть реализована за счет введения дополнительных удерживающих связей, которые в сочетании с основными звеньями позволяют разложить реактивные моменты в степенях подвижности на пары сил, не приводящих к взаимному влиянию степеней подвижности через статические моменты и динамические относительного движения. Существенное влияние на точность работы будут оказывать упругие деформации звеньев при их большой длине. Предложена методика компенсации этих деформаций на основе анализа положения манипуляторов и силового взаимодействия между ними.

**Ключевые слова:** роботизированная обработка, крупногабаритные изделия, манипуляционная исполнительная система, исполнительное устройство, взаимовлияние, компенсация, упругие деформации

## CREATION OF EXECUTIVE SYSTEMS OF ROBOTS FOR PROCESSING OF LARGE-SIZE OBJECTS

Umnov V.P.

The Federal State budgetary educational institution of higher professional education «The Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs» (VLSU), Vladimir, e-mail: mex-rob@yandex.ru

One of the relevant tasks facing developers of robotic systems is creation of the complexes capable to process objects of big dimensions, including in field conditions. The generalized handling functions realized in system and the sequence of her integration are considered. The system has to meet the following requirements: optimum number of manipulators; a minimum of size of the consumed energy; ensuring necessary accuracy with a considerable length of links; a possibility of processing of objects in the conditions of uncertainty of their geometrical form and situation; performance of complex technological operations from one position; transportability. The structure of handling executive system with a control system is offered. The handling system consists of two manipulators. The coordinate manipulator possesses three degrees of mobility and on his output link the production manipulator with five degrees of mobility which is carrying out working operations by the replaceable tool is placed. Parameters of manipulators, conditions of their joint or separate work will exert considerable impact on quality of the movement and performance of operation. In executive kinematic chains with rotary the couples fifth class the specified compensation can be realized due to introduction of the additional holding communications which in combination with the main links allow to spread out the jet moments in mobility degrees to pairs of forces which aren't leading to mutual influence of degrees of mobility through the static moments and dynamic the relative movement. Significant effect on the accuracy of work will be had by elastic deformations of links with their big length. The technique of compensation of these deformations on the basis of the analysis of position of manipulators and power interaction between them is offered.

**Keywords:** robotic processing, large-size products, handling executive system, actuation mechanism, interference, compensation, elastic deformations

Одним из направлений совершенствования современных производственных технологий является создание процессов выполнения гибридных операций одним техническим устройством [1]. При обработке роботами крупных объектов требуется выполнять разнотипные операции, такие как очистка поверхности, резка, сварка, механическая обработка или обработка

направленным потоком энергии, например лазерным лучом.

Роботы могут являться основным рабочим инструментом при гибридной обработке крупногабаритных объектов (резервуаров, корпусов судов, гребных винтов больших размеров и т.д.), включающей очистку поверхности, сварку и механическую обработку при ремонте или изготовле-

нии с использованием концентрированных потоков энергии сжатой жидкости или лазерного излучения.

Цель работы – решение ряда вопросов построения исполнительных систем, предназначенной для работы с объектами больших габаритов.

На рис. 1 приведены обобщенные манипуляционные функции, реализуемые в рассматриваемой манипуляционной системе в зависимости от выполняемых операций и реализуемых перемещений.

Из анализа обобщенных манипуляционных функций, реализуемых в манипуляционной системе, следует, что она должна представлять собой совокупность исполнительных устройств (манипуляторов), параметры которых должны определяться функциональным и кинематическим комплексированием, последовательность которого приведена на рис. 2.

При этом система должна удовлетворять требованиям, основными из которых являются:

- оптимальное число манипуляторов;
- минимум величины потребляемой энергии;
- обеспечение необходимой точности при значительной длине звеньев;
- возможность обработки объектов в условиях неопределенности их геометрической формы и положения;

– выполнение комплексных технологических операций с одной позиции;

– транспортабельность.

На рис. 3 представлена структурная схема манипуляционной исполнительных системы робота, отражающая ее состав.

Предлагается манипуляционную исполнительную систему робота выполнять в виде последовательно соединенных координатного манипулятора (M1) и производственного (M2). M1 может осуществлять перестановку M2 с фиксацией на объекте обработки или может выполнять рабочие операции совместно с M1. Общая длина манипуляторов может быть более 10 м.

На рис. 4 приведена кинематическая структура предлагаемой манипуляционной исполнительных системы. Здесь обозначены  $\varphi_i$  – вращательные степени подвижности, а  $S_i$  – поступательные степени подвижности. Транспортный манипулятор имеет 3 степени подвижности, необходимых и достаточных для перемещения технологического манипулятора в заданную точку рабочей зоны, а технологический манипулятор обладает 6 степенями подвижности для обеспечения необходимой маневренности при выполнении разнообразных операций. Структурный синтез такой системы может быть выполнен по методике, изложенной в работе [2].

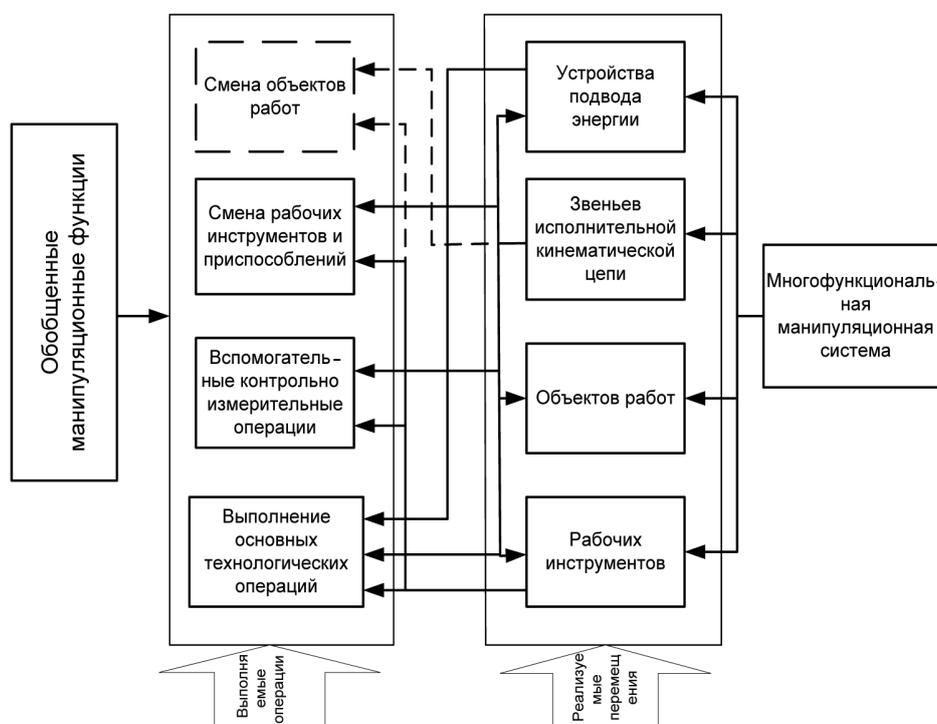


Рис. 1. Обобщенные манипуляционные функции, реализуемые в манипуляционной системе



Рис. 2. Последовательность комплексования манипуляционной системы

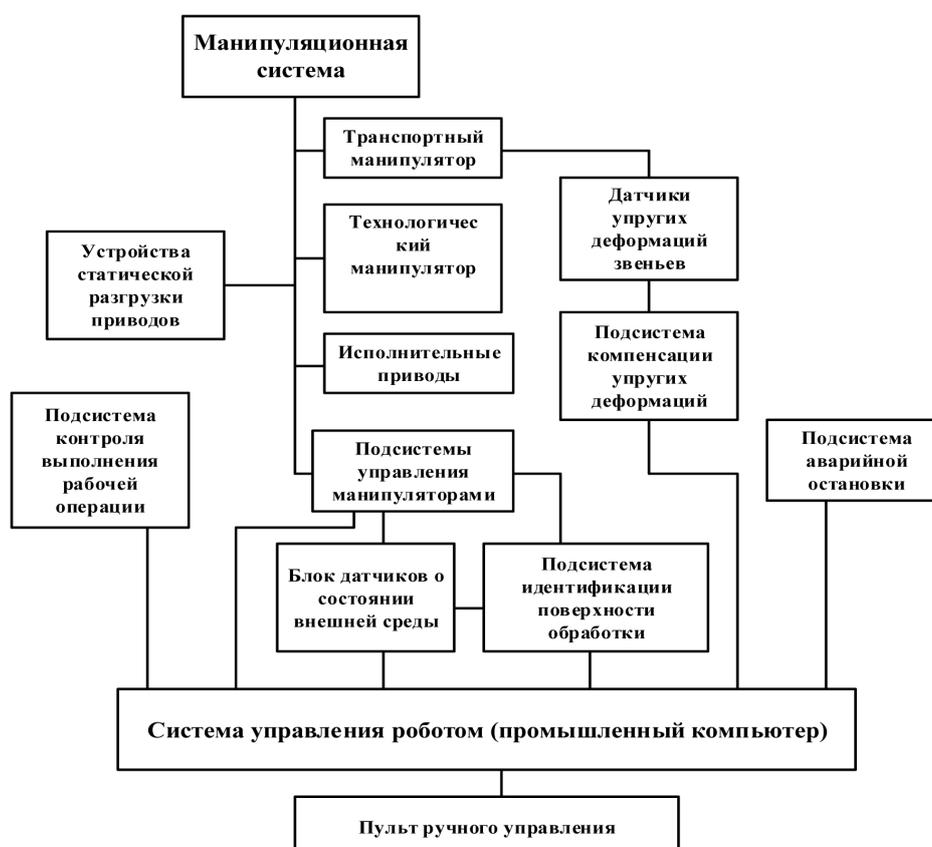


Рис. 3. Структурная схема манипуляционной исполнительной системы робота

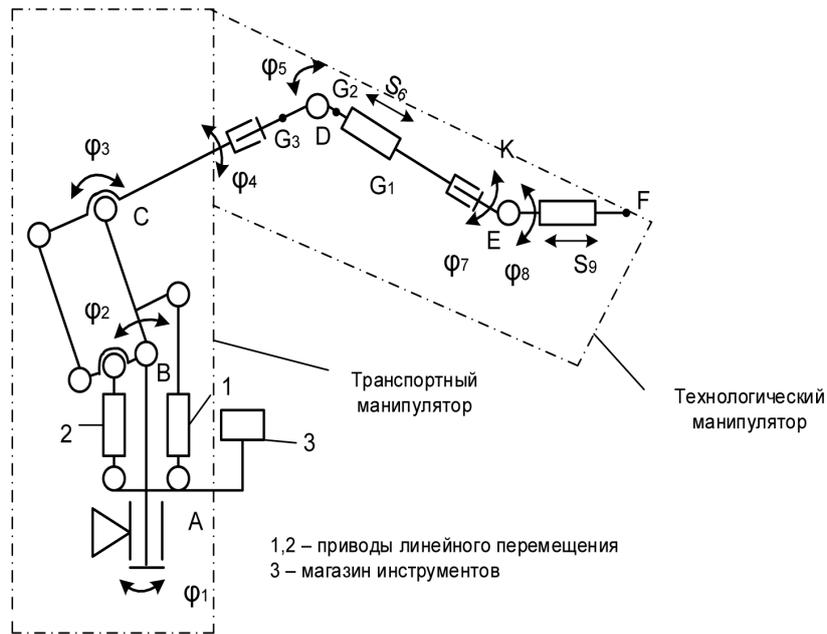


Рис. 4. Кинематическая структура манипуляционной исполнительной системы для обработки крупногабаритных объектов

При большой длине предлагаемой кинематической цепи на приводы будут действовать значительные статические нагрузки и проявляться сильное взаимовлияние звеньев. Поэтому манипуляционную систему необходимо оснастить устройствами статической разгрузки приводов с возможностью уменьшения взаимовлияния звеньев. В робототехнике статическая разгрузка, описанная в работе [3], осуществляется с использованием систем специальных механических устройств или устройств, использующих сжатую рабочую среду (воздух или жидкость).

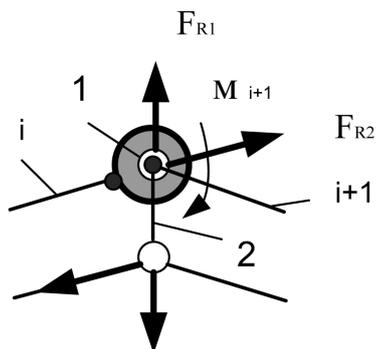


Рис. 5. Схема моментной разгрузки приводов

В предлагаемой манипуляционной системе разгрузку приводов вращательных степеней подвижности целесообразно осуществлять по схеме, приведенной на рис. 5. Здесь

момент нагрузки  $M_{i+1}$ , действующей на привод перемещения  $i+1$ -го звена с помощью дополнительных удерживающих связей, образующих параллелограммные механизмы, раскладываются на составляющие усилия  $F_{R1}$  и  $F_{R2}$ . Усилия  $F_{R1}$  воспринимаются стержнем 2 и взаимно компенсируются, а усилия  $F_{R2}$  действуют вдоль стержней звена  $i$  без образования реактивного момента. Привод 1 должен быть снабжен синусно-косинусным механизмом статической разгрузки, предложенном в патенте [4].

Точность работы системы манипуляторов M1 и M2 во многом зависит от жесткости механической системы, которая определяет величины деформации от действия статических и динамических нагрузок. Поэтому необходима подсистема компенсации упругих деформаций. Если собственная статическая деформация M1 может быть скомпенсирована программно, то влияние параметров движения M2 требует введения дополнительной коррекции. Считая, что звенья M2 являются жесткими положение рабочей точки инструмента (т. С) в инерциальной системе отсчета, располагаемой на основании M1 в точке O, без учета податливости манипулятора M1 можно определить с помощью однородных матриц, предлагаемых в работе [5]:

$$T_o^c(q_n, q_m) = T_o^A(q_n) \cdot T_A^c(q_m), \quad (1)$$

где A – точка соединения M1 и M2;  $q_n (n = \overline{1, k})$ ,  $q_m (m = \overline{k+1, l})$  – обобщенные

координаты М1 и М2. С учетом пространственной ориентации рабочего инструмента зависимость (5) можно записать в виде

$$T_o^A(q_n)T_A^B(q_m) = T_B^{-1C}(X_c) \cdot T_o^C(q_n, q_m), \quad (2)$$

где  $T_B^C = \begin{vmatrix} E & X_c \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$ ;  $X_c$  – вектор направления рабочего инструмента. В случае деформируемого М1 выражение (6) можно свести к виду

$$T_o^A(q_n)T_A^{A'}(Y)T_{A'}^{B'}(q_m) = T_B^{-1C'}(X_{c'})T_o^{C'}(q_n, Y, q_m). \quad (3)$$

Здесь  $Y$  – вектор размером  $6 \times 1$  линейных и угловых деформаций М1 для точки А,  $T_A^{A'}(Y)$  – матрица координатных преобразований. Анализ выражений (6) и (7) показывает, что для определения величин компенсации деформаций кинематических цепей М1 и М2 следует решать обратную задачу для точек в координатах манипулятора М2 из матричных зависимостей для приращений координат  $\Delta q_m$

$$T_{A'}^B(q_m + \Delta q_m) = T_A^{-1A'}(Y)T_A^B(q_m). \quad (4)$$

В то же время определение указанных выше приращений  $\Delta q_m$  по выражению (8) при невырожденной матрице  $T_{A'}^B(q_m)$  следует считать нерациональным из-за сложной процедуры вычисления параметров  $Y$ . Более эффективно решать поставленную задачу, учитывая силомоментное взаимодействие между М1 и М2. Тогда можно воспользоваться зависимостью

$$Y = \Phi_A(q_n) \cdot F_A. \quad (5)$$

Здесь  $\Phi_A(q_n)$  матрица обратной податливости М1 для точки А;  $F_A$  – вектор сил и моментов взаимодействия М1 и М2 размером  $6 \times 1$ .

Величины, входящие в матрицу  $\Phi_A(q_n)$ , можно найти для произвольных положений манипулятора М1 с использованием уравнений статики рекуррентно, а параметры  $F_A$  можно измерить с помощью датчиков или вычислить как реактивные составляющие в процессе движения манипулятора М2. Определение параметров вектора  $F_A$  путем измерения многокомпонентным датчиком с необходимой фильтрацией обладает большим быстродействием и точностью. Ввиду нелинейного характера определения  $\Delta q_m$

и положительности компенсирующей связи в системе возможно возникновение низкочастотных периодических режимов, что требует соответствующей коррекции. Если лазер-робот является универсальным, то М2 может обладать сменным инструментом и выполнять операции при наложенных связях и силовых воздействиях. При действии обобщенной силы  $F_c$  в рабочем инструменте и позиционном управлении необходимые моменты в сочленениях М2 с учетом компенсации деформаций определяются выражением

$$\tau_{ТЕМ} = (q_{3m} - q_m + \Delta q_m)A_1(p) + J_{ТЕМ}^T F_c. \quad (6)$$

Назначение и структура остальных подсистем, приведенных на рис. 3, очевидны.

### Выводы

1. Предложена структура и кинематическая схема манипуляционной исполнительской системы робота для обработки крупногабаритных объектов, включающая два последовательно соединенных манипулятора.

2. Для уменьшения взаимовлияния звеньев и нагрузок на приводы предложена схема моментной разгрузки.

3. Предложено решение задачи компенсации упругих деформаций звеньев на основе вычисления матриц податливости или измерения вектора взаимодействия между манипуляторами.

### Список литературы

1. Макаров В.М. Комплексированные обрабатывающие системы / В.М. Макаров // Ритм. – 2011. – № 6 (64). – С. 20–23.
2. Смелягин А.И. Структурный синтез роботов и манипуляторов / А.И. Смелягин // Вестник научно-технического развития. – 2010. – № 6 (34). – С. 27–30.
3. Корендяев А.И. Манипуляционные системы роботов / А.И. Корендяев, Б.Л. Саламандра, Л.И. Тывес [и др.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 472 с.
4. Патент РФ № 2012115035 / 11, 16.04.2012. Умнов В.П., Гольцова Е.А., Молостов С.В., Власенков А.В., Соколов Н.Н., Попков А.А. Устройство для уравнивания моментов в поворотных механизмах // Патент России № 2496037. 2013. Бюл. № 29.
5. Борисов О.И., Громов В.С., Пыркин А.А. Методы управления робото-техническими приложениями: учебное пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 108 с.