

Рис. 2. Кинематическая погрешность цепи подачи станка RS-2: а — на длине 170 мм; б — на одном обороте винта

в процессе зубообработки. Ошибка измерения не превышает 2 мкм на длине 170 мм, что определяется точностью изготовления шкалы.

На рис. 2,а представлен график кинематической погрешности цепи подачи станка RS-2 на длине 170 мм. Измерение проводилось при следующих режимах настройки станка: $n_{\text{фр}} = 60 \text{ мин}^{-1}$; $s = 46/15 = 3,06 \text{ мм/об. стола}$; $z_{\text{нар}} = 46$. Ана-

лиз диаграммы не вызывает затруднений. Четко видны две составляющие: монотонно изменяющаяся (накопленная) и периодическая погрешность перемещения. Первая обусловлена накопленной погрешностью шага ходового винта, вторая — его биением. На рис. 2,б показана кинематическая погрешность за один оборот винта. Наряду с одной волной за обо-

рот ходового винта видна циклическая погрешность частоты $k=16$, размах которой равен 0,5 мкм. Эта погрешность вызвана кинематической погрешностью конического зубчатого колеса в цепи подачи, которое делает 16 оборотов за один оборот винта. Нестабильность многократных измерений погрешности цепи подачи находилась в пределах 1 мкм.

Разработанный прибор может найти широкое применение как в производстве прецизионных зубофрезерных станков, так и при освоении системы профилактического контроля производства высокоточных зубчатых колес.

Список литературы

1. Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении / Под ред. К. И. Абаджи, Б. П. Тимофеева. Л.: Машиностроение, 1972, 310 с.

2. Ионак В. Ф. Приборы кинематического контроля. М.: Машиностроение, 1981, 128 с.

УДК 621.865.8

Особенности определения кинематических схем роботов

Канд. техн. наук И. И. ПАВЛЕНКО

Выбор кинематической схемы робота с оптимальными кинематическими и геометрическими параметрами представляет собой важную задачу [1, 2]. Началом определения кинематической схемы робота является анализ технического задания на роботизацию производственного процесса, на основе которого выявляются исходные особенности кинематики робота (например, стационарный или подвижный) и намечается последовательность выбора схемы. В общем виде этот процесс состоит в определении необходимых положений и движений конечных звеньев кинематической (кинематических) цепи (цепей) робота по всему выполняемому циклу и последующему кинематическому и геометрическому замыканию этих звеньев в единую кинематическую схему с учетом требуемых условий и ограничений.

Конечными звеньями кинематической цепи робота являются, с одной стороны, его основание (стойка), с другой — захваты (или операционные механизмы), которые должны занимать однозначные или целесообразно-необходимые положения в роботизируемом цикле. Под движением конечных звеньев следует понимать перемещения, осуществляемые основанием робота в случае его подвижного исполнения, и движения захвата, необходимые для выполнения заданных операций.

При выборе кинематической схемы транспортного робота последовательно определяют:

контуры основного и вспомогательного оборудования

для конкретного варианта планировки; положения транспортируемой детали в основной позиции цикла движений (например, в патроне станка, на позиции сборки и т. п.) и в других известных позициях (например, в таре подающего или приемного устройства) с указанием необходимой или возможной ориентации детали в этих позициях; приемлемые варианты захвата детали и возможные при этом положения конечного звена кинематической цепи робота, несущего захват. Траектория движения транспортируемой детали и конечных звеньев робота, их кинематические и геометрические замыкания промежуточными звеньями робота по всему циклу, что практически сводится к установлению степени подвижности робота и его кинематической схемы.

Наличие на роботизируемом участке препятствий между позициями, мешающих свободному перемещению транспортируемой детали по наиболее коротким (целесообразным) траекториям, а также необходимость соблюдения заданных условий подхода захвата с деталью к позициям и ориентации требуют разделения общей циклограммы движения на ряд составляющих, а степеней свободы робота на отдельные группы в зависимости от их назначения.

Определяют движения, необходимые для перемещения (выведения) детали с захватом и конечным звеном робота на заданные позиции (точки позицио-

нирования) цикла; такие движения обычно достаточно однозначны (например, установка детали в патроне станка осуществляется в основном ее осевым перемещением). При определении необходимого числа движений для выхода на позиции (P_n) принимают, что эти движения различаются направлениями относительно транспортируемой системы (деталь — захват — конечное звено робота) как одного целого независимо от ее положения в различных позициях цикла.

Определяют необходимые или приемлемые движения для выведения транспортируемой системы из рабочей зоны с учетом ее ограничений в исходное положение для обеспечения дальнейшего свободного (т. е. практически без препятствий) перемещения в исходные положения других позиций. Эти движения (P_3) обычно менее однозначны, но и не произвольны, так как они ограничиваются реальной зоной.

С целью определения необходимых движений для свободного последовательного перемещения транспортируемой системы от одного исходного положения к другому по всему циклу выбирают систему координат, начало которой совмещается с положением основания (стойки) робота, а направление осей — с направлением предполагаемых основных движений. В данной системе координат рассматриваются исходные положения транспортируемой системы по каждой позиции. Число различных линейных и угловых координат, определяющих положения транспортируемой системы в разных позициях, и может быть принято за необходимые степени свободы транспортирования (P_T) рассматриваемой системы между исходными положениями по всему циклу движений. Эти степени свободы с соответствующими им кинематическими парами и звеньями обеспечивают кинематическое и геометрическое замыкание транспортируемой системы во всех ее положениях с основанием (стойкой) робота, формируя основную часть кинематики робота.

Наконец, определяют движения, необходимые для придания транспортируемой детали и, следовательно, захвату робота требуемой ориентации в каждой позиции. Эти степени свободы составляют кинематику кисти (P_K) и располагаются обычно в конце кинематической цепи робота.

После этого выполняют сравнительный анализ выявленных движений в каждой группе. Если в разных группах имеются повторяющиеся движения, их при возможности заменяют одним движением и окончательно формируют кинематическую схему робота.

Общее число степеней свободы робота $P = P_T + P_3 + P_n + P_K$; это справедливо для роботов с одной рукой и захватом. Если такой робот будет иметь неподвижное основание, то движения P_T , P_3 и P_n составят степени свободы руки (P_p), и тогда в общем виде кинематическую структуру робота [4] можно представить как $P = P_p + P_K$, где $P_p = P_T + P_3 + P_n$.

При подвижном исполнении робота степени свободы основания могут полностью составлять транспортные движения $P_o = P_T$, и тогда $P = P_o + P_p + P_K$, где $P_p = P_3 + P_n$ или же их часть, т. е. $P_o = P'_T$, и тогда $P = P'_o + P_p + P_K$, где $P_p = P'_T + P_3 + P_n$, здесь $P'_T = P_T - P'_T$.

В некоторых схемах роботов одна и та же кинематическая пара может выполнять разные функциональные движения, например выход на позицию и транспортные перемещения между позициями. Движения в каждой группе могут быть конкретизированы в зависимости от используемых кинематических пар и видов движений. Если в роботе движения P_T выполнены в

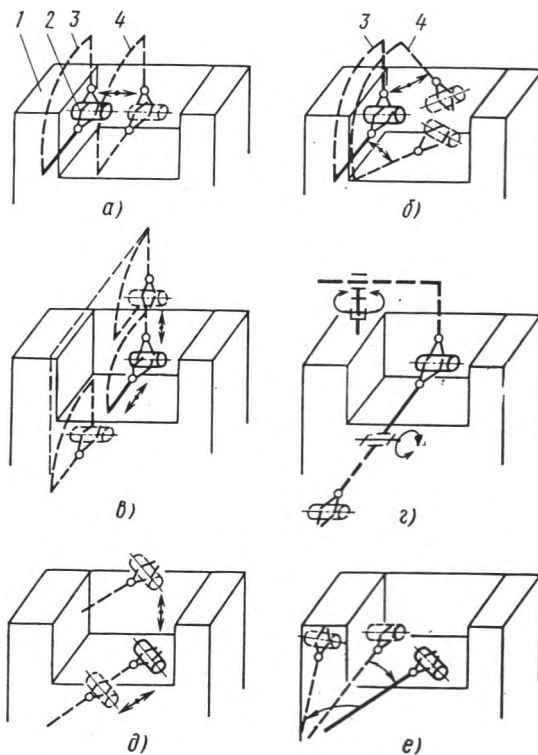


Рис. 1

виде вращательной (B) пары при неподвижном основании робота, P_3 и P_n — представляют поступательные пары (Π), а P_K — вращательное движение, то формулу структуры робота можно записать в виде $B_T + \Pi_3 + \Pi_n + B_K = (B\Pi\Pi)_p + B_K$.

Величину перемещения в кинематических парах целесообразно указывать после их условного обозначения. Тогда, структурно-геометрическая характеристика робота, рука которого поворачивается на 210° и осуществляет линейные перемещения с помощью двух поступательных пар соответственно на 100 и 500 мм, а кисть вращается на 180° , будет $(B210|\Pi100|\Pi500)_p + (B180)_K$. Подобным образом возле обозначений кинематических пар можно указывать длину их звеньев или скорость перемещений.

Для полного обозначения кинематики роботов в структурных формулах следует указывать взаимные направления движений [4] между смежными парами: | — соосные (совпадающие), || — параллельные, \perp — перпендикулярные, пересекающиеся под прямым углом, \times — скрещивающиеся под прямым углом, \vee — пересекающиеся не под прямым углом, $\setminus /$ — скрещивающиеся не под прямым углом. В соответствии с этим рассматриваемую в качестве примера структуру робота можно представить как

$$(B|\perp|\Pi)_p + (|B)_K \text{ или } B|\perp|\Pi|B, \\ \text{а с учетом величин перемещений} \\ (B210|\Pi100|\Pi500)_p + (|B180)_K \\ \text{или } B210|\Pi100|\Pi500|B180$$

Для многоруких и многозахватных роботов степени свободы определяют аналогично по каждой группе с кинематической и геометрической их взаимной увязкой.

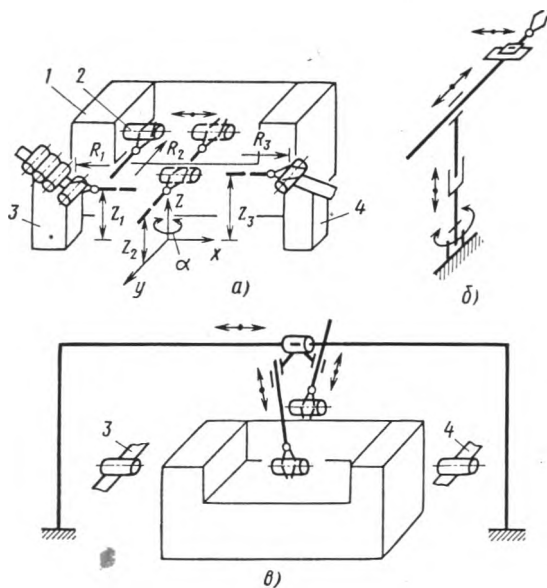


Рис. 2

Пример последовательности определения кинематической схемы робота для загрузки токарного станка 1 приведен на рис. 1. На рис. 1, а, б показано положение обрабатываемой детали 2 в патроне станка, варианты захвата детали роботом, пределы возможных положений 3 конечного звена робота в этой позиции и варианты поступательных (см. рис. 1, а) и вращательных (см. рис. 1, б) движений вывода детали из патрона станка с указанием занимаемых положений 4 конечного звена робота. На рис. 1, в приведены примеры поступательных, а на рис. 1, г вращательных движений, используемых для вывода транспортируемой системы из рабочей зоны станка применительно к схеме рис. 1, а, на рис. 1, д, е — соответственно к схеме рис. 1, б.

Для планировки оборудования (станка 1, подающего 3 и приемного 4 устройств) согласно схеме рис. 2, а принимаем начальное исполнение робота с расположением его основания (системы координат — xuz) впереди станка. Выбрав поступательные движения для вывода детали 2 из позиций и рабочей зоны, определяем число координат, характеризующих исходные положения транспортируемой системы (в данном примере их три: z, R, α). Используя их, устанавливаем степени свободы (кинематические пары) робота, длины звеньев и величины их перемещения для кинематического и геометрического замыкания транспортируемой системы с основанием робота, формируя таким образом всю кинематическую схему робота (рис. 2, б). Эта кинематическая схема не является единственно возможной; могут быть проанализированы и другие варианты движений детали (см. рис. 1, в—е), положения основания робота и т. п. Заметим, что данную последовательность выявления приемлемых вариантов кинематических схем транспортных роботов также можно изменять и уточнять исходя из конкретных условий. Так, если однозначно задают только обслуживаемое роботом оборудование, а исполнение приемного и подающего устройств и их положение могут быть выбраны произвольно, то рассмотренная последовательность укрупненно должна включать следующее:

1) определение целесообразного варианта захвата детали в рабочей позиции оборудования с указанием возможных при этом положений конечного звена робота;

2) выбор приемлемых движений для вывода транспортируемой системы из рабочей позиции оборудования и ограничений рабочей зоны оборудования;

3) выбор положения и исполнения приемного и подающего устройств, выход на позиции которых может осуществляться с помощью движений, принятых на предшествующем этапе, или с минимальным дополнением. Это обеспечивает применение простых кинематических схем роботов с малым числом степеней свободы. Подобным образом, можно решать вопрос обеспечения коротких траекторий движения, минимально занимаемой роботом площади и т. п.;

4) окончательное определение транспортных и ориентирующих движений с последующим кинематическим и геометрическим замыканием звеньев робота в единую кинематическую схему.

Если применительно к рассматриваемому примеру (см. рис. 1, 2) подающее и приемное устройства расположить с торцов станка, то транспортные перемещения можно осуществить, например, с помощью уже принятого поступательного движения (см. рис. 1, а), получив в итоге простую широко распространенную порталную схему робота (рис. 2, в).

Рассмотренная последовательность определения кинематики роботов полностью применима для специальных роботов, когда анализ выполняют по конкретной роботизируемой операции. Если же необходимо решать подобные вопросы в отношении специализированного робота, то такой анализ необходимо выполнять по различным роботизируемым операциям, где планируют использовать робот с последующим выбором такой кинематической схемы, которая позволяла бы наиболее эффективно выполнять все эти операции. Для универсальных роботов требуется кинематика, позволяющая осуществлять операции широкого диапазона, что обычно связано с применением шарнирных конструкций (типа плечелоктектистовых), обеспечивающих высокие двигательные возможности [5].

Последовательность определения кинематических схем технологических роботов в целом подобна рассмотренной. Основное различие состоит в том, что исходные положения и ориентацию конечного звена робота (захвата или операционного механизма) однозначно задают вдоль всей технологической траектории с выбором необходимых транспортных движений для перемещения исполнительного механизма робота с конца технологической траектории к ее началу при переходе на обработку следующей детали, допуская удобную их сменяемость на позиции обработки.

Обоснованность выбора оптимальной кинематической схемы робота с соответствующими кинематическими и геометрическими параметрами определяют по показателю оптимальности:

$$P_o = \sum_{i=1}^n \lambda_i K_i / n,$$

где λ_i — коэффициенты, определяющие весомость различных показателей; K_i — критерии, определяющие влияние кинематических и геометрических параметров робота на различные его показатели (двигательные или ориентирующие возможности [5, 6]; быстроту и точность перемещений; динамическое качество конст-

рукции робота; энергоемкость; стоимость и эффективность использования и др.); n — число принятых критериев оценки оптимальности.

Анализ по данной формуле в полном объеме является трудоемким, тем более, что по отдельным показателям еще нет достаточно обоснованных их зависимостей от кинематики и геометрии робота. Поэтому на первом этапе можно ограничиться сравнением различных вариантов по отдельным критериям (времени выполнения операции, занимаемой площади, сложности конструктивной реализации кинематической схемы и т. п.).

Список литературы

1. Панов А. А. Оптимизация выбора типа автоматического манипулятора с помощью ЭВМ.— Станки и инструмент, 1982, № 3, с. 9—11.
2. Сурнин Б. Н., Воробьев Е. И., Козунко Б. М.

Выбор кинематических параметров промышленных роботов и алгоритмы оптимизации их движений. Методы и модели для управления роботами и манипуляторами в производстве и научных исследованиях. М.: Знание, 1979, с. 114—122.

3. Кобринский А. А., Кобринский Л. А. К задаче оптимального управления манипуляторами.— В кн.: Исследование задач в машиноведении на ЭВМ. М.: Наука, 1977, с. 26—45.

4. Павленко И. И. Конструктивные и кинематические варианты промышленных роботов.— Вестник машиностроения, 1980, № 11, с. 3—5.

5. Павленко И. И. Основные показатели двигательных возможностей роботов.— Вестник машиностроения, 1980, № 4, с. 9—11.

6. Особенности кинематики манипуляторов и метод объемов / И. Б. Виноградов, А. Е. Кобринский, А. Ю. Степанов, Л. И. Тывес.— В кн.: Механика машин. М.: Наука, 1971, вып. 27—28, с. 5—16.

УДК 621.225

Исследование неравномерности крутящего момента ролик-лопастного гидромотора

Инж. Я. М. ЗАРЕЦЕР

Ролик-лопастные гидромашинны предназначены для автоматизации и механизации производственных процессов. Они применяются для привода подач станков с ЧПУ, могут быть использованы и в других отраслях машиностроения, например в приводах строительных и дорожных машин, для транспортных передач в горных машинах, а также могут применяться в качестве высокомоментных и быстроходных гидромоторов.

Конструкция ролик-лопастного гидромотора типа ГМ показана на рис. 1. Гидромотор содержит ротор с шестью лопастями, равномерно расположенными по окружности, и четыре ролика-разделителя, разделяющие рабочие полости высокого и низкого давления. Ролики-разделители гидравлически разгружены в радиальном направлении с помощью разгрузочных карманов K , соединенных с соответствующими полостями. Ротор вращается под действием рабочей жидкости, подводимой под давлением по двум каналам Π в корпусе гидромотора к рабочим камерам, ограниченными лопастями ротора и роликами-разделителями, и одновременно приводит во вращение через зубчатый синхронизирующий механизм ролик-разделителя.

Реализуемая таким способом схема двойного действия обеспечивает гидростатическую разгрузку ротора и увеличивает развиваемый гидромотором крутящий момент. Рабочая жидкость сливается через каналы C . Так как ротор имеет шесть лопастей, рабочий цикл в гидромоторе совершается 6 раз за один оборот ротора, т. е. повторяется через каждые 60° поворота ротора.

Высокая равномерность враще-

ния ротора может быть получена, во-первых, при равенстве утечек в различных положениях ротора и роликов-разделителей и, во-вторых, при стабильности механических потерь за один оборот ротора, причем последний фактор будет иметь тем большее влияние, чем меньше жесткость характеристик гидромотора. С учетом этого при проведении эксперимента на стенде (рис. 2) были обеспечены стабильные подача рабочей жид-

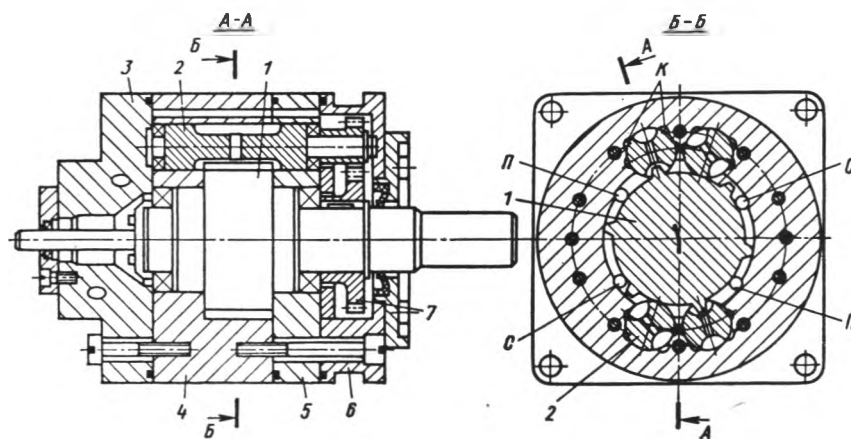


Рис. 1. Конструктивная схема ролик-лопастного гидромотора:

1 — ротор; 2 — ролик-разделитель; 3 — распределительная плита; 4 — корпус; 5 — щека; 6 — крышка; 7 — зубчатый синхронизирующий механизм