

**ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Кафедра «Теоретическая и прикладная механика»

Д.А.МАМАТОВА, Х.Т.НУРУЛЛАЕВА

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО ТММ

для специальностей

(5320300-Технологические машины и оборудования

5610600-Техника и технологии оказания услуг)

ТАШКЕНТ – 2016 г.

Рецензенты: д.т.н., проф М.Эргашов (Институт повышения
квалификации и переподготовки кадров)
д.т.н., доц. Т.Абдукаримов (Ташкентский институт
текстильной и легкой промышленности)

**Методическое пособие рекомендовано к публикации на научно –
методическом совете ТИТЛП**

Протокол № _____ 2016 г.

Содержание

Введение	4
ГЛАВА 1.	
1.1. Строение механизмов	5
1.2. Структурные формулы	9
1.3. Кинематический анализ механизма	11
1.3.1. Кинематика простейших стержневых механизмов	11
1.3.2. Построение положений звеньев механизма и траекторий их точек	12
1.3.3. Кинематический анализ кривошипно-ползунного механизма методом скоростей и ускорений	13
1.3.4. Определение скоростей звеньев и их точек	14
1.3.5. Определение ускорений звеньев и их точек	17
ГЛАВА 2. Кинематический анализ шестизвенного механизма	
2.1. Структурный анализ	21
2.2. Кинематический анализ механизма методом планов скоростей и ускорений	22
2.2.1. Построение планов скоростей для данного положения механизма	22
2.2.2. Построение план ускорений	24
Приложение	27
Ключевые слова и определения	48
Контрольные вопросы	50
Литературы	52

ВВЕДЕНИЕ

В общетехнической подготовке бакалавров высших учебных заведений значительное место занимает дисциплина «Теория механизмов и машин» - наука, изучающая общие методы структурного, кинематического и динамического анализа и синтеза различных механизмов и машин. Излагаемые в теории механизмов и машин методы пригодны для проектирования любого механизма и не зависят от технического назначения и физической природы рабочего процесса машины.

Машина - устройство, выполняющее механические движения для преобразования энергии или облегчения физического и умственного труда человека.

Таким образом, машина осуществляет свой рабочий процесс посредством выполнения закономерных механических движений, носители которых являются механизмы. Механизм - устройство (система соединенных между собой звеньев) для преобразования механического движения твердых тел.

В теории механизмов машин обосновывается выбор оптимальных параметров машин, определяются методы их рационального проектирования и расчета, что дает возможность создавать более совершенные и производительные машины.

Методы структурного и кинематического анализа, изложенные в настоящем пособии, рассчитаны на студентов специальностей «Технологические машины и оборудования», «Техника и технология оказания услуг».

В методическом пособии кратко и вместе с тем достаточно полно и ясно изложены решения задач по структурному анализу и кинематике рычажных механизмов, встречающихся часто на практике.

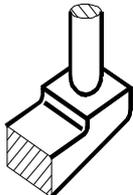
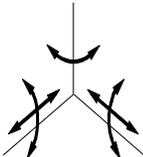
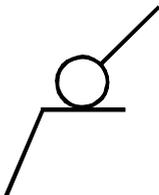
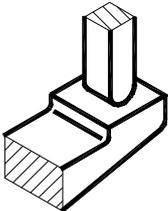
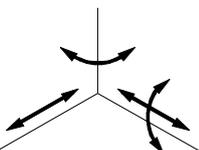
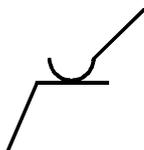
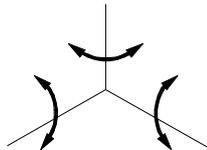
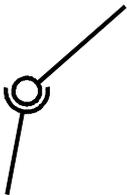
ГЛАВА 1

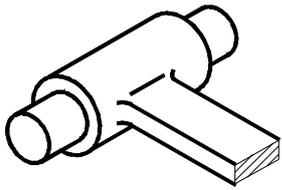
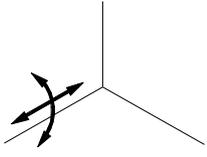
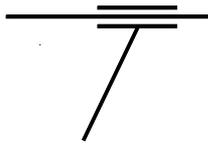
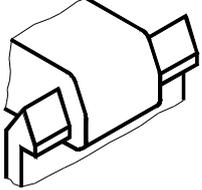
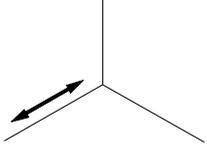
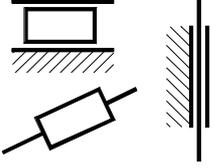
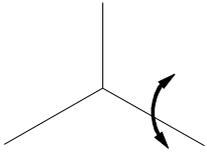
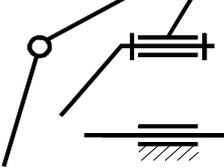
1.1. Строение механизмов

Уточним общее определение механизма. Механизм – это система тел, подвижно связанных друг с другом, совершающих требуемые движения. Тела в механизмах называются звеньями, а подвижные соединения – кинематическими парами.

Звено – это одна деталь или жестко связанных друг с другом несколько деталей, совершающих определенные движения в механизме. Звенья изображаются схематически, то есть, конструкция звена абстрагируется, а в его схеме показываются наиболее существенные элементы. Кинематическая пара – это подвижное соединение двух контактирующих звеньев. Их классификация рассмотрена в таблице 1.1

Таблица 1.1

Класс	Число Связей	Число подвижностей	Название кинематической пары	Общий вид кинематической пары	Возможные движения одного звена относительно другого	Схема кинематической пары
I	1	5	Шар-Плоскость			
II	2	4	Цилиндр-плоскость			
III	3	3	Сферическая			

IV	4	2	Цилиндри- Ческая			
V	5	1	Поступательная			
V	5	1	Враща- Тельная			

Каждое звено в механизме имеет конкретное назначение с точки зрения строения механизмов.

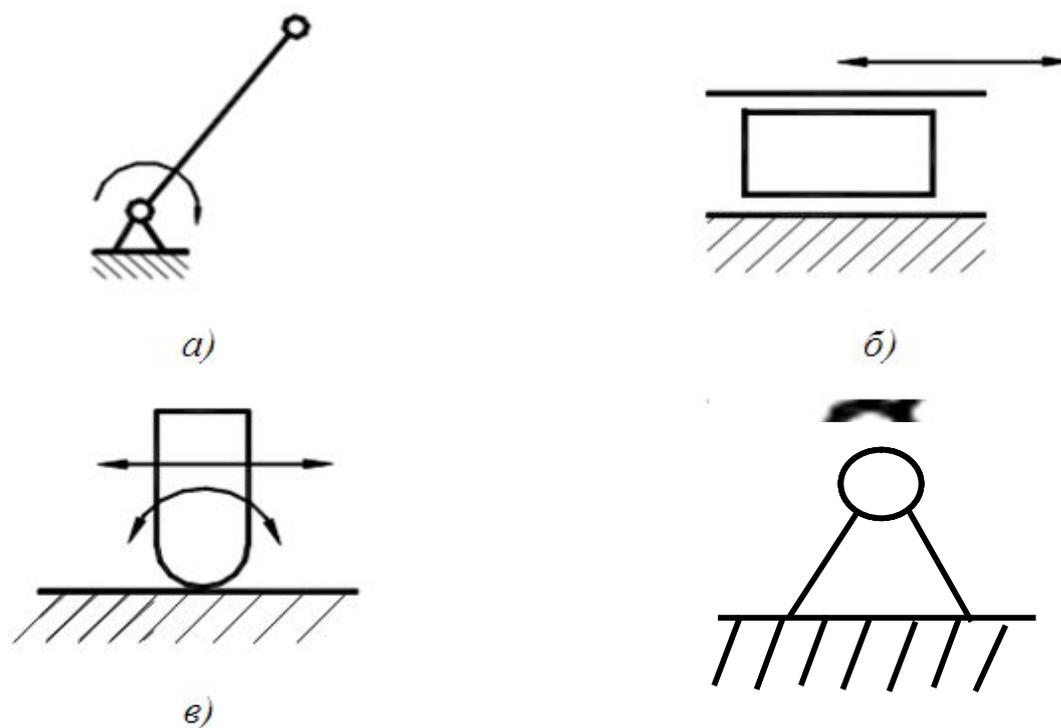


Рис.1.1.Изображение звеньев механизмов.

В механизмах различают входные (рис.1.1, а), выходные (рис.1.1, б, в) и промежуточные звенья (рис.1.2, а). Кроме того, каждый механизм имеет только

одно неподвижное звено (корпус, станина, основание), на котором монтируется вся система подвижных звеньев. Это звено называется стойкой. (рис.1.1, г)

Входное звено – это звено, получающее движение извне. Например, к этому звену движение может быть передано от двигателя машины. Как правило, механизм имеет одно входное звено, но бывают и исключения, о чем будет сказано ниже.

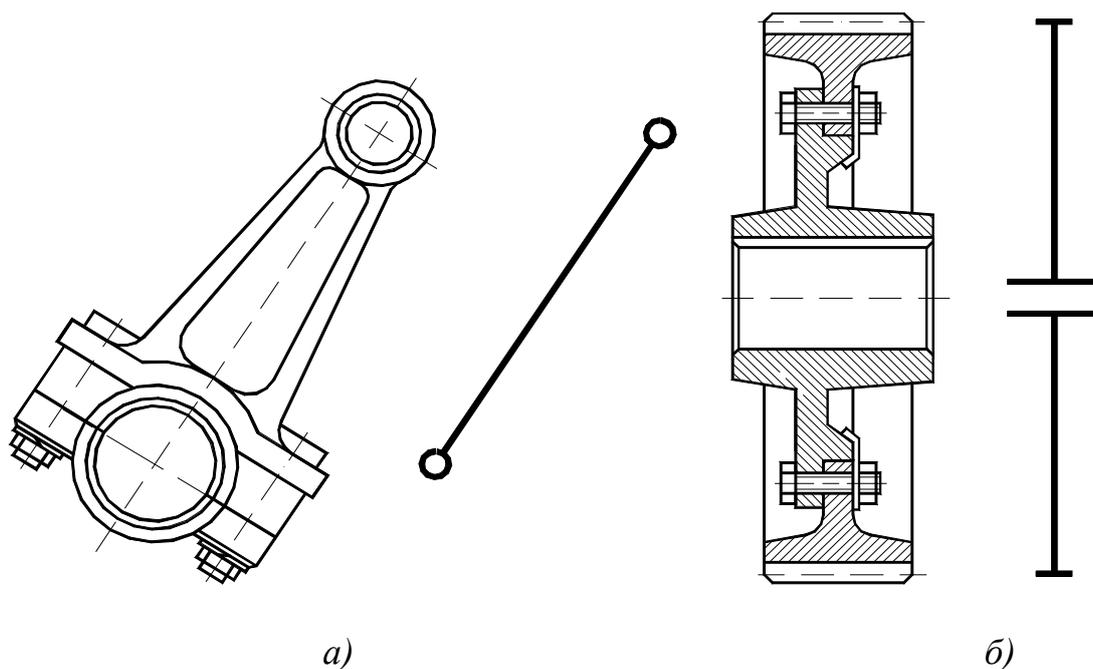


Рис.1.2 Промежуточные звенья.

Выходное звено совершает требуемое движение, то есть, то движение, для которого и создан механизм. Механизм может иметь одно или несколько выходных звеньев.

Промежуточные звенья соединяют входное и выходное звенья. Их может быть несколько, оно может быть одно и есть большое количество механизмов, не имеющих промежуточных звеньев, то есть, входное звено непосредственно связано с выходным, например, зубчатая передача, содержащая входное и выходное зубчатые колеса. (1.2, б)

Функциональное назначение звеньев в механизмах может быть самым различным, причем названия звеньев соответствуют их функциональному назначению и могут быть весьма разнообразны. Однако в курсе ТММ механизмы изучаются в самом общем смысле, и мы будем абстрагироваться от

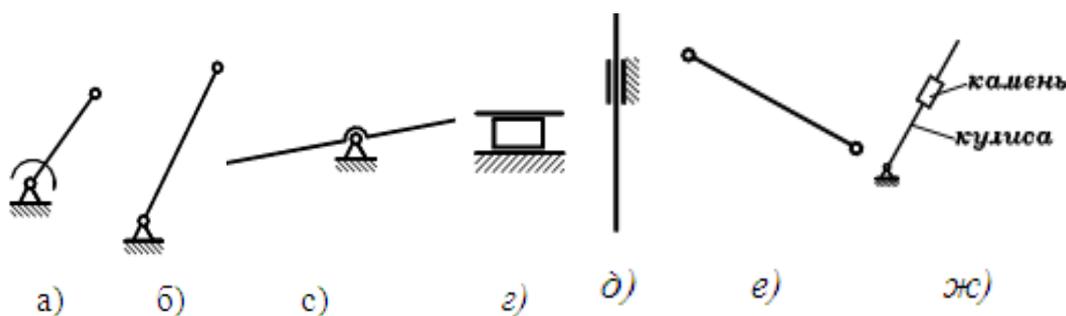
функционального назначения механизмов и их звеньев до тех пор, пока не изучим их свойства и не перейдем к примерам их использования.

С точки зрения совершаемых движений в стержневых механизмах различают шесть типов звеньев: кривошип, коромысло, ползун, шатун, камень и кулиса. Рассмотрим их подробнее.

Кривошип – звено, совершающее полный оборот вокруг неподвижной точки (рис. 1.3, а). В большинстве случаев кривошип является входным звеном механизма, и его схема дополняется круговой стрелкой, указывающей направление его вращения.

Коромысло – звено, которое совершает качательное движение относительно неподвижной точки (рис. 1.3, б), то есть, возвратное движение поворота в пределах определенного угла. В отличие от схемы кривошипа здесь нет круговой стрелки, а в некоторых случаях коромысло изображается в виде двуплечего рычага (рис. 1.3, в).

Ползун – звено, совершающее движение по неподвижным направляющим. В большинстве случаев эти направляющие прямолинейны и движение ползуна является возвратно-поступательным. Чаще всего ползун показывается на схемах в виде прямоугольника (рис. 1.3, г), иногда – как стержень (рис. 1.3, д).



1.3. Типы звеньев механизмов.

Шатун – звено, совершающее сложное движение в плоскости. Шатун не образует кинематических пар со стойкой (рис. 1.3, е), но только с другими подвижными звеньями.

Камень – звено, совершающее движение по подвижной направляющей; называемая кулисой (рис. 1.3, ж). Камень и кулиса не существуют в

отдельности, но составляют единую неразрывную группу звеньев. Направляющие кулисы, как правило, прямолинейны. Кулиса, являясь подвижной направляющей камня, может совершать все виды движений: простые – вращательное, качательное, поступательное, сложное. То есть, может быть, кулиса-кривошип, кулиса-коромысло, кулиса-ползун и кулиса-шатун.

Из таких звеньев состоит стержневой механизм любой сложности. В основе конструкции сложных стержневых механизмов находятся простейшие, которые и являются предметом нашего изучения. Простейшие стержневые механизмы являются четырехзвенными, то есть, содержат три подвижных звена и стойку. Названия таких механизмов состоят из названия входного и выходного звеньев. В зависимости от конструкции простейшие стержневые механизмы делятся на шарнирные, ползунные и кулисные.

1.2. Структурные формулы

Структурная формула для определения числа степеней свободы плоских механизмов предложена русским ученым Чебышевым П.Л. в начале XX века:

$$W = 3n - 2p_5 - p_4 + s$$

где: W – число степеней свободы механизма;

n – количество подвижных звеньев;

p_5 – число низших, пятого класса кинематических пар;

p_4 – число высших, четвертого класса кинематических пар;

s – число избыточных связей или лишних звеньев.

Избыточные связи или лишние звенья – это такие звенья, которые можно удалить из механизма без нарушения движения оставшихся звеньев механизма. Как правило, это промежуточные звенья, которые вводятся в механизм для увеличения его нагрузочной способности, жесткости и пр. То есть, лишними могут быть звенья только в структурном смысле.

Используем эту формулу для определения числа степеней свободы различных механизмов. Стержневой механизм на рис. 1.4 имеет три подвижных

звена и четыре низшие кинематические пары – шарниры в точках А, В, С и D. Высших кинематических пар и лишних звеньев нет. Значит,

$$W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1$$

Вывод: механизм имеет одно входное звено.

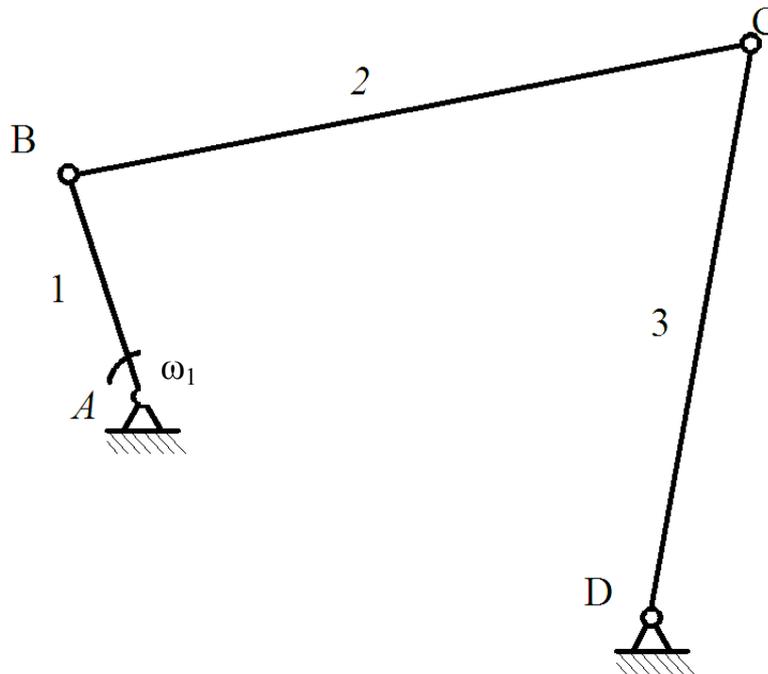


Рис.1.4. Кинематическая схема шарнирного четырехзвенника.
(кривошипно-коромыслового механизма)

Напишем структурную формулу для кулачкового механизма на рис.1.5. Этот механизм имеет три подвижных звена, три низшие вращательные кинематические пары – в точках O_2 , В и С и одну высшую кинематическую пару – в точке контакта К ролика с кулачком:

$$W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 1 = 2$$

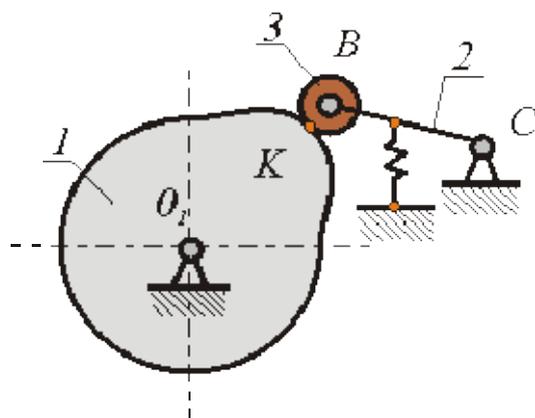


Рис.1.5. Кинематические схемы кулачковых механизмов.

Механизм имеет две степени свободы, но это не значит, что он содержит два входных звена, входное звено одно – кулачок. Вторая степень свободы – это местная подвижность, а именно, независимое вращение ролика 3. При хорошей смазке в оси ролика, он перекачивается по поверхности кулачка, при заклинивании ролика на оси, ролик будет неподвижен относительно звена 2 и будет скользить по поверхности кулачка. В общем случае ролик перекачивается со скольжением, то есть, движение его может быть независимым от движения остальных звеньев механизма. Вывод: механизм имеет одну главную подвижность – входное звено 1 и одну местную подвижность: независимое движение звена 2.

1.3. Кинематический анализ механизма

1.3.1. Кинематика простейших стержневых механизмов

Цели и задачи

Цель изучения кинематики (кинематическое исследование или кинематический анализ) сформулированная в курсе теории механизмов и машин. Это определение возможных движений звеньев механизма. Применительно к механизмам – это определение возможных движений звеньев и их точек, то есть, тех движений, которые принципиально возможны и которые не учитывают сил и моментов, действующих на звенья механизма.

Задачи кинематического исследования:

- определение положений звеньев механизма и траекторий их точек в процессе его работы;

- определение скоростей звеньев и их точек;

- определение ускорений звеньев и их точек.

Указанные задачи могут быть решены аналитическими, графическими и графоаналитическими методами. Рассмотрим решения каждой задачи.

1.3.2. Построение положений звеньев механизма и траекторий их точек

Определение положений звеньев механизма в процессе его работы обычно ведется графическими приемами с использованием метода засечек. Производится построение нескольких последовательных положений механизма. Как правило, строится четное число положений – 6, 8 или 12, соответствующих равномерно расположенным позициям входного звена. Покажем это на примере центрального кривошипно-ползунного механизма, то есть, механизма, у которого линия движения ползуна проходит через центр вращения кривошипа (рис. 1.6).

Схема механизма изображается в масштабе длин. Надо сказать, что в курсе теории механизмов и машин используются масштабы, которые являются отношениями действительной величины на ее изображение на схеме, чертеже или графике. Изображение на чертеже – это всегда отрезок, измеряемый в миллиметрах, а единица измерения действительной величины зависит от вида параметра, который надо изобразить в масштабе – это может быть масса, угол, момент, скорость и т.д. В масштабе длин действительной величиной является длина, измеряемая в метрах. Масштаб обозначается греческой буквой μ с соответствующим индексом; в данном случае – это индекс длины l :

$$\mu_l = \frac{l}{\bar{l}} \left(\frac{м}{мм} \right) \quad (1.1)$$

где: l – действительная длина в м;

\bar{l} – изображение этой длины на схеме в мм.

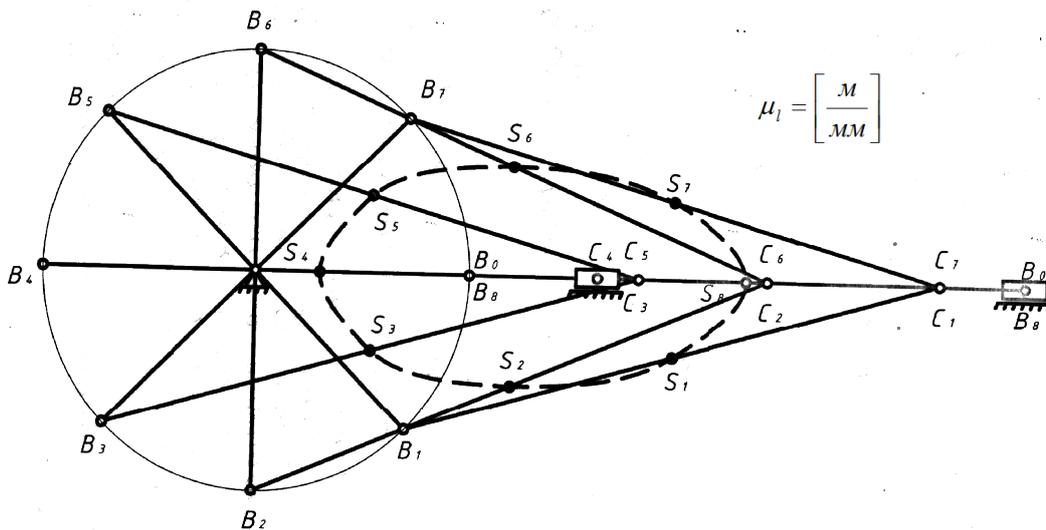


Рис. 1.6. Последовательные положения механизма.

На рис. 1.6 показаны 8 совмещенных положений механизма. Строятся они следующим образом. Прежде всего, изображается схема этого механизма в нулевом положении. Это начальное положение кривошипа и шатуна, образующие прямую проходящей через ось кривошипа. После этого чертятся траектории точки В кривошипа (окружность) и точки С ползуна (прямая). Окружность траектории точки В начиная с точки В₀ делится на 8 равных частей по направлению движения кривошипа и изображаются восемь равнорасположенных положений кривошипа. Затем, из каждой точки В радиусом, равным длине шатуна, делаются засечки на прямой траектории точки С ползуна. Получаем положения ползуна, соединив соответствующую точки В₁, В₂, с точками С₁, С₂, . находим различные положения шатуна, соответствующие точкам В кривошипа. Соединив точки S шатуна в различных положениях плавной кривой, получим траекторию этой точки шатуна.

1.3.3. Кинематический анализ кривошипно-ползунного механизма методом планов скоростей и ускорений

План скоростей – это многоугольник векторов абсолютных, относительных и релятивных скоростей, построенный в определенном масштабе, с помощью которого могут быть определены мгновенные линейные

и угловые скорости в механизме, то есть, скорости в заданном положении этого механизма (также могут быть найдены его передаточные отношения, о чем будет сказано ниже). В этом многоугольнике векторы абсолютных скоростей выходят из одной точки, называемой полюсом плана скоростей (точка p), а векторы относительных скоростей соединяют концы абсолютных.

1.3.4. Определение скоростей звеньев и их точек

Рассмотрим решение кинематической задачи сначала на примере кривошипно-ползунного механизма (Рис 1.7) в определенном положении. Исходными данными задачи являются геометрические параметры механизма l_{AB} , l_{BC} (мм). Кинематическая схема механизма изображена в масштабе μ_l (рис. 1.7), и задан его входной кинематический параметр – постоянная угловая скорость кривошипа ω_1 . Линейная скорость точки В кривошипа может быть найдена по известной формуле

$$v_B = l_{AB} \omega_1 \quad (1)$$

Вектор этой скорости, изображенный в произвольном масштабе скоростей, является исходным для построения плана скоростей. Масштаб скоростей:

$$\mu_v = \frac{v_B}{Pb} \left(\frac{M}{c \cdot мм} \right) \quad (2)$$

где: v_B – действительная линейная скорость в м/с;

\overline{Pb} – изображение вектора этой скорости в мм.

Для упрощения построений и вычислений удобно этот масштаб выбирать не произвольным, а таким, чтобы изображение вектора скорости точки В кривошипа был равен длине кривошипа на схеме механизма, то есть, $\overline{Pb} = \overline{AB}$. Тогда, с учетом (2), масштаб скоростей:

$$\mu_v = \frac{v_B}{AB} = \frac{l_{AB} \omega_1}{AB} = \mu_l \omega_1 \left(\frac{M}{c \cdot мм} \right) \quad (3)$$

Так как в данном случае длина вектора скорости точки В кривошипа

равна длине радиус-вектора расположения этой точки на звене, то такой масштаб скоростей называется масштабом начального звена или для нашего случая – масштабом кривошипа.

Будем строить план скоростей в указанном масштабе (рис. 1.8). Сначала из полюса p проводим вектор скорости точки B кривошипа в сторону, соответствующую направлению его угловой скорости. Этот вектор по вышеуказанному условию будет равен и перпендикулярен длине кривошипа на схеме механизма, то есть, $\overline{pb} = \perp \overline{AB}$. (Эти и последующие действия при построении плана скоростей приведены в виде примечаний под планом скоростей на рис. 1.8). Переходим к шатуну. Точка B принадлежит не только кривошипу, но и шатуну, значит скорость точки B шатуна такая же, как и скорость точки B кривошипа, или, говорят, что кинематические параметры точек B кривошипа и шатуна одинаковы. Шатун совершает сложное движение в плоскости, то есть, его движение состоит из переносного поступательного со скоростью точки B и относительного вращательного вокруг точки B . Чтобы определить скорость точки C шатуна, надо решить векторное уравнение:

$$\overline{v_C} = \overline{v_B} + \overline{v_{CB}} \quad (4)$$

Точка C принадлежит не только шатуну, но и ползуну, и скорости их одинаковы. Ползун совершает поступательное движение вдоль направляющих, значит, линия действия скорости точки C в нашем случае горизонтальна. Так как эта скорость абсолютна, то горизонталь проводим через полюс p . Относительная скорость v_{CB} перпендикулярна шатуну, так как в относительном движении точка C поворачивается вокруг точки B . Поэтому, выполняя действие графического сложения по векторному уравнению (4), через точку b плана скоростей проводим перпендикуляр к шатуну до пересечения с горизонтальным, проходящим через точку P .

В пересечении этих двух линий и будет находиться искомая точка C плана скоростей. Таким образом, \overline{pc} – это вектор абсолютной скорости точки C , а \overline{bc} есть вектор относительной скорости точки C относительно точки B .

Для нахождения точки S на плане скоростей используем теорему подобия: фигура, образованная векторами относительных скоростей точек звена подобна фигуре звена. В нашем случае можно сказать, что отрезки звена и относительной скорости пропорциональны. То есть, если точка S расположена посередине шатуна BC, то на плане скоростей точка s будет находиться посередине между точками b и c: \overline{bs} – вектор абсолютной скорости точки S.

С помощью построенного плана скоростей могут быть определены величины и направления всех скоростей в механизме, то есть, скоростей точек и звеньев. Направления скоростей точек видны из плана скоростей, а их величину, согласно формуле (4), найдем как произведение длины вектора в мм на масштаб скоростей. Например, скорость точки C (или скорость ползуна):

$$v_C = \overline{pc} \mu_v \text{ (м/с)}$$

Найдем угловую скорость шатуна. Шатун совершает сложное движение в плоскости, но в каждый момент времени можно рассматривать его движение, как движение поворота вокруг мгновенного центра вращения в абсолютном движении или вокруг точки B в относительном движении с одной и той же мгновенной угловой скоростью. Эта скорость определяется при помощи схемы механизма и плана скоростей, как частное от деления относительной скорости точки B шатуна на радиус-вектор расположения этой точки на шатуне (т.е. на размер BC). Заменяя действительные величины их изображениями на схеме и плане скоростей, получим:

$$\omega_2 = \frac{v_{CB}}{BC} = \frac{\overline{v_{CB}} \mu_v}{\overline{BC} \mu_l} = \frac{\overline{bc} \mu_l \omega_1}{\overline{BC} \mu_l}$$

И после сокращения:

$$\omega_2 = \frac{\overline{bc}}{\overline{BC}} \omega_1 \text{ (рад/с)} \quad (5)$$

Чтобы определить направление этой скорости, надо мысленно перенести вектор \overline{bc} из плана скоростей в точку C схемы механизма и он укажет

направление ω_2 , в данном случае, против часовой стрелки (рис. 1.8, а.).

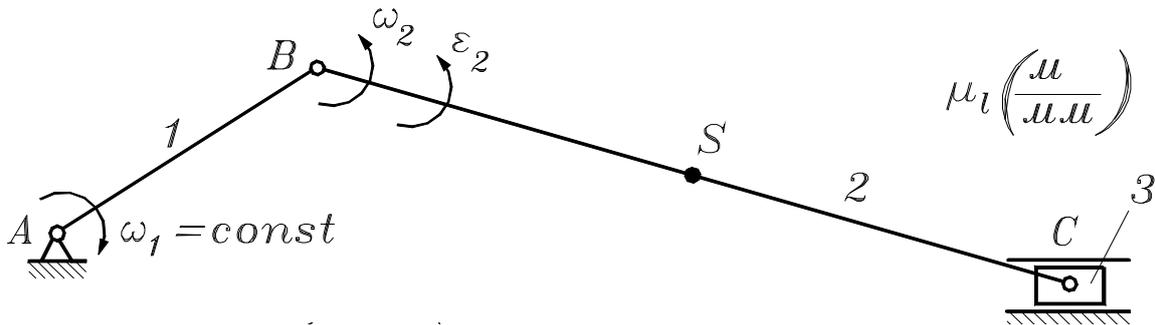


Рис. 1.7 План положения кривошипно-ползунного механизма.

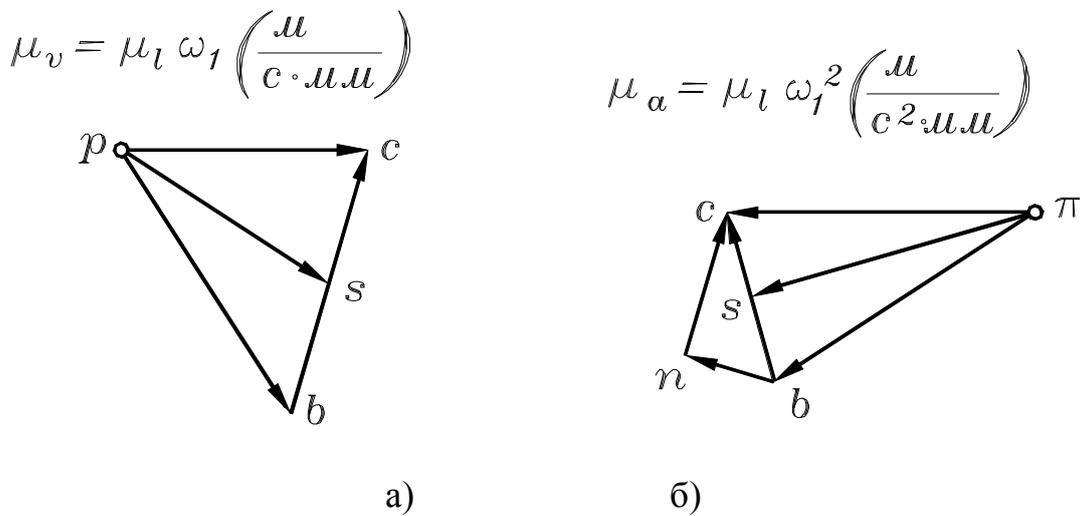


Рис 1.8 Планы скоростей (а) и ускорений (б)

$$\left. \begin{array}{l} \overline{v_B} = \overline{pb} = \perp \overline{AB} \\ \overline{v_{CB}} = \overline{bc} \perp \overline{BC} \\ \overline{v_C} = \overline{pc} \parallel \overline{XX} \\ \overline{v_S} = \overline{ps} \\ \overline{a_B^n} = \overline{\pi b} = \parallel \overline{AB} \\ \overline{a_{CB}^n} = \overline{bn} \parallel \overline{BC} \\ \overline{a_{CB}^\tau} = \overline{nc} \perp \overline{BC} \\ \overline{a_C} = \overline{\pi c} \parallel \overline{XX} \\ \overline{a_S} = \overline{\pi s} \end{array} \right\} \overline{a_{CB}} = \overline{bc}$$

1.3.5. Определение ускорений звеньев и их точек

Подобно тому, как скорости в механизме находятся при помощи плана скоростей, ускорения в механизме определяются с помощью плана ускорений. План ускорений – это многоугольник векторов абсолютных и относительных ускорений точек. Исходными данными для определения ускорений являются

кинематическая схема механизма и план скоростей (рис. 1.8, а.).

Так как угловая скорость кривошипа постоянна, то ускорения каждой его точки a_B^n центростремительное параллельно кривошипу тангенциальное $a_B^t = 0$, так как $\varepsilon_1 = 0$. Величина a_B^n определится по формуле:

$$a_B^n = l_{AB} \omega_1^2 \quad (6)$$

Вектор этого ускорения, изображенный в произвольном масштабе ускорений, является исходным для построения плана ускорений. Масштаб ускорения

$$\mu_a = \frac{a_B^n}{\pi b} \left(\frac{m}{c^2 \text{ мм}} \right) \quad (7)$$

где: a_B^n – действительное линейное ускорение в м/с²;

πb – изображение вектора этого ускорения в мм.

Подобно тому, как это было сделано при построении плана скоростей, для упрощения построений и вычислений удобно этот масштаб выбирать не произвольным, а таким, чтобы длина вектора ускорения точки В кривошипа было равно длине кривошипа на схеме механизма, то есть, $\pi b = \overline{AB}$. Тогда, с учетом (6), масштаб ускорений:

$$\mu_a = \frac{a_B^n}{\pi b} = \frac{\omega_1^2 l_{AB}}{AB} = \frac{\omega_1^2 \mu_l AB}{AB} = \omega_1^2 \cdot \mu_l$$

С учетом (1) получим:

$$\mu_a = \mu_l \omega_1^2 \left(\frac{m}{c \cdot \text{мм}^2} \right) \quad (8)$$

Так как в данном случае длина вектора нормального ускорения точки вращающегося звена равно длине радиус-вектора расположения этой точки на звене, то такой масштаб скоростей называется масштабом начального звена или для нашего случая – масштабом кривошипа.

Будем строить план ускорений в указанном масштабе (рис. 1.8, б.). Сначала из полюса π проводим вектор нормального ускорения точки В кривошипа, которое направлено к центру его вращения, то есть, от точки В к

точке А. По вышеуказанному условию этот вектор будет равен и параллелен длине и расположен параллельно к кривошипу на схеме механизма, то есть, $\overline{\pi b} = \overline{AB}$. (Эти и последующие действия при построении плана ускорений приведены в виде примечаний под планом ускорений на рис. 1.8, б.). Переходим к шатуну. Точка В принадлежит не только кривошипу, но и шатуну, значит ускорение точки В шатуна такое же, как и ускорение точки В кривошипа. Шатун совершает сложное движение в плоскости, то есть, его движение состоит из переносного поступательного и относительного вращательного вокруг точки В. Значит, ускорение точки С относительно точки В шатуна состоит из относительного нормального и относительного тангенциального. Чтобы определить ускорение точки С шатуна, надо решить векторное уравнение:

$$\overline{a_C} = \overline{a_B} + \overline{a_{CB}} = \overline{a_B} + \overline{a_{CB}^n} + \overline{a_{CB}^\tau} \quad (9)$$

Точка С принадлежит не только шатуну, но и ползуну, и ускорения их одинаковы. Ползун совершает поступательное движение вдоль направляющих, значит, линия действия ускорения точки С в нашем случае горизонтальна. Так как это ускорение абсолютно, то горизонталь проводим через точку π плана ускорений. Нормальное ускорение точки С относительно точки В шатуна может быть определено, так как известна его угловая скорость в относительном движении вокруг точки В. Определим сразу изображение этого ускорения, то есть, длину того вектора, который следует показать на плане ускорений. Выполняя действие графического сложения, согласно векторному уравнению, этот вектор надо отложить из конца вектора ускорения точки В, то есть, от точки b параллельно шатуну в направлении от точки С к точке В – к центру относительного вращения (\overline{bn} на рис. 1.8, б.). Длину вектора с учетом (6) найдем так:

$$a_{CB}^n = \frac{v_{CB}^2}{l_{CB}} = \frac{\omega_2^2 l_{CB}^2}{l_{CB}} = \omega_2^2 l_{CB}$$

С учетом (8) получим:

$$b_n = \frac{a_{CB}^n}{\mu_a} = \frac{\omega_2^2 l_{CB}}{\mu_l \omega_1^2} = \frac{\omega_2^2 \mu_l CB}{\mu_l \omega_1^2} = \frac{\omega_2^2 CB}{\omega_1^2} \quad (10)$$

Линию действия тангенциального относительного ускорения проводим, выполняя действие графического сложения, согласно векторному уравнению (9), из конца вектора \overline{bn} перпендикулярно шатуну. В точке пересечения этой линии с горизонталью линии действия ускорения точки С и находится искомая точка с – конец векторов $\overline{\pi c}$ (абсолютное ускорение точки С) и \overline{nc} (тангенциальное относительное ускорение точки С). Сумма векторов нормального \overline{bn} и тангенциального \overline{nc} относительных ускорений даст вектор полного относительного ускорения \overline{bc} . Что касается ускорения точки S, то аналогично вышеуказанному для плана скоростей, точка s на плане ускорений будет расположена посередине отрезка \overline{bc} .

План ускорений показывает направления и пропорции линейных ускорений в механизме. Величины линейных и угловых ускорений находятся из плана ускорений по формулам. Линейные ускорения – с учетом масштаба ускорений. Например, ускорение ползуна:

$$a_3 = a_C = \overline{\pi c} \mu_a \text{ (м/с}^2\text{)}$$

Угловое ускорение шатуна в его относительном движении вокруг точки В найдем как частное от деления тангенциального относительного ускорения точки С на радиус-вектор расположения этой точки на шатуне (размер ВС). Заменяя действительные величины их изображениями на плане ускорений и схеме механизма, получим:

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{CB}^t}{l_{CB}} = \frac{\overline{nc} \mu_l \omega_1^2}{\overline{BC} \mu_l} \text{ сек}^{-2}; \quad \varepsilon_3 = 0$$

ГЛАВА 2

Кинематический анализ шестизвенного механизма

Исходные данные:

$$l_{O_1A} = 20 \text{ мм}; \quad l_{BA} = 60 \text{ мм}; \quad l_{CD} = 60 \text{ мм};$$

$$l_{BC} = 80 \text{ мм}; \quad l_{B O_2} = 35 \text{ мм}; \quad n_1 = 120 \text{ об/мин}$$

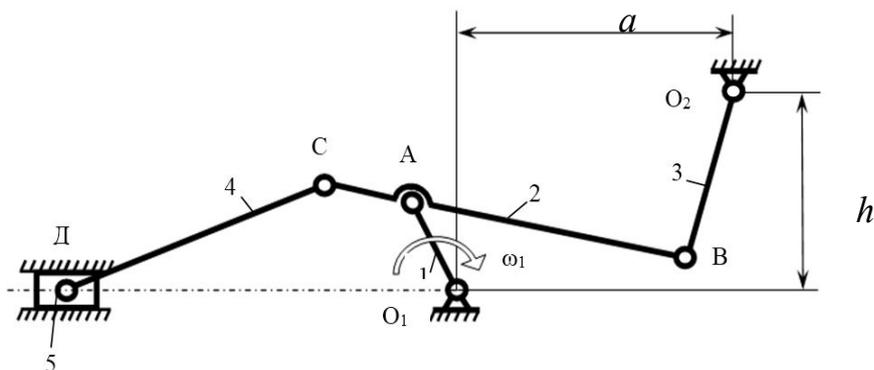


Рис. 2.1. Кинематическая схема шестизвенного механизма.

2.1. Структурный анализ

Определение W -степень подвижности, класса и порядка механизма

Название звеньев и вида движений их:

1. Кривошип - вращательное движение;
2. Шатун - сложное движение;
3. Коромысло - качательное движение;
4. Шатун - сложное движение;
5. Ползун - поступательное движение;
6. Стойка - неподвижна.

Степень подвижности механизма определяется по формуле Чебышева:

$$W = 3n - 2p_5$$

где $n = 5$ – число подвижных звеньев;

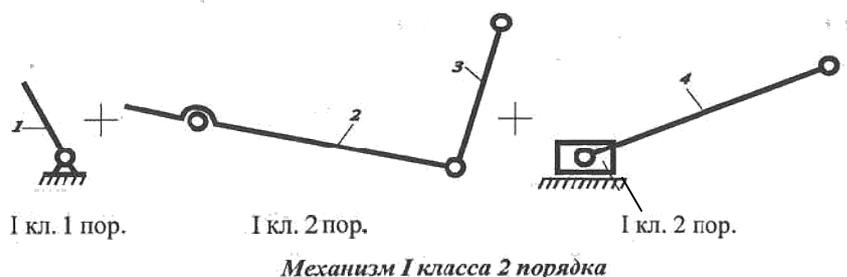
$P_5 = (O_1, A, B, C, O_2, D, D) = 7$ – число кинематических пар V класса

тогда,

$$W = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 15 - 14 = 1 \text{ (одно ведущее звено)}$$

Класс и порядок механизма по Л.В.Ассурю.

Определяется разбивкой механизма по группам Ассура.



2.2. КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА МЕТОДОМ ПЛАНОВ СКОРОСТЕЙ И УСКОРЕНИЙ

2.2.1. Построение планов скоростей

для данного положения механизма

1. Определим числовое значение абсолютной скорости точки А:

$$V_A = \omega_1 \cdot l_{O_1 A} = \frac{\pi n_1}{30} \cdot l_{O_1 A} = \frac{3,14 \cdot 120}{30} \cdot 0,02 = 0,25 \frac{м}{с}$$

2. Из точки полюса проводим прямую, перпендикулярную (\perp -ную) $O_1 A$ и отмечаем на ней точку $a-Pa$ - вектор абсолютной, скорости точки А
Рассчитаем масштаб:

$$\mu_v = \frac{V_A}{Pa} = \frac{0,25}{50} = 0,005 \frac{м}{с \cdot мм}$$

3. Вектор скорости точки В определяем, составляя уравнения и решая их графически:

$$\begin{cases} \vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{BA} \\ \vec{V}_B = \vec{V}_{O_2} + \vec{V}_{BO_2} \end{cases}$$

Из точки a проводим прямую, \perp -ную AB , а из точки $P(O_2)$ - \perp -ную $O_2 B$. Точка их пересечения является точки b . Соединяем точки b с полюсом, получим вектор абсолютный скорости точки В.

4. Вектор абсолютный скорости точки С находится через условие подобия: из пропорции:

$$\frac{BC}{BA} = \frac{bc}{ba}, \Rightarrow bc = \frac{BC}{BA} \cdot ba = \frac{80}{60} \cdot 19 = 25 мм$$

5. Вектор скорости точки Д находится графически, решением систему векторных уравнений:

$$\begin{cases} \vec{V}_D = \vec{V}_C + \vec{V}_{DC} \\ \vec{V}_D = // XX \end{cases}$$

6. Определяем числовые значения линейных скоростей точек звеньев

Абсолютные скорости

Относительные скорости.

$$V_g = \mu_v \cdot Pb = 0,005 \cdot 48 = 0,24 \text{ м/с}$$

$$V_{BA} = \mu_v \cdot ba = 0,005 \cdot 19 = 0,095 \text{ м/с}$$

$$V_c = \mu_v \cdot Pc = 0,005 \cdot 54 = 0,27 \text{ м/с}$$

$$V_{DC} = \mu_v \cdot dc = 0,005 \cdot 20 = 0,1 \text{ м/с}$$

$$V_d = \mu_v \cdot Pd = 0,005 \cdot 60 = 0,3 \text{ м/с}$$

$$V_{AC} = \mu_v \cdot ac = 0,005 \cdot 6 = 0,03 \text{ м/с}$$

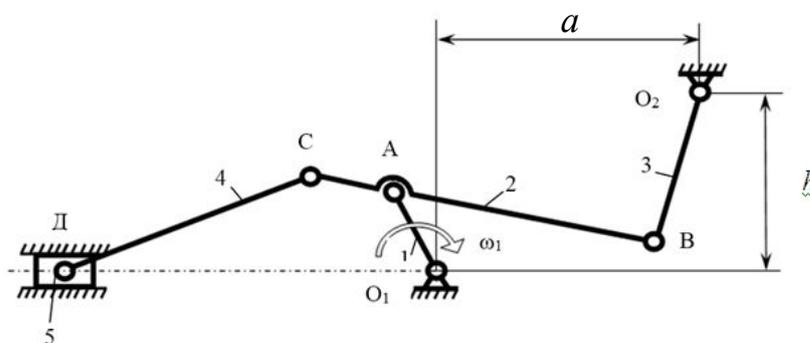
7. Определяем числовые значения угловых скоростей звеньев

$$\omega_2 = \frac{V_{AC}}{l_{AC}} = \frac{0,03}{0,02} = 1,5 \text{ рад/с}$$

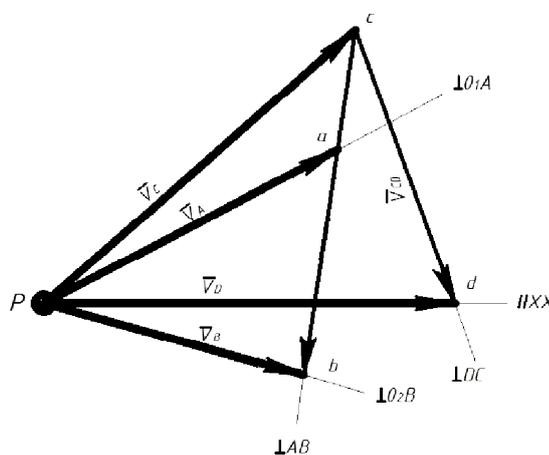
$$\omega_4 = \frac{V_{CD}}{l_{CD}} = \frac{0,1}{0,06} = 1,7 \text{ рад/с}$$

$$\omega_3 = \frac{V_{BO_2}}{l_{BO_2}} = \frac{0,24}{0,035} = 6,8 \text{ рад/с}$$

$$\omega_5 = 0.$$



ПЛАН СКОРОСТЕЙ



2.2.2 Построение план ускорений

1. Определяем числовое значение ускорения в точки А:

$$a_A = \frac{V_A^2}{l_{O_1A}} = \frac{0,25^2}{0,02} = 3,125 \text{ м / с}^2$$

2. Из точки П проводим прямую, // - ную O_1A и отмечаем на ней точку a . Масштаб плана ускорений:

$$\mu_a = \frac{a_A}{\pi a} = \frac{3,125}{100} = 0,0312 \frac{\text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{мм}}$$

3. Для определения вектора ускорения т. В составляем уравнение

$$\begin{cases} \bar{a}_B = \bar{a}_A + \bar{a}_{BA}^n + \bar{a}_{BA}^\tau \\ \bar{a}_B = \bar{a}_{O_2} + \bar{a}_{BO_2}^n + \bar{a}_{BO_2}^\tau \end{cases}$$

Определяем a_{BA}^n и отрезок n_{BA} :

$$a_{BA}^n = \frac{V_{AB}^2}{l_{AB}} = \frac{(0,095)^2}{0,06} = 0,15 \text{ м / с}^2$$

$$n_{BA} = \frac{a_{AB}^n}{\mu_a} = \frac{0,15}{0,0312} = 6 \text{ мм}$$

Из точки a проводим прямую // - ную AB и откладываем вектор n_{BA} , направленный от точки В к точки А. Из точки $O_2(\pi)$ проводим прямую, // - ную AB и откладываем отрезок n_{BA} .

Находим относительное ускорения $a_{BO_2}^n$ и отрезок n_{BO_2}

$$a_{BO_2}^n = \frac{V_{BO_2}^2}{l_{BO_2}} = \frac{(0,24)^2}{0,035} = 1,64 \text{ м / с}^2; \quad n_{BO_2} = \frac{a_{BO_2}^n}{\mu_a} = 42 \text{ мм}$$

Из точки $\pi(O_2)$ проводим // - ную O_2B , направленную от точки В к точке O_2 и откладываем отрезок n_{BO_2} и от его конца проводим перпендикуляр.

Восстанавливаем перпендикуляры от концов отрезков n_{BO_2} и n_{BA} и точка их пересечения даст вектор (πb) абсолютного, ускорения точки В.

4. Вектор абсолютного, ускорения точки С находится через подобия: из пропорции:

$$\frac{BC}{BA} = \frac{вс}{ва}, \Rightarrow вс = \frac{BC}{BA} \cdot ва = \frac{80}{60} \cdot 136 = 181 \text{ мм.}$$

5. Вектор ускорения точки Д находится решением системы векторных уравнений:

$$\begin{cases} \bar{a}_D = \bar{a}_C + \bar{a}_{DC}^n + \bar{a}_{DC}^\tau \\ \bar{a}_D = // XX \end{cases}$$

где
$$a_{DC}^n = \frac{V_{DC}^2}{l_{DC}} = \frac{(0,1)^2}{0,06} = 0,17 \text{ м/с}^2$$

$$n_{DC} = \frac{a_{DC}^n}{\mu_a} = 7 \text{ мм}$$

6. Определяем числовые значения тангенциального ускорения звеньев:

$$a_{AB}^\tau = \mu_a \cdot \tau_{CB} = 0,0312 \cdot 137 = 4,3 \text{ м/с}^2$$

$$a_{BO_2}^\tau = \mu_a \cdot \tau_{BO_2} = 0,0312 \cdot 40 = 1,25 \text{ м/с}^2$$

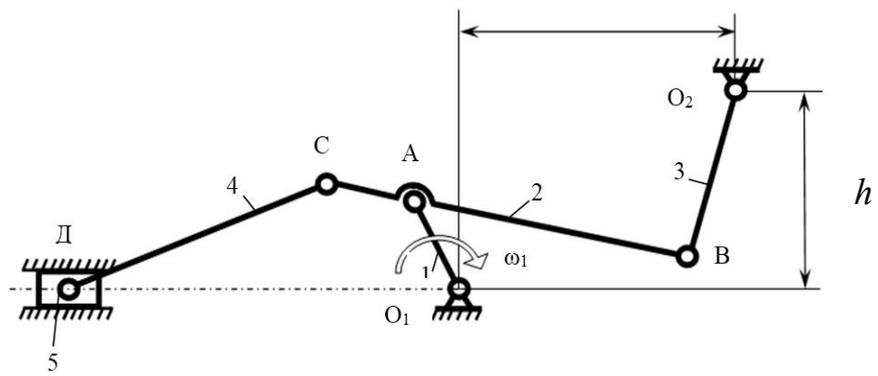
$$a_{DC}^\tau = \mu_a \cdot \tau_{DC} = 0,0312 \cdot 150 = 4,7 \text{ м/с}^2$$

7. Определяем численные значения угловых ускорений:

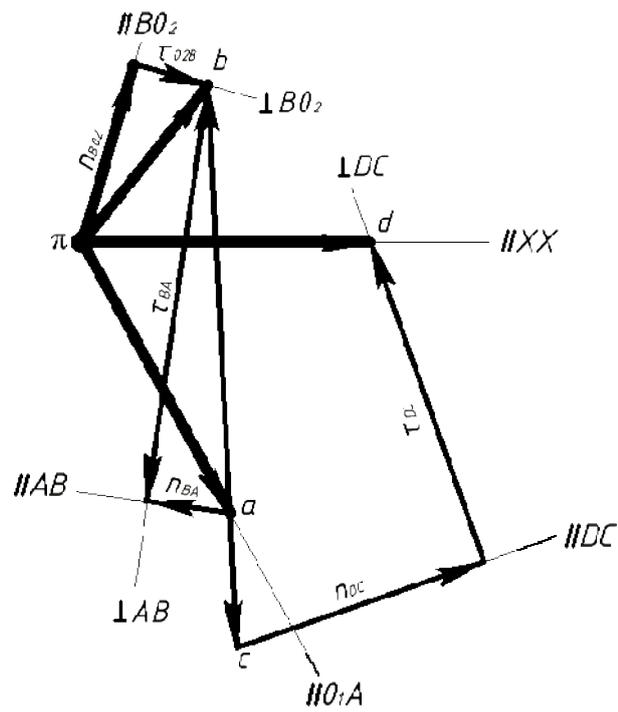
$$\varepsilon_2 = \frac{a_{AB}^\tau}{l_{AB}} = \frac{4,3}{0,06} = 71,67 \text{ рад/с}^2$$

$$\varepsilon_3 = \frac{a_{BO_2}^\tau}{l_{BO_2}} = \frac{1,25}{0,035} = 35,7 \text{ рад/с}^2 \quad \varepsilon_4 = \frac{a_{CD}^\tau}{l_{CD}} = \frac{4,7}{0,06} = 78,4 \text{ рад/с}^2$$

План скоростей и ускорений для 6 положения строятся аналогично, как и для данного положения.

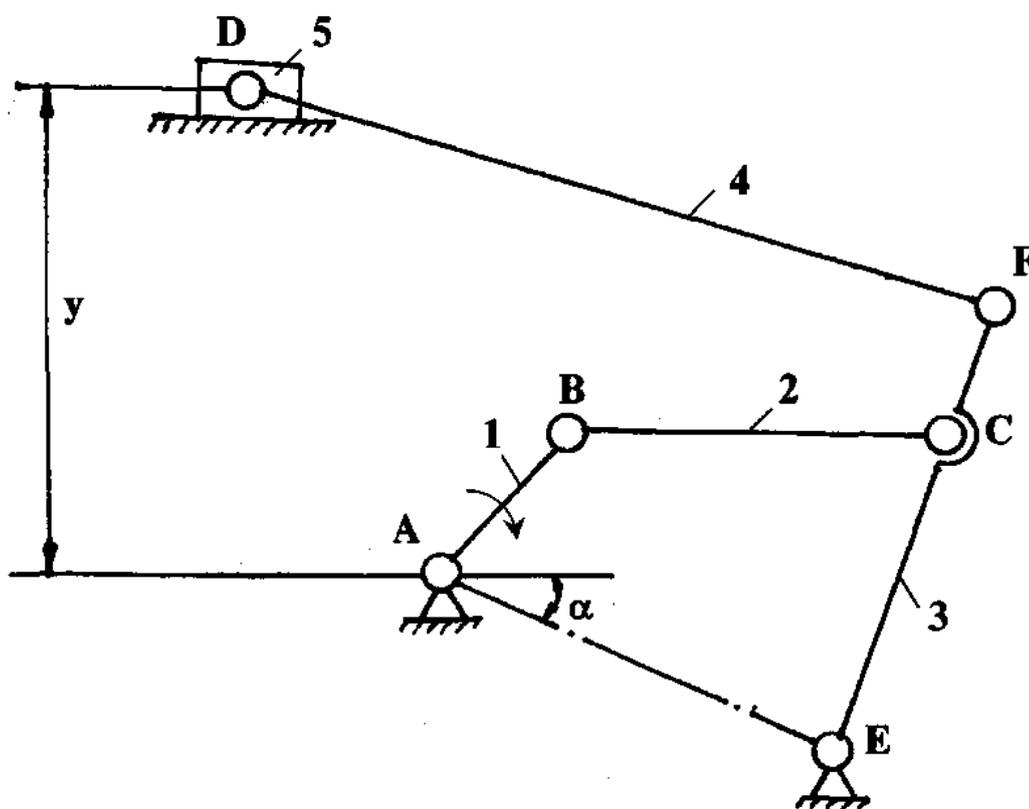


ПЛАН УСКОРЕНИЙ



П Р И Л О Ж Е Н И Е
(Варианты заданий
структурного и
кинематического анализа
рычажных механизмов)

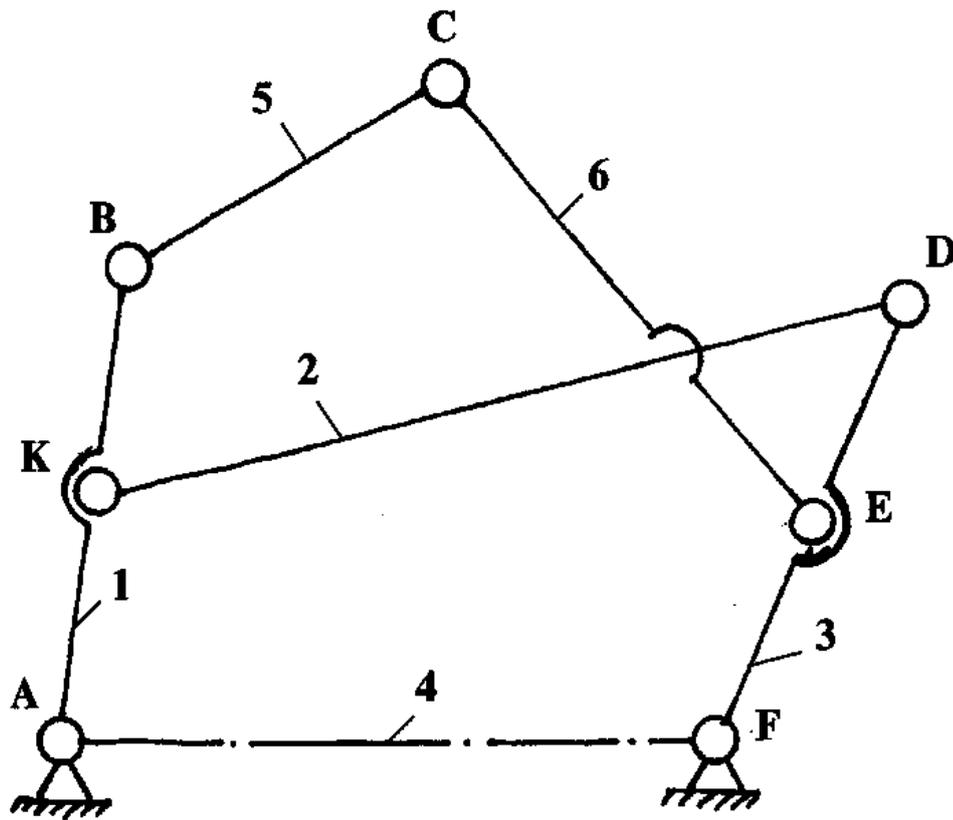
1 – задание



Длины звеньев (мм)

	l_{AB}	l_{BC}	l_{CE}	l_{EF}	l_{AE}	l_{FD}	L_y	α°	$n_1 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$
1	50	150	100	150	150	200	100	15°	320
2	20	30	45	100	40	150	100	25°	320
3	20	35	60	100	60	180	100	30°	320
4	20	45	80	130	85	200	100	45°	320

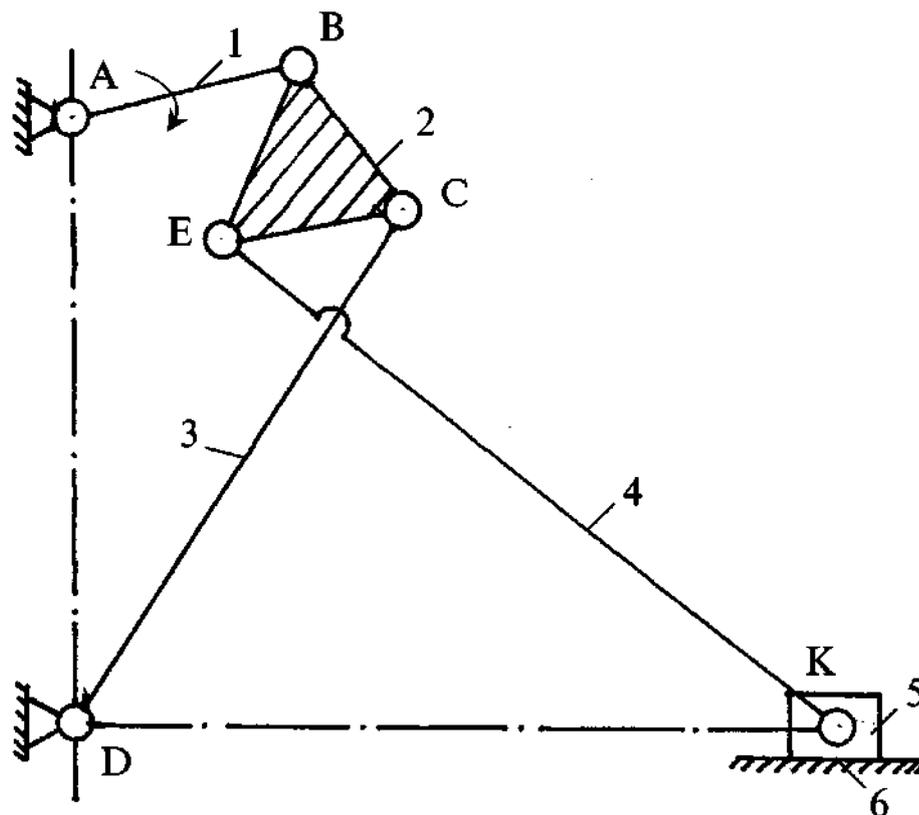
2 – задание



Длины звеньев (мм)

	l_{KD}	l_{CE}	l_{BC}	l_{AF}	l_{AB}	l_{FD}	l_{AK}	$n_1 \frac{об}{мин}$
1	60	50	70	80	40	70	20	180
2	50	50	70	70	45	70	20	150
3	55	50	70	60	35	70	20	120
4	80	50	70	60	40	50	20	300

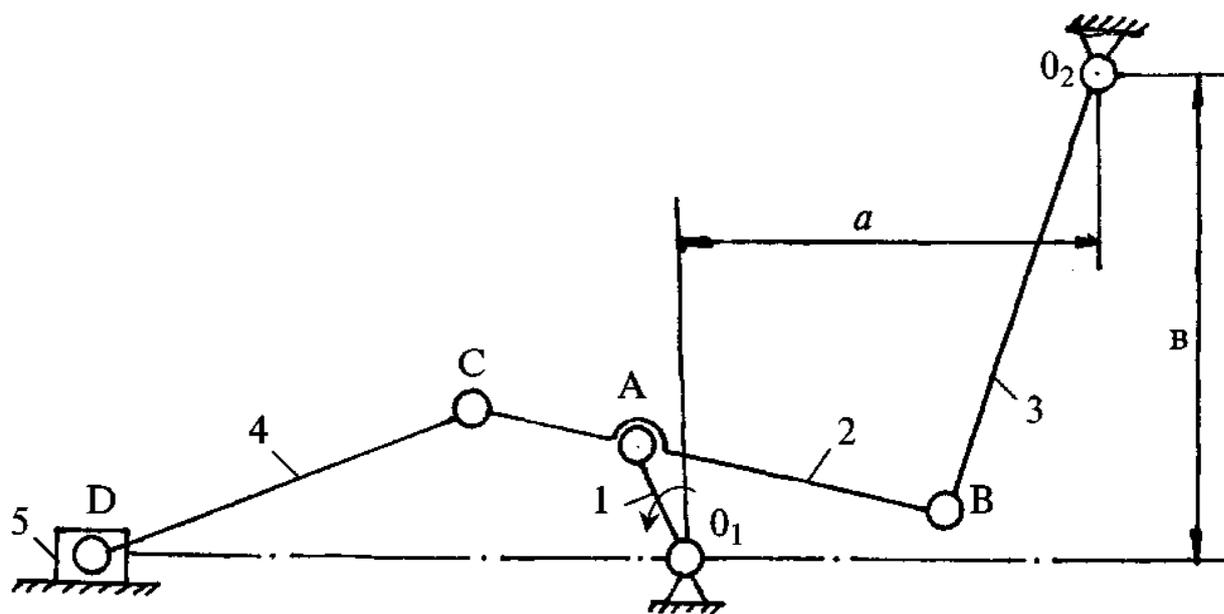
3 – задание



Длины звеньев (мм)

	l_{AB}	l_{BC}	l_{BE}	l_{CE}	l_{CD}	l_{AD}	l_{EK}	$n_1 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$
1	20	30	30	30	40	40	80	180
2	30	35	35	35	80	60	80	120
3	30	45	45	45	80	85	100	240
4	25	50	35	35	65	60	90	150

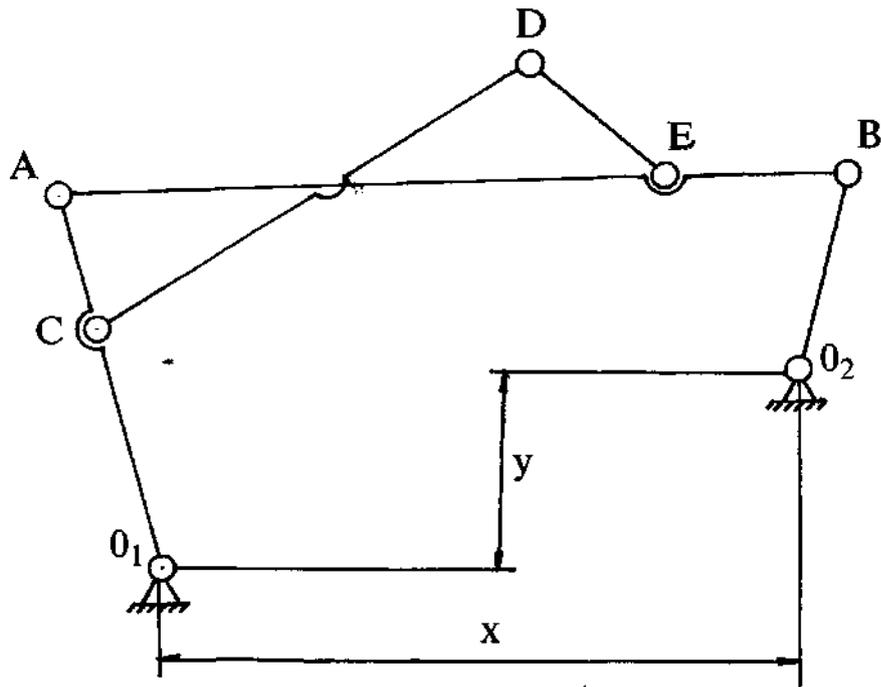
4 – задание



Длины звеньев (мм)

	l_{O_1A}	l_{AB}	l_{AC}	l_{BC}	l_{CD}	l_{O_2B}	l_a	l_B	$n_1 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$
1	200	600	150	750	500	700	570	880	180
2	100	550	100	700	475	700	500	800	210
3	120	500	150	700	525	700	500	800	240
4	150	500	200	700	550	700	500	800	150

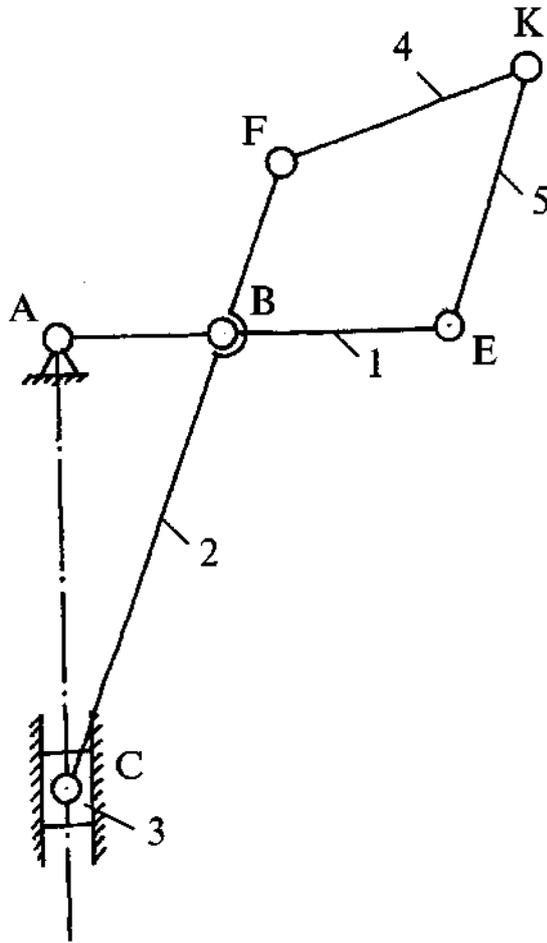
5 – задание



Длины звеньев (мм)

	l_x	l_y	l_{AO}	l_{AC}	l_{BA}	l_{CD}	l_{DE}	l_{O_2B}	l_{AE}	$n_1 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$
1	50	10	50	25	80	45	30	80	50	120
2	200	0	100	15	180	120	120	130	90	100
3	50	50	50	25	90	60	60	65	45	300
4	80	90	50	25	100	100	100	75	50	240
5	100	0	50	8	90	60	60	65	45	120

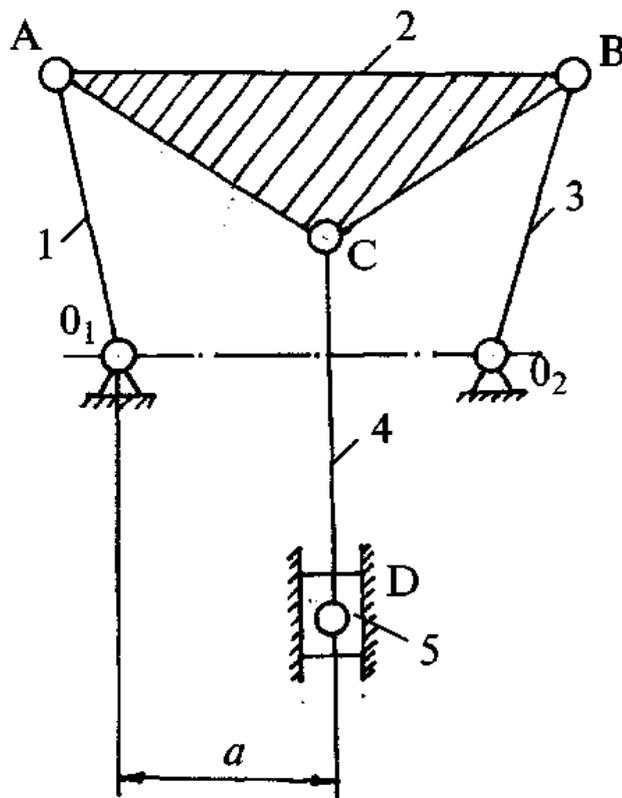
6 – задание



Длины звеньев (мм)

	l_{AB}	l_{BE}	l_{CB}	l_{BF}	l_{FK}	l_{KE}	$n_1 \frac{об}{мин}$
1	25	30	75	30	40	40	100
2	25	20	75	15	40	40	120
3	25	20	50	15	25	25	120
4	25	25	80	40	50	50	180

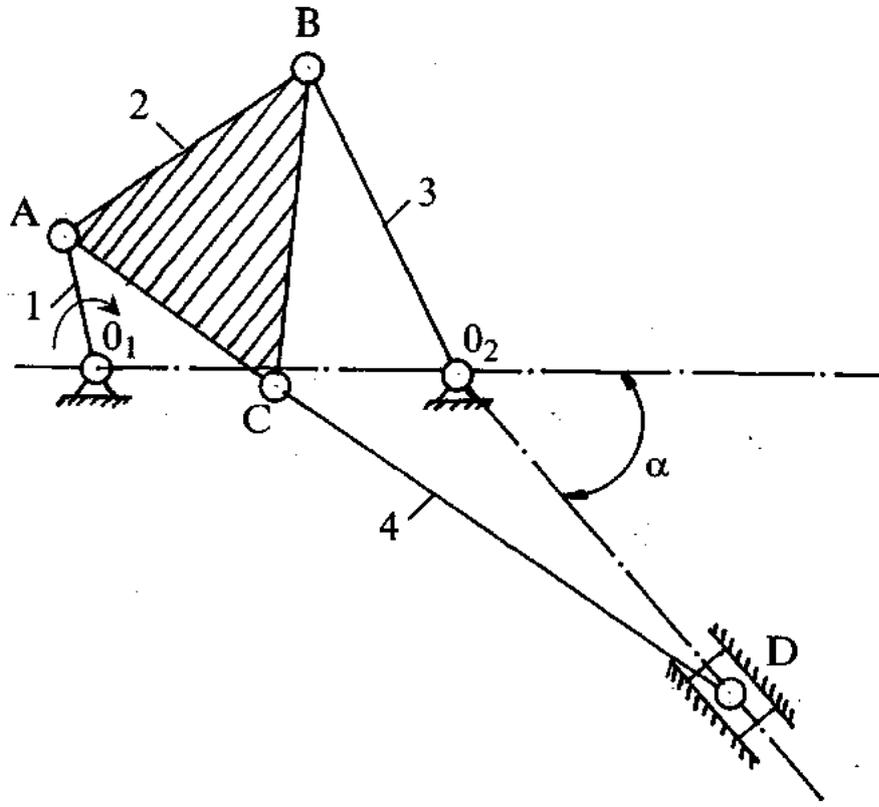
7 – задание



Длины звеньев (мм)

	l_{O_1A}	l_{AB}	l_{O_2B}	$l_{O_1O_2}$	l_{AC}	l_{BC}	l_{CD}	l_a	$n_1 \frac{об}{мин}$
1	30	60	65	65	45	52	100	30	300
2	30	60	70	80	35	40	150	40	240
3	20	60	75	90	50	50	130	40	210
4	40	80	80	70	60	60	140	40	180

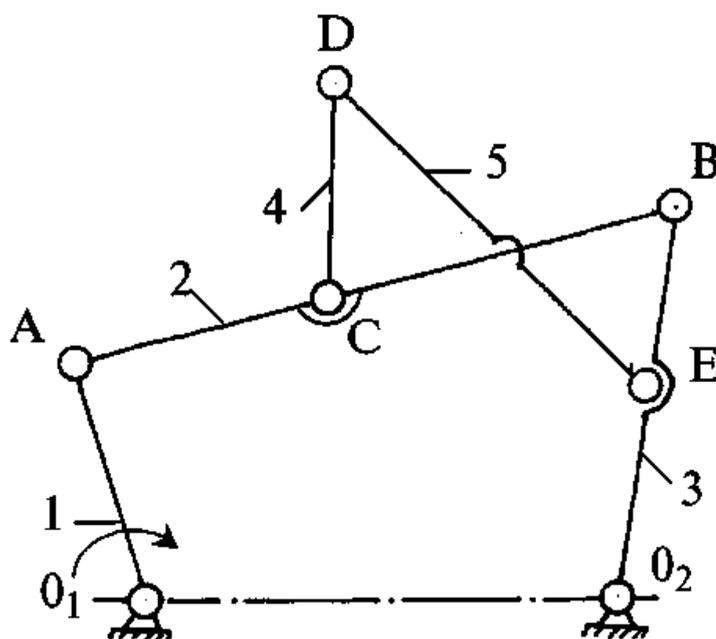
8 – задание



Длины звеньев (мм)

	$l_{O_1O_2}$	l_{O_1A}	l_{AB}	l_{O_2B}	l_{AC}	l_{CD}	α^0	$n_1 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$
1	70	20	75	80	50	70	45^0	210
2	80	30	85	95	70	70	30^0	240
3	90	30	90	100	75	100	60^0	180

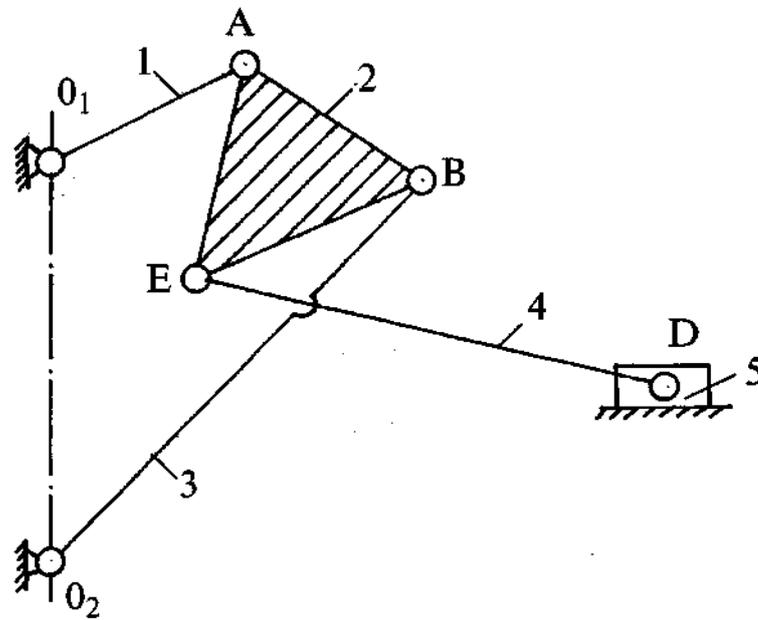
9 – задание



Длины звеньев (мм)

	l_{O_1A}	l_{AB}	l_{O_2B}	$l_{O_1O_2}$	l_{AC}	l_{CD}	l_{O_2E}	l_{DE}	$n_1 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$
1	80	145	160	150	80	105	80	120	240
2	70	150	150	160	80	100	60	120	180
3	40	80	80	75	40	90	40	90	120

10 – задание

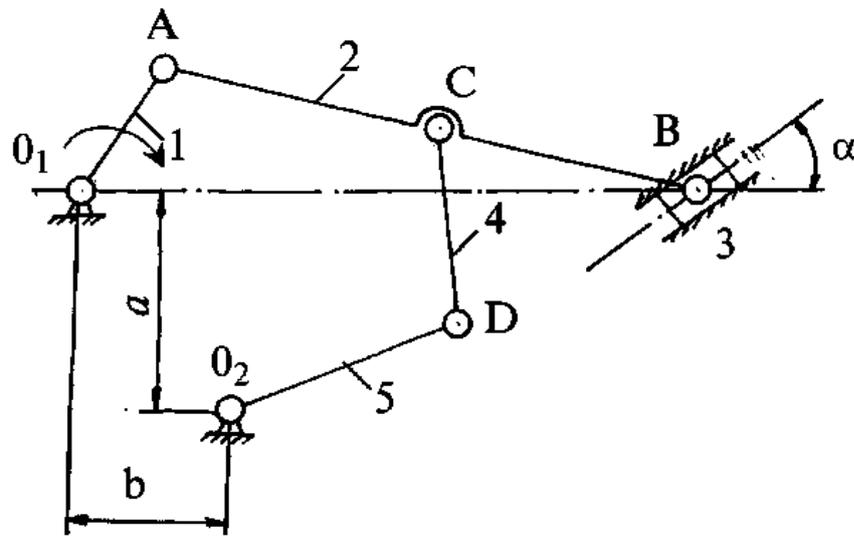


$$l_{AB} = l_{AE} = l_{EB}$$

Длины звеньев (мм)

	l_{O_1A}	l_{AB}	l_{O_2B}	$l_{O_1O_2}$	l_{ED}	$n_1 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$
1	50	100	120	140	225	240
2	50	100	130	135	250	210
3	50	70	130	140	250	180
4	20	40	55	60	160	300
5	30	55	70	80	120	150
6	30	65	100	100	200	210

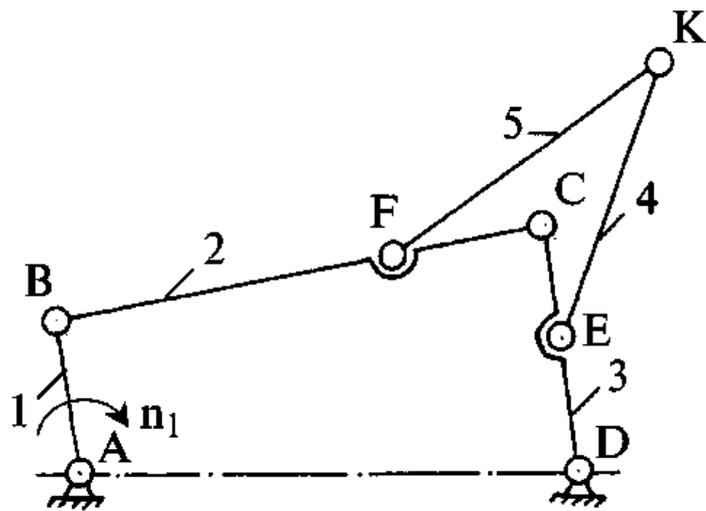
11 – задание



Длины звеньев (мм)

	l_{O_1A}	l_{AB}	l_{BC}	l_{CD}	l_{DO_2}	l_a	l_B	l_d	α^0	$n_1 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$
1	250	900	450	500	450	400	300	875	5^0	180
2	200	850	400	475	450	300	250	820	10^0	150
3	180	825	380	460	450	300	250	780	15^0	210
4	150	800	350	450	450	300	250	800	20^0	240

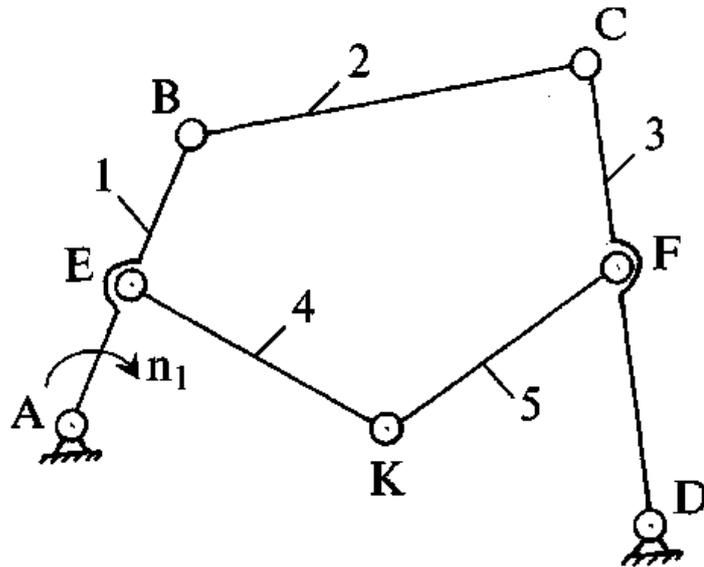
12 – задание



Длины звеньев (мм)

	l_{AB}	l_{BC}	l_{AD}	l_{CD}	l_{BF}	l_{DE}	l_{FK}	l_{EK}	$n_1 \frac{об}{мин}$
1	50	200	220	160	100	80	220	220	60
2	20	110	120	105	50	40	100	60	120
3	30	180	150	160	90	80	150	160	180
4	35	170	155	150	85	75	120	140	150

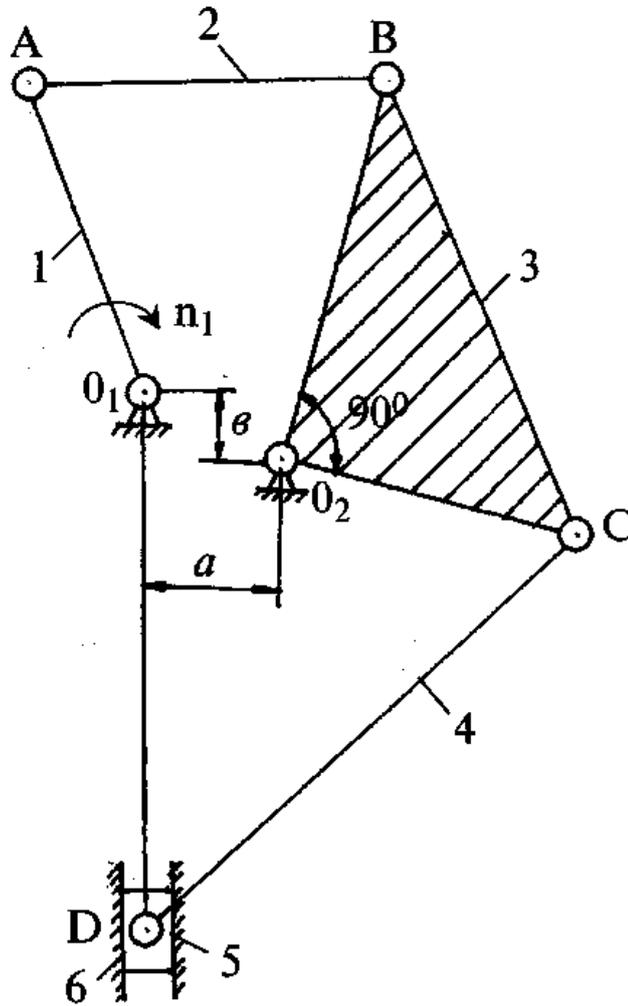
13 – задание



Длины звеньев (мм)

	l_{AB}	l_{BC}	l_{CD}	l_{KF}	l_{AE}	L_{FD}	l_{EK}	l_{AD}	$n_1 \frac{об}{мин}$
1	50	60	80	50	25	40	50	70	240
2	45	60	80	50	23	40	80	85	180
3	40	55	85	60	20	43	70	85	150
4	35	50	90	65	18	40	65	75	120

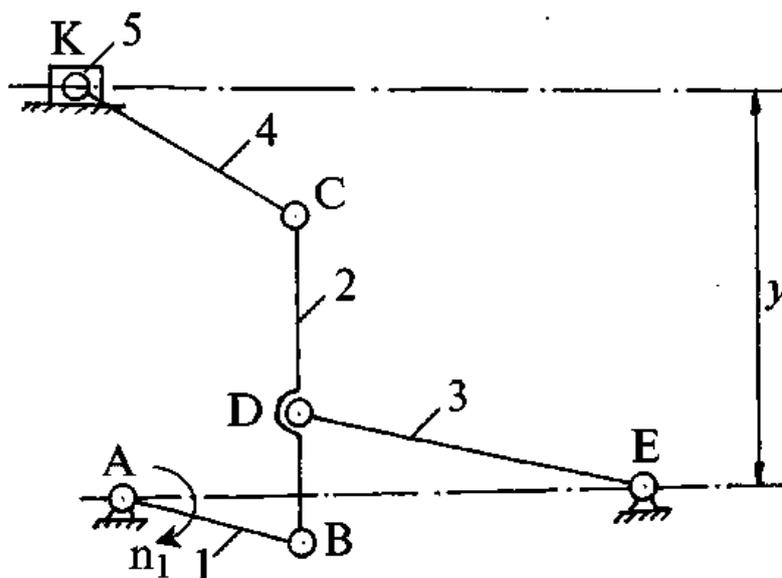
14 – задание



Длины звеньев (мм)

	l_{O_1A}	l_{AB}	l_{O_2B}	l_{O_2C}	L_{DC}	l_a	l_b	$n_1 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$
1	25	52	76	20	160	70	11	12
2	30	78	79	30	240	65	17	200
3	20	52	76	22	160	73	12	150
4	40	60	40	40	140	70	10	180

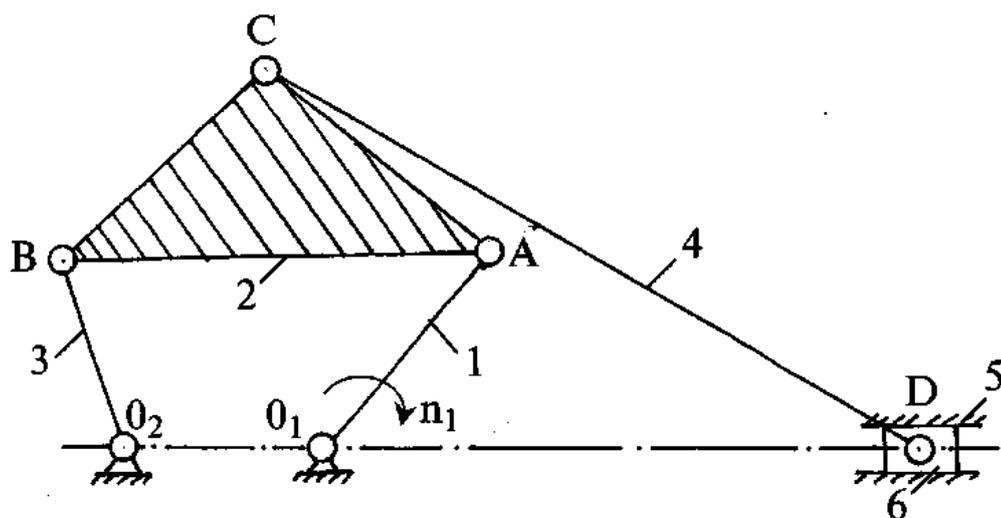
15-задание



Длины звеньев (мм)

	l_{AB}	l_{BD}	l_{DC}	l_{KC}	l_{AE}	l_{ED}	l_Y	$n_1 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$
1	20	60	20	120	45	45	100	300
2	30	60	30	100	60	50	70	120
3	35	50	40	115	65	70	80	150
4	40	55	45	130	70	70	80	180

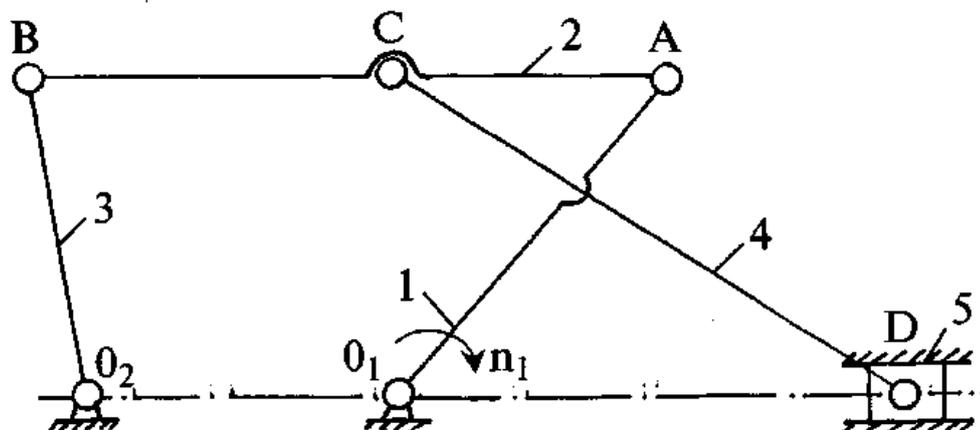
16-задание



Длины звеньев (мм)

	l_{O_1A}	l_{AB}	l_{AC}	l_{BC}	l_{O_2B}	$l_{O_1O_2}$	l_{CD}	$n_1 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$
1	50	70	70	70	70	50	150	120
2	50	75	75	75	75	50	160	180
3	50	80	80	80	80	50	170	100
4	50	90	90	90	90	50	180	300
5	50	100	100	100	100	50	200	200

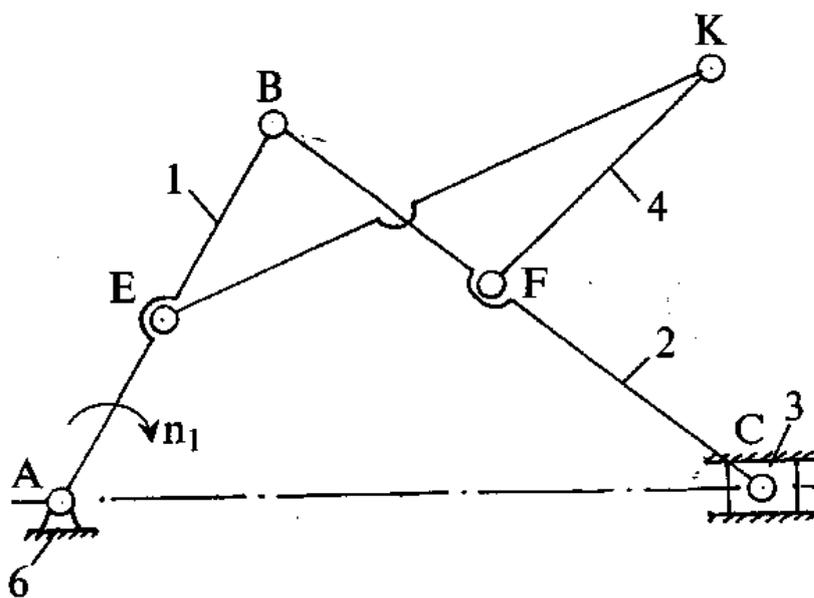
17-задание



Длины звеньев (мм)

	$l_{O_1O_2}$	l_{O_1A}	l_{AB}	l_{BC}	l_{O_2B}	l_{CD}	$n_1 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$
1	501	50	70	30	70	100	180
2	50	40	80	35	80	110	90
3	60	40	90	40	90	120	150
4	80	50	100	45	100	130	200

18-задание

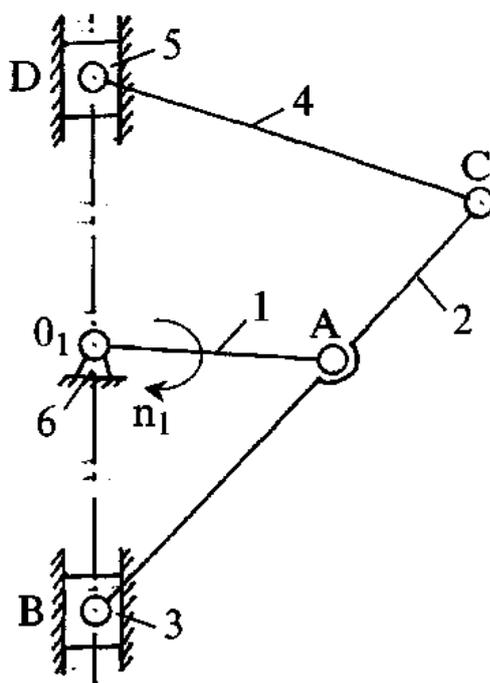


$$AE = \frac{1}{2} AB$$

Длины звеньев (мм)

	l_{AB}	l_{BC}	l_{EK}	l_{FK}	l_{BF}	l_{FC}	$n_1 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$
1	25	75	30	30	37,5	37.5	120
2	25	100	45	45	45	22.5	150
3	25	50	75	75	75	37.5	80

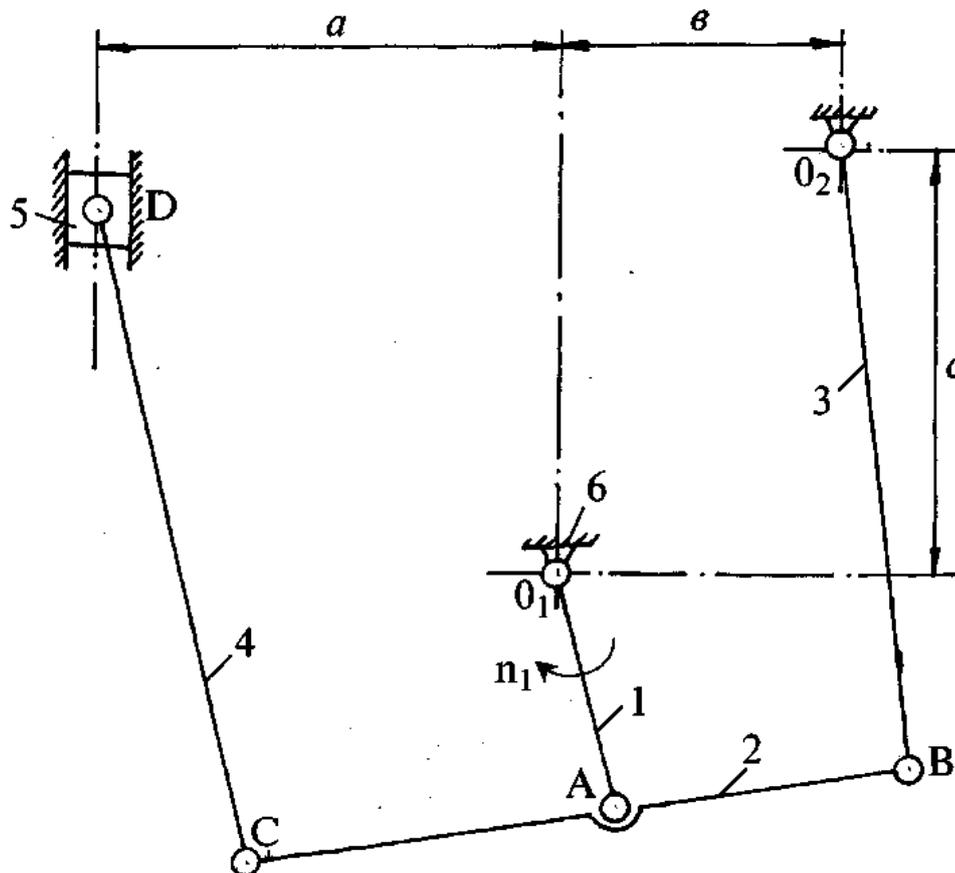
19-задание



Длины звеньев (мм)

	l_{O_1A}	l_{AC}	l_{DC}	l_{AB}	$n_1 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$
1	50	75	125	75	120
2	50	75	125	80	180
3	50	75	125	90	240
4	50	75	125	100	360
5	50	75	125	150	400

20-задание



Длины звеньев (мм)

	l_a	l_b	l_c	l_{O_1A}	l_{AB}	l_{O_2B}	l_{AC}	l_{CD}	$n_1 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$
1	20	16	52	14	25	60	25	85	300
2	100	80	200	70	125	300	125	425	200

Ключевые слова и определения

1. Машина – устройство, совершающее полезную механическую работу по облегчению физического и умственного труда человека и повышения его производительности.
2. Механизм – составная часть машины – это система тел, подвижно связанных друг с другом, совершающая требуемые движения.
3. Звено – одна или несколько, жестко связанных деталей, совершающая определенное движение.
4. Кинематическая пара – подвижное соединение двух контактирующих звеньев.
5. Число степеней свободы механизма – это число независимых координат, однозначно определяющих положений всех звеньев.
6. Число степеней свободы механизма равно количеству его входных звеньев.
7. Число степеней свободы механизма соответствует минимальному числу вариантов движения его звеньев.
8. Избыточная связь или лишнее звено – звено, которое можно удалить из механизма без нарушения принципа его действия.
9. Стержневой механизм – механизм, звенья которого имеют, в основном, вид стержней.
10. Кривошип – звено, соверш полный оборот вокруг неподвижной точки.
11. Коромысло – звено, которое совершает качательное движение относительно неподвижной точки.
12. Ползун – звено, совершающее движение по неподвижным направляющим.
13. Шатун – звено, совершающее сложное движение в плоскости.
14. Камень – звено, совершающее движение по подвижной направляющей.

15. Кулиса – подвижная направляющая для камня.
16. Шарнирный механизм – механизм, все кинематические пары которого – шарниры.
17. Ползунный механизм – механизм, содержащий хотя бы один ползун.
18. Кулисный механизм – механизм, содержащий хотя бы одну кулису.
19. Абсолютная скорость – это скорость точки (или звена) относительно стойки.
20. Относительная скорость – это скорость одной точки звена относительно другой точки того же звена (для шатунов).
21. Условие существования кривошипа – это такое соотношение длин звеньев, при котором самое короткое звено может совершать полный оборот.

Контрольные вопросы

1. Что такое машина и механизм с точки зрения ТММ?
2. Классификация машин.
3. Классификация механизмов.
4. Для чего предназначен механизм?
5. Для чего предназначена машина?
6. Для чего предназначен электродвигатель?
7. Для чего предназначен компрессор?
8. Какие элементы имеет механизм?
9. Что такая кинематическая пара?
10. Что такое звено?
11. Можно ли заменить в плоских механизмах высших пар низшими?
12. Что определяется по формуле Сомова - Малышева
13. Чему равна степень подвижности плоского 4-х звенного рычажного механизма?
15. Чему равна степень подвижности плоского шестизвенного рычажного механизма?
16. Что определяется по формуле Чебышева?
17. Сколько кинематических пар имеет группа Ассура 3-го порядка?
18. Сколько подвижных звеньев имеет группа Ассура 1 кл. 2-го порядка?
19. Сколько кинематических пар имеет группа Ассура 1 кл. 2-го порядка?
20. Что определяется в кинематическом анализе механизма?
21. Что означает q в формуле $W=6n-5p_V-4p_{IV}-3p_{III}-2p_{II}-p_I+q$ (Сомова - Малышева)?
22. Покажите структурную формулу группы Ассура?
23. Основные задачи кинематического анализа механизмов?
24. Приведите формулу векторного уравнения для шатуна в кривошипно - коромысловым механизме?

25. Из каких звеньев состоят механизмы?
26. Что такое высшая и низшая кинематические пары?
27. Что такое число степеней свободы механизма?
28. Чем отличаются структурные формулы Малышева и Чебышева?
29. Чему соответствует число степеней свободы механизма?
30. Сколько звеньев содержит простейших стержневой механизм?
31. Каковы главные признаки шарнирных, ползунных и кулисных механизмов?
32. Где и как используются простейшие стержневые механизмы?
33. Каковы задачи кинематического исследования стержневых механизмов?
34. Каковы возможности планов скоростей и ускорений?

ЛИТЕРАТУРА

а) Основная

1. Фролов К.В. и др. «Теория механизмов и машин», М. высшая школа, 2002г.
2. Левитский Н.И. «Теория механизмов и машин», М. высшая школа, 1987г.
3. Пятаев А.В. «Теория механизмов и машин», Учебное пособия, 2009 г.

б) Дополнительная

1. И. И. Артоболевский "Теория механизмов и машин", Москва Высшая школа, 1988.
2. Алана Дайбаршер «Машиностроение» Гонконг. Китай 2010.
3. М. З. Коловский , А.Н. Евграфов, Ю. А. Семенов , А. Б. Слоуч "Современная теория механизмов и машин" Токио: Спринг 2000.