

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное общеобразовательное учреждение  
высшего образования  
Иркутский государственный аграрный университет имени А. А. Ежевского

Инженерный факультет  
Кафедра «Технического сервиса и общеинженерных дисциплин»

## **ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН**

Учебно-методическое пособие

Иркутск 2020

Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией инженерного факультета Иркутского государственного аграрного университета имени А. А. Ежевского (протокол № 9 от «21» мая 2020 г.)

Составитель: Шистеев А. В., доцент кафедры ТС и ОД,

УДК 620.179.112

Теория механизмов и машин. Учебно-методическое пособие / Составитель: А. В. Шистеев – Иркутск: Иркутский ГАУ, 2020. – 28 с.

Настоящее учебно-методическое пособие подготовлено на основе требований государственного образовательного стандарта и программы дисциплины «Теория механизмов и машин» для студентов сельскохозяйственных ВУЗов, в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Предназначено для самостоятельной работы студентов очной и заочной форм обучения по направлениям: 23.03.03 – ЭТТМ и К, 35.03.06 – Агроинженерия.

Пособие содержит цикл лабораторно-практических работ по кинематическому анализу плоских рычажных механизмов, построению диаграмм перемещений, скоростей и ускорений, планов скоростей и ускорений звеньев механизмов.

Рецензенты:

Зав. кафедрой «Эксплуатация МТП, БЖД и ПО» Иркутского ГАУ имени А.А. Ежевского Ильин П.И.

## Содержание

	Введение.....	4
1.	Основные понятия и определения ТММ.....	5
2.	Лабораторная работа № 1.....	7
3.	Контрольные вопросы.....	13
4.	Лабораторная работа № 2.....	14
5.	Контрольные вопросы.....	20
6.	Лабораторная работа № 3.....	21
7.	Контрольные вопросы.....	24
8.	Вопросы к зачету.....	25
9.	Список литературы.....	26
	Приложения.....	13

## Введение

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.

Прикладная механика, которая в настоящее время объединяет такие дисциплины, как: ТММ; сопротивление материалов; детали машин и подъемно-транспортные машины; является одной из старейших отраслей наук. Известно, например, что еще при строительстве египетских пирамид использовались простейшие механизмы (рычаги, блоки и т.д.). Наука, как таковая, выделилась около 200 лет тому назад. Существенный вклад в развитие практической механики внесли такие ученые и изобретатели, как: М.В. Ломоносов; И.И. Ползунов – создатель паровой машины; И.П. Кулибин – создатель часов автоматов; механизма протеза и др.; отец и сын Черепановы, построившие первый в России паровоз; Л.Эйлер, разработавший теорию плоского зацепления и предложивший эвольвентный профиль зубьев колес, который используется в настоящее время.

Внесли свой вклад в развитие науки академики: П.Л. Чебышев, И.А. Вышнеградский, Н.П. Петров, В.П. Горячкин, М.В. Остроградский; профессора: Н.Е. Жуковский – отец русской авиации, В.Л. Кирпичев, Н.И. Мерцалов, Л.А. Ассур, И.В. Мещерский, физик Д. Максвелл, а также современные ученые, такие как: И.И. Артоболевский, Н.Г. Бруевич, Д.Н. Решетов и др.

## Основные понятия и определения ТММ

Ведущей отраслью современной техники является машиностроение, развитие которого неразрывно связано с созданием новых машин и механизмов, повышающих производительность труда и заменяющих ручной труд машинным.

В технике широко используются подвижные механические системы, подразделяемые на машины, машинные агрегаты и механизмы. В обобщенном виде машина – это устройство, создаваемое человеком для использования законов природы с целью облегчения физического и умственного труда.

По функциональному назначению машины условно можно разделить на: энергетические, транспортные, технологические, контрольно-управляющие, логические (ЭВМ).

Устройства, включающие ряд машин и механизмов, называются машинными агрегатами (М.А.). Обычно М.А. состоит (рис.1) из двигателя – D, передаточного механизма – П.М., рабочей машины – Р.М. и, в ряде случаев, контрольно-управляющих устройств (системы автоматического регулирования) – САР.

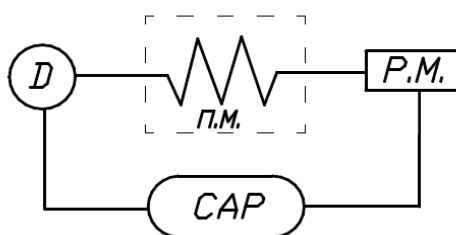


Рисунок 1 – Схема машинного агрегата

В состав каждой отдельной машины входит один или несколько механизмов.

*Механизмом* называется система материальных тел, предназначенных для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемые движения остальных.

Состав механизмов – разнообразен и включает механические, гидравлические, электрические и другие устройства.

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 (упругие).

Два звена, соединенных друг с другом подвижно, образуют кинематическую пару.

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

Таким образом, 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.

Развитие техники осуществляется в направлении совершенствования ранее известных механизмов и путем создания принципиально новых их видов.

## Лабораторная работа №1

Название работы: Исследование и проектирование плоских рычажных механизмов.

Цель работы:

1. Изучить основные принципы работы плоских рычажных механизмов и их звеньев.

2. Законспектировать и усвоить основные термины и определения, названия звеньев и деталей механизма.

3. Ознакомиться с методикой определения класса механизма, сделать эскизы рисунков.

4. Ответить на контрольные вопросы.

Методы кинематического и кинетостатического анализов, а в значительной степени и методы синтеза механизмов, увязаны с их структурой, т. е. способом образования механизмов. Поэтому исследование рычажного механизма необходимо начинать со структурного анализа. Методы структурного, кинематического и силового исследования рассмотрим на конкретном примере.

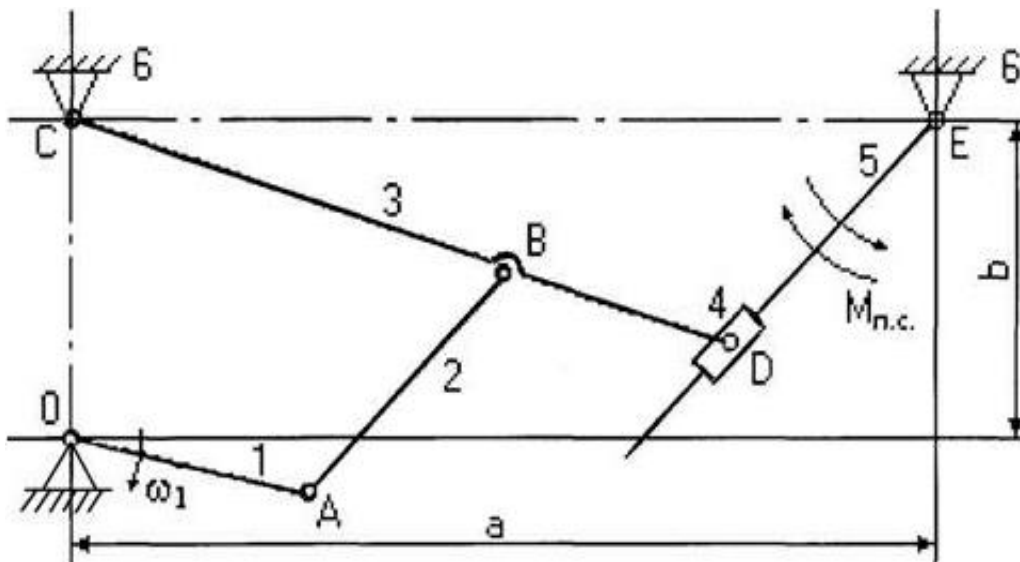


Рисунок 1 – Кинематическая схема плоского рычажного механизма

## 1.1 Структурный анализ плоского механизма

Важно научиться вычислять число степеней подвижности механизма, так как оно определяет количество входных звеньев (начальных механизмов). Ключевым понятием структурного анализа является структурная группа Ассура.

Нужно правильно определить вид и класс группы Ассура, так как для каждого вида разработана своя методика кинематического и силового расчета.

Структурная группа Ассура (также просто **группа Ассура**) — это такая кратчайшая кинематическая цепь, образованная низшими парами пятого класса, при присоединении которой к любому плоскому механизму степень его подвижности не меняется.

Группа названа именем Леонида Владимировича Ассура, который и разработал методику их образования в 1916 году.

Группы Ассура делятся на классы, виды и порядки.

- Класс группы Ассура определяется классом наивысшего контура, входящего в неё.

- Вид группы Ассура определяется сочетанием вращательных (**шарниров**) и поступательных (**ползунов**) кинематических пар в данной группе.

- Порядок группы Ассура определяется по числу кинематических пар, которыми она крепится к механизму.

Пример оформления данного пункта:

Степень подвижности механизма определяем по формуле Чебышева

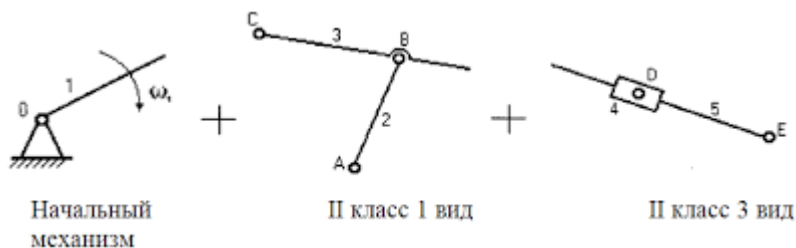
$$W=3 \cdot n' - 2 \cdot p_5 - p_4 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 - 0 = 1,$$

где  $n'$  — число подвижных звеньев;

$p_5$  — количество кинематических пар V класса;

$p_4$  — количество кинематических пар IV класса.

Расчленим механизм на группы Ассура:



Механизм является механизмом второго класса.



## 1.2 Кинематическое исследование плоского механизма

Задачей кинематики механизмов является изучение движения звеньев вне зависимости от сил, действующих на эти звенья. Кинематический анализ считается законченным, если для каждого звена механизма определены положение, скорость и ускорение двух его точек (или положение, скорость и ускорение одной точки звена и угловая координата, угловая скорость и ускорение этого звена). Названные задачи могут быть решены графическим, графоаналитическим и аналитическим методами.

### 1.2.1 Построение положений звеньев механизма

Кинематическая схема механизма строится в масштабе. Под масштабом в ТММ понимается количество истинных единиц измеряемой величины, заключенное в 1 мм чертежа.

Такое понятие позволяет изображать в виде отрезков на чертеже любые параметры (линейные размеры, перемещения, скорости, ускорения, время, силы и др.). Например:

$$K_l = \frac{AB}{\overline{AB}} \text{ м/мм},$$

где  $K_l$  – масштаб линейных размеров (масштаб длин);

$AB$  – истинный размер некоторого отрезка  $AB$  в м;

$\overline{AB}$  – длина этого отрезка на чертеже в мм;

$$K_v = \frac{V_A}{\overline{v_a}} \frac{\text{м/с}}{\text{мм}},$$

где  $K_v$  – масштаб скоростей;

$V_A$  – истинная скорость некоторой точки  $A$  в м/с;

$\overline{v_a}$  – длина отрезка на чертеже в мм, изображающего данную скорость.

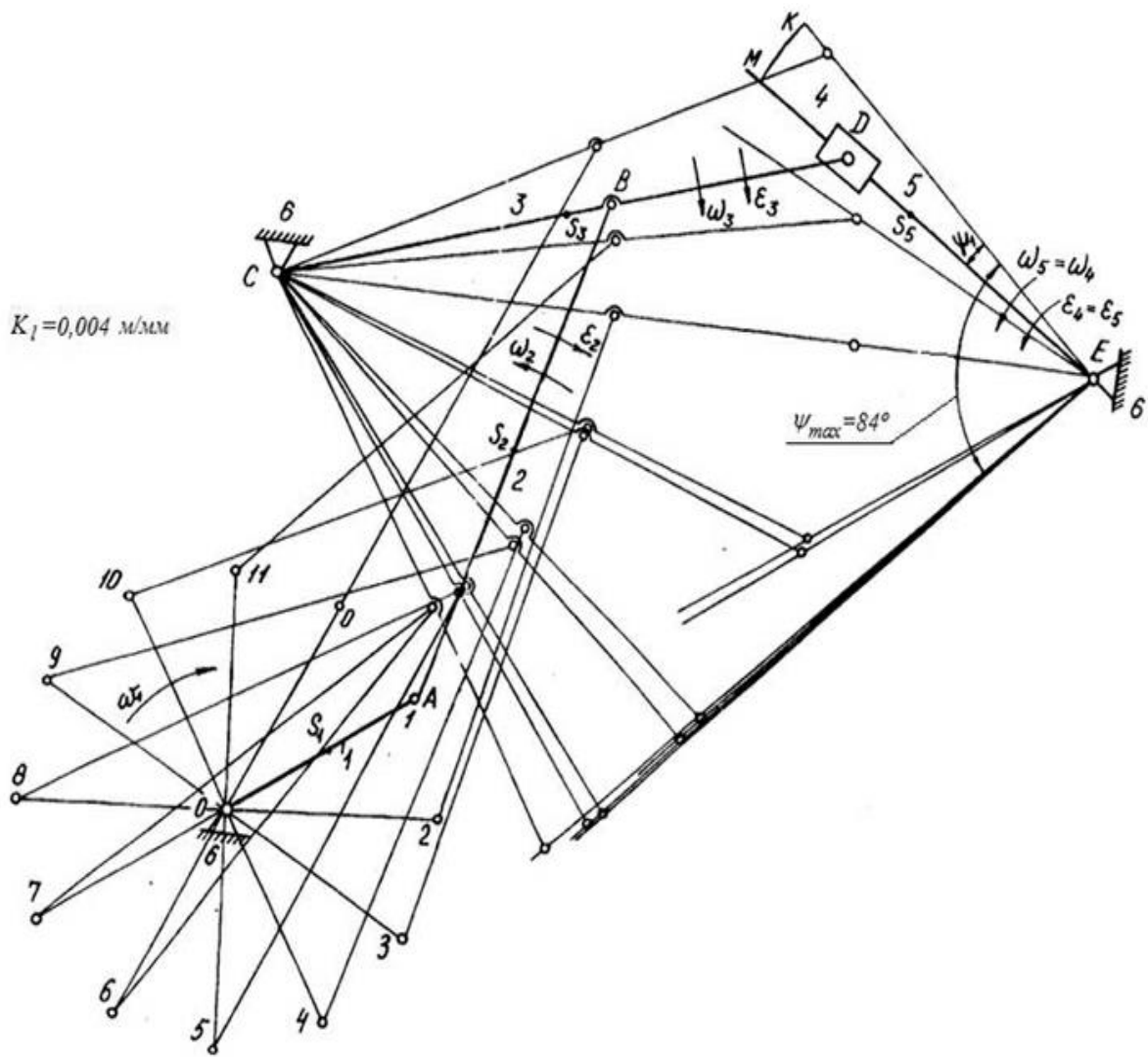
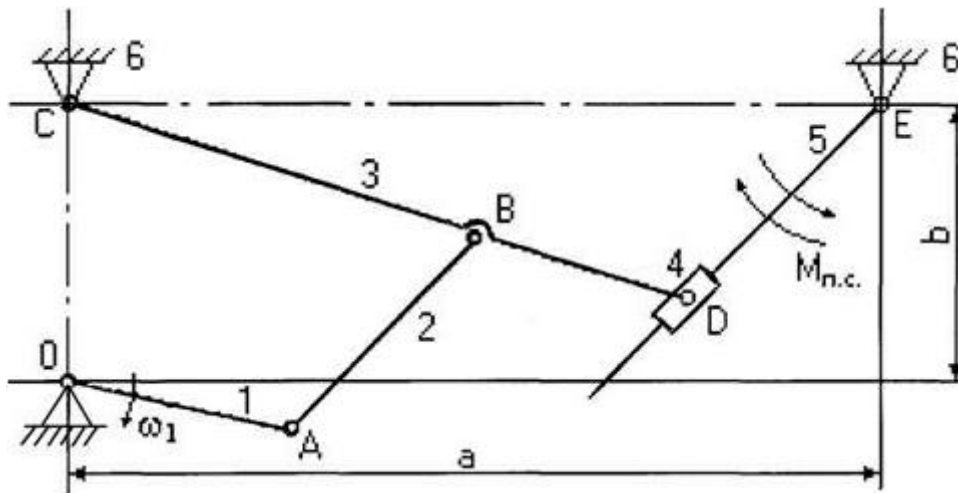


Рисунок 2 – План положений механизма

Чертеж, представляющий собой ряд последовательных положений звеньев механизма, соответствующих полному циклу его движения, называют планом положений механизма. Обычно при графическом методе рассматривается 12 положений механизма (см. рисунок).

Непрерывные линии, соединяющие на плане последовательные положения одноименных точек, дают траектории движения этих точек.

## Построение графика перемещений заданного звена



По заданию необходимо построить график перемещений звена 5. Если это звено совершает возвратно-поступательное движение, то строится график линейных перемещений.

В рассматриваемом примере надо построить график угловых перемещений пятого звена. Отсчет перемещений ведем от одного из крайних положений звена, например от верхнего.

Измерение углов удобно проводить в радианах через соответствующую дугу (рисунок 2).

Например:

$$\psi_1 = \overset{\frown}{KM} / KE \text{ рад.},$$

где  $KE$  – произвольно выбранный радиус (обычно 100 мм).

После определения углов поворота для всех двенадцати положений проводим оси координат и на оси абсцисс откладываем отрезок (рекомендуется брать  $L = 240$  мм), представляющий собой в масштабе  $K_t$  время  $T$  одного полного оборота кривошипа.

$$T = \frac{60}{n_1} \text{ с}; \quad K_t = \frac{T}{L} = \frac{60}{n_1 \cdot L} \frac{\text{с}}{\text{мм}},$$

где  $n_1$  – частота вращения кривошипа в об/мин.

Разбиваем отрезок  $L$  на 12 равных частей, что соответствует 12 положениям механизма, и, назначив масштаб углов поворота  $K_\psi$  (размерность рад/мм), откладываем вдоль оси ординат в каждом положении соответствующие угловые перемещения звена 5. Построенный график называется кинематической диаграммой угловых перемещений (рисунок 3а).

Если исследуемое звено совершает поступательное движение, то измеряются расстояния этого звена от его нулевого положения во всех положениях механизма, и строится диаграмма линейных перемещений.

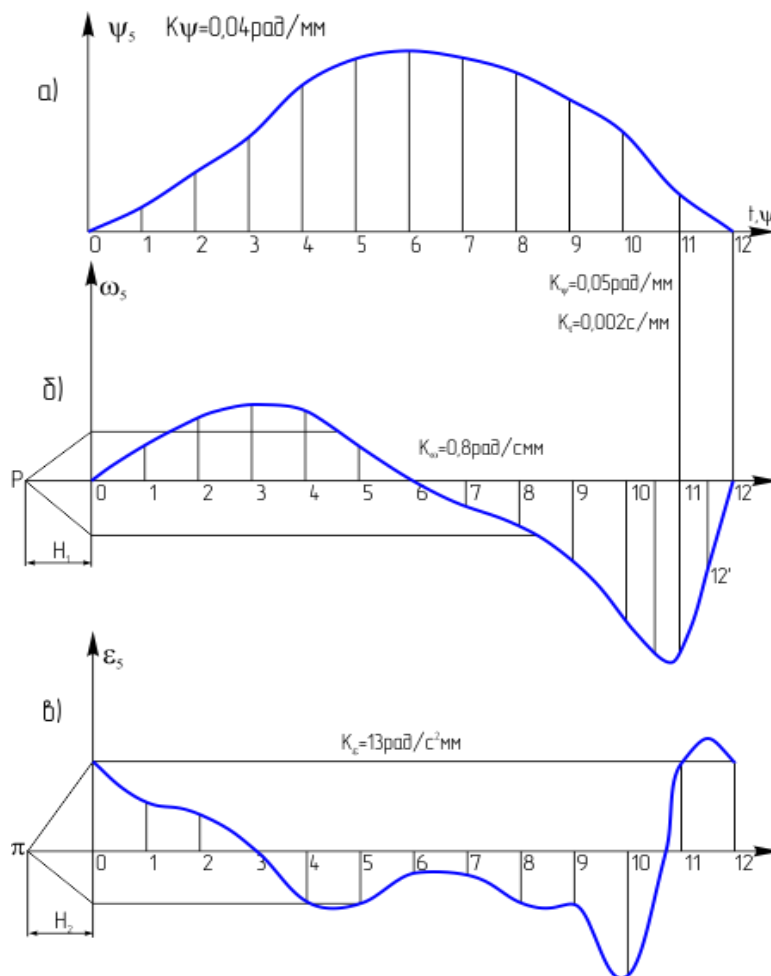


Рисунок 3 – Кинематическая диаграмма угловых перемещений, скоростей и ускорений пятого звена.

## Контрольные вопросы:

1. Основные принципы работы плоских рычажных механизмов и их звеньев.
2. Что такое группа Ассура? Как определяется степень подвижности данного механизма?
3. Поясните основные принципы, используемые при построении звеньев механизмов на чертежах в практике.
4. Поясните основные принципы, используемые при построении графиков перемещений заданного звена.
5. Сделайте общие выводы по работе, найдите примеры применения подобных механизмов в практике и на производстве.

## Лабораторная работа №2

Название работы: Построение диаграмм скоростей и ускорений методом графического дифференцирования

Цель работы:

1. Изучить основные принципы, которые используются при построении диаграмм скоростей и ускорений методом графического дифференцирования.
2. Законспектировать и усвоить основные термины и определения, усвоить методы.
3. Изучить последовательность построения диаграммы методом хорд.
4. Изучить методику кинематического исследования механизма методом планов скоростей и ускорений
5. Ответить на контрольные вопросы.

Имея кинематическую диаграмму перемещений звена, можно получить диаграмму скоростей путем графического дифференцирования.

Рассмотрим последовательность построения диаграммы скоростей методом хорд (рисунок 4).

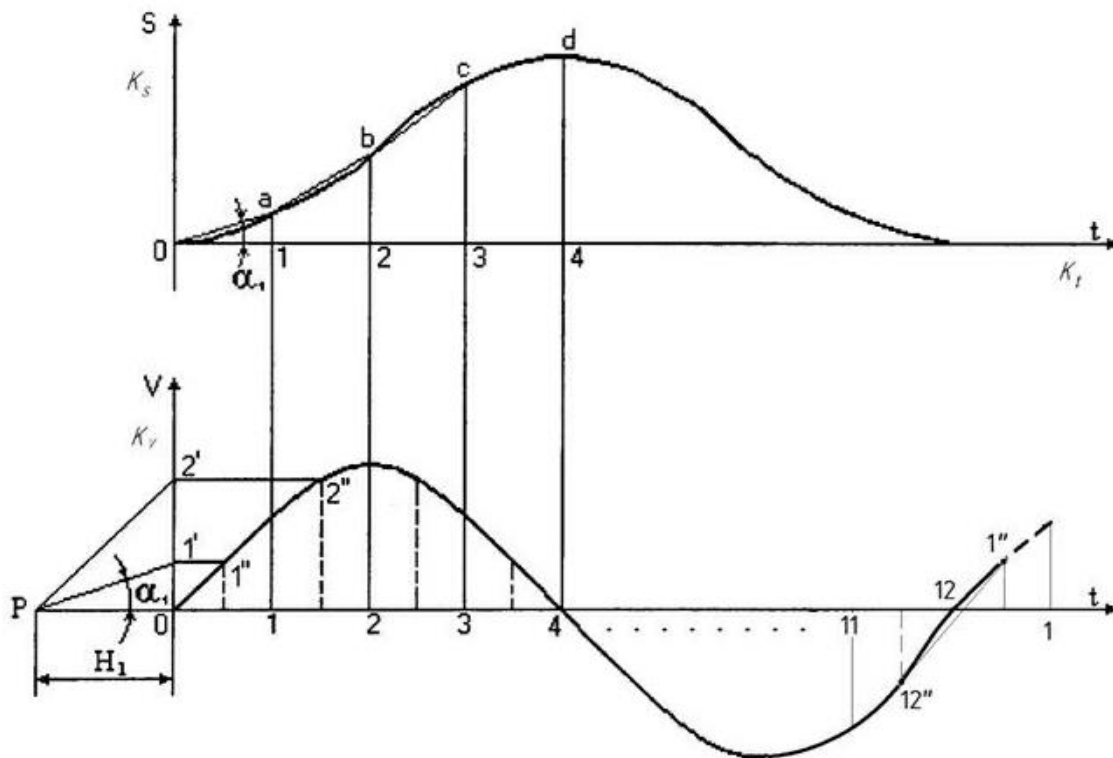


Рисунок 1 – Графическое дифференцирование

- 1) на диаграмме перемещений проводим хорды oa, ab и т.д.;
- 2) строим оси координат для диаграммы скоростей и на продолжении оси ot влево откладываем полюсное расстояние OP в пределах  $H = 30 \dots 60$  мм;
- 3) из полюса P проводим лучи 1, 2, 3 и т.д., параллельные хордам oa, ab, bc и т.д., до пересечения с осью ординат в точках 1', 2', 3' и т.д.;
- 4) из точек 1', 2' и т.д. проводим горизонтальные линии до середины соответствующих отрезков времени (точки 1'', 2'' и т.д.);
- 5) полученные точки 1'', 2'' и т.д. соединяем плавной кривой;
- 6) вычисляем масштаб скоростей:

$$K_v = \frac{K_s}{H_1 \cdot K_t} \frac{\text{м/с}}{\text{мм}}$$

При дифференцировании диаграммы угловых перемещений получаем соответственно диаграмму угловых скоростей в масштабе:

$$K_\omega = \frac{K_\psi}{H_1 \cdot K_t} \frac{\text{рад/с}}{\text{мм}}$$

Построение диаграммы ускорений аналогично построению диаграммы скоростей. При этом

$$K_a = \frac{K_v}{H_2 \cdot K_t} \frac{\text{м/с}^2}{\text{мм}}, \quad K_\varepsilon = \frac{K_\omega}{H_2 \cdot K_t} \frac{\text{рад/с}^2}{\text{мм}}$$

При дифференцировании графика скоростей необходимо обратить внимание на определение величины ускорения в нулевом (двенадцатом) положении. Для этого надо воспользоваться хордой 12''-1'' (см. рисунок 1), продолжив график скоростей в следующий цикл.

Кинематическое исследование механизма методом планов скоростей и ускорений

Планом скоростей (ускорений) механизма называют чертеж, на котором скорости (ускорения) различных точек изображены в виде векторов, показывающих направления и величины (в масштабе) этих скоростей (ускорений) в данный момент времени.

Абсолютное движение любой точки звена может быть составлено из переносного и относительного. За переносное принимается известное движение какой-либо точки. Относительное – движение данной точки относительно той, движение которой принято за переносное:

$$\bar{V}_{\text{абс}} = \bar{V}_{\text{пер}} + \bar{V}_{\text{отн}}; \quad \bar{a}_{\text{абс}} = \bar{a}_{\text{пер}} + \bar{a}_{\text{отн}}$$

На плане абсолютные скорости (ускорения) изображаются векторами, выходящими из полюса плана.

На конце вектора абсолютной скорости (ускорения) ставится строчная (маленькая) буква, соответствующая той точке механизма, скорость (ускорение) которой данный вектор изображает. Отрезок, соединяющий концы векторов абсолютных скоростей, представляет собой вектор относительной скорости соответствующих точек.

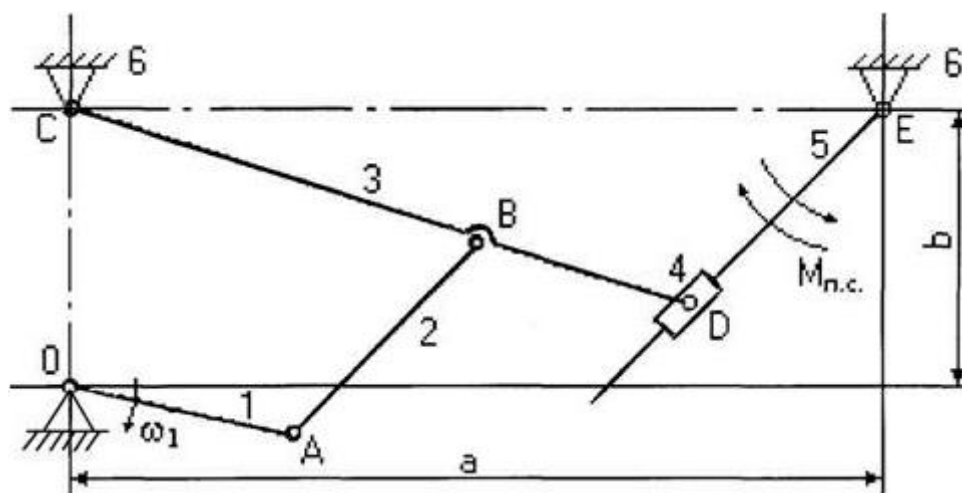


Рисунок 1 – Кинематическая схема плоского рычажного механизма

Рассмотрим построение планов для механизма, представленного на рисунке 1. Вначале рассматривается начальный механизм, а далее решение ведется по группам Ассур в порядке их присоединения. Начальный механизм:

$$V_0 = 0; \quad V_A = \omega_1 \cdot OA; \quad \bar{V}_A \perp OA$$

Здесь

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} \text{ рад/с}$$

По вычисленному значению  $V_A$  выбираем масштаб плана скоростей  $KV$  и из произвольного полюса откладываем отрезок  $va$  изображающий эту скорость:



$$\overline{va} = \frac{V_A}{K_V} \text{ мм}$$

Можно также назначать отрезок  $va$  а масштаб  $K_V$  вычислять:

$$K_V = \frac{V_A \text{ м/с}}{\overline{va} \text{ мм}}$$

Группа Ассур второго класса 1-го вида (звенья 2, 3):

$$\begin{cases} \overline{V}_B = \overline{V}_A + \overline{V}_{BA}; & \overline{V}_{BA} \perp AB; \\ \overline{V}_B = \overline{V}_C + \overline{V}_{BC}; & V_C = 0; \quad \overline{V}_{BC} \perp BC \end{cases}$$

Истинные значения (в м/с) относительных скоростей  $V_{BA}$  и  $V_{BC}$  определяются после построения плана умножением соответствующих отрезков (в мм) на масштаб плана:

$$\begin{aligned} V_{BA} &= \overline{ba} \cdot K_V, \\ V_{BC} &= \overline{bc} \cdot K_V, \end{aligned}$$

а зная их, можно определить и угловые скорости звеньев 2 и 3:

$$\omega_2 = \frac{V_{BA}}{AB}, \quad \omega_3 = \frac{V_{BC}}{BC} \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Скорость точки D на плане скоростей можно определить по подобию. (Если известны скорости двух точек одного и того же звена, то скорость любой третьей точки этого же звена можно определить, построив на плане скоростей фигуру, подобную фигуре, образованной этими же буквами на звене механизма). Точки C, B, D на звене 3 лежат на одной прямой. На плане строим отрезок  $cd$ , соблюдая условие подобия:

$$\frac{\overline{bc}}{\overline{BC}} = \frac{\overline{cd}}{\overline{CD}}$$

Группа Ассур второго класса 3-го вида (звенья 4,5):

$$\begin{cases} \overline{V}_{D_5} = \overline{V}_D + \overline{V}_{D_5D}; & \overline{V}_{D_5D} \parallel DE \\ \overline{V}_{D_5} = \overline{V}_E + \overline{V}_{D_5E}; & V_E = 0; \quad \overline{V}_{DE} \perp DE \end{cases}$$

где  $D_5$  - точка, находящаяся на звене 5 под точкой D. После определения скорости движения точки  $D_5$  относительно точки E можно вычислить угловую

скорость звеньев 4 и 5 ( $\omega_4 = \omega_5$ , т. к. эти звенья соединяются поступательной парой):

$$\omega_4 = \omega_5 = \frac{V_{D_5E}}{DE} = \frac{\overline{d_5e} \cdot K_V}{\overline{DE} \cdot K_l}$$

Примечание: в данном случае размер DE является величиной переменной (т.е. в задании он отсутствует), поэтому в каждом положении механизма он определяется через отрезок на чертеже и масштаб длин.

План ускорений строится в таком же порядке.

Начальный механизм

Ускорение точки A состоит только из нормальной составляющей, т.к. задана постоянная угловая скорость первого звена ( $\omega_1 = \text{const}$ ):

$$a_O = 0; a_A = a_A^n = \omega_1^2 \cdot OA; \overline{a_A} \parallel OA$$

По вычисленному значению ускорения точки A выбирается масштаб плана ускорений и определяется отрезок на плане, соответствующий этому ускорению (или вычисляется масштаб плана ускорений по выбранному отрезку, изображающему ускорение точки A):

$$\overline{wa} = \frac{a_A}{K_a} \text{ мм, или } K_a = \frac{a_A}{\overline{wa}} \frac{\text{м/с}^2}{\text{мм}}$$

Здесь точка w – полюс плана ускорений.

Группа Ассур (звенья 2,3) второго класса 1-го вида:

$$\begin{cases} \overline{a_B} = \overline{a_A} + \overline{a_{BA}}^n + \overline{a_{BA}}^{\tau}; & a_{BA}^n = \omega_2^2 \cdot AB; & \overline{a_{BA}}^n \parallel AB; & \overline{a_{BA}}^{\tau} \perp AB; \\ \overline{a_B} = \overline{a_C} + \overline{a_{BC}}^n + \overline{a_{BC}}^{\tau}; & a_C = 0; a_{BC}^n = \omega_3^2 \cdot BC; & \overline{a_{BC}}^n \parallel BC; & \overline{a_{BC}}^{\tau} \perp BC. \end{cases}$$

После построения определяются  $a_{BA}^{\tau}$  и  $a_{BC}^{\tau}$ , по которым можно вычислить угловые ускорения звеньев 2 и 3:

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{BA}^{\tau}}{AB} = \frac{\overline{a_{BA}^{\tau}} \cdot K_a}{AB}; \quad \varepsilon_3 = \frac{a_{BC}^{\tau}}{BC} = \frac{\overline{a_{BC}^{\tau}} \cdot K_a}{BC} \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$$

Ускорение точки D определяем по подобию так же, как определяли скорость этой точки:

$$\frac{\overline{bc}}{BC} = \frac{\overline{cd}}{CD}$$

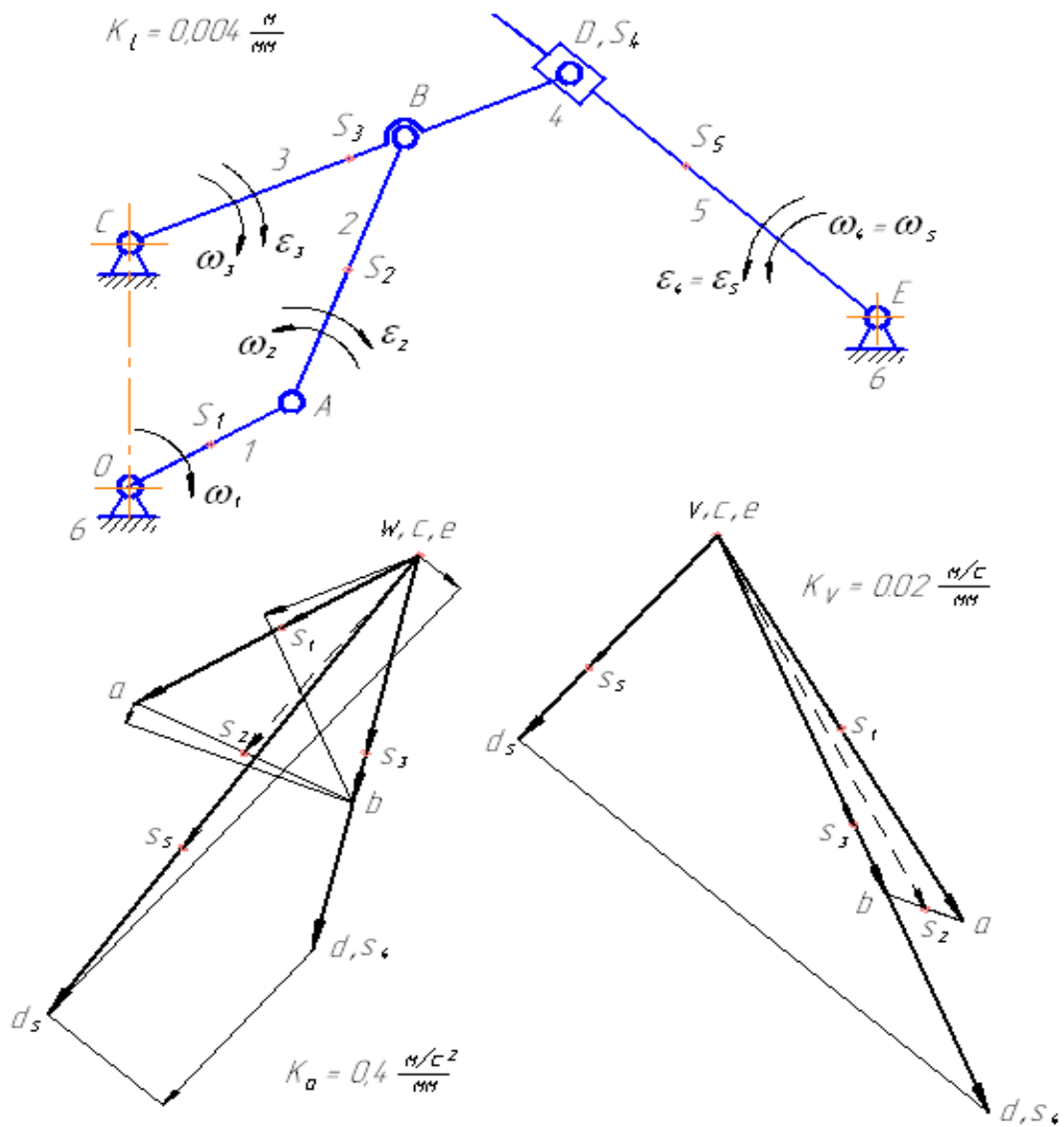


Рисунок 5 – Планы скоростей и ускорений для заданного положения механизма

При переходе к ответам на контрольные вопросы, убедитесь, что успешно освоили и владеете материалом по данной лабораторной работе. Кроме этого, необходимо отметить, что данные математические выкладки и применяемые методики являются основой для дальнейшего свободного постижения дисциплин студентами инженерных специальностей.

## Контрольные вопросы:

1. Расскажите об изученных принципах, которые используются при построении диаграмм скоростей и ускорений методом графического дифференцирования.
2. Назовите последовательность построения указанной диаграммы методом хорд.
3. Что называют планом ускорений?
4. Сформулируйте общие выводы по работе.

## Лабораторная работа №3

Название работы: Расчет рычажного механизма с выходным звеном, совершающим вращательное движение

Цель работы:

1. Изучить основные принципы, которые используются при расчете рычажных механизмов с выходным звеном, совершающим вращательное движение.

2. Законспектировать и усвоить основные термины и определения, усвоить методы.

3. Изучить последовательность расчета.

4. Ответить на контрольные вопросы.

Пример расчета рычажного механизма с выходным звеном, совершающим вращательное движение

Особенностью групп Ассура II класса 1-го и 2-го видов является то, что с геометрической точки зрения они имеют два решения. Поэтому применение общего принципа составления аналитических уравнений, изложенного выше, приводит к решению сложных квадратных уравнений, имеющих два корня.

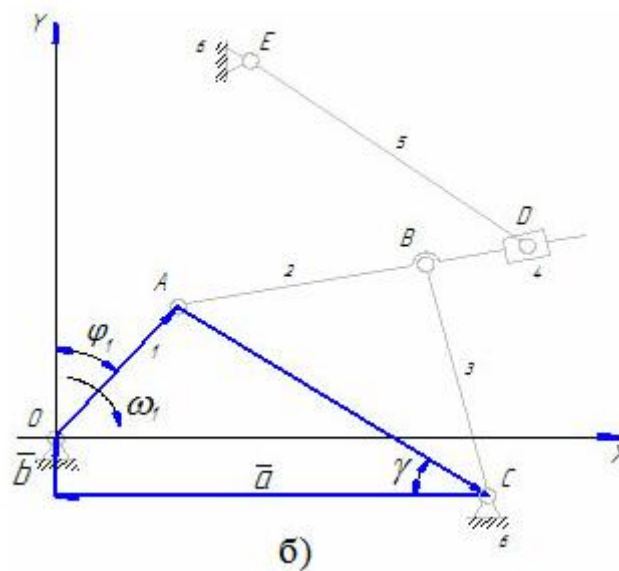
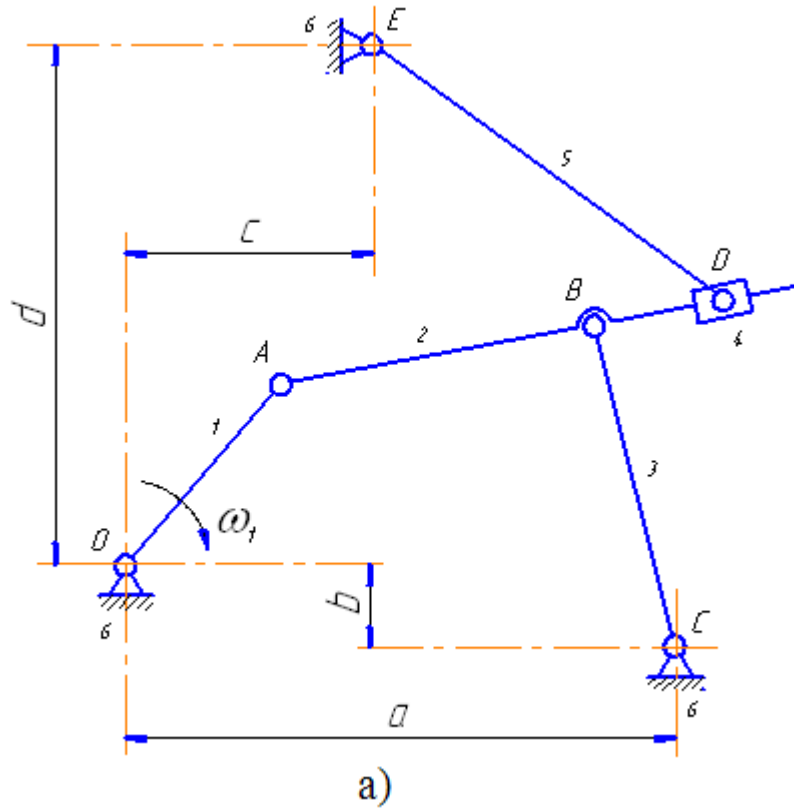
Возникает новая задача по выявлению того корня, который соответствует заданному механизму. Для упрощения решения задачи надо воспользоваться следующими рекомендациями:

- в группе 1-го вида при составлении векторного многоугольника необходимо «двигаться» от одного крайнего шарнира к другому, а не по звеньям группы;

- в группе 2-го вида при составлении суммы проекций необходимо провести вспомогательную ось перпендикулярно направляющей, по которой движется ползун, и рассмотреть построенный векторный многоугольник в проекции на эту ось.

Изображенный на рисунке 1 механизм содержит оба эти случая. При формировании векторного многоугольника для первой части этого механизма, включающей группу Ассура второго класса первого вида, проведен вектор  $AC$ , соединяющий крайние шарниры  $A$  и  $C$  данной группы (рисунок 1,б).

В результате определяются угол  $\gamma$  и размер  $AC$ , после чего в треугольнике  $ABC$  становятся известными все три стороны. По теореме косинусов можно определить любой из углов этого треугольника. В данном случае определяется угол  $\alpha$  (рисунок 1,в), т.к. для дальнейшего решения задачи необходимо знать угол  $\varphi_2$ .



Структурный анализ  
 $(1,6) + (2,3) + (4,5)$   
 н.м. // кл // кл  
 1 в. 2 в.

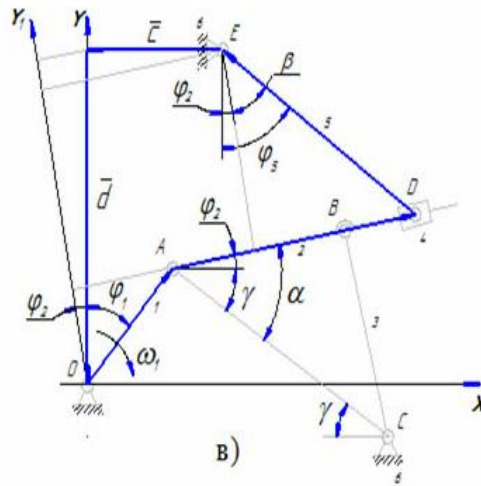


Рисунок 1 – Механизм с группами Ассур II класса 1-го и 2-го видов

Векторный многоугольник, включающий группу второго класса второго вида, рассматривается в проекции на ось  $Y_1$ , проведенной перпендикулярно направляющей  $ABD$  (рисунок 1в). Полученное алгебраическое уравнение позволяет определить угол  $\beta$  и далее искомый угол  $\varphi_5$ .

Конкретно аналитическое определение углового перемещения выходного звена 5, представленного на рисунке 1 (с учетом изложенных выше рекомендаций), будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 & 1) \overline{OA} + \overline{AC} + \overline{a} + \overline{b} = 0 \\
 & \Sigma x; \begin{cases} OA \cdot \sin \varphi_1 + AC \cdot \cos \gamma - a = 0 \\ OA \cdot \cos \varphi_1 - AC \cdot \sin \gamma + b = 0 \end{cases} \begin{cases} AC \cdot \cos \gamma = a - OA \sin \varphi_1 = t_2 \\ AC \cdot \sin \gamma = OA \cdot \cos \varphi_1 + b = t_1 \end{cases} \\
 & \gamma = \arctg\left(\frac{t_1}{t_2}\right); \quad AC = \sqrt{t_1^2 + t_2^2} \\
 & \cos \alpha = \frac{AC^2 + AB^2 - BC^2}{2 \cdot AC \cdot AB} \rightarrow \alpha \\
 & \varphi_2 = \alpha - \gamma; \\
 & 2) \overline{OA} + \overline{AD} + \overline{DE} + \overline{c} + \overline{d} = 0 \\
 & \Sigma y_1; \quad OA \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2) + DE \cdot \cos \beta + c \cdot \sin \varphi_2 - d \cdot \cos(\varphi_2) = 0 \\
 & \cos \beta = \frac{\cos \varphi_2 - c \cdot \sin \varphi_2 - OA \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2)}{DE} \rightarrow \beta \\
 & \varphi_5 = \varphi_2 + \beta
 \end{aligned}$$

По этим уравнениям с помощью ЭВМ определяется угловое перемещение выходного звена  $\varphi_5$  в рад, угловая скорость  $\omega_5$  в рад/с, угловое ускорение  $\varepsilon_5$  в рад/с<sup>2</sup> для  $n$  положений механизма (в соответствии с заданием курсового проекта – для 24 положений)

### **Контрольные вопросы:**

1. Что означает понятие выходное звено, совершающее вращательное движение?
2. Назовите последовательность расчета указанного выходного звена
3. Опишите последовательность работы механизма, изображенного на рисунке 1?
4. Сформулируйте общие выводы по работе.



## Вопросы к зачету

- 1 Понятие механизма, детали, звена.
- 2 Название звеньев механизма в зависимости от характера их движения.
- 3 Классификация кинематических пар.
- 4 Условные изображения кинематических пар.
- 5 Кинематические цепи (простые, сложные, замкнутые, незамкнутые).
- 6 Определение числа степеней свободы кинематической цепи.
- 7 Обосновать формулу подвижности для пространственного и плоского механизма.
- 8 Пассивные и избыточные связи в кинематической цепи.
- 9 Лишние степени свободы кинематической цепи.
- 10 Высшие и низшие пары. Понятие заменяющего механизма.
- 11 Структурная классификация плоских механизмов.
- 12 Определение класса и порядка групп Ассур.
- 13 Виды групп Ассур второго класса.
- 14 Начальные звенья при кинематическом анализе механизмов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. - М.: Альянс, 2014. - 640 с.
2. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин. / И.И. Артоболевский. - М.: Альянс, 2016. - 640 с.
3. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин: Учебник для вузов / И.И. Артоболевский. - М.: Альянс, 2012. - 640 с.
4. Борисенко, Л.А. Теория механизмов, машин и манипуляторов: Учебное пособие / Л.А. Борисенко. - М.: НИЦ Инфра-М, Нов. знание, 2013. - 285 с.
5. Борисенко, Л.А. Теория механизмов, машин и манипуляторов: Учебное пособие / Л.А. Борисенко. - М.: Инфра-М, 2014. - 448 с.
6. Коловский, М.З. Теория механизмов и машин / М.З. Коловский, А.Н. Евграфов и др. - М.: Academia, 2015. - 192 с.
7. Коловский, М.З. Теория механизмов и машин: Учебник / М.З. Коловский. - М.: Академия, 2016. - 320 с.
8. Коловский, М.З. Теория механизмов и машин: Учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / М.З. Коловский, А.Н. Евграфов, Ю.А. Семенов, А.В. Слоущ. - М.: ИЦ Академия, 2013. - 560 с.
9. Коловский, М.З. Теория механизмов и машин: учебник / М.З. Коловский. - М.: Academia, 2018. - 304 с.
10. Кудинов, Ю.И. Теория механизмов и машин. Учебно-метод. пос. КПТ / Ю.И. Кудинов, Ф.Ф. Пашенко. - СПб.: Лань КПТ, 2016. - 288 с.
11. Леонов, И.В. Теория механизмов и машин. основы проектирования по динамическим критериям и показателям экономичности: Учебник для академического бакалавриата / И.В. Леонов, Д.И. Леонов. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 239 с.
12. Матвеев, Ю.А. Теория механизмов и машин: Учебное пособие / Ю.А. Матвеев, Л.В. Матвеева. - М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. - 320 с.
13. Мкртычев, О.В. Теория механизмов и машин: Практ. / О.В. Мкртычев. - М.: Вузовский учебник, 2019. - 320 с.
14. Мкртычев, О.В. Теория механизмов и машин: Учебное пособие / О.В. Мкртычев. - М.: Вузовский учебник, 2019. - 320 с.
15. Николенко, С.И. Теория экономических механизмов: Учебное пособие / С.И. Николенко. - М.: Бином, 2011. - 207 с.

Учебное издание

Шистеев А.В.

ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН  
(Учебно-методическое пособие)

Направления подготовки:  
35.03.06 – Агроинженерия  
23.03.06 – ЭТТМиК  
(уровень бакалавриата)

Лицензия на издательскую деятельность  
ЛР № 070444 от 11.03.98 г.  
Подписано в печать \_\_\_\_\_. Формат 60x84/16  
Усл. печ. л. 1,22 Тираж

Издательство Иркутского государственного аграрного университета  
им. А.А. Ежевского  
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н, пос. Молодежный