

# КОНСТРУИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ, ИСПЫТАНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ МАШИН

УДК 62-231.1.007.52

## Конструктивные и кинематические варианты промышленных роботов

Канд. техн. наук И. И. ПАВЛЕНКО

Наличие нескольких степеней свободы робота приводит к большому многообразию возможных вариантов его кинематических схем, что усложняет выбор оптимальной схемы. Так, используя формулы комбинаторики [1], нетрудно убедиться, что, например, при шести степенях свободы робота число теоретически возможных вариантов может достигать нескольких десятков тысяч. Из общего числа теоретически возможных вариантов практически целесообразными оказываются далеко не все, так как часть теоретически различных вариантов являются конструктивно аналогичными, а некоторые не представляют интереса.

Для выделения типовых вариантов и выбора приемлемых кинематических схем роботов введем понятия конструктивных и кинематических вариантов.

Конструктивные варианты различаются между собой кинематическими парами (пары III, IV, V классов), их относительным расположением и видом движений, т. е. теми признаками, которые характеризуют основу исполнения роботов. Число таких вариантов

$$m = \frac{N!}{P_{III}! P_{IV}! P_V!} 2^P v,$$

где  $N = P_{III} + P_{IV} + P_V$  — общее число кинематических пар, используемых в роботе;  $P_{III}$ ,  $P_{IV}$  и  $P_V$  — числа кинематических пар соответственно III, IV и V классов. Первый множитель этого выражения определяет конструктивные варианты, различающиеся между собой только кинематическими парами и их относительным расположением, второй — видом движений (поступательные —  $\Pi$  и враща-

тельные —  $B$ ), используемых в парах V класса.

В практике основное применение находят роботы с кинематическими парами V класса, поэтому последующий анализ проведен применительно к таким схемам.

Для одноруких роботов число конструктивных вариантов  $m = 2^P$ , где  $P$  — число степеней свободы робота (для упрощения здесь и в дальнейшем под  $P$  подразумевается  $P_V$ ).

Каждый конструктивный вариант имеет ряд кинематических вариантов. Под кинематическими вариантами понимают такие, которые различаются между собой направлением движений по отдельным степеням свободы без изменения их класса, вида и положения в общей схеме робота.

Для выделения всех возможных кинематических вариантов необходимо учитывать различный характер осуществления поступательных и вращательных движений (рис. 1): поступательные движения могут выполняться прямыми ( $\Pi$ ) и «изогнутыми» ( $\Pi'$ ) звеньями, а вращательные — иметь ось вращения совпадающую ( $B$ ) и несовпадающую ( $B'$ ) с осью звена (в основном перпендикулярную к ней). Если эти движения согласуются с направлением осей в прямоугольной системе координат (соблюдение этого условия обеспечивает роботам максимальные рабочие зоны), то каждое последующее (или предыдущее) движение относительно предыдущего (или последующего) может быть параллельным ( $\parallel$ ), перпендикулярным ( $\perp$ ) или скрещивающимся ( $X$ ).

Таким образом, на каждый конструктивный вариант приходится  $n_P = 2^P \cdot 3^{(P-1)}$  кинематических вариантов; в этом выражении множитель  $2^P$  учитывает разнообразие вариантов в зависимости от характера поступательных и вращательных движений, а  $3^{(P-1)}$  в зависимости от их относительного направления.

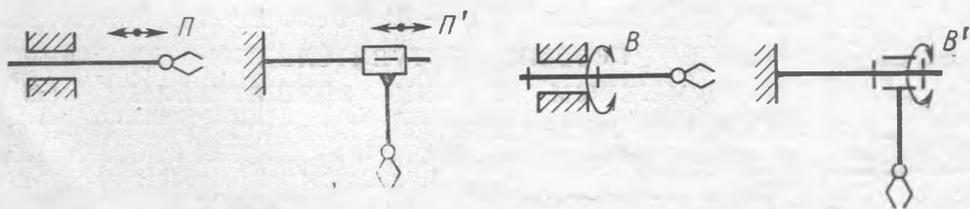


Рис. 1. Характер поступательных ( $\Pi$  и  $\Pi'$ ) и вращательных ( $B$  и  $B'$ ) движений робота

Робот с двумя степенями свободы ( $P=2$ ) имеет четыре ( $m_2=2^2=4$ ) конструктивных варианта (ПП, ПВ, ВП, ВВ), каждый из которых содержит по 12 ( $n_2=2^2 \cdot 3^1=12$ ) кинематических вариантов. Однако из  $4 \times 12=48$  теоретически возможных вариантов типовыми являются лишь 15 (рис. 2); эти варианты различаются между собой конструктивным исполнением, формой рабочей зоны и характером ее образования. Рабочую зону в виде разнообразных поверхностей обеспечивают только девять вариантов, которые и следует считать наиболее целесообразными. Анализ показывает, что варианты с прямолинейно движущимися «изогнутыми» звеньями  $P'$  обеспечивают дополнительные варианты только в сочетании  $V||P'$  в отличие от  $V||P$ . Поэтому в дальнейшем  $P'$  учитывается только в таком сочетании.

Роботы с тремя степенями свободы движения [2, 3] имеют восемь ( $m_3=2^3=8$ ) конструктивных вариантов. Это же число вариантов можно получить в результате присоединения к конструктивным вариантам роботов с двумя степенями свободы дополнительного

поступательного или вращательного движения. Для удобства анализа присоединение дополнительной степени свободы лучше осуществлять в начале кинематической цепи; тогда рабочие зоны роботов с тремя степенями свободы могут быть получены как результат поступательного или вращательного перемещения приемлемых типовых рабочих зон, образованных кинематическими схемами роботов с двумя степенями свободы. Так как каждое движение ( $P, V'$  и  $V$ ) может быть параллельным, перпендикулярным или скрещивающимся относительно предыдущего движения, то основных пространственных перемещений ранее полученных рабочих зон будет девять. Следовательно, общее число подлежащих анализу вариантов кинематических схем роботов с тремя степенями свободы равно произведению количества приемлемых типовых вариантов с двумя степенями свободы на количество основных перемещений, т. е.  $9 \cdot 9=81$ . Аналогично можно определить число кинематических вариантов, приходящихся на каждый конструктивный вариант. В этих случаях следует учитывать, что при присоединении поступательных движений число этих вариантов будет равно произведению числа типовых вариантов предшествующего сочетания на три, а при присоединении вращательных движений — на шесть. Заметим, что варианты с присоединенными вращательными движениями могут иметь ряд промежуточных, которые будут отличаться только эксцентриситетом положения оси вращения относительно оси симметрии перемещаемой рабочей зоны. В ряде случаев при рассмотрении кинематических вариантов необходимо учитывать различное отношение направлений движений не только между смежными, но и несмежными степенями свободы.

С учетом отмеченных дополнений такой метод позволяет значительно уменьшить число рассматриваемых схем, охватив при этом их всевозможные разновидности.

Типовые варианты кинематических схем и рабочие зоны роботов с тремя степенями свободы приведены на рис. 3. В двойных обозначениях направлений движений, например,  $P \perp || P \perp V'$ , первый знак ( $\perp$ ) указывает на отношение движений между смежными степенями свободы ( $P$  и  $P$ ), а второй знак ( $||$ ) — на отношение движений между первым поступательным движением и несмежным с ним вращательным ( $V'$ ). Помимо приведенных на рис. 3 вариантов, определенный интерес может представлять также вариант  $V' || V' || V'$  с плоской рабочей зоной, который в сочетании с другими степенями свободы обладает рядом достоинств.

Рабочая зона	Конструктивные варианты			
	пп	пв	вп	вв
Точка	—	—	—	
Линия		—	—	
Линия с ориентирующим движением	—			
Поверхность				
	—			
	—	—	—	
	—	—	—	

Рис. 2. Типовые варианты кинематических схем роботов с двумя степенями свободы, обеспечиваемые ими рабочие зоны и структуры движений

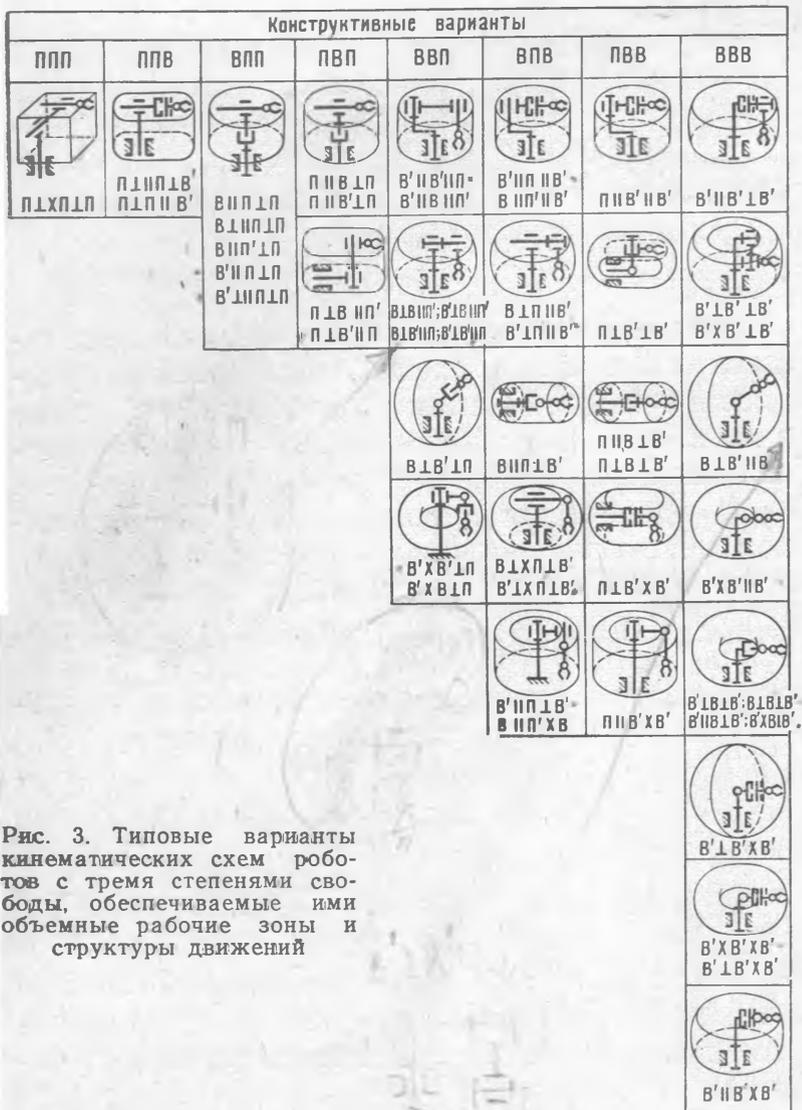


Рис. 3. Типовые варианты кинематических схем роботов с тремя степенями свободы, обеспечиваемые ими объемные рабочие зоны и структуры движений

Кинематические схемы роботов с большим числом степеней свободы можно также получить в результате присоединения дополни-

тельных поступательных или вращательных движений. Число конструктивных и кинематических вариантов при этом определяется аналогично схемам стремя степенями свободы с тем отличием, что в основу их образования должны быть положены объемные рабочие зоны. Любое последующее перемещение таких зон за счет добавления степеней свободы будет также обеспечивать объемные зоны.

Для упрощения определения типовых кинематических вариантов роботов их анализ можно выполнять по отдельным кинематическим группам [4], различающимся между собой функциональным назначением. Это дает возможность значительно уменьшить число степеней свободы рассматриваемых схем.

### Вывод

Предложенный метод анализа позволяет более просто и полно определять наиболее приемлемые варианты кинематических схем роботов.

### Список литературы

1. Виленкин Н. Я. Комбинаторика. М.: Наука, 1969.
2. Автоматические манипуляторы с программным управлением (промышленные роботы). Состояние, перспективы, проблемы / А. Е. Кобринский, А. И. Корендяев, Б. Л. Саламандра, Л. И. Тывес. — Станки и инструмент, 1974, № 11.
3. Камышный Н. И., Павленко И. И. Кинематика промышленных роботов. — Вестник машиностроения, 1975, № 1, с. 63—65.
4. Павленко И. И. Кинематическая структура промышленных роботов. — Изв. вузов. Машиностроение, 1977, № 9.

УДК 621.88.084.001.24

## Несущая способность прессовых соединений при циклическом изгибе

Д-р техн. наук И. В. КУДРЯВЦЕВ, канд. техн. наук А. А. ПОПОВ,  
канд. техн. наук В. М. ТИМОНИН, инж. М. В. ЯРОШЕНКО

Практика эксплуатации прессовых соединений показывает, что помимо разрушения валов в запрессовках возможны случаи проворачивания и распрессовки соединения (сползание колес у колесных пар рельсового транспорта, выпрессовка лопасти из ступицы сборного гребного винта и т. д.).

Задача оценки прочности прессовых соединений на сопротивление распрессовке имеет достаточно точное решение при действии осевых нагрузок и кручении; что касается прочности прессовых соединений при изгибе, то данный вопрос изучен недостаточно.

Указывают [1], что распрессовка соединений возможна под действием не только осевой нагрузки, но и переменного изгиба. В последнем случае наблюдается так называемый «выталкивающий эффект», причиной которого является взаимное проскальзывание сопряженных поверхностей. Однако предложенная схема не позволяет количественно оценить данный эффект.

На основе известной задачи о конструкционном демпфировании в деталях с прессовой посадкой [2] разработана методика расчета прессовых соединений консольного типа на циклическую распрессовку при чистом изгибе (рис. 1).

Предполагается, что поперечные сечения вала и втулки остаются при деформации плоскими, но составляют с нормалью к изогнутой оси угол  $\gamma$ , пропорциональный поперечной силе в данном сечении.

При действии изгибающего момента  $M$