

Теория механизмов и машин

Степанов Сергей Константинович

Список рекомендуемой литературы:

- 1. Бегун П.И., Кормилицын О.П. Прикладная механика. – Учебник для вузов. – СПб.: Политехника, 2000. – 464 с.**
- 2. Мамаева Л.П., Федоров В.А. Методические указания к курсовому проекту по прикладной механике для студентов специальностей 0604, 0629 электрофизического факультета. – СПб.: Изд-во ЛЭТИ, 1980. –40 с.**
- 3. Исследование механических свойств материалов и механизмов. Методические указания к лабораторным работам по прикладной механике / сост.: С.В. Воробьев, А.И. Лысков, С.К. Степанов, Ю.А. Шукейло. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012. 64 с.**
- 4. Расчет и конструирование передаточного механизма. / сост.: Кукаев А.С., Патрина Т.А., Теплякова А.В., Степанов С.К. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2024. 144 с.**

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

- 1. Дать знания основ теории и методов расчета и конструирования механизмов.
- 2. Формирование навыков проведения кинематического, силового анализа механизмов и расчетов их элементов и узлов на прочность.

Введение

Важной задачей современной инженерной деятельности является создание новых машин и механизмов, повышающих производительность труда и заменяющих ручной труд машинным.

Теория механизмов и машин (ТММ) является одним из разделов механики, в котором изучается строение, кинематика и динамика механизмов и машин в связи с их анализом и синтезом.

Основные понятия и определения ТММ

Машина – это устройство, созданное человеком для совершения полезной работы, преобразования энергии одного вида в другой и для облегчения физического или умственного труда.

С точки зрения функционального назначения машины делятся на следующие классы:

- 1) энергетические машины (двигатели и генераторы);
- 2) рабочие машины (технологические и транспортные);
- 3) информационные машины (контрольно-управляющие и математические).

Рабочие машины предназначены для выполнения механической работы. *Технологические машины* выполняют функции преобразования формы, свойств и состояния материала или обрабатываемого объекта. К ним относится основное оборудование промышленных предприятий: металлообрабатывающие, деревообрабатывающие станки, прокатные станы, кузнечно-прессовые машины, машины литья под давлением и т.п.; роботы-манипуляторы, предназначенные для выполнения основных технологических операций (сварка, сборка, окраска).

Транспортные машины используются для изменения положения перемещаемого объекта. К ним относятся автомобили, локомотивы, водный и воздушный транспорт, ракеты-носители, подъемно-транспортные машины; роботы-манипуляторы, предназначенные для выполнения транспортных операций.

Информационные машины предназначены для получения и преобразования информации.

Контрольно-управляющие машины преобразуют получаемую контрольно-измерительную информацию с целью управления энергетической или рабочей машинами. *Математические машины* преобразуют информацию, получаемую в виде различных математических образов, заданных в форме отдельных чисел или алгоритмов.

Механизм – это механическая система тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемые движения других тел.

По функциональному назначению механизмы делятся на:

- 1) механизмы двигателей и преобразователей;
- 2) передаточные механизмы;
- 3) исполнительные механизмы;
- 4) механизмы управления, контроля и регулирования;
- 5) различные механизмы более узкой специализации.

Механизмы двигателей осуществляют преобразование различных видов энергии в механическую работу. *Механизмы преобразователей* (генераторов) осуществляют преобразование механической работы в другие виды энергии.

Передаточные механизмы предназначены для передачи движения от двигателя к рабочей машине или исполнительным механизмам.

Исполнительными называются механизмы, которые непосредственно воздействуют на обрабатываемую среду или объект.

Механизмами управления, контроля и регулирования называются различные механизмы и устройства для контроля различных параметров обрабатываемых объектов, различные регуляторы.

Как правило, современные машины представляют собой так называемые машинные установки, т.к. имеют достаточно сложную структуру и состоят из нескольких машин.

Таким образом, как сложные системы, машины состоят из следующих функциональных частей: механическая часть, двигатели, источники питания, система управления движением.

Современные машины, системы управления движением которых построены на основе микропроцессорных средств, образуют особый класс машин – *мехатронные системы*.

Структура механизмов

Несмотря на разницу в назначении механизмов их строение, кинематика и динамика имеет много общего, поэтому исследование механизмов проводится на базе основных принципов современной механики.

Всякий механизм состоит из отдельных тел (деталей), соединенных между собой.

Деталь – это изделие, изготовленное без сборочных операций.

Детали, соединенные между собой неподвижно или с помощью упругих связей, образуют отдельное звено.

Выполнение звеньев из нескольких деталей обеспечивается их соединением. Различают соединения неразъемные (сварные, заклепочные, клеевые) и разъемные (шпоночные, шлицевые, резьбовые).

Звенья в зависимости от вида их материала могут быть твердые и гибкие (например, ремень).

Два звена, соединенных друг с другом подвижно, образуют *кинематическую пару* (к.п.).

Неподвижное звено, состоящее из одной или нескольких деталей, называется *стойкой*.

Каждый механизм имеет стойку и подвижные звенья, среди которых выделяют входные, выходные и промежуточные звенья.

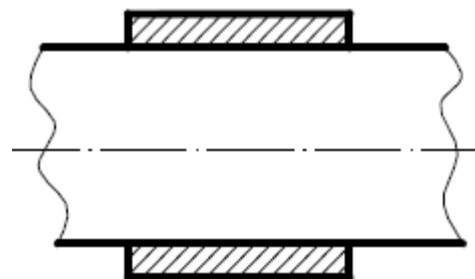
Входным (ведущим) звеньям сообщается движение, преобразуемое механизмом в требуемые движения выходных (ведомых) звеньев с помощью промежуточных звеньев. Обычно в механизме имеется одно входное и выходное звено.

Но в некоторых случаях имеют место механизмы с несколькими входными или выходными звеньями, например, дифференциал автомобиля.

Классификация кинематических пар

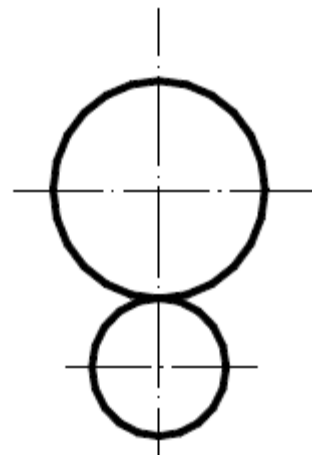
Подвижные соединения двух звеньев, называемые кинематической парой, классифицируются по разным признакам, например, по характеру соприкосновения звеньев – на низшие, когда контакт происходит по поверхности, и высшие, когда контакт звеньев осуществляется по линии или в точке (рис.1, а, б).

а)



Низшая к.п.

б)



Высшая к.п.

Рис.1

Преимуществом низших к.п. является возможность передачи значительных усилий при малом износе, а достоинством высших к.п. возможность воспроизводить достаточно сложные относительные движения.

Низшие к.п. могут быть поступательными, вращательными, плоскими и пространственными. Кинематические пары классифицируют по числу условий связи, накладываемых на звенья при соединении их в к.п.

Любое тело в декартовой системе координат (рис.2) имеет 6 степеней свободы или подвижности ($W=6$), часть из которых уничтожается в к.п., при этом класс к.п. определяется числом накладываемых связей ($6-S$),

где S – число относительных движений звеньев в к.п. Например, на рис. 3 а-д приведены к.п. различных классов.

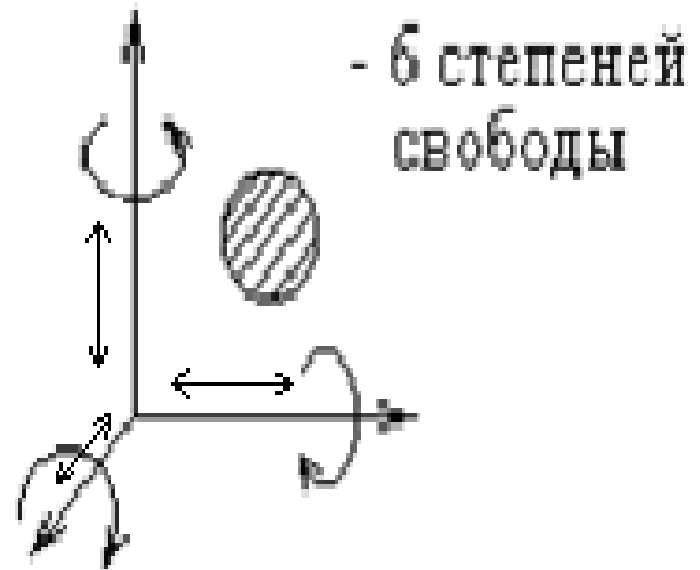


Рис.2

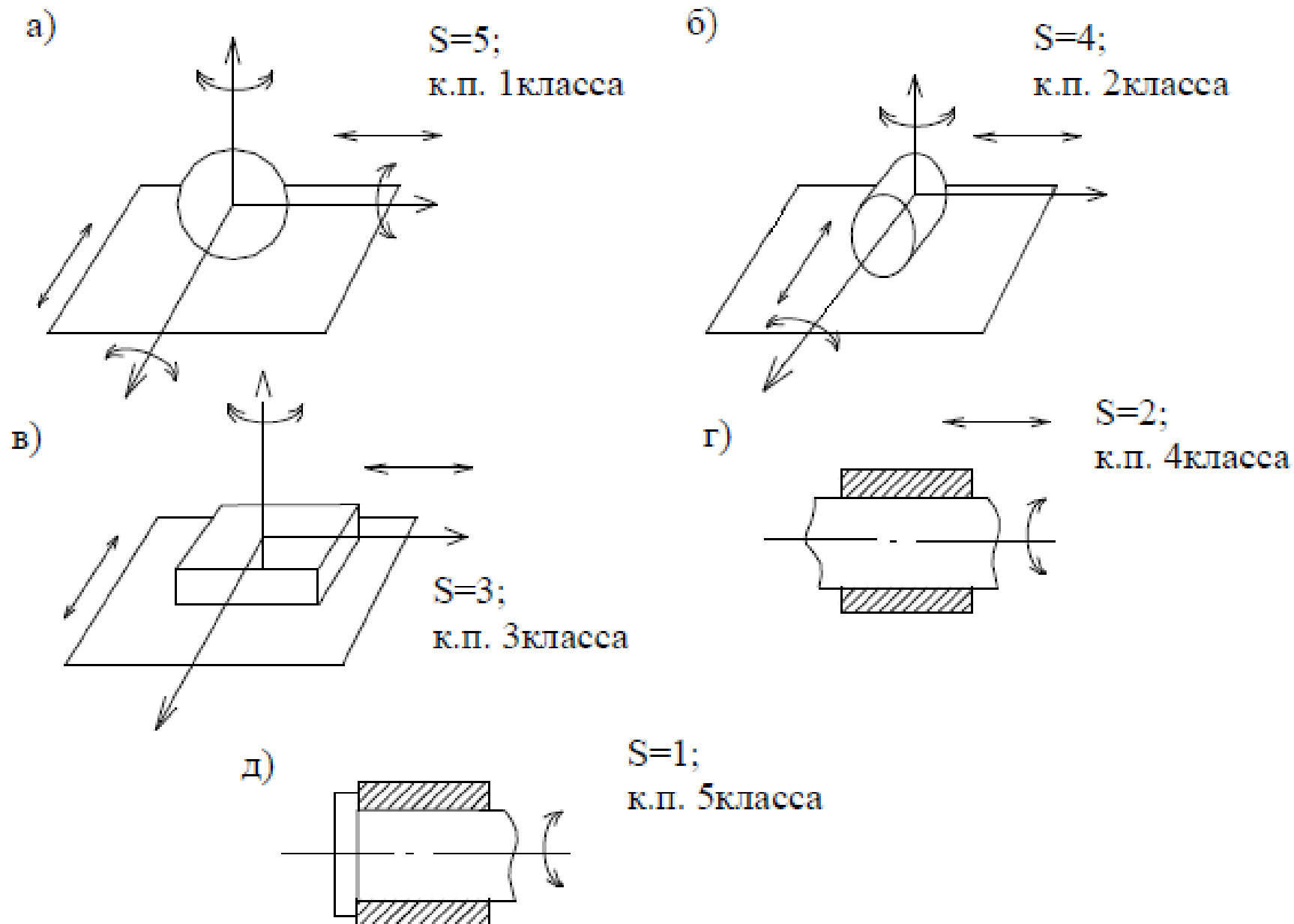
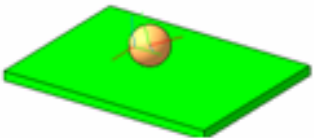
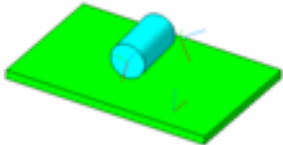
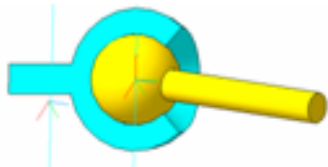
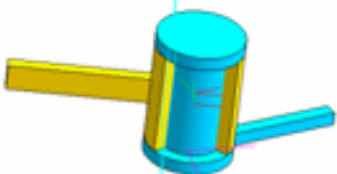


Рис.3

Классификация кинематических пар

Кинематическая пара	Класс пары	Число связей	Подвижность	Обозначение
	1	1	5	P_1
	2	2	4	P_2
	3	3	3	P_3
	4	4	2	P_4
	5	5	1	P_5
				

Кинематические пары и звенья механизмов изображаются упрощенно (рис.4) при соблюдении ГОСТа на обозначения звеньев и к.п. (ГОСТ 2.770-68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы кинематики).

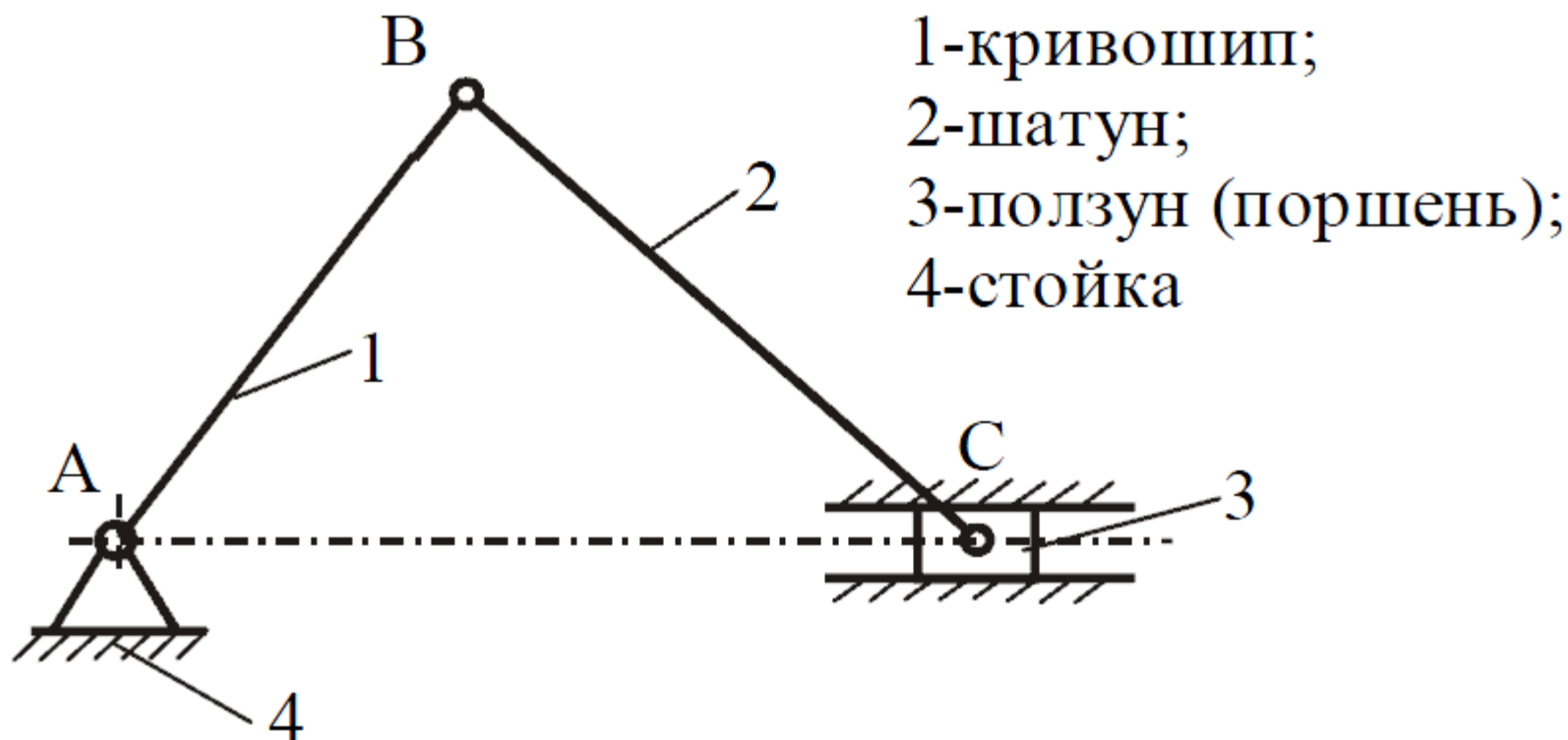


Рис.4

Этот механизм (рис.4) служит для преобразования вращательного движения кривошипа в возвратно-поступательное движение ползуна, если начальным звеном является кривошип, и, наоборот, возвратно-поступательного движения во вращательное, если начальным звеном является ползун.

Применяется такой механизм в паровых машинах, двигателях внутреннего сгорания, поршневых насосах, поршневых компрессорах, приборах.

Для указания на неподвижность звена часть его контура покрывают штриховкой (рис.5).



Рис.5

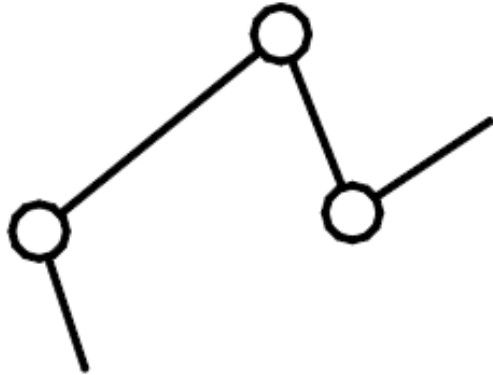
Кинематические цепи и их классификация

Любой механизм представляет собой кинематическую цепь (к.ц.) звеньев, соединенных в кинематические пары. К.ц. могут быть простыми и сложными, открытыми и замкнутыми, плоскими и пространственными.

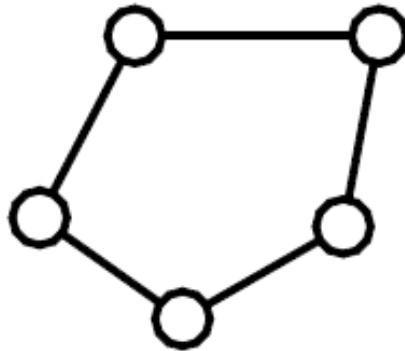
В простой к.ц. каждое из ее звеньев входит в состав одной или двух к.п., а в сложной к.ц. имеются звенья, входящие в состав трех и более к.п.

В открытой к.ц. имеются звенья, входящие в состав одной к.п., а в замкнутой цепи каждое звено входит в состав 2-х и более к.п. (рис.6,а-в).

а) простая
открытая к.ц.



б) простая
замкнутая к.ц.



в) сложная
открытая к.ц.

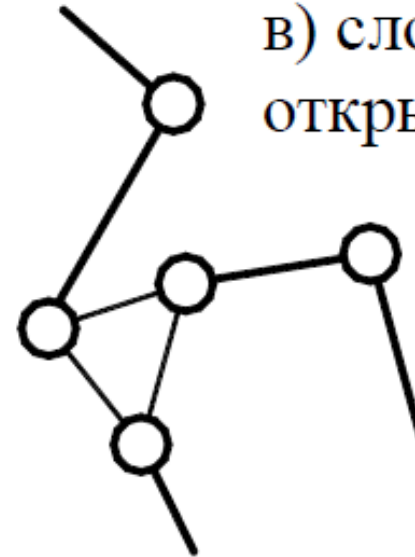


Рис.6

Если точки всех звеньев двигаются в одной или параллельных плоскостях, то к.ц. называется плоской, в противном случае – пространственной (точки звеньев описывают плоские кривые в непараллельных плоскостях или пространственные кривые).

Подвижность механизма

Подвижность (число степеней свободы) W плоского механизма определяют по формуле Чебышева. Ее можно вывести из следующего несложного рассуждения. У плоских механизмов каждое из n подвижных звеньев в плоскости имеет три степени свободы. Каждая из P_H низших кинематических пар отнимет две степени свободы, а каждая из P_B высших кинематических пар - одну. Отсюда подвижность плоского механизма

$$W = 3n - 2P_H - P_B.$$

Например, в плоском механизме, кинематическая схема которого показана на рис. 7, $n = 5$, $P_H = 7$, $P_B = 0$, $W = 1$.

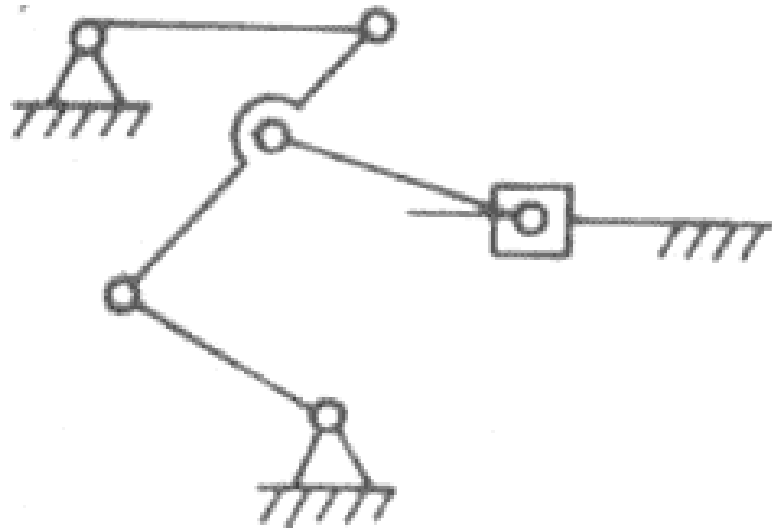
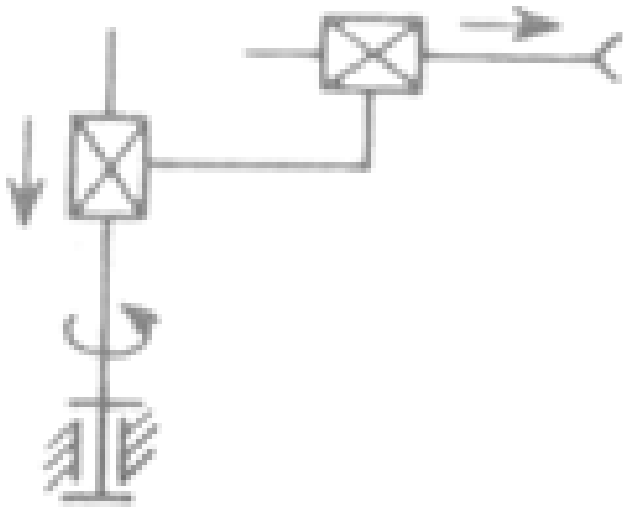


Рис.7

Подвижность пространственного механизма определяют по формуле Сомова—Малышева

$$W = 6n - \sum_{i=1}^5 i P_i,$$

где n — число подвижных звеньев механизма;
 P_i — число кинематических пар i -го класса.



Так, для манипулятора
робота, схема которого
приведена на рис. 8, $n = 3$,
 $P_5 = 3$, $W = 6 \cdot 3 - 5 \cdot 3 = 3$.

Рис.8

Некоторые механизмы могут обладать степенями свободы и связями, которые не оказывают влияния на подвижность механизма, а только определяют характер движения отдельных звеньев. Эти степени свободы называют лишними, а связи — пассивными.

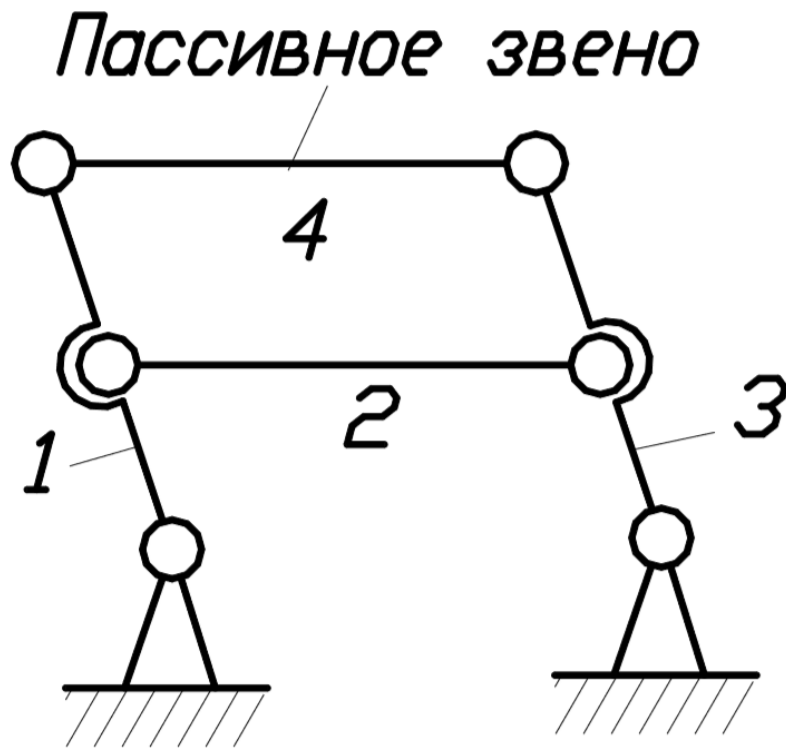


Рис.9

При определении W необходимо учитывать возможность наличия так называемых «пассивных» звеньев, т.е. звеньев, устраняемых без формального ущерба для кинематики анализируемого механизма (рис.9).

а) $W = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 6 - 0 = 0$ – с пассивным звеном,

б) $W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 - 0 = 1$ – фактически.

В качестве основы для изучения, расчета и конструирования механизмов принята практическая классификация, которая в общих чертах учитывает основные кинематические свойства и конструктивные особенности механизмов, а в отдельных случаях — и функциональное назначение.

В электроприборостроении используются следующие основные виды механизмов:

- 1) зубчатые передачи с цилиндрическими и коническими колесами — первые служат для передачи движения при параллельных валах, вторые — для передачи движения при пересекающихся валах;
- 2) червячные передачи — служат для передачи движения при перекрещивающихся валах;
- 3) фрикционные передачи и вариаторы — движение от ведущего звена к ведомому передается за счет сил трения, возникающих между прижатыми друг к другу звеньями;
- 4) кулачковые механизмы;
- 5) шарнирно-рычажные механизмы;
- 6) механизмы прерывистого движения;
- 7) передачи гибкой связью.

Передачи, служащие для понижения скорости, называют **редукторами**, а для повышения скорости — **мультипликаторами**.

Отношение угловых скоростей звеньев называют передаточным. Пусть в передаче (рис. 10) колесо 1 вращается с угловой скоростью ω_1 , а колесо 2 - с угловой скоростью ω_2 . Передаточное отношение от первого звена ко второму $u_{12} = \omega_1/\omega_2$, а от второго звена к первому - $u_{21} = \omega_2/\omega_1$.

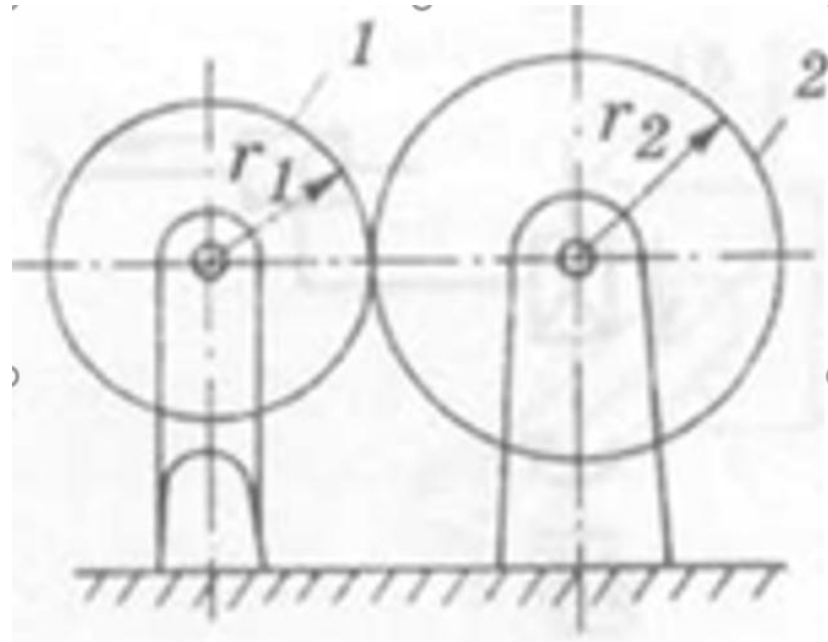


Рис.10

Если передача осуществлена, то на колесах (зубчатых или фрикционных) можно указать окружности, которые перекатываются друг по другу без скольжения. Такие окружности называют начальными. Обозначим как r_1 и r_2 радиусы начальных окружностей, тогда $\omega_1 r_1 = \omega_2 r_2$ и передаточное отношение

$$u_{12} = \omega_1 / \omega_2 = r_2 / r_1.$$

Допустим, что рассматриваемые колеса - зубчатые с шагом зацепления (расстоянием между двумя одноименными точками двух соседних зубьев по начальной окружности) p_t (рис. 1.12), а число зубьев составляет для первого

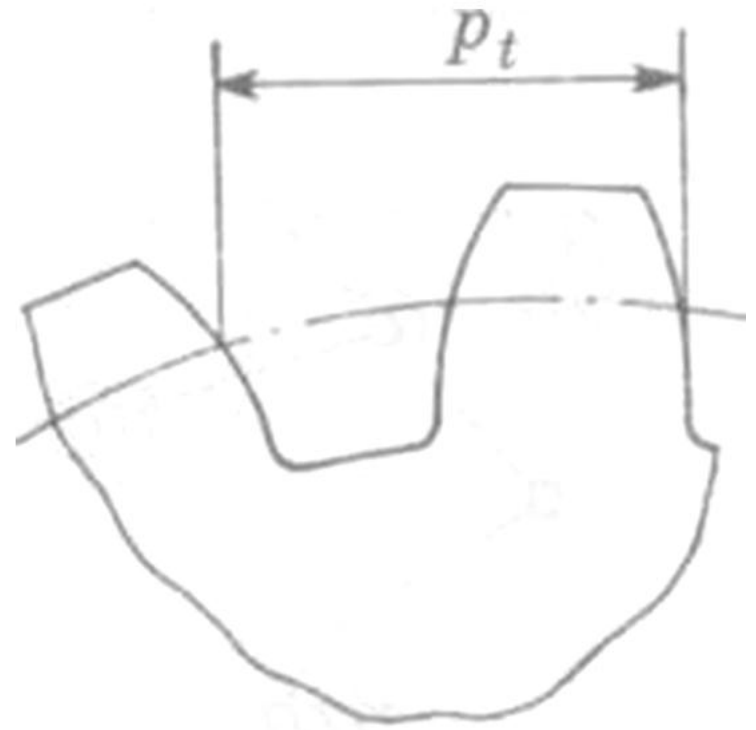


Рис.11

колеса z_1 , для второго - z_2 . В этом случае передаточное отношение можно представить как отношение числа зубьев:

$$u_{12} = \frac{2\pi r_2}{2\pi r_1} = \frac{p_t z_2}{p_t z_1} = \frac{z_2}{z_1}.$$

Для последовательного соединения зубчатых колес (рис. 12), где колеса z_2 и z'_2 находятся на одном валу и представляют вместе с валом одно звено, колеса z_1 и z_2 являются только ведущими, колеса z'_2 и z_4 — только ведомыми, а колесо с z_3 - и ведущим, и ведомым, передаточные отношения имеют вид

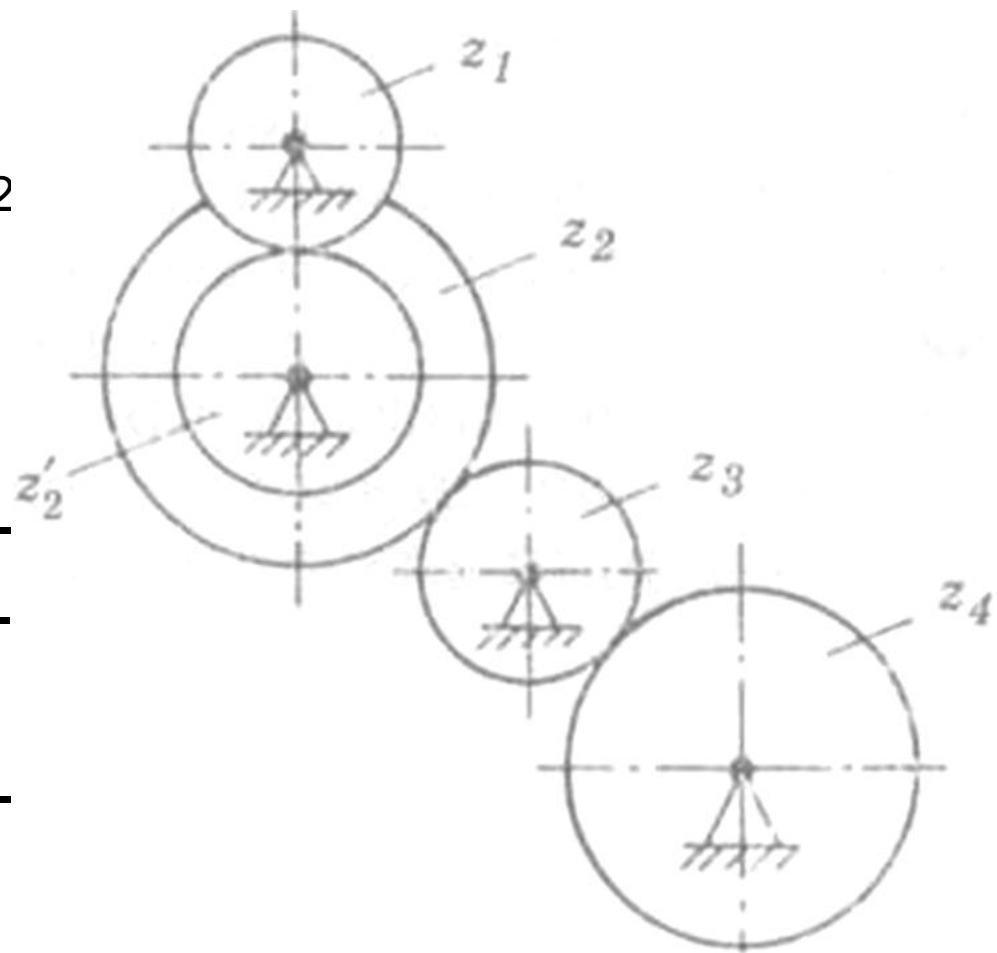


Рис.12

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2}; u_{23} = \frac{\omega_2}{\omega_3}; u_{34} = \frac{\omega_3}{\omega_4}.$$

Перемножив их, мы получим:

$$u_{12} u_{23} u_{34} = \omega_1 / \omega_4 = u_{14}.$$

Передаточное отношение для последовательно соединенных зубчатых колес равно произведению частных передаточных отношений.

Выразим передаточное отношение u_{14} через число зубьев. Чтобы узнать направление вращения последнего звена передачи по отношению к первому, необходимо учесть, что при внешнем зацеплении пары зубчатых колес вращаются в разные стороны, следовательно,

$$u_{14} = \left(-\frac{z_2'}{z_1}\right) \left(-\frac{z_3}{z_2}\right) \left(-\frac{z_4}{z_3}\right) = (-1)^3 \frac{z_2' z_3 z_4}{z_1 z_2 z_3}.$$

В числителе — произведение чисел зубьев ведомых колес, в знаменателе — ведущих. Показатель степени при (-1) равен числу пар внешних зацеплений (при внутреннем зацеплении зубчатые колеса вращаются в одну сторону).

Числа зубьев z_3 сокращаются, так как колесо с z_3 в одной зоне зацепления является ведущим, а в другой - ведомым (такие колеса называют паразитными; они не влияют на передаточное отношение).

Итак, передаточное отношение последовательно соединенных зубчатых колес равно отношению произведения чисел зубьев ведомых колес к произведению чисел зубьев ведущих колес. Если при этом величина k — число пар внешнего зацепления — четное число, то ведомое звено передачи вращается в ту же сторону, что и ведущее.