

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ

(19) **ВУ** (11) **5369**

(13) **С1**

(51)⁷ **В 25J 9/16**



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(54)

**СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ
ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА**

(21) Номер заявки: а 19990201

(22) 1999.03.02

(46) 2003.09.30

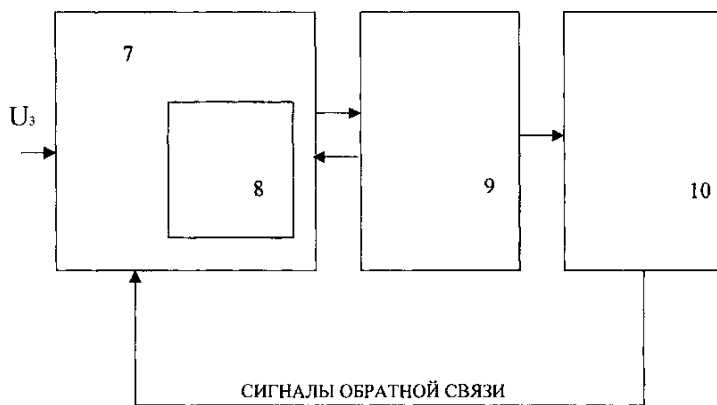
(71) Заявитель: Белорусский националь-
ный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Филонов Игорь Павлович; Ве-
риго Евгений Борисович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский на-
циональный технический университет
(ВУ)

(57)

Способ управления манипулятором промышленного робота, заключающийся в том, что перемещают схват манипулятора, обрабатывая заданную траекторию схвата приводами звеньев манипулятора, определяют фактическое положение схвата в системе координат робота, на основании сравнения с заданным положением схвата вдоль заданной траектории определяют линейные перемещения схвата, обеспечивающие его переход в заданное положение, преобразуют полученные линейные перемещения схвата в обобщенные координаты звеньев манипулятора и формируют сигналы управления приводными двигателями звеньев манипулятора для достижения заданного положения схвата, **отличающийся** тем, что задают скорость движения схвата как некоторую функцию его перемещения, на основании заданной траектории перемещения и заданной скорости перемещения схвата манипулятора определяют обобщенные координаты и обобщенные скорости звеньев манипулятора в зависимости от перемещения схвата, определяют аналоги обобщенных скоростей звеньев манипулятора, определяют обобщенные ускорения звеньев манипулятора в зависимости от перемещения схвата, задают максимальные отклонения



Фиг. 3

ВУ 5369 С1

схвата манипулятора от заданного положения в фиксированных точках вдоль всей траектории, с помощью которых определяют максимальные отклонения каждой из обобщенных координат звеньев манипулятора от заданных, на основании заданных функций обобщенных скоростей, аналогов обобщенных скоростей и ускорений звеньев манипулятора с учетом заданных максимальных отклонений обобщенных координат определяют максимальные отклонения обобщенных ускорений звеньев манипулятора, определяют фактические значения обобщенных ускорений звеньев манипулятора, и если фактические значения обобщенных ускорений звеньев выходят за заданные пределы максимальных отклонений обобщенных ускорений, то формируют сигналы управления приводными двигателями звеньев манипулятора, обеспечивающие реальные значения обобщенных ускорений соответствующих звеньев манипулятора в заданных пределах.

(56)

US 4945493 A, 1990.

ВУ 2020 С1, 1998.

RU 2009883 С1, 1994.

RU 2009882 С1, 1994.

US 4639878 A, 1987.

Изобретение относится к манипуляторам промышленных роботов и может быть использовано в различных областях машиностроения, например, для автоматизации технологических процессов сварки или сборки.

Известен способ определения положения схвата манипулятора [1], по которому определяют фактическое положение схвата манипулятора в системе координат робота, сравнивают его с заданным и вычисляют погрешность положения схвата манипулятора.

Недостатком известного способа является то, что он не позволяет учитывать взаимосвязи кинематических характеристик манипулятора, обобщенных координат и ускорений манипулятора с заданным законом движения схвата. Отсутствие возможности управления движением звеньев манипулятора в зависимости от кинематических характеристик движения схвата манипулятора не обеспечивает высокой точности позиционирования схвата манипулятора вдоль траектории.

Наиболее близким техническим решением является способ управления манипулятором промышленного робота [2], при котором измеряют отклонения между заданным и фактическим положением схвата, определяют линейные и угловые перемещения в системе координат робота для перехода схвата манипулятора в заданное положение, определяют фактические приращения обобщенных координат, обеспечивающие переход схвата в заданное положение, и на основании полученных результатов формируют сигналы управления приводными двигателями звеньев манипулятора для достижения заданного положения схвата.

Недостатком известного способа является то, что он не предусматривает первоначального задания законов изменения обобщенных ускорений звеньев манипулятора и управления значениями обобщенных ускорений для обеспечения заданной точности позиционирования схвата путем формирования соответствующих сигналов управления приводными двигателями звеньев. Это не позволяет достичь высокой точности позиционирования схвата манипулятора вдоль заданной траектории.

Задача, решаемая изобретением, - повышение точности позиционирования схвата манипулятора вдоль заданной траектории за счет управления значениями обобщенных ускорений звеньев манипулятора.

Поставленная задача достигается тем, что перемещают схват манипулятора, обрабатывая заданную траекторию схвата приводами звеньев манипулятора, определяют фактическое положение схвата в системе координат робота, на основании сравнения с заданным

положением схвата вдоль заданной траектории определяют линейные перемещения схвата, обеспечивающие его переход в заданное положение, преобразуют полученные линейные перемещения схвата в обобщенные координаты звеньев манипулятора и формируют сигналы управления приводными двигателями звеньев манипулятора для достижения заданного положения схвата, задают скорость движения схвата как некоторую функцию его перемещения, на основании заданной траектории перемещения и заданной скорости перемещения схвата манипулятора определяют обобщенные координаты и обобщенные скорости звеньев манипулятора в зависимости от перемещения схвата, определяют аналоги обобщенных скоростей звеньев манипулятора, определяют обобщенные ускорения звеньев манипулятора в зависимости от перемещения схвата, задают максимальные отклонения схвата манипулятора от заданного положения в фиксированных точках вдоль всей траектории, с помощью которых определяют максимальные отклонения каждой из обобщенных координат звеньев манипулятора от заданных, на основании заданных функций обобщенных скоростей, аналогов обобщенных скоростей и ускорений звеньев манипулятора с учетом заданных максимальных отклонений обобщенных координат определяют максимальные отклонения обобщенных ускорений звеньев манипулятора, определяют фактические значения обобщенных ускорений звеньев манипулятора и если фактические значения обобщенных ускорений звеньев выходят за заданные пределы максимальных отклонений обобщенных ускорений, то формируют сигналы управления приводными двигателями звеньев манипулятора, обеспечивающие реальные значения обобщенных ускорений соответствующих звеньев манипулятора в заданных пределах. Сущность предлагаемого способа поясняется чертежами, где на фиг. 1 представлены кинематические характеристики движения звеньев: времени от пути, обобщенной скорости от пути, аналога обобщенной скорости от пути и обобщенного ускорения от пути; фиг. 2 - представлен исполнительный механизм манипулятора с шестью степенями подвижности; фиг. 3 - представлена блок-схема системы управления манипулятором; фиг. 4 - представлена блок-схема вычислителя.

Важной задачей системы управления манипулятором промышленного робота является учет механических характеристик движения звеньев манипулятора. Контроль значений обобщенных ускорений звеньев манипулятора в зависимости от пути позволяет эффективно предупреждать нежелательные изменения обобщенных координат, так как в данном случае работа системы управления происходит в режиме с управляющими обратными связями, учитывающими отклонения фактических ускорений обобщенных ускорений звеньев манипулятора от заданных.

В данном способе управления манипулятором для контроля и управления значением погрешности позиционирования схвата манипулятора используют соответствующие зависимости между кинематическими величинами манипулятора. Задают траекторию движения схвата манипулятора S и скорость перемещения схвата $v(S)$ вдоль заданной траектории. На основании траектории схвата S и скорости перемещения схвата вдоль заданной траектории $v(S)$ определяют, путем решения обратной задачи кинематики и используя кинематические соотношения, заданные обобщенные координаты $q_{3j}(S)$, обобщенные скорости $\dot{q}_{3j}(S)$ и аналоги обобщенных скоростей $q'_{3j}(S)$ в функции от перемещения, где

$$\dot{q}_{3j}(S) = dS / dt \, dq_{3j} / dS = v(S)q'_{3j}(S);$$

$$q'_{3j}(S) = dq_{3j} / dS;$$

$$v(S) = dS / dt .$$

Индекс j используется для обозначения j -го звена манипулятора промышленного робота. На основании функции обобщенной скорости $\dot{q}_3(S)$ и аналога обобщенной скорости $q'_3(S)$ определяют обобщенные ускорения звеньев манипулятора $\ddot{q}_{3j}(S)$ как

$$\ddot{q}_{3j}(S) = \dot{q}_{3j}(S) q'_{3j}(S).$$

Графики зависимости $\dot{q}_{3j}(S)$, $q'_{3j}(S)$, $\ddot{q}_{3j}(S)$ для j -го звена манипулятора представлены на фиг. 1.

Задают погрешность позиционирования охвата манипулятора ΔS . Всю траекторию разбивают на n участков, равных ΔS , как показано на графике зависимости времени от перемещения на фиг. 1. Известно, что погрешность позиционирования схвата манипулятора обусловлена в большой мере первичными ошибками в отработке обобщенных координат Δq_j манипулятора. Для заданной конструкции манипулятора можно поставить в соответствие ряд значений Δq_{ij} для заданной погрешности позиционирования схвата ΔS_i , где i - номер участка на траектории движения схвата манипулятора. Для каждого участка ΔS на графиках можно установить зависимость погрешности позиционирования j -го звена Δq_j от отклонения фактического значения обобщенного ускорения $\Delta \ddot{q}_j$ от заданного. Для этого по зависимости $t(S)$ (фиг. 1) для i -го участка траектории движения охвата определяют Δt_i , затем определяют Δq_{ij} для j -го звена манипулятора. Для заданного номинального значения положения схвата $S_{3iном}$ на i -м участке траектории определяют номинальные значения соответственно j -х обобщенных координаты, скорости, аналога скорости и ускорения $q_{3ij}(S)$, $q'_{3ij}(S)$, $q'_{3ij}(S)$ и $\ddot{q}_{3ij}(S)$ звеньев манипулятора. Значения $q'_{i\min}(S)$, $q'_{i\max}(S)$, $\ddot{q}_{i\min 3i}(S)$ и $\ddot{q}_{i\max}(S)$ - соответственно предельно допустимые значения аналога обобщенной скорости и обобщенного ускорения. Измеряют значение фактического обобщенного ускорения $\ddot{q}_{ij}(S)$, j -го звена на i -м участке траектории движения схвата любым известным способом, например путем двойного дифференцирования поступающей информации с датчиков перемещения, расположенных в сочленениях манипулятора. Определяют отклонение $\Delta \ddot{q}_{ij}$ обобщенного ускорения $\ddot{q}_{ij}(S)$ от заданного $\ddot{q}_{3ij}(S)$ как

$$\Delta \ddot{q}_{ij}(S) = \ddot{q}_{3ij}(S) - \ddot{q}_{ij}(S).$$

Далее будет показано, что значение отклонения в положении j -й обобщенной координаты напрямую зависит от отклонения значения обобщенного ускорения j -й обобщенной координаты от заданного номинального значения обобщенного ускорения.

После определения значения отклонения $\Delta \ddot{q}_{ij}$ и учитывая, что значение ускорения на малом участке ΔS можно считать неизменным, определяют значения отклонений расчетное фактическое $\Delta \dot{q}_{ij}(S)$ и заданное $\dot{q}_{3ij}(S)$ обобщенной скорости. Расчетные значения отклонений обобщенных скоростей определяют как

$$\Delta \dot{q}_{ij}(S) = \ddot{q}_{ij}(S) \Delta t_i; \tag{1}$$

$$\Delta \dot{q}_{3ij}(S) = \ddot{q}_{3ij}(S) \Delta t_i, \tag{2}$$

где $\ddot{q}_{3ij}(S)$ и $\ddot{q}_{ij}(S)$ - соответственно заданное и фактическое значения обобщенных ускорений j -го звена на i -м участке траектории движения охвата. В случае равенства заданного и фактического значений обобщенных скоростей $\dot{q}_{3i-1j}(S)$ и $\dot{q}_{i-1j}(S)$ на предыдущем $i-1$ участке траектории схвата значение отклонения обобщенной скорости $\Delta \dot{q}_{ij}(S)$ определяют как

$$\Delta \dot{q}_{ij}(S) = \dot{q}_{3ij}(S) - \dot{q}_{ij}(S), \tag{3}$$

учитывая, что

$$\dot{q}_{3ij}(S) = \dot{q}_{3i-1j}(S) + \Delta \dot{q}_{ij}(S); \tag{4}$$

$$\dot{q}_{ij}(S) = \dot{q}_{i-1j}(S) + \Delta \dot{q}_{ij}(S). \tag{5}$$

Тогда (3) с учетом (1), (2), (4) и (5) записывают как

$$\Delta \dot{q}_{ij}(S) = \dot{q}_{3ij}(S) - \dot{q}_{ij}(S) = \Delta \dot{q}_{ij}(S) \Delta t_i. \tag{6}$$

В случае неравенства заданного и фактического значений обобщенных скоростей $\dot{q}_{3i-1j}(S)$ и $\dot{q}_{i-1j}(S)$ на предыдущем $i-1$ участке траектории схвата значение отклонения обобщенной скорости $\Delta\dot{q}_{ij}(S)$ после аналогичных преобразований:

$$\Delta\dot{q}_{ij}(S) = \dot{q}_{3i-1j}(S) - \dot{q}_{i-1j}(S) + \Delta\dot{q}_{3ij}(S) - \Delta\dot{q}_{ij}(S) = \dot{q}_{3i-1j}(S) - \dot{q}_{i-1j}(S) + \Delta\ddot{q}_{ij}(S)\Delta t_i. \quad (7)$$

Определяют для i -го участка траектории движения охвата манипулятора значение отклонения обобщенной координаты $\Delta q_{ij}(S)$, считая, что на i -м участке значение обобщенной скорости $\dot{q}_{ij}(S)$ можно считать постоянной (из-за малости i -х участков). Вычисляют значение отклонения обобщенной координаты $\Delta q_{ij}(S)$ по заданному $\Delta q_{3ij}(S)$ и фактическому расчетному $\Delta q_{ij}(S)$ значениям отклонений обобщенных координат, определяемых как

$$\Delta q_{ij}(S) = \Delta\dot{q}_{ij}(S)\Delta t_i; \quad (8)$$

$$\Delta q_{3ij}(S) = \Delta\dot{q}_{3ij}(S)\Delta t_i, \quad (9)$$

где $\dot{q}_{3ij}(S)$ и $\dot{q}_{ij}(S)$ - соответственно заданное и фактическое значения обобщенных скоростей j -го звена на i -м участке траектории движения схвата. В случае равенства заданного и фактического значений обобщенных координат $q_{3i-1j}(S)$ и $q_{i-1j}(S)$ на предыдущем $i-1$ участке траектории схвата значение отклонения обобщенной координаты $\Delta q_{ij}(S)$ определяют как

$$\Delta q_{ij}(S) = q_{3ij}(S) - q_{ij}(S); \quad (10)$$

учитывая, что

$$q_{3ij}(S) = q_{3i-1j}(S) + \Delta q_{3ij}(S); \quad (11)$$

$$q_{ij}(S) = q_{i-1j}(S) - \Delta q_{ij}(S). \quad (12)$$

Тогда (10) с учетом (8), (9), (11) и (12) записывают как

$$\Delta q_{ij}(S) = \Delta q_{3ij}(S) - \Delta q_{ij}(S) = \Delta\ddot{q}_{ij}(S)\Delta t_i^2. \quad (13)$$

В случае неравенства заданного и фактического значений обобщенных координат $q_{3i-1j}(S)$ и $q_{i-1j}(S)$ на предыдущем $i-1$ участке траектории охвата значение отклонения обобщенной координаты $\Delta q_{ij}(S)$, после аналогичных преобразований, определяют как

$$\Delta q_{ij}(S) = q_{3i-1j}(S) - q_{i-1j}(S) + \Delta q_{3ij}(S) - \Delta q_{ij}(S) = q_{3i-1j}(S) - q_{i-1j}(S) + \Delta\dot{q}_{ij}(S)\Delta t_i. \quad (14)$$

Подставляя (7) в (14), получают окончательное выражение, связывающее ошибку обобщенной координаты и обобщенного ускорения:

$$\Delta q_{ij}(S) = q_{3i-1j}(S) - q_{i-1j}(S) + ((\dot{q}_{3i-1j}(S) - \dot{q}_{i-1j}(S)) + \Delta\ddot{q}_{ij}(S)\Delta t_i)\Delta t_i. \quad (15)$$

Из (15) видно, что значение отклонения обобщенной координаты зависит от значения ошибки обобщенного ускорения. Таким образом, осуществляя контроль за нахождением значений $\Delta\ddot{q}_{ij}(S)$ в заданных пределах, влияют на точность отработки обобщенных координат звеньев манипулятора.

Известно, что погрешность позиционирования схвата манипулятора обусловлена в значительной степени первичными погрешностями в обработке обобщенных координат. Таким образом, снижение значений погрешностей отработки обобщенных координат посредством контроля ошибки отработки обобщенных ускорений звеньев манипулятора позволяет уменьшить результирующую погрешность позиционирования охвата манипулятора.

Предложенный способ управления может быть реализован, например, манипулятором, исполнительный механизм которого представлен на фиг. 2. Манипулятор содержит подвижные звенья 1, 2, 3, 4, 5 и 6 со охватом. В качестве обобщенных координат манипулятора выбирают угловые перемещения звеньев q_j . Системы координат звеньев манипуля-

тора выбирают в соответствии с соглашениями Денавита-Хартенберга. Система координат первого звена $X_0Y_0Z_0$ и т.д. до системы координат последнего шестого звена $X_5Y_5Z_5$ показаны на фиг. 2. На фиг. 2 также приведены обобщенные координаты q_j звеньев манипулятора.

На фиг. 3 представлена блок-схема системы управления манипулятором, включающая в себя следующие основные блоки: систему управления 7, вычислитель 8, серво-контроллеры приводов звеньев манипулятора 9 и робот 10. Система управления на основании сигналов задания U_3 и сигналов обратной связи (фиг. 3) формирует сигналы управления серво-контроллерами приводов манипулятора. Ключевым элементом в составе системы управления, определяющим значения сигналов управления на серво-контроллеры приводов, является вычислитель 2. Блок-схема вычислителя представлена на фиг. 4. В блок-схеме вычислителя при обозначении кинематических величин отсутствует индекс j , т.к. подразумевается, что схема вычислителя одинакова для всех звеньев манипулятора.

Принцип работы вычислителя состоит в следующем. Задают траекторию движения охвата манипулятора S и скорость перемещения охвата вдоль заданной траектории $v(S)$. На основании траектории схвата S и скорости перемещения схвата вдоль заданной траектории $v(S)$ определяют, путем решения обратной задачи кинематики и используя кинематические соотношения, заданные обобщенные координаты $q_{3ij}(S)$, обобщенные скорости $\dot{q}_{3j}(S)$ и аналоги обобщенных скоростей $q'_{3j}(S)$ в функции от перемещения. На основании функции обобщенной скорости $\dot{q}_3(S)$ и аналога обобщенной скорости $q'_3(S)$ определяют обобщенные ускорения звеньев манипулятора $\ddot{q}_{3j}(S)$. Задают погрешность позиционирования схвата манипулятора ΔS . Всю траекторию разбивают на n участков, равных ΔS , как показано на графике зависимости времени от перемещения на фиг. 1. Для заданной конструкции манипулятора ставится в соответствие ряд значений Δq_{ij} для заданной погрешности позиционирования схвата ΔS_i , где i - номер участка на траектории движения схвата манипулятора. Для каждого участка ΔS на графиках можно установить зависимость погрешности позиционирования j -го звена $\Delta \dot{q}_j$ от отклонения Δq_j фактического значения обобщенного ускорения от заданного. Для этого по зависимости $t(S)$ (фиг. 1) для i -го участка траектории движения схвата определяют Δt_i , затем определяют Δq_{ij} для j -го звена манипулятора. Для заданного значения $S_{3\text{ином}}$ на i -м участке траектории определяют номинальные значения соответственно j -х обобщенных координаты, скорости, аналога скорости и ускорения $q_{3ij}(S)$, $q'_{3ij}(S)$, $\dot{q}_{3ij}(S)$ и $\ddot{q}_{3ij}(S)$ звеньев манипулятора. Измеряют значение фактического обобщенного ускорения $\ddot{q}_{3ij}(S)$ j -го звена на i -м участке траектории движения схвата любым известным способом, например путем двойного дифференцирования поступающей информации с датчиков перемещения, расположенных в сочленениях манипулятора. Определяют отклонение $\Delta \ddot{q}_{ij}$ обобщенного ускорения $\ddot{q}_{3ij}(S)$ от заданного $\ddot{q}_{3ij}(S)$ как

$$\Delta \ddot{q}_{ij}(S) = \ddot{q}_{3ij}(S) - \ddot{q}_{ij}(S).$$

После определения значения отклонения $\Delta \ddot{q}_{ij}$ и учитывая, что значение ускорения на малом участке ΔS можно считать неизменным, определяют значения отклонений обобщенной скорости расчетное фактическое $\Delta \dot{q}_{ij}(S)$ и заданное $\underline{\Delta \dot{q}_{3ij}(S)}$. Расчетные значения отклонений обобщенных скоростей определяют как

$$\Delta \dot{q}_{ij}(S) = \ddot{q}_{ij}(S) \Delta t_i;$$

$$\underline{\Delta \dot{q}_{3ij}(S)} = \ddot{q}_{3ij}(S) \Delta t_i,$$

где $\ddot{q}_{3ij}(S)$ и $\ddot{q}_{ij}(S)$ - соответственно заданное и фактическое значения обобщенных ускорений j -го звена на i -м участке траектории движения схвата.

В случае неравенства заданного и фактического значений обобщенных скоростей $\dot{q}_{3i-1j}(S)$ и $\dot{q}_{i-1j}(S)$ на предыдущем $i-1$ участке траектории охвата (общий случай) значение отклонения обобщенной скорости $\Delta\dot{q}_{ij}(S)$ определяется:

$$\Delta\dot{q}_{ij}(S) = \dot{q}_{3i-1j}(S) - \dot{q}_{i-1j}(S) + \Delta\dot{q}_{3ij}(S) - \Delta\dot{q}_{ij}(S) = \dot{q}_{3i-1j}(S) - \dot{q}_{i-1j}(S) + \Delta\ddot{q}_{ij}(S)\Delta t_i.$$

Определяют для i -го участка траектории движения охвата манипулятора значение отклонения обобщенной координаты $\Delta q_{ij}(S)$, считая, что на i -м участке значение обобщенной скорости $\dot{q}_{ij}(S)$ можно считать постоянным (из-за малости i -х участков). Вычисляют значение отклонения обобщенной координаты $\Delta q_{ij}(S)$ по заданному $\Delta\dot{q}_{3ij}(S)$ и фактическому расчетному $\Delta\dot{q}_{ij}(S)$ значениям отклонений обобщенных координат, определяемых как

$$\Delta\dot{q}_{ij}(S) = \Delta\dot{q}_{ij}(S)\Delta t_i; \tag{8}$$

$$\Delta\dot{q}_{3ij}(S) = \Delta\dot{q}_{3ij}(S)\Delta t_i, \tag{9}$$

где $\dot{q}_{3ij}(S)$ и $\dot{q}_{ij}(S)$ - соответственно заданное и фактическое значения обобщенных скоростей j -го звена на i -м участке траектории движения схвата.

В случае неравенства заданного и фактического значений обобщенных координат $q_{3i-1j}(S)$ и $q_{i-1j}(S)$ на предыдущем $i-1$ участке траектории схвата (общий случай) значение отклонения обобщенной координаты $\Delta q_{ij}(S)$ + после аналогичных преобразований определяют как

$$\Delta q_{ij}(S) = q_{3i-1j}(S) - q_{i-1j}(S) + \Delta q_{3ij}(S) - \Delta q_{ij}(S) = q_{3i-1j}(S) - q_{i-1j}(S) + \Delta\dot{q}_{ij}(S)\Delta t_i.$$

Подставляя (7) в (14), получают окончательное выражение, связывающее ошибку обобщенной координаты и обобщенного ускорения:

$$\Delta q_{ij}(S) = q_{3i-1j}(S) - q_{i-1j}(S) + ((\dot{q}_{3i-1j}(S) - \dot{q}_{i-1j}(S)) + \Delta\ddot{q}_{ij}(S)\Delta t_i)\Delta t_i.$$

Сигналы обратной связи по обобщенным ускорениям и обобщенным координатам звеньев манипулятора поступают в систему управления и в случае превышения $\Delta\ddot{q}_j(S)$ заданного $\Delta\ddot{q}_{3j}(S)$ для j -го звена формируются соответствующие сигналы управления приводами звеньев манипулятора, до получения требуемых значений отклонений обобщенных ускорений $\Delta\ddot{q}_j(S)$, обеспечивающих реальные значения обобщенных координат звена $\Delta q_j(S)$ в заданных пределах. Таким образом, осуществляя контроль значений $\Delta\ddot{q}_{ij}(S)$, влияют на точность отработки обобщенных координат звеньев манипулятора.

Наибольший эффект в использовании данной системы может быть достигнут на участках разгона и торможения движения охвата манипулятора, где влияние обобщенных ускорений на точность позиционирования схвата наиболее велико.

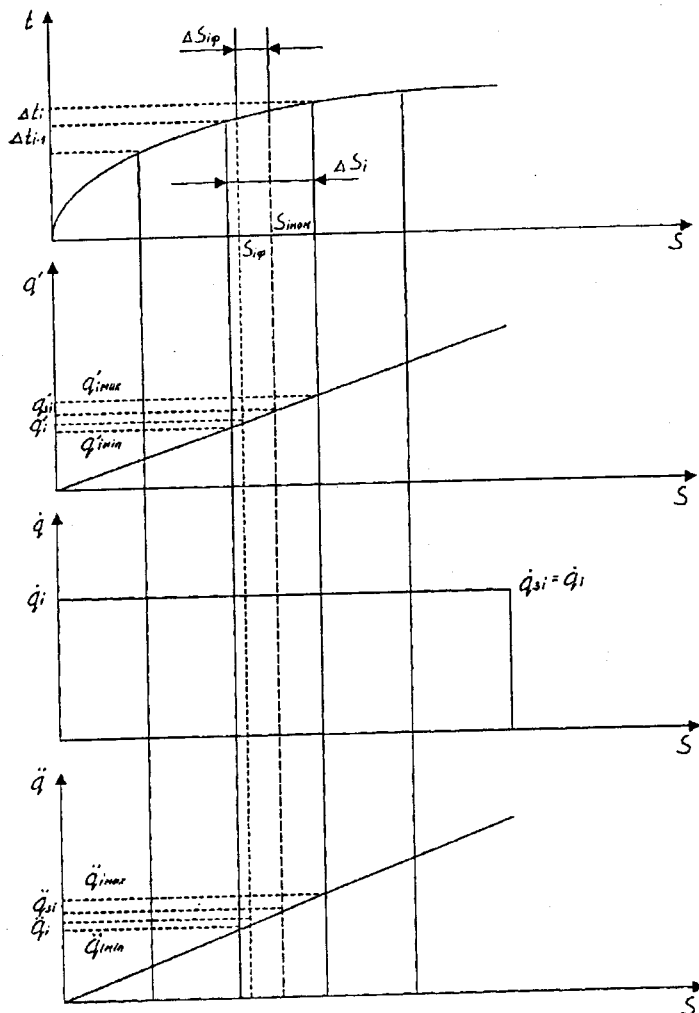
Таким образом, приведенный способ управления манипулятором позволяет решить поставленную задачу, заключающуюся в повышении точности позиционирования схвата промышленного робота, за счет задания скорости движения схвата как некоторой функции его перемещения, на основании заданной траектории перемещения и функции скорости от перемещения схвата манипулятора определения обобщенных координат и обобщенных скоростей звеньев манипулятора в функции от перемещения схвата, определения аналогов обобщенных скоростей звеньев манипулятора, определения обобщенных ускорений звеньев манипулятора в функции от перемещения схвата, задания максимальных отклонений схвата манипулятора от заданного положения в фиксированных точках вдоль всей траектории, определения на их основании максимальных отклонений каждой из обобщенных координат звеньев манипулятора от заданных, на основании заданных функций обобщенных скоростей, аналогов обобщенных скоростей и ускорений звеньев манипулятора с учетом заданных максимальных отклонений обобщенных координат опреде-

ВУ 5369 С1

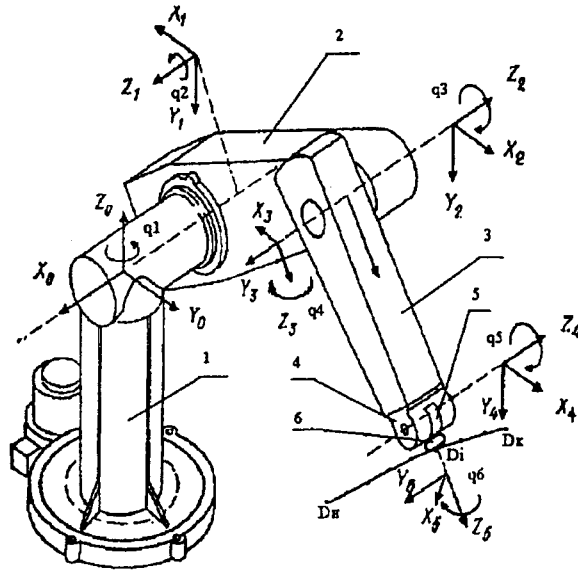
ления максимальных отклонений обобщенных ускорений звеньев манипулятора, определения фактических обобщенных ускорений звеньев манипулятора, и если фактические обобщенные ускорения звеньев выходят за заданные пределы (максимальные отклонения) обобщенных ускорений, то формирования сигналов управления приводными двигателями звеньев манипулятора, обеспечивающих реальные значения обобщенных ускорений соответствующих звеньев манипулятора в заданных пределах.

Источники информации:

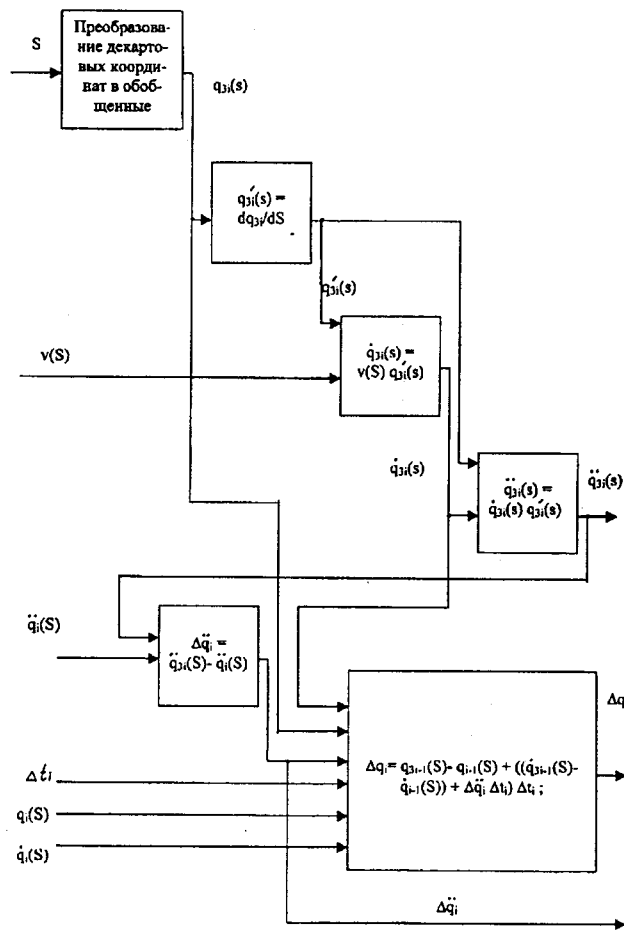
1. Патент РФ 2009881, МПК В 25J 11/00, 1994.
2. Патент США 4945493, МПК В 2J 5/00, В 05В 19/04, 1990.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 4