Министерство образования РФ

Тверской Государственный Технический Университет

Кафедра "Металлорежущие станки и инструменты"

# Изучение механизмов металорежущих станков

### Методические указания

к лабораторной работе по курсу "Металорежущие станки"

для студентов специальности 1201- "Технология машиностроения"

## Тверь 2001

В методических указаниях к лабораторной работе "Изучение механизмов металлорежущих станков" изложены основные понятия и положения по систематике и функциональному назначению механизмов, входящих в кинематические цепи станков.

Лабораторная работа предназначена для изучения курса "Металлорежущие станки". Методические указания (второе издание) рекомендованы к применению на заседании кафедры "Металлорежущие станки и инструменты" (протокол №2 от 02.11.2000)

*Автор: Клюйко Э.В.*

##### СОДЕРЖАНИЕ

|  |  |
| --- | --- |
|  | Стр. |
| 1. 1. Цель работы............................................................................................ | 3 |
| 1. 2. Порядок проведения работы................................................................. | 3 |
| 1. 3. Назначение и состав механиз­мов......................................................... | 3 |
| 1. 4. Структурные свойства механизмов.................................................... | 8 |
| 1. 5. Функциональные свойства механизмов ............................................. | 11 |
| 1. 6. Примеры анализа механизмов.............................................................. | 13 |
| 1. 7. Индивидуальные задания по анализу механизмов............................. | 17 |
| 1. 8. Контрольные вопросы........................................................................... | 18 |
| 9. Библиографический список ................................................................. | 18 |
| 10. Приложение ............................................... ......................................... | 19 |

**1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

1. Изучить основные свойства передаточных механизмов станков.
2. Приобрести определенные навыки в анализе структурных и функциональных свойств механизмов станков.

**2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ**

1. Ознакомиться с основными свойствими передаточные меха­низмов станков,
2. Изучить методику анализа структурных и функциональных свойств механизмов станков.
3. По индивидуальному заданию (альбом, макеты механизмов и Приложение на стр 20…22) проанализировать основные свойства и характеристики станочных механизмов.

**3. НАЗНАЧЕНИЕ И СОСТАВ МЕХАНИЗМОВ**

В металлорежущих станках все многообразие механизмов, пред­назначенных для создания определенных движений, подразделяют на двигательные (приводные), передаточные и исполнительные (формообразующие). Наиболее многочисленные из них передаточные [1,4]. Отличаются они друг от друга по назначению (реверсирующие, суммирующие, корректирующие и др.), по конструкции (шарнирно-рычажные, кулачковые, зубчатые, винтовые и др.) по исполнению опор и зацеплении (передачи скольжения, передачи качения и т.д.).

***Механизмы*** представляют собой (рис. 1) подвижные соединения несколь­ких тел, предназначенных для преобразования движений. Имеется в виду как замена одного вида движения на другое (рис. 1а, 1в), так и передача движения с количественным изменением его параметров (рис. 1г). В качестве основных характеристик движения при настройке механизмов станков, используют пять параметров: траекторию, путь (угловой или линейный), скорость, направление и положение входного или выходного звеньев [2,4].

***Передаточные механизмы*** состоят из звеньев, образующих на стыках между собой кинематические пары (j;k). Звено j или k - это одно ли несколько деталей, жестко (без относительных смещений) связанных между собой. Например, на рис. 1г звено 3 образуют вал и закрепленные на нем шестерни z4 и z5. Звенья могут быть твердыми и деформируемыми, подвижными и неподвижными, ведущими и ведомыми. Основные типы подвижных звеньев, применяемые в станках приведены в таблице 1 и в альбоме ([3], стр.63). Кроме концевых подвижных звеньев в механизмах могут быть промежуточные подвижные звенья и всегда есть одно неподвижное звено, называемое *основанием* или *стойкой*. Поэтому можно сказать, что механизм - это многозвенная подвижная передаточная система с одним неподвижным звеном. На рис. 1а показан четырехзвенный (с учетом стойки) механизм привода ползуна 3 долбежного станка. Для компенсации перекосов в шарнирах и смягчения ударной нагрузки в паре (1;2) введена избыточная подвижность (ϖ12=2 вместо ϖ12=1). Для придания повышенной жесткости одинаковым рычагам 1 и 3 (рис 1б) к ним в пятизвенном механизме зажимного приспособления присоединен дополнительный шатун 4. На рис 1б показан простейший трехзвенный пространственный механизм с дисковым кулачком 1 и качающимся толкателем 2, применяемый в приводе подачи шпиндельной бабки токарного автомата (кулачок вращается параллельно плоскости *yz,* а толкатель качается в плоскости *ху*). Сложный восьмизвенный двухпоточный механизм привода стола продольно-фрезерного станка (рис. 1г) позволяет уменьшить зазоры в косозубых зубчатых передачах и распределить силовую нагрузку между приводными валами 4 и 6 в соответствии с их жесткостью.

Рис.1. Примеры передаточных механизмов:

а) – кривошипно-ползунный механизм с избыточной подвижностью в паре (1;2);

б) – шарнирно рычажный механизм с избыточным звеном 4;

в) – кулачково-рычажный пространственный механизм;

г) – зубчатый замкнутый механизм привода стола

Таблица 1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Основные типы звеньев в механизмах | | | |
| *№* | Тип звена | Назначение | Условное обозначение |
| *1* | Стойка  (основание) | неподвижное звено |  |
| *2* | Кривошип | вращательное звено |  |
| *3* | Коромысло (рычаг) | качательное звено |  |
| 4 | Кулачок | вращательное или по­ступательное звено с плоским или пространственным криволинейным профилем |  |
| 5 | Шестерня | вращательное звено в виде колеса с зубчатым венцом |  |
| 6 | Рейка | поступательное звено в виде стержня с зубчатой нарезкой |  |
| 7 | Шатун | Звено, совершающее  плоское или пространственное движение |  |
| 8 | Ползун (толкатель) | Звено, совершающее поступательное движение |  |
| 9 | Кулиса | Звено, совершающее любое движение и не­сущее направляющие плоскости для другого звена |  |
| 10 | Винт  (ходовой винт) | Звено в виде вала с винтовой на­резкой для создания вращательного поступательного или винтового движения |  |
| 11 | Гайка  а– простая  б– маточная  в– шариковая | звено, охватывающее в зацеплении ходовой винт для передачи движения | *а б в* |

***Кинематическая пара (j;k)*** представляет собой подвижное соединение двух звеньев *j* и *k*. Подвижное соединение может быть выполнено по поверхностям (в низших парах) и по линиям или точкам (в высших парах). Подвижный контакт в парах может поддерживаться геометрическим, силовым или кинематическим замыканием. В первом случае используют ограничение (охват) одних поверхностей другими (рис. 1а, направляющая О для ползуна 3), во втором – применяют пружины (рис 1в), груз или гидроприжим, в третьем – используют дополнительную кинематическую цепь механизмов (рис. 1г). Конструктивно кинематическая пара обычно представляет собой подвижный контакт звеньевв подшипниковых опорах или зацепление этих звеьев. Основные типы пар приведены в таблице 2 (арабскими цифрами в таблице обозначены звенья.)

Основной характеристикой кинематической пары является ее ***подвижность ϖjk***, т.е число относительных смещений (линейных или угловых) между звеньями *j* и *k*.

Таким образом, ***передаточный механизм*** - это совокупность нескольких звеньев, связанных в кинематические пары и предназначенных для преобразования движений одних звеньев (входных) в движения других звеньев (выходных). В таблице 3 приведены основные типы передаточных механизмов общего назначения, применяемые в станках.

Наряду с обычными механическими передачами в металлорежущих станках применяют ***технологические механизмы***, которые являются основными исполнительными механизмами станков и отличаются от передаточных механизмов наличием ***технологической пары***, представляющей собой подвижный контакт инструмента относительно обрабатываемого изделия (табл.2). В технологической паре вместо скольжения или качения создается срезание материала и формообразование изделия. В соответствии с способом обработки технологические пары называют токарными, фрезерными, шлифовальными парами и т.д. На рис.2. приведен пример механизма шлифования с одной шлифовальной парой (2;5)

Рис.2. Механизм врезного шлифования кулачков распредвалов: 1-качающаяся люлька, несущая на себе шпиндель 2 с изделием *Д* и копиром *К*;

3-копировальный ролик, установленный на

подшипниках *О1* и контактирующий с копиром;

4-шлифкруг на шпиндельных опорах *О2*.

Пружина *П* создает силовой контакт между

копиром и роликом. Ведущим является вращение

шпинделя 2 с изделием и копиром.

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Типы кинематических пар в передаточных механизмах (по ГОСТ 2.770-68 и по рекомендациям ICO ТК/10 ПК4 | | | | | | | | | |
| № | Наименование | Условное изображение | Подвижность, *ϖjk*, | Замыкание | № | Наименование | Условное изображение | Подвижность, *ϖjk*, | Замыкание |
| 1 | Ползунная |  | 1 | Геометрическое | 6 | Сферическая а) обычная  б) с пальцем |  | 3  2 | геометри-ческое |
| 2 | Вращательная |  | 1 | -“- | 7 | Зубчатая а) плоская  б) пространственная |  | 2  4 или 5 | силовое и геометрическое |
| 3 | Винтовая а) скольжения  б) качения |  | 1 | -“- | 8 | Кулачковая а) плоская    б) пространственная |  | 2  4 или 5 | силовое и геометрическое |
| 4 | Цилиндри-ческая |  | 2 | -“- |
|
| 9 | Технологическая (токарная, фрезерная, шлифовальная и т.д.) а) с линейным формообразующим контактом  б) с точечным формообразующим контактом |  | 1  2 | силовое |
| 5 | Плоская а) обычная  б) с пальцем |  | 3  2 | Силовое  Силовое и геометрическое |

**4. СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА МЕХАНИЗМОВ**

**4.1. Сложность N механизма**. В металлорежущих станках сложные подвижные механические системы, передающие движе­ния от входного звена к выходному (шпиндель, суппорт и т.д.) и образующие последовательные связи между этими звеньями, называют ***кинематической цепью*** механизмов Еще более сложными яв­ляются так называемые ***кинематические группы*** [2], которые предназначены для создания сложных исполнительных движений и состоящие из нескольких кинематических цепей. Любые кинематические цепи механизмов или их участки, образующие сложные механизмы, могут быть расчленены на простые.

***Простой механизм (или передача)***- это такой, в котором число звеньев (с учетом неподвижного) равно числу кинематические пар, то есть p = n + 1, где р – число кинематических пар, n – число подвижных звеньев. Графическое изображение основных типов простых механизмов стандартизовано, (см. **[3],** стр. 65). Каждое звено в простом механизме образует подвижное соединение с двумя другими звеньями. Сложные механизмы содержат несколько простых; в них есть звенья, подвижно связанные более чем с двумя другими звеньями (рис. 3 и 4).

Число N простых механизмов в сложном равно

N = p – n (1)

Если вычисление по формуле (1) дает N = 1, то механизм простой; если N > 1, то механизм сложный; при N < 1 механизм вырождается в жесткую ферму. В числе **р** кинематических пар в формуле (1) не учитывают ***избыточные (пассивные) пары***, вводимые в механизмы в виде дополнительных опор и зацеплений. Например, в дифференциале(рис.5), такой опорой является пара (2;4) между водилом 2 и ступицей 4 шестерен z4 и z8.

Таким образом, степень сложности механизма определяется в нем числом простых передач.

**4.2. Размерность R механизма.** Она определяется числом измерений движения звеньев механизма и равна числу независимых уравнений, связывающих параметры движения (положения или скорости или ускорения) всех звеньев механизма. Например, в шарнирном четырехзвеннике А (рис.3) для четырех переменных параметров положения (углы поворота ϕ4, ϕ5, ϕ6, ϕ7) имеем три независимых уравнения связи, то есть R=3:

1)  -проекция на ось *х*

(2)

2)  -проекция на ось *у*

3)  - сумма внутренних углов 4-звенника

Из примера следует, что размерность простого механизма на единицу меньше числа ϖ∑ параметров его положения, то есть в большинстве механизмов R = (ϖ∑ – 1). Это обстоятельство позволяет определить R для существующего (известного) механизма без составления вышеуказанных уравнений. Например, для передачи «винт-гайка», R=2, так как параметров положения три: угловое положение винта, линейное положение гайки, а также относительное смещение в зацеплении витков винта и гайки. Для неизвестного (нового) механизма система R вышеуказанных уравнений (2) определяет условия существования механизма и ограничивает число измерений пространства, в котором происходит движение. В общем случае пространство движений – шестимерно. Поэтому размерность R простого механизма определяется зависимостью

R=6 – cг (3)

где cг – число общих ***геометрических связей***, ограничивающих пространство движений звеньев механизма. Например, для передачи «винт-гайка» cг=4 (допускается только две подвижности в механизме: вращение вокруг оси винта и перемещение вдоль этой оси), а для кулачкового механизма (рис. 2 в) величина cг=2 (невозможно вращение одного из звеньев вокруг оси *y* и перемещение перпендикулярно плоскости *xy*). Так как движения звеньев механизмов не могут иметь более 6-и измерений, то все простые механизмы делят на:

1. ***одномерные***, R=1 (приводные электро-, гидро- и пневмодвигатели);
2. ***двухмерные***, R=2 (например, трехзвенные клиновые, винтовые и фрикционные механизмы);
3. ***трехмерные***, R=3 (все плоские шарнирно-рычажные, кулачковые, зубчатые и поводковые механизмы, а также сферические и зубчато-рычажные механизмы);
4. ***четырехмерные***, R=4 (например пространственные рычажно-винтовые и кулачковые механизмы;
5. ***пятимерные***, R=5 (например пространственные шарнирно-рычажные, кулачковые и зубчато-рычажные механизмы);
6. ***шестимерные***, R=6 (например пространственные шарнирно-рычажные, кулачковые и зубчато-рычажные механизмы)

**4.3. Подвижность W механизма.** Она определяется числом степеней свободы движений в механизме, т.е. числом независимых движений на разных входных звеньях, передающих их на одно выходное звено механизма. В соответствии с этим механизмы могут быть ***одноподвижными*** (подавляющее большинство) и ***многоподвижными***. Примерами последних являются разнообразные суммирующие механизмы станков ([3], стр.79) и промышленные роботы. Подвижность всего механизма зависит от подвижностей  отдельных кинематических пар (j;k), определяемых числом возможных перемещений одного звена пары относительно другого. Могут быть одно-, двух-,…, пятиподвижные кинематические пары (табл.2).

В сложном передаточном механизме общая подвижность определяется следующим выражением:

 (4)

где  - суммарная подвижность всех *р* кинематических пар механизма, ;

R∑ - сумма размерностей N простых механизмов, входящих в состав сложного, R∑= R1+ R2+…+ RN;

ϖп – число местных ***избыточных (пассивных) подвижностей*** в кинематических парах. Например, лишняя подвижность в паре Р12 (рис.1а) или «лишнее» вращение ролика 2 (рис.3) на рычажном толкателе 3, не влияют на положение и движение других звеньев механизма. Избыточные подвижности применяют для уменьшения трения, для компенсации перекосов и других погрешностей с целью повышения работоспособности механизмов.

*ск*- число ***жестких кинематических связей*** в сложном механизме. К числу кинематических связей относятся как отдельные дополнительные звенья (рычаги, кулачки, шестерни и т.п.), так и цепи дополнительных механизмов, дублирующих или дополняющих работу основных передач. Указанные кинематические связи образуют ***замкнутые механические контуры*** (замкнутые механизмы) и способствуют повышению точности, жесткости и других свойств механизмов. Примерами простейших кинематических связей являются дополнительные шатун 4 (рис.1б) и сателлит 7 (рис.5). Пример более сложной кинематической связи показан на рис.1г. Здесь от двигателя М с помощью зубчатой пары z1/z2 на вал 2 передается вращение, которое затем разделяется на два потока передачами z3/z4 , z5/z6 и z7/z8 , z9/z10, замыкаясь с помощью шестерен z11 и z12 на зубчатой рейке, закрепленной на столе станка. Усилие Q гидроцилиндра или мощной пружины 3 на вал2, благодаря косозубым зацеплениям шестерен, создает дополнительный натяг между боковыми поверхностями зубьев колес z11, z12 с рейкой. В этом механизме n=7, p=14, N=7, ск=1 (один замкнутый контур), ϖп=0 и W = ( 14 + 7 ) + 1 – 7 ⋅ 3 = 1 (все простые механизмы – трехмерные, *Rj=3*).

Подвижность простого механизма в соответствии с (4) равна:

W = ϖΣ - Rj - ϖп (5)

Здесь ск=0, т.к. введение кинематических связей в простой механизм делает его сложным. Например, присоединение дополнительного шатуна 4 (рис. 1б) в шарнирный четырехзвенник добавляет в него две кинематические пары, поэтому N = 6 – 4 = 2 (два подобных четырехзвенника).

**5. ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА МЕХАНИЗМОВ.**

**5.1. Трансформизм**. Он характеризуется ***передаточным отношением*** *i12*, равным производной от параметра положения (ϕ2, S2) выходного звена 2 по параметру положения (ϕ1, S1) входного звена 1 (ϕj – угол поворота, Sj – линейное смещение звена j). Величина *i12* определяется по формулам:



здесь ω1, ω2, V1, V2 – угловая и линейная скорость звеньев 1 и 2.

Для механизмов, в которых входные и выходные звенья имеют равномерные движения вместо понятия передаточное отношение *i12* удобнее пользоваться понятием ***ход* Sjk *механизма***, под которым понимают угловое (или прямолинейное) перемещение ведомого звена 2 за один *оборот* (или один *мм*) перемещения ведущего звена 1. В зависимости от типа передач ход S12 равен:



Если механизм сложный (кинематическая цепь механизмов с *n* подвижными звеньями), то передаточное отношение *i*1n от звена 1 к звену *n* равно:

, (6)

то есть передаточное отношение сложного механизма равно произведению передаточных отношений простых механизмов. Соответственно, если перемещения звеньев в механизме определяется с помощью ходов Sjk простых механизмов, то xод *S1n* сложного механизма:

 (7)

**5.2. Равномерность (линейность) механизма.** Это свойство определяется постоянством хода или передаточного отношения в механизме. Если, например, ϕ1 – угол поворота входного звена, ϕ2 – угол поворота выходного звена и ϕ2=i12ϕ1, где i12=const, то механизм линейный; если i12≠const, то механизм неравномерный. Наличие в сложном механизме хотя бы одного простого неравномерного механизма делает весь сложный механизм тоже неравномерным.

В таблице 3 приведены основные типы станочных равномерных механизмов, их ходы S12 и передаточные отношения i12. В примечании к табл.3 указаны расчетные параметры этих механизмов.

Нелинейность движения механизма оценивают коэффициентом неравномерности  равным:

, (7)

где D - диапазон скоростей, D = Vmax/Vmin ; Vmax, Vmin – скорость (наибольшая и наименьшая) на выходном звене механизма. У равномерных механизмов . Равномерными являются зубчатые, винтовые, фрикционные и некоторые другие механизмы.

**5.3. Реверсивность механизма** – свойство изменять направление движения на выходном звене при неизменном направлении движения входного звена. Достигается это либо переключением специально вводимых в сложный механизм реверсивных устройств ([3, стр.74]), либо без переключения, так как это свойство органически присуще данному механизму (например, кривошипному или кулачковому). В переключаемых реверсивных механизмах различают два состояния и соответствующие им два передаточных отношения или хода iP1, iP2 или SP1, SP2, которые обычно одинаковы и постоянны по величине, но отличаются друг от друга знаком. В большинстве шарнирно-рычажных и кулачковых реверсивных механизмах передаточное отношение обычно переменное по знаку и величине.

**5.4. Обратимость механизма**. Это свойство механизма позволяет передавать движение в обоих направлениях (от звена 1 к звену *n* и, при необходимости, от звена *n* к звену 1). Такая особенность механизмов объясняется, в основном, трением в кинематических парах. В необратимых механизмах в результате ***самоторможения*** в одной или в нескольких парах движение возможно только в одном направлении. Самотормозящими и, следовательно, *необратимыми* могут быть винтовые, кулачковые, некоторые зубчатые (например, червячные) и другие передачи скольжения. Напротив, передачи качения являются, как правило несамотормозящими (обратимыми), так как в зацепление между витками (зубцами) звеньев вводят тела качения (шарики или ролики) и коэффициент трения очень мал. Например, в передаче «винт-гайка качения» небольшой нажим (от руки) на гайку вдоль ее оси приводит винт во вращение. Для обратимых механизмов имеет место равенство i1n=1/in1 , то есть передаточное отношение (и ход) в механизме от звена 1 к звену n обратно передаточному отношению in1 (ходу) от звена n к звену 1. Если хотя бы одна кинематическая пара в механизме самотормозящая, то механизм в целом необратимый.

**5.5. Регулируемость механизма**. Данное свойство определяется возможностью существенного изменения (или небольшой корректировки) какого-либо параметра движения в механизме. Изменяемыми параметрами движения могут быть: ***длина хода*** (угловой или линейный путь), ***скорость (угловая или линейная), направление движения*** и ***исходное положение*** одного из звеньев механизма. Регулировки в механизмах достигаются переключением коробок скоростей и подач, изменением относительного положения или длины одного из звеньев или заменой звеньев (сменных кулачков или шестерен и т.д.), а также введением в механизм специальных корректирующих устройств (см. [3, стр.66,67]).

В общем случае регулируемость механизма по параметру *xj* на выходном звене характеризуется диапазоном *DX* регулирования, *DX*=*xmax/ xmin,* где *xmax , xmin* – максимальное и минимальное значения регулируемого параметра. В качестве параметра *xj* обычно выбирают линейную или угловую скорость, угловую частоту (в оборотах в минуту или в двойных ходах в мин), путь (угловой или линейный) и другие характеристики.

**6. ПРИМЕРЫ АНАЛИЗА МЕХАНИЗМОВ**

**6.1. Кулачково-рычажный механизм привода подачи поперечного суппорта токарного станка-автомата.**

1. Механизм преобразует вращение В1 сменного кулачка 1 (рис.3) в поступательное движение П7 суппорта 7. Промежуточные звенья:

2-ролик, 3 и 4– коромысла с зубчатыми секторами, 5- шатун,

6-коромысло с регулируемой длиной *lx* рычага, 7- ползун (суппорт), 0- стойка.

1. Число подвижных звеньев n=7; кинематических пар p=11, три из которых двухподвижные (ϖ12, ϖ34, ϖ67). Суммарная подвижность –

ϖΣ = 8 ⋅ 1 + 3 ⋅ 2 = 14.

1. Простых механизмов в сложном N = 11 – 7 = 4 (кулачково-рычажный с звеньями 0, 1, 2, 3; зубчато-рычажный с звеньями 0, 3, 4; шарнирный 4-звенник с звеньями 0, 4, 5, 6; рычажно-ползунный с звеньями 0, 6, 7). Размерность всех простых механизмов (все они плоские): R1=R2= R3= R4= 3
2. Общая подвижность механизма по формуле (2) W=14-4⋅3-1=1. Здесь ϖ0=1 – местная подвижность ролика 2 в паре ϖ23 с коромыслом 3.
3. Механизм неравномерный, так как содержит шарнирно-рычажные передачи.
4. Механизм реверсивный, так как реверсивна кулачковая передача.
5. Механизм необратимый, так как необратима кулачково-рычажная передача.
6. Механизм регулируемый, так как изменением длины *lx* рычага в коромысле 6 корректируется длина хода Нх суппорта 7, а заменой кулачка 1 изменяется длина хода и скорость подачи суппорта.

**6.2. Промышленный робот (рис. 4)**

1. В основании 0 размещен приводной двигательМ1, в подвижной стойке 4 установлены двигатели М2, М3 , а на конце руки 6 закреплен пневмодвигатель ПД, ротор 7 которого непосредственно связан со схватом робота. Остальные звенья: 1-шестерня, 2-поворотная платформа, жестко связанная с шестерней, 3 и 5 –ходовые винты.
2. Число подвижных звеньев n=7, кинематических пар Р=10 (одна из них двухподвижная ϖ12), суммарная их подвижность ϖΣ=9⋅1+1⋅2=11.
3. Степень сложности N = 10 – 7 = 3. Промышленный робот содержит 3 простых передаточных механизма: зубчатый с подвижными звеньями 1-2 (R1=3) и два винтовых, с подвижными звеньями 3-4 и 5-6 (R2=R3=2).
4. Общая подвижность механизма W = 11 – (3 + 2 ⋅ 2) = 4, то есть робот 4-подвижный: три подвижности (В2, П4, П6) реализуются от двигателей М1, М2, М3, вращающих входные звенья 1,3,5, а одна подвижность (В7) осуществляется непосредственно (без передаточного механизма) от неполноповоротного пневмодвигателя ПД.
5. Механизм равномерный, нереверсивный, необратимый (содержит винтовые пары скольжения) и регулируемый (направление движения изменяется двигателями, а исходное положение и длина перемещений - путевыми упорами, переключающими двигатели).

Рис. 3 Семизвенный плоский механизм привода подачи суппорта

Рис. 4. Четырехподвижный промышленный робот с

цилиндрической координатной системой

**6.3. Суммирующий механизм (рис. 5)**

1. В этом механизме ведущими являются валы 1 и 3, ведомыми– вал 7. Цепь передач от вала 1 к валу 7 состоит из червячной передачи z1/z2 и планетарной передачи, в которой вал 2 жестко связан с осями сателлитов 5 и 6, образуя так называемое водило. Последнее передает вращение через шестерни 5 и 6 на вал 7. Вторая цепь (от вала 3) состоит из передач z3/z4, z8/z5, z5/z7 и дублирующих передач z8/z6, z6/z7.
2. Число подвижных звеньев n=7, кинематических пар Р=14 (из них шесть пар –двухподвижные, зубчатые); одна пара (2;4) – пассивная поэтому общая подвижность ϖ∑=(14–1)+6=19
3. Сложность механизма N=13-7=6 (две червячных и четыре конических передачи с размерностями Rj=3)
4. Общая подвижность W=19+1–6⋅3=2. Здесь *ск*=1 – один замкнутый контур конических передач.
5. Механизм равномерный, нереверсивный, необратимый и нерегулируемый.

Рис. 5. Конический дифференциал: М1, М2 – электродвигатели соответственно

для ускоренного и рабочего хода, 1– вал с червяком z1, 2- вал с закрепленным

на нем водилом В и шестерней z2, 3- вал с червяком z3, 4- ступица с закрепленными

на ней шестернями z4 и z8, 5 и 6 – сателлиты, свободно насаженные на водило В,

7- выходной вал с шестерней z7; пара (2;4) – избыточная, ϖ24=1.

**7. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ПО АНАЛИЗУ МЕХАНИЗМОВ**

7.1. В приложении (стр. 20, 21) предусмотрены задания для 20 вариантов (см. табл. 4). В задании № 1 по схеме механизма необходимо дать его анализ по методике п.7.2. (см. примеры в п.6). В задании 2 предварительно нужно по макету механизма составить его кинематическую схему, учитывая правила изображения звеньев и кинематических пар (табл.1 и 2).

7.2. При анализе свойств механизмов необходимо:

1. Разобраться в принципе действия и составных частях механизма.
2. Изобразить кинематическую схему механизма, указав в ней все звенья, кинематические пары и их подвижности ϖjk. При выполнении задания №3 рекомендуется кроме табл. 1 и 2 использовать условные обозначения механизмов в [3, стр.62-65].
3. Дать краткое описание принципа работы механизма с наименованием всех звеньев.
4. Проанализировать структуру механизма в следующем порядке
   * указать общее число *n* подвижных звеньев,
   * указать общее число *р* кинематических пар и определить их суммарную подвижность ϖ∑,
   * по формуле (1) определить степень сложности механизма N и перечислить типы простых механизмов, входящих в состав сложного с указанием их звеньев и размерностей.
   * по формуле (4) определить подвижность механизма W и указать его входные и выходные звенья.
5. Дать оценку равномерности, реверсивности, обратимости и регулируемости механизмов.

При оценке равномерности движения на макете (задание №2) нужно последовательно, задавая одинаковые перемещения на входном звене, замерить соответствующие перемещения на выходном звене; если  примерно одинаковые, то , механизм равномерный, в противном случае неравномерной.

При оценке регулируемости нужно выявить по каким измененным параметрам движения возможна настройка заданного механизма и с помощью каких приемов.

Таблица 4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Индивидуальное задания | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| №  задания | Варианты | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | |
| 1  (табл.5) | Рис.1 | Рис.2 | Рис.3 | Рис.4 | Рис.5 | Рис.6 | Рис.7 | Рис.8 | Рис.9 | Рис.10 | Рис.11 | Рис.12 | Рис.13 | Рис.14 | Рис.15 | Рис.16 | Рис.17 | Рис.18 | Рис.19 | Рис.20 | |
| 2  (макеты) | №1 | №2 | №3 | №4 | №5 | №6 | №7 | №8 | №9 | №10 | №11 | №12 | №13 | №14 | №15 | №16 | №17 | №18 | №19 | №20 | |

**8.КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Понятие о передаточном и технологическом механизмах и их составе.
2. Понятие о кинематической паре. Типы пар и их свойства.
3. Что такое подвижность механизма? Примеры.
4. Размерность механизма. Классификация механизмов по числу измерений. Примеры.
5. Какие избыточные («пассивные») элементы вводятся в передаточные механизмы и с какой целью. Примеры.
6. Основные особенности простых и сложных механизмов.
7. Может ли входное звено быть выходным? В каких механизмах?
8. Как оценивается равномерность движения механизма?
9. Какие элементы в механизмах регулируются и с какой целью?
10. Что такое ход и передаточное отношение механизма? В чем отличие ходов и передаточных отношений простого и сложного механизмов.
11. Чему равны передаточное отношение и ход в следующих механизмах: в зубчатой цилиндрической передаче, в червячной передаче, в реечной передаче, в винтовой передаче, в ременной передаче, в цепной передаче?

**9. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ СПИСОК**

1. Металлорежущие станки /Под ред. Н.С.Ачеркана.-М.:Машиностроение, 1965.
2. Федотёнок А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков.-М.:Машиностроение, 1970.
3. Клюйко Э.В. Кинематика металлорежущих станков.-Калинин:КПИ, 1974.
4. Клюйко Э.В., Матвеев А.И. Металлорежущие станки общего назначения.-Тверь:ТГТУ, 1999.
5. Клюйко Э.В. Изучение передаточных механизмов металлорежущих станков. Методические указания к лабораторной работе.-Тверь: КПИ, 1991.