

Документ подписан простой электронной подписью  
 Информация о владельце:  
 ФИО: Новиков Денис Владимирович  
 Должность: Директор филиала  
 Дата подписания: 11.06.2017  
 Уникальный образный ключ:  
 3357c68c48ac4fc95c95789ac7a9678a502be60

**Комплект заданий расчетно-графических работ:**  
**РГР № 1 «Структурное исследование механизма»**

**Структурное исследование механизма**

1. Изобразить схему механизма без соблюдения масштаба (Варианты схем в Таблице 3)

- Пронумеровать звенья арабскими цифрами, а кинематические пары римскими.
- Произвести анализ звеньев (см. Таблицу 1): указать название звена, схематичное изображение, абсолютное движение – движение относительно стойки, в какие кинематические пары входит.
- Произвести анализ кинематических пар (см. таблицу 2): указать какими звеньями она образована, какое относительное движение звеньев допускает, класс пары, является она высшей или низшей, вид пары. После таблицы 2 сделать вывод, в котором указать количество пар первого и второго класса, общее число пар.
- Оценить степень сложности и замкнутости кинематической цепи. Определить число степеней подвижности для плоского механизма по формуле Чебышева.
- Сформулировать общий вывод структурного исследования механизма.

Анализ звеньев

Таблица 1

| № п/п | Схема звена | Название звена | Абсолютное движение | Особенности | В какие КП входит звено |
|-------|-------------|----------------|---------------------|-------------|-------------------------|
| 1     |             |                |                     |             |                         |
| 2     |             |                |                     |             |                         |
| ...   |             |                |                     |             |                         |

Анализ кинематических пар

Таблица 2

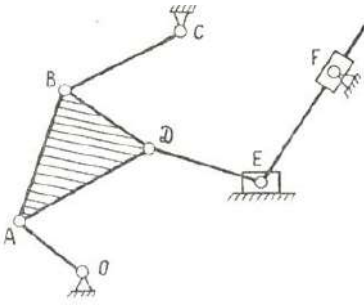
| № п/п | Схема КП | Звенья, образующие пару | Относительное движение | Класс пары, вид пары | Высшая или низшая пара |
|-------|----------|-------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| I     |          |                         |                        |                      |                        |
| II    |          |                         |                        |                      |                        |
| ...   |          |                         |                        |                      |                        |

**Варианты схем механизмов**

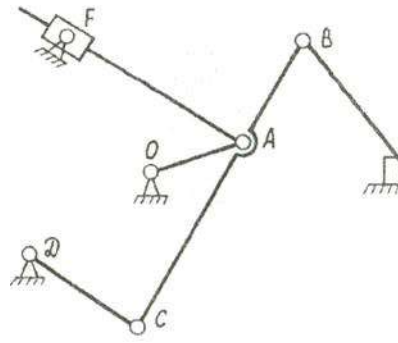
Таблица 3

|                  |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|
| <p>Вариант 1</p> | <p>Вариант 2</p> | <p>Вариант 3</p> |
| <p>Вариант 4</p> | <p>Вариант 5</p> | <p>Вариант 6</p> |

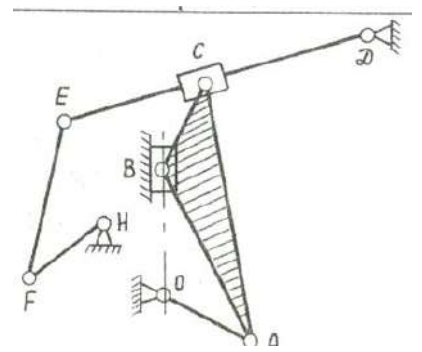
Вариант 7



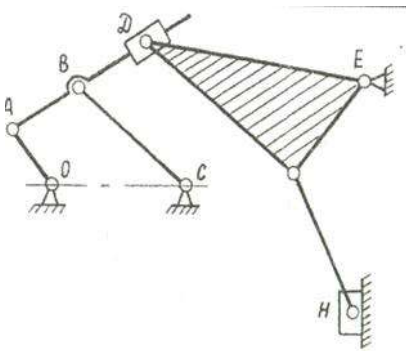
Вариант 8



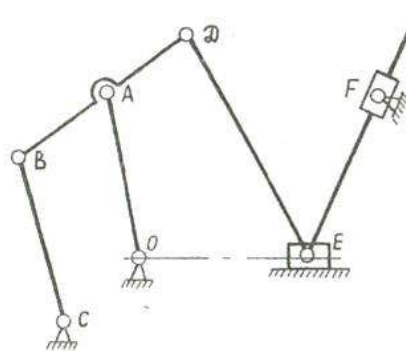
Вариант 9



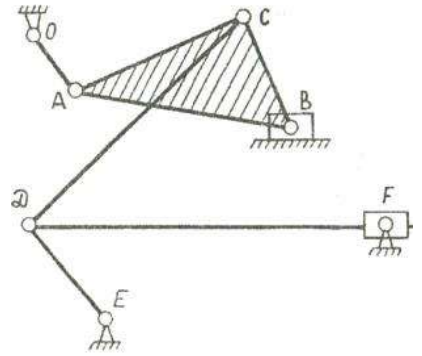
Вариант 10



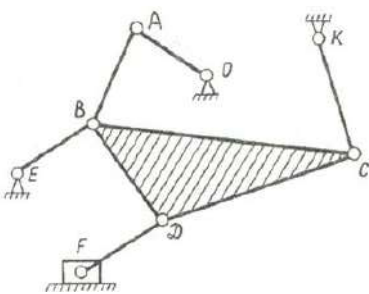
Вариант 11



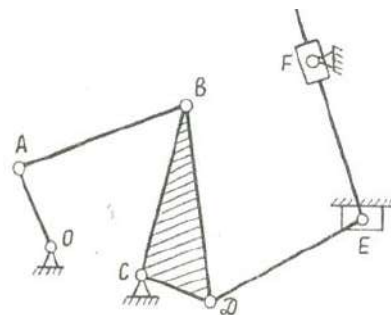
Вариант 12



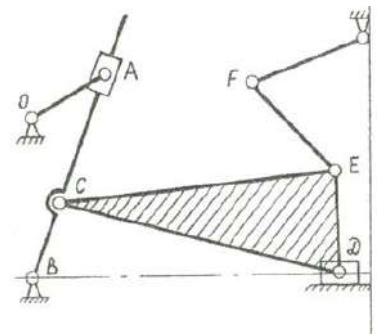
Вариант 13



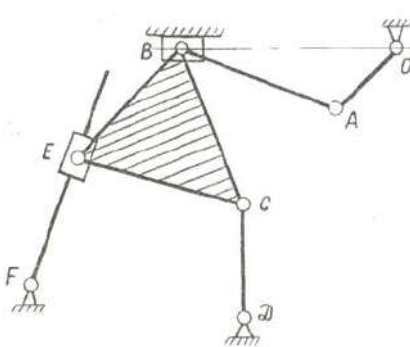
Вариант 14



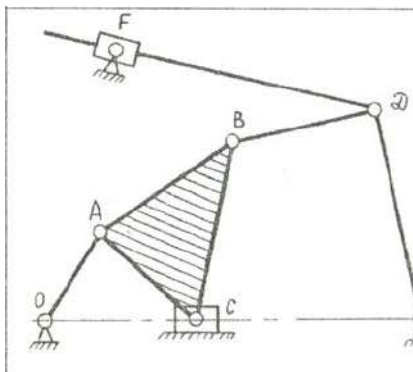
Вариант 15



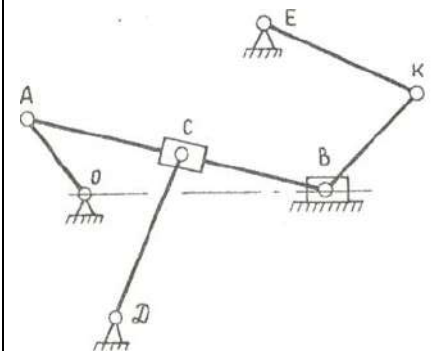
Вариант 16



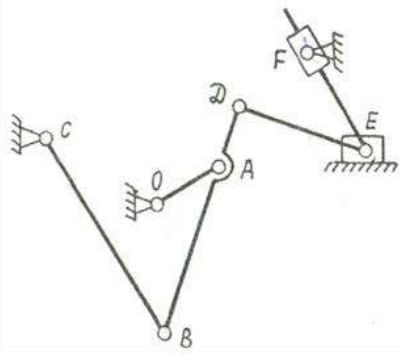
Вариант 17



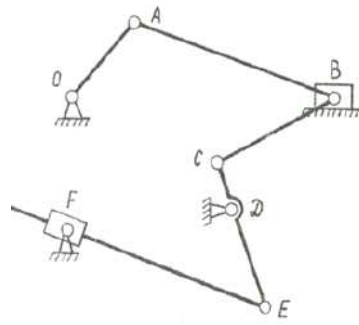
Вариант 18



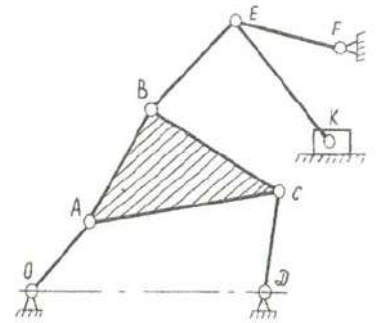
Вариант 19



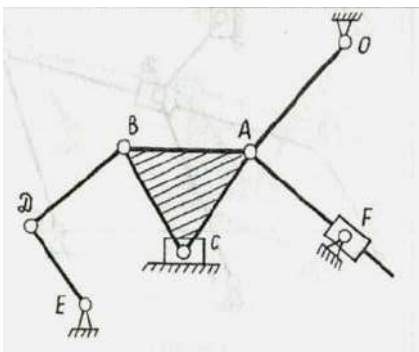
Вариант 20



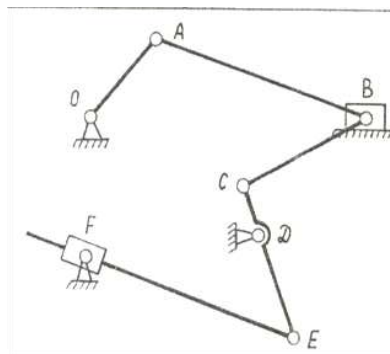
Вариант 21



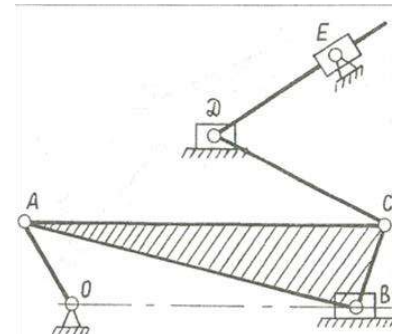
Вариант 22



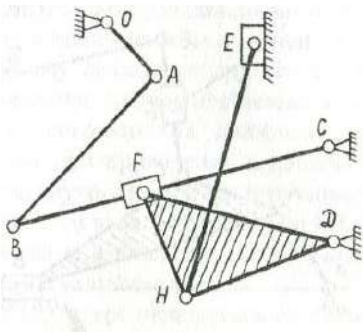
Вариант 23



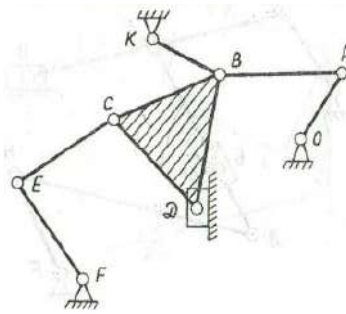
Вариант 24



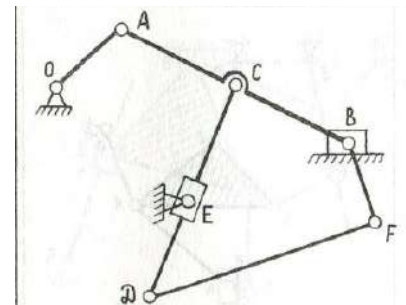
Вариант 25



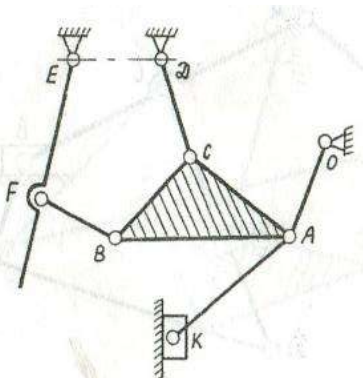
Вариант 26



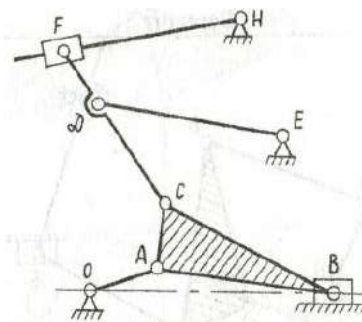
Вариант 27



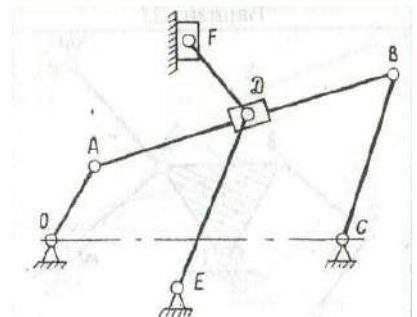
Вариант 28



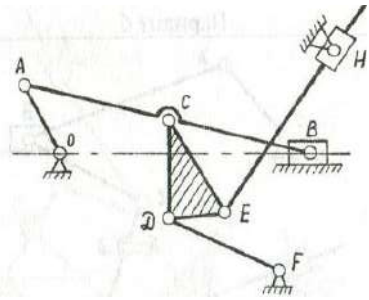
Вариант 29



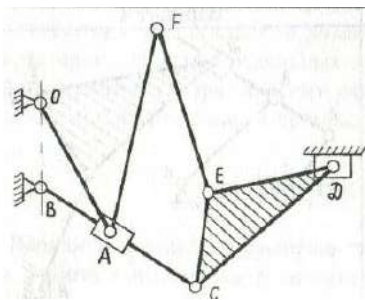
Вариант 30



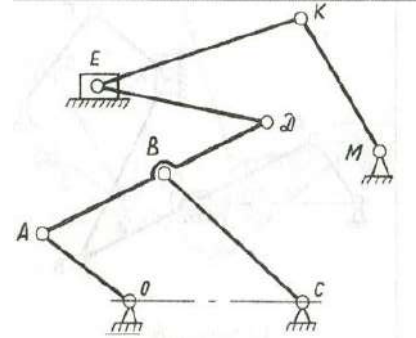
Вариант 31



Вариант 32



Вариант 33



**Комплект заданий расчетно-графических работ:**  
**РГР № 2 "Построение плана положений плоского механизма**  
**(Метрический синтез)"**

Для выполнения работы потребуются инструменты (карандаш, циркуль, линейка, транспортир, ластик) и миллиметровая бумага А4 или А3.

**Порядок выполнения РГР:**

1. Изобразить схему механизма без масштаба и размеров в лабораторной тетради, записать исходные данные

- длины звеньев:  $l_{OA}$ ,  $l_{AB}$ ,  $l_{BD}$  и др.,

- дополнительные расстояния между точками:  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и т.д.

2. Выбрать масштабный коэффициент длин.

Например,  $l_{OA} = 0.2 м$ ,  $|OA| = 40 мм$   $\mu_l = \frac{l_{OA}}{|OA|} = \frac{0.2 м}{40 мм} = 0.005 м/мм$

Далее переводим длины оставшихся звеньев в мм через масштабный коэффициент длин, используя формулу:

$$|l_i| = \frac{l_i}{|\mu_l|}, \text{ где } i - \text{обозначение звена, для которого вычисляется длина на}$$

кинематической схеме. Результаты заносим в таблицу.

*Таблица – Приведённые размеры механизма в мм*

|        |        |        |     |       |       |     |
|--------|--------|--------|-----|-------|-------|-----|
| $ OA $ | $ AB $ | $ BC $ | ... | $ a $ | $ b $ | ... |
| 40     | ...    | ...    | ... | ...   | ...   | ... |

3. Построение плана положения начинают с изображения элементов стойки, т.е. шарнирно-неподвижных опор и направляющих, определяя тем самым габариты механизма в масштабе.

4. Так как кривошип  $OA$  вращается с постоянной угловой скоростью, построение 6 (или 12) положений механизма производится через равные отрезки времени. Разбив окружность радиуса  $|OA|$  на 6 частей, последовательно изображают ведущее звено (кривошип) в шести положениях.

5. К ведущему звену в каждом его положении присоединяют (вычерчивают) первую структурную группу. Положение подвижных характерных точек определяют циркулем с помощью метода засечек.

6. После вычерчивания всех положений первой структурной группы также последовательно присоединяют все остальные.

7. Оформляют готовый план положений (заголовок работы, масштаб, исходные данные, на плане показывают все подвижные точки  $A_1-A_6$ ,  $B_1-B_6$  и т.д.

## Комплект заданий расчетно-графических работ:

### РГР № 3 "Построение плана скоростей одного положения механизма графоаналитическим методом"

Порядок выполнения РГР.

1. Формируем исходные данные

-длины звеньев:  $l_{OA}$ ,  $l_{AB}$ ,  $l_{BD}$  и т.д., а также  $n_{\theta 0}$  -число оборотов кривошипа  $OA$ , жестко связанного с выходным колесом [3].

$$\text{-угловая скорость кривошипа } \omega_1 = \frac{n_{\theta 0} \cdot \pi}{30} \text{ рад/с}$$

2. Определяем скорость ведущего звена. Скорость точки  $A$  кривошипа определим по формуле:

$$V_A = \omega_1 \cdot l_{OA} \text{ м/с} \quad (1)$$

3. Выбираем масштаб скоростей.

$$\mu_V = \frac{V_A}{p_{Va}} \text{ м/(с} \cdot \text{мм)} \quad (2)$$

Необходимо стремиться к тому, чтобы отрезок  $p_{Va}$ , изображающий на плане скоростей вектор скорости точки  $A$ , был не менее 50 мм. Например:

$$V_A = \omega_1 \cdot l_{OA} = 5.45 \text{ м/с}, \quad \mu_V = \frac{V_A}{p_{Va}} = \frac{5.45 \text{ м/с}}{54.5 \text{ мм}} = 0.1 \text{ м/(с} \cdot \text{мм)}$$

Вектор скорости точки  $A$  представляет собой геометрическую сумму вектора скорости точки  $O$  и скорости относительного вращательного движения точки  $A$  вокруг точки  $O$ :

$$\vec{V}_A = \vec{V}_O + \vec{V}_{AO}. \quad (3)$$

Скорость точки  $\vec{V}_O$  равна нулю. Скорость  $\vec{V}_{AO}$  перпендикулярна звену  $OA$  и направлена в сторону вращения этого звена. Откладываем отрезок  $p_{Va}$  (мм) на плане скоростей от выбранного неподвижного полюса.

4. Далее строятся скорости точек в последовательности присоединения структурных групп. При этом записываются и графически решаются уравнения определения скорости точек для определенного вида структурной группы из Таблицы 2.2.

Например, для группы вида 1 (ВВВ)

$$\begin{cases} \vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{BA}, & \vec{V}_{BA} \perp BA, & V_{BA} = \omega_{AB} \cdot l_{AB} \\ \vec{V}_B = \vec{V}_C + \vec{V}_{BC}, & \vec{V}_{BC} \perp BC, & V_{BC} = \omega_{BC} \cdot l_{BC} \end{cases} \quad (4)$$

Скорость  $\vec{V}_A$  нам известна, вектор скорости  $\vec{V}_{BA}$  направлен перпендикулярно звену  $AB$ , а вектор скорости  $\vec{V}_{BC}$  направлен перпендикулярно звену  $BC$ . Поэтому в уравнении (4) 2 неизвестных с известными направлениями. Решаем уравнение графически. Из точки  $a$  проводим прямую, перпендикулярно звену  $AB$ , а из полюса  $p_V$  проводим прямую перпендикулярно звену  $BC$ . Точка пересечения этих прямых даст точку  $b$ .

Далее переходим к следующей структурной группе и п.4 повторяем снова, пока скорости всех точек механизма не будут построены.



4.1 Для промежуточных точек структурных групп применяют метод подобия, т. к. план скоростей подобен плану механизма, то есть

$$\frac{l_{CD}}{l_{CB}} = \frac{|pvd|}{|pvb|}, \quad (5)$$

из этого подобия откладываем отрезок  $pvd$

5. Определяем истинные величины абсолютных и относительных скоростей точек, а также угловые скорости звеньев, снимая размеры длин соответствующих скоростей с плана скоростей в мм.

Например,  $V_A = \overline{pa} \cdot \mu_V$  м/с,  $V_B = \overline{pb} \cdot \mu_V$  м/с,

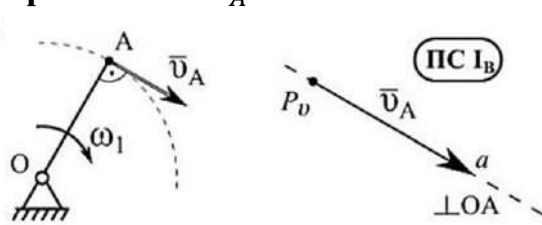
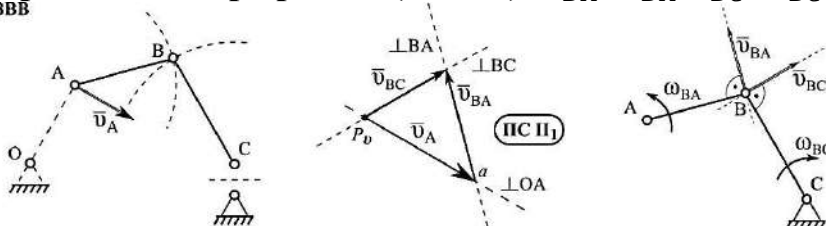
$$V_{AB} = \overline{ab} \cdot \mu_V \text{ м/с}, \quad \omega_{AB} = \frac{V_{BA}}{l_{AB}} \text{ с}^{-1} \text{ (против часовой стрелки)}.$$

Заносим данные в таблицу

| Обозначение на плане | Размер на плане скоростей, мм | Наименование скорости | Величина скорости, м/с | угловая скорость звена | Величина скорости, с <sup>-1</sup> | Направление дуговой стрелки |
|----------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| $pva$                | ...                           | $V_A$                 | ...                    | $\omega_2$             | $\frac{V_{BA}}{l_{AB}} =$          | против часовой стрелки      |
| $ab$                 | ...                           | $V_{BA}$              | ...                    | $\omega_3$             | $\frac{V_{BC}}{l_{BC}} =$          | по часовой стрелки          |
| $pvb$                | ...                           | $V_B$                 | ...                    | $\omega_4$             | ...                                | Направление дуговой стрелки |
| ...                  |                               |                       |                        | ...                    |                                    |                             |

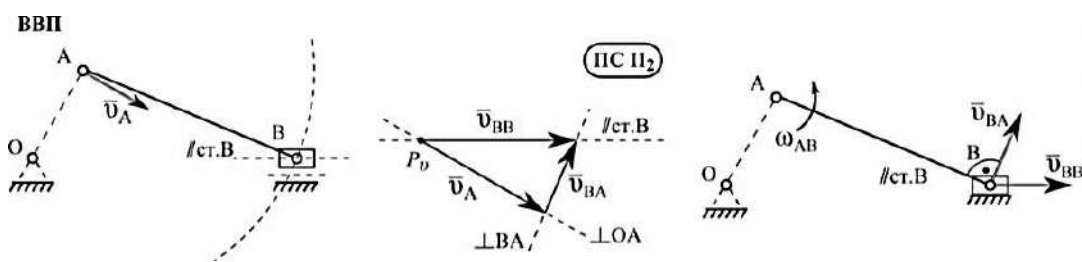
6. Оформляем отчет

Приложение: Таблица 2.2 Сводная таблица планов скоростей структурных групп Ассура II класса 2 порядка

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Дано:</b> <math>\omega_1 = const.</math><br/> <b>Построить ПС:</b> <math>v_A</math> -?</p> <p>ПМ</p>    | <p><b>Первичный механизм</b><br/> <b>ПС:</b><br/> <math>\vec{v}_A \perp OA, \quad v_A = \omega_1 \cdot L_{OA},</math><br/>         строим и из полюса ПС <math>p_v (v_{p_v} = 0)</math>.</p> |
| <p><b>Дано:</b> <math>v_A</math>. <b>Построить ПС стр.гр. ВВВ(1 вида):</b> <math>v_{BA}, \omega_{BA}, v_{BC}, \omega_{BC}</math> -?</p> <p>ВВВ</p>  <p> <math>(\cdot)B \nearrow</math> ПОЛЮС <math>(\cdot)A</math> <math>\left\{ \begin{array}{l} \vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA} \perp BA \\ \vec{v}_B = \vec{v}_{ст.С} + \vec{v}_{BC} \perp BC \end{array} \right. , (\cdot)b = \perp_{BA} \cap \perp_{BC}, \left\{ \begin{array}{l} \omega_{BA} = \frac{v_{BA}}{L_{BA}} \\ \omega_{BC} = \frac{v_{BC}}{L_{BC}} \end{array} \right.</math> </p> |  |

Дано:  $v_A$ . Построить ПС стр.гр. ВВП (2 вида):  $v_{BA}, \omega_{BA}, v_{BB}$  -?

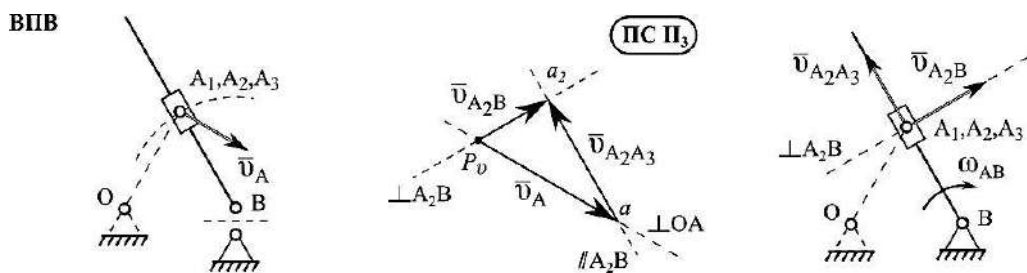
ПУ:  $a_{BA}, \varepsilon_{BA}, a_{BB}$  -?



$$(\cdot)B \begin{cases} \nearrow \text{ПОЛЮС } (\cdot)A \\ \searrow \text{ПОЛЮС СТ. В} \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} \vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA \perp BA} \\ \vec{v}_B = \vec{v}_{\text{ст.В}} + \vec{v}_{BB \parallel \text{ст.В}} \end{array} \right. , (\cdot)b = \perp_{BA} \cap \parallel_{\text{ст.В}}, \omega_{BA} = \frac{v_{BA}}{L_{BA}}$$

Дано:  $v_A$ . Построить ПС стр.гр. ВВП (3 вида):  $v_{A_2A_3}, \omega_{AB}, v_{A_2B}$  -?

ПУ:  $a_{A_2B}, \varepsilon_{AB}, a_{A_2A_3}$  -?



$$(\cdot)A_2 \begin{cases} \nearrow \text{ПОЛЮС } (\cdot)A_1 \\ \searrow \text{ПОЛЮС СТ. В} \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} \vec{v}_{A_2} = \vec{v}_{A_1} + \vec{v}_{A_2A_3 \parallel AB} \\ \vec{v}_{A_2} = \vec{v}_{\text{ст.В}} + \vec{v}_{A_2B \perp AB} \end{array} \right. , (\cdot)a_2 = \perp_{AB} \cap \parallel_{AB}, \omega_{AB} = \frac{v_{A_3B}}{L_{A_3B}}$$



## Комплект заданий расчетно-графических работ:

### РГР № 4 "Построение плана ускорений графо-аналитическим методом"

Порядок построения плана ускорений аналогичен плану скоростей. То есть, построив план ускорений ведущего звена, строим последовательно план ускорений для всех структурных групп Ассура, входящих в состав механизма.

Порядок выполнения РГР.

1. Формируем исходные данные

-длины звеньев:  $l_{OA}$ ,  $l_{AB}$ ,  $l_{BD}$  и др.

-угловая скорость ведущего звена (кривошипа)  $\omega_1 = \frac{n_1 \pi}{30}$  рад/с

2. Вектор ускорения точки  $A$  представляет собой геометрическую сумму вектора ускорения точки  $O$  и скорости относительного вращательного движения точки  $A$  вокруг точки  $O$ :

$$\vec{a}_A = \vec{a}_O + \vec{a}_{AO} = \vec{a}_O + \vec{a}_{AO}^n + \vec{a}_{AO}^t = \vec{a}_{AO}^n. \quad (1)$$

Ускорения  $\vec{a}_O$  (стойка неподвижна) и  $\vec{a}_{AO}^t$  (кривошип движется с постоянной угловой скоростью) равны нулю. Ускорение  $\vec{a}_{AO}^n$  параллельно звену  $OA$  и направлено к центру вращения этого звена. Откладываем отрезок  $p_a a = \text{мм}$ .

Ускорение точки  $A$  кривошипа определяем по формуле:

$$a_A = a_A^n = (\omega_1)^2 \cdot l_{OA} = \text{м/с}^2 \quad (2)$$

3. Далее строятся ускорения точек в последовательности присоединения структурных групп. При этом записываются и графически решаются уравнения определения ускорений точек для определенного вида структурной группы из *Таблицы 2.2*.

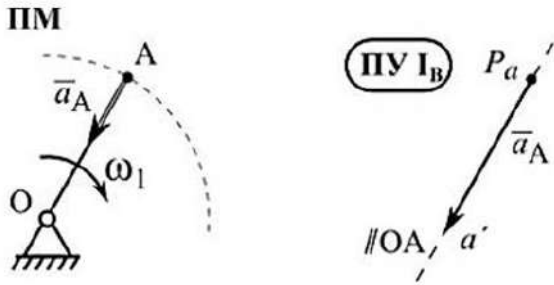
4. После повторения п.3 для всех структурных групп замеряем длины полученных отрезков, умножаем их на масштабный коэффициент. Получаем значения абсолютных и относительных ускорений точек механизма. Результаты расчётов заносим в таблицу. Зная линейные ускорения определим угловые ускорения и также заносим в таблицу.

| Обозначение на плане | Размер на плане скоростей, мм | Наименование скорости | Величина скорости, м/с | угловая скорость звена | Величина скорости, $\text{с}^{-2}$          | Направление дуговой стрелки |
|----------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|---|-----------------------------|
| $p_a a$              | ...                           | $a_A$                 | ...                    | $\varepsilon_2$        | $\varepsilon_2 = \frac{a_{BA}^t}{l_{AB}} =$ | против часовой стрелки      |
| $ab$                 | ...                           | $a_{BA}$              | ...                    | $\varepsilon_3$        | $\varepsilon_2 = \frac{a_{BA}^t}{l_{AB}} =$ | по часовой стрелки          |
| $p_a b$              | ...                           | $a_B$                 | ...                    | $\varepsilon_4$        | ...   | ...                         |
| ...                  |                               |                       |                        |                        |   |                             |

6. Оформляем отчет

Таблица 2.2 Сводная таблица планов ускорений структурных групп Ассура II класса 2 порядка

Дано:  $\omega_1 = \text{const}$ . Построить ПУ:  $a_A$  -?



Первичный механизм (ПМ)

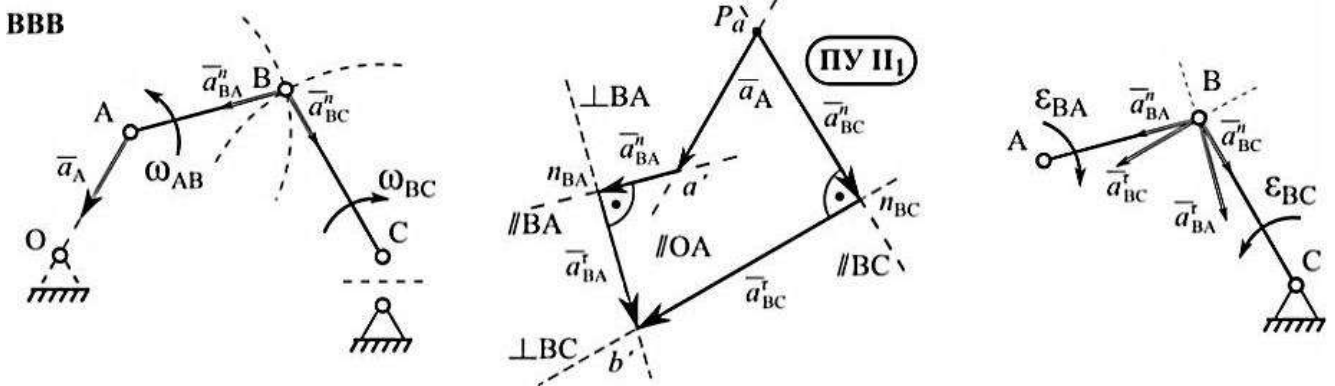
ПУ:

$$\varepsilon_1 = 0 \Rightarrow \vec{a}_A = \vec{a}_A^n \parallel OA \text{ от } A \text{ к } O,$$

$$a_A^n = \omega_1^2 \cdot L_{OA},$$

строим и из полюса ПУ  $P_a$ .

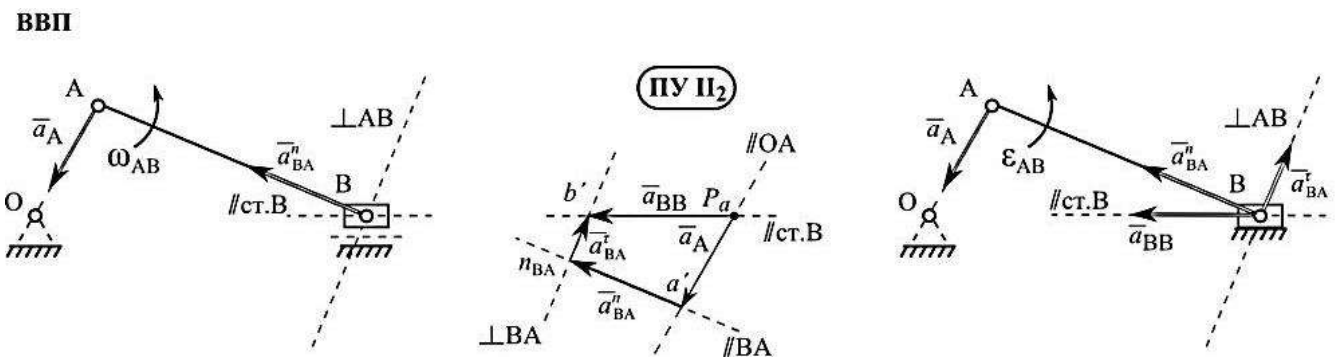
Дано:  $a_A$ . Построить ПУ стр.гр. ВВВ (1 вида):  $a_{BA}, \varepsilon_{BA}, a_{BC}, \varepsilon_{BC}$  -?



$$(\cdot)B \begin{cases} \nearrow \text{ПОЛЮС } (\cdot)A \\ \searrow \text{ПОЛЮС СТ. C} \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} \vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}_{BA}^{\tau} \\ \vec{a}_B = \vec{a}_{\text{ст. C}} + \vec{a}_{BC}^n + \vec{a}_{BC}^{\tau} \end{array} \right. , (\cdot)b' = \perp_{BA} \cap \perp_{BC}, \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{BA} = \frac{a_{BA}^{\tau}}{L_{BA}} \\ \varepsilon_{BC} = \frac{a_{BC}^{\tau}}{L_{BC}} \end{array} \right. .$$

$$a_{BA}^n = \omega_{AB}^2 \cdot L_{BA}, a_{BC}^n = \omega_{BC}^2 \cdot L_{BC} .$$

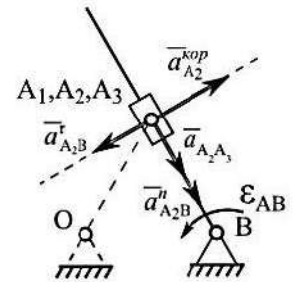
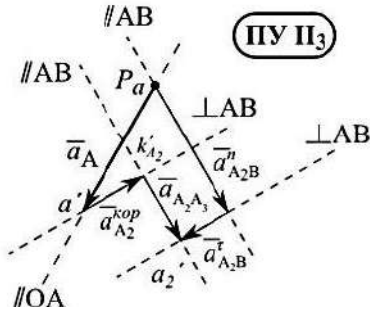
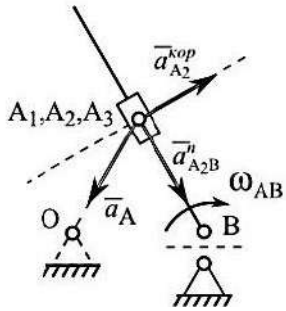
Дано:  $a_A$ . Построить ПУ стр.гр. ВВП (2 вида):  $a_{BA}, \varepsilon_{BA}, a_{BB}$  -?



$$(\cdot)B \begin{cases} \nearrow \text{ПОЛЮС } (\cdot)A \\ \searrow \text{ПОЛЮС СТ. B} \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} \vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}_{BA}^{\tau} \\ \vec{a}_B = \vec{a}_{\text{ст. B}} + \vec{a}_{BB} \end{array} \right. , (\cdot)b' = \perp_{BA} \cap \perp_{\text{ст. B}}, \left\{ \begin{array}{l} a_{BA}^n = \omega_{AB}^2 \cdot L_{BA} \\ \varepsilon_{BA} = \frac{a_{BA}^{\tau}}{L_{BA}} \end{array} \right. .$$

Дано:  $a_A$ . Построить ПУ стр.гр. ВПВ (3 вида):  $a_{A_2B}$ ,  $\varepsilon_{AB}$ ,  $a_{A_2A_3}$  -?

ВПВ



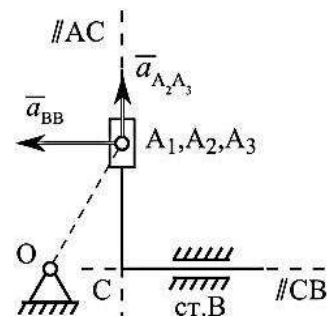
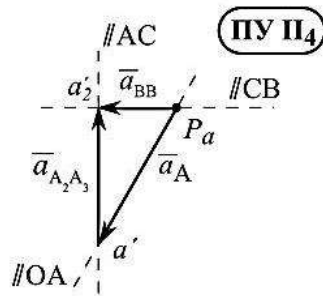
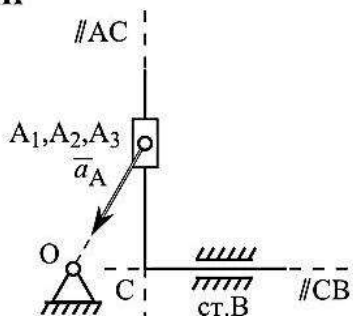
$(\cdot)A_2 \nearrow$  полюс  $(\cdot)A_1$   
 $(\cdot)A_2 \searrow$  полюс ст. B

$$\begin{cases} \vec{a}_{A_2} = \vec{a}_{A_1} + \vec{a}_{A_2}^{\text{КОР}} + \vec{a}_{A_3A_2}^{\text{ОТН}} \\ \vec{a}_{A_2} = \vec{a}_{\text{ст.В}} + \vec{a}_{A_3B}^n + \vec{a}_{A_3B}^\tau \end{cases}, (\cdot)a'_2 = \perp_{AB} \cap \parallel_{AB}$$

$$\begin{cases} a_{A_3B}^n = \omega_{AB}^2 \cdot L_{A_3B} \\ a_{A_2}^{\text{КОР}} = 2 \cdot \omega_{AB} \cdot v_{A_2A_3} \end{cases}, \varepsilon_{AB} = \frac{a_{A_3B}^\tau}{L_{A_3B}}$$

Дано:  $a_A$ . Построить ПУ стр.гр. ВПП (4 вида):  $a_{A_2B}$ ,  $a_{A_2A_3}$  -?

ВПП



$(\cdot)A_2 \nearrow$  полюс  $(\cdot)A_1$   
 $(\cdot)A_2 \searrow$  полюс ст. B

$$\begin{cases} \vec{a}_{A_2} = \vec{a}_{A_1} + \vec{a}_{A_2A_3}^{\text{ОТН}} \\ \vec{a}_{A_2} = \vec{a}_{\text{ст.В}} + \vec{a}_{BB} \end{cases}, (\cdot)a'_2 = \parallel_{A_2C} \cap \parallel_{CB}, a_{A_2}^{\text{КОР}} = 0$$

## Комплект заданий расчетно-графических работ:

### РГР № 5 "Силовой (кинетостатический) анализ плоского рычажного механизма"

Задание: Определить внутренние силы механизма (силы, действующие в кинематических парах), а также уравнивающую силу (уравнивающий момент), т.е. движущую силу (момент), необходимую для осуществления заданного закона движения механизма.

Порядок выполнения РГР:

1) Вариант плоского рычажного механизма соответствует заданному варианту курсового проектирования (см.ниже).

2) Известны длины звеньев  $l_i$ , массы звеньев  $m_i$

3) Построены планы скоростей и ускорений (для одного положения механизма, см. РГР №3 и №4)

4) Находим силы тяжести звеньев  $G_i = m_i g$ , предварительно сосчитав массы звеньев  $m_i = q \cdot l_i$ , где  $q=10 \text{ кг/м}$  - удельная масса длины стержня

5) Определяем инерционные нагрузки: силы инерции  $F_{u_i}$  и моменты сил инерции  $M_{u_i}$  звеньев. Для этого с помощью плана ускорений определяем ускорения центров масс звеньев и их угловые ускорения.

$$a_{S_i} = \mu_a \cdot \overline{\pi S_i}$$

где  $\mu_a$  - масштаб плана ускорения

$\overline{\pi S_i}$  - длина вектора ускорения т.  $S_i$

$a_{S_i} = \mu_a \cdot \overline{\pi S_i}$  - ускорение центра масс

$$F_{u_i} = -m_i \cdot \overline{a_{S_i}}$$

$I_{S_{ii}} = \frac{m_i \cdot l_i^2}{12} I_{S_{ii}}$  - момент инерции массы  $i^{2o}$  звена, относительно центра масс  $S_i$

$M_{u_i} = I_{S_{ii}} \cdot \varepsilon_i$  где  $M_{u_i}$  - момент силы инерции

$\varepsilon_i$  - угловое ускорение  $i^{2o}$  звена,  $\varepsilon_i = \frac{a_i^r}{l_i}$

6) Показываем на плане положения механизма все силы. Силы тяжести прикладываем в центре масс звеньев, силы инерции в центре масс звеньев, направляя их в сторону, противоположную соответствующим ускорениям, моменты сил инерции показываем дуговой стрелкой противоположно угловым ускорениям звеньев. К выходному звену прикладываем силу полезного сопротивления, для преодоления которой и предназначен механизм.

7) Силовой расчет производят для каждой группы Ассур, начиная с последней. К уже имеющимся силам добавляем реакции кинематических пар. Вращательные пары в месте разрыва связи заменяем двумя составляющими: нормальной, показываем ее вдоль стержня и тангенциальной, перпендикулярно стержню. Поступательные пары заменяем нормальной реакцией.

8) Используя принцип Даламбера (метод кинетостатики) из уравнения моментов находим величину тангенциальной составляющей. Остальные неизвестные реакции находим из оставшихся уравнений, либо графически: построением плана сил.

| Структурная группа Ассур  | Уравнения кинетостатики  |
|---|--|
| <p><i>Группа 1 вида:</i> реакцию <math>R_{12}</math> заменить составляющими <math>R_{12}^n \parallel AB</math> и <math>R_{12}^t \perp AB</math>, реакцию <math>R_{43}</math> заменить составляющими <math>R_{43}^n \parallel BC</math> и <math>R_{43}^t \perp BC</math></p> | <p>составить</p> $\sum m_B(2)=0$ $\sum m_B(3)=0$ $\sum F(2,3)=0$ $\sum F(2)=0$ <p>определить</p> $R_{12}^t \ R_{12}^n;$ $R_{43}^t \ R_{43}^n$ $R_{32}$ |

|   |  |
|---|--|
|   |  |
| <p>Группа 2 вида: реакцию <math>R_{12}</math> заменить составляющими <math>R_{12}^n \parallel AB</math> и <math>R_{12}^t \perp AB</math></p>  | <p>составить</p> $\sum m_B(2)=0$ $\sum F(2,3)=0$ $\sum m_B(3)=0$ $\sum F(2)=0$ <p>определить</p> $R_{12}^t; R_{12}^n;$ $R_{43}$ $R_{32}$           |
| <p>Группа 3 вида: реакцию <math>R_{12}</math> заменить составляющими <math>R_{12}^n \parallel AC</math> и <math>R_{12}^t \perp AC</math></p>  | <p>составить</p> $\sum m_C(2,3)=0$ $\sum F(2)=0$ $\sum m_C(3)=0$ $\sum F(3)=0$ <p>определить</p> $R_{12}^t$ $R_{12}^n; R_{32}^n$ $h_{23}$ $R_{43}$ |
| <p>Группа 4 вида: реакцию <math>R_{12} \perp</math> ползуну <math>A</math> на расстоянии <math>h_{12}</math> и <math>R_{43} \perp</math> ползуну <math>C</math> на расстоянии <math>h_{43}</math></p> | <p>составить</p> $\sum F(2,3)=0$ $\sum m_B(2)=0$ $\sum m_B(3)=0$ $\sum F(2)=0$ <p>определить</p> $R_{12}; R_{43}$ $h_{12}$ $h_{43}$ $R_{32}$       |
| <p>Группа 5 вида: : реакции <math>R_{12}, R_{43}</math> и <math>R_{23}</math> приложить, как показано на рис.</p>   | <p>составить</p> $\sum F(3)=0$ $\sum m_A(2)=0$ $\sum m_A(2,3)=0$ $\sum F(2)=0$ <p>определить</p> $R_{23}; R_{43}$ $h_{32}$ $h_{43}$ $R_{12}$       |

В таблице приняты следующие обозначения и упрощения:  
 - звенья исследуемой группы обозначены номерами 2 и 3;

- от звена 2 отсоединено звено 1, поэтому приложена реакция  $R_{12}$  (действие отсоединенного звена 1 на рассматриваемое звено 2);
- от звена 3 отсоединено звено 4, поэтому к звену 3 приложена реакция  $R_{43}$ ;

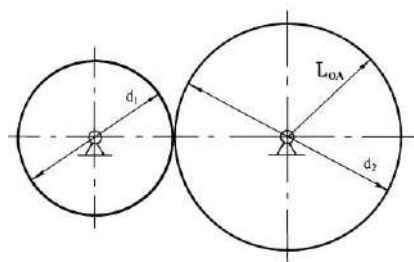
С целью уменьшения загромождения чертежа и улучшения наглядности внешние силы, приложенные к звеньям рассматриваемой группы, на рисунке не приведены (надо только иметь в виду, что все внешние силы, действующие на звенья группы Ассура, известны – это определяется порядком силового расчета механизма).

9) Находим уравновешивающую силу  $F_{yp}$  и уравновешивающий момент  $M_{yp}$  ведущего звена.



## Комплект заданий расчетно-графических работ:

### РГР № 6 "Синтез эвольвентного зубчатого зацепления"



$d_1$  и  $d_2$  – диаметры делительных окружностей ведущего и ведомого колес соответственно;  
 $L_{OA}$  – заданная длина кривошипа OA

Рис. 4.6. Привод начального звена OA:

Предварительно следует рассчитать все необходимые параметры эвольвентного зацепления, считая колеса прямозубыми, некорректированными (нулевыми). В этом случае делительные окружности каждого колеса совпадают с начальными.

Исходные данные для расчета:

- 1)  $L_{OA}$ , м – длина кривошипа OA (таблица к варианту задания);
- 2)  $m$ , мм – модуль зацепления (таблица к варианту задания);
- 3)  $n_{вщ}$ , об./мин – число оборотов ведущего вала (табл. 1.11);
- 4)  $n_{вд}$ , об./мин – число оборотов ведомого вала (табл. 1.11);
- 5)  $\alpha = 20^\circ$  – угол зацепления;
- 6)  $h_a^* = 1$  – коэффициент высоты головки зуба;
- 7)  $c^* = 0,25$  – коэффициент радиального зазора.

#### Определяем основные параметры зацепления.

Из основной теоремы зацепления для круглых колёс следует:

$$i_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_{\omega 2}}{r_{\omega 1}} = \pm \frac{z_2}{z_1}$$

Значит, передаточное отношение  $i_{12}$ :

$$i_{12} = \frac{n_{вщ}}{n_{вд}}. \quad (1)$$

Число зубьев ведомого (второго) колеса определяется по зависимости:

$$z_2 = \frac{d_2}{m}, \quad (2)$$

где  $d_2 = 2L_{OA}$  – диаметр делительной окружности ведомого колеса. Число зубьев ведущего колеса:

$$z_1 = \frac{z_2}{i_{12}}. \quad (3)$$

Число зубьев ведущего колеса необходимо округлить до целого значения.

Диаметр делительной окружности ведущего колеса: (4)

$$d_1 = mz_1.$$

Диаметры окружностей вершин зубьев:

$$\begin{aligned} da_1 &= m(z_1 + 2); \\ da_2 &= m(z_2 + 2). \end{aligned} \quad (5)$$

Диаметры окружностей впадин:

$$\begin{aligned} df_1 &= m(z_1 - 2,5); \\ df_2 &= m(z_2 - 2,5). \end{aligned} \quad (6)$$

Высота головки зуба:

$$h_a = h_a^* m. \quad (7)$$

Высота ножки зуба:

$$h_f = (h_a^* + c^*)m. \quad (8)$$

Шаг зацепления по делительной окружности:

$$p = \pi m. \quad (9)$$

Толщина зуба  $s$  и ширина впадины  $e$  по делительной окружности:

$$s = e = \frac{p}{2} = \frac{\pi m}{2}. \quad (10)$$

Межосевое расстояние:

$$a = O_1O_2 = 0,5m(Z_1 + Z_2). \quad (11)$$

Все рассчитанные и заданные параметры зацепления должны быть занесены в таблице, расположенную над угловым штампом чертежа зацепления.

### Основные параметры зацепления

| Наименование                             | Обозначение   | Размерность | Величина |          |
|--|---------------|-------------|----------|----------|
|  |               |             | Колесо 1 | Колесо 2 |
| Модуль                                   | $m$           | мм          |          |          |
| Число зубьев                             | $z$           | шт          |          |          |
| Диаметр делительной окружности           | $d$           | мм          |          |          |
| Диаметр окружности вершин                | $d_a$         | мм          |          |          |
| Диаметр окружности впадин                | $d_f$         | мм          |          |          |
| Шаг зацепления по делительной окружности | $p$           | мм          |          |          |
| Угол зацепления                          | $\alpha$      | град        | 20       | 20       |
| Коэффициент высоты головки зуба          | $h_a^*$       | —           | 1        | 1        |
| Коэффициент радиального зазора           | $c^*$         | —           | 0,25     | 0,25     |
| Коэффициент перекрытия                   | $\varepsilon$ | —           |          |          |

Построение эвольвентного зубчатого зацепления необходимо проводить в следующем порядке:

1. Провести линию центров колес
2. С учетом выбранного масштаба отложить на линии центров межосевое расстояние  $a_w = O_1O_2$  (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Линия центров  $O_1O_2$  и делительные окружности с диаметрами  $d_1$  и  $d_2$

3. Из центров колес  $O_1$  и  $O_2$  провести делительные окружности с радиусами  $r_1 = 0,5 d_1$  и  $r_2 = 0,5 d_2$  (см. рис. 4.2). Эти окружности должны касаться друг друга в точке  $P$ , лежащей на линии центров и называемой полюсом зацепления.

4. Провести окружности вершин и окружности впадин каждого колеса. Окружность вершин одного колеса не должна касаться и, тем более, пересекать окружность впадин другого колеса. Расстояние между ними по линии центров должно быть равно радиальному зазору  $c = c^* m$  (рис. 4.3).

5. Через полюс  $P$  провести касательную ( $t - t$ ) к делительным окружностям перпендикулярно к линии центров колес (рис. 4.4).

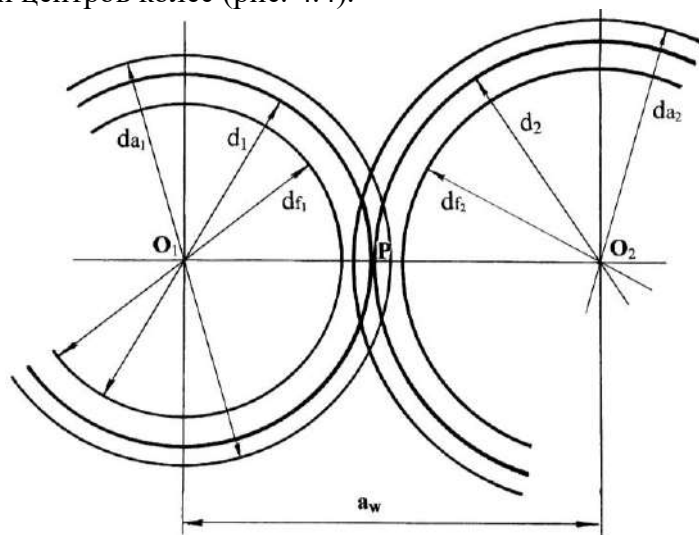


Рис. 4.3. Окружности вершин и впадин зубьев колес

6. Через полюс  $P$  под углом  $\alpha$  (угол зацепления) провести линию зацепления  $n - n$ . Наклон линии зацепления по отношению к касательной ( $t - t$ ), по часовой или против часовой стрелки, зависит от направления вращения колес (см. рис. 4.4). Наклон линии ( $n - n$ ) противоположен направлению вращения ведущего колеса и совпадает с направлением вращения ведомого колеса.

7. Из центров колес опустить перпендикуляры  $O_1M$  и  $O_2N$  к линии зацепления (см. рис. 4.4).

8. Провести основные окружности с диаметрами  $d_{o1} = 2O_1M$  и  $d_{o2} = 2O_2N$  (см. рис. 4.4). При этом линия зацепления является касательной к основным окружностям.

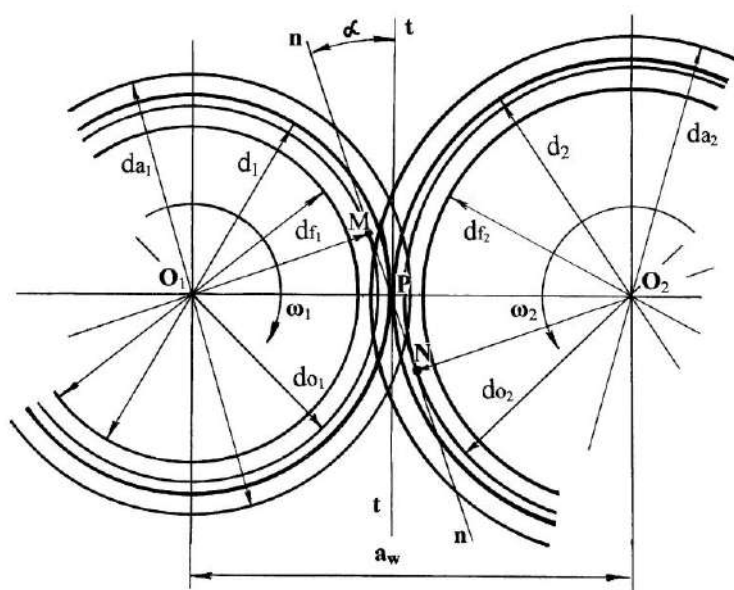


Рис. 4.4. Построение касательной  $t - t$ , линии зацепления  $n - n$

9. На основных окружностях (в стороне от полюса  $P$ ) строятся эвольвенты – кривые, формирующие профиль каждого зуба колес зацепления (рис. 4.5).

Отметив на основной окружности точку  $O$  – начало (корень) эвольвенты, от нее откладываются по основной окружности несколько (до 10) равных дуг  $0-1$ ;  $1-2$ ;  $2-3$ ;  $3-4$  и так далее длиной  $8\dots 10$  мм. Через полученные точки проводятся касательные к основной окружностям и на каждой касательной откладывается столько дуг, сколько размещается от точки касания до корня эвольвенты (на первой касательной – одна дуга  $1-1'$ , на второй – две дуги  $2-2'$ , на третьей – три  $3-3'$  и т.д.). Полученные на касательных линиях точки  $1'\dots 10'$  (рис. 4.5) соединяются плавной кривой – эвольвентой, начало которой должно быть в корне. Полученная таким образом кривая (эвольвента) является профилем зуба колеса. На участке от основной окружности до окружности впадин профиль зуба образован радиальной прямой, которая сопрягается с окружностью впадин дугой радиуса  $\rho = 0,4 m$ .

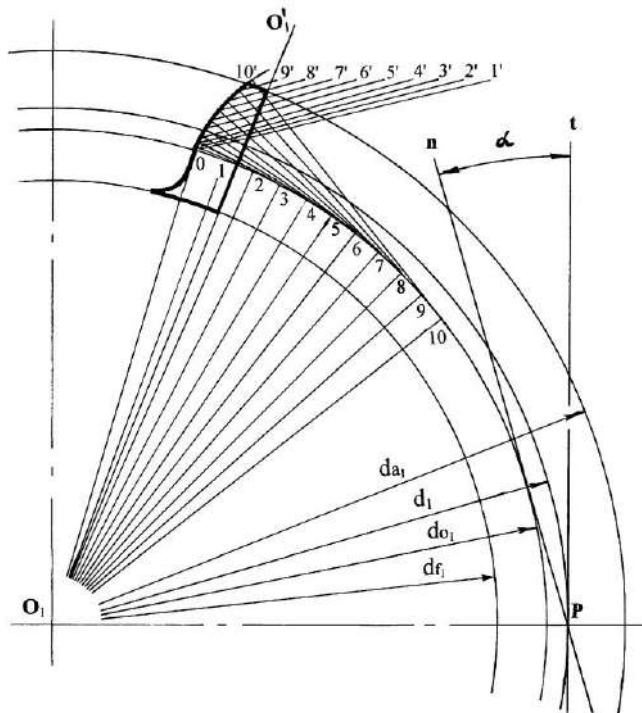


Рис. 4.5. Построение эвольвентного профиля зуба первого (ведущего) колеса и шаблона зуба

10. По построенным профилям изготавливаются шаблоны зубьев толщиной  $S$  по делительным окружностям. Для упрощения изготовления профилей зубьев необходимо построить только половину зуба каждого колеса (левую или правую). На рис. 4.5 приведена методика построения левой половины зуба ведущего колеса.

11. По делительным окружностям размечается шаг зацепления и откладывается толщина зубьев  $S$  и ширина впадины  $e$ . С помощью шаблона и лекала вычерчиваются профили  $3\dots 4$  зубьев каждого колеса (для каждого колеса необходимо изготовить свой шаблон зуба). Вычерчивание зубьев необходимо начинать от полюса, в котором должно быть касание двух зубьев (ведущего и ведомого колес). Другие зубья должны касаться друг друга только по линии зацепления (рис. 4.6).

Профили зубьев обводятся сплошными основными линиями. Все остальные построения выполняются тонкими сплошными линиями.

После построения зацепления двух колес необходимо определить коэффициент перекрытия  $\varepsilon$  колес по формуле

$$\varepsilon = \frac{CD}{p(\cos\alpha)}, \quad (4.12)$$

где  $CD$  – активный участок линии зацепления. Точка  $C$  (начало участка) – точка пересечения окружности вершин ведомого (второго) колеса с линией зацепления  $n - n$ , точка  $D$  (конец участка) – точка пересечения окружности вершин ведущего (первого) колеса с линией зацепления.

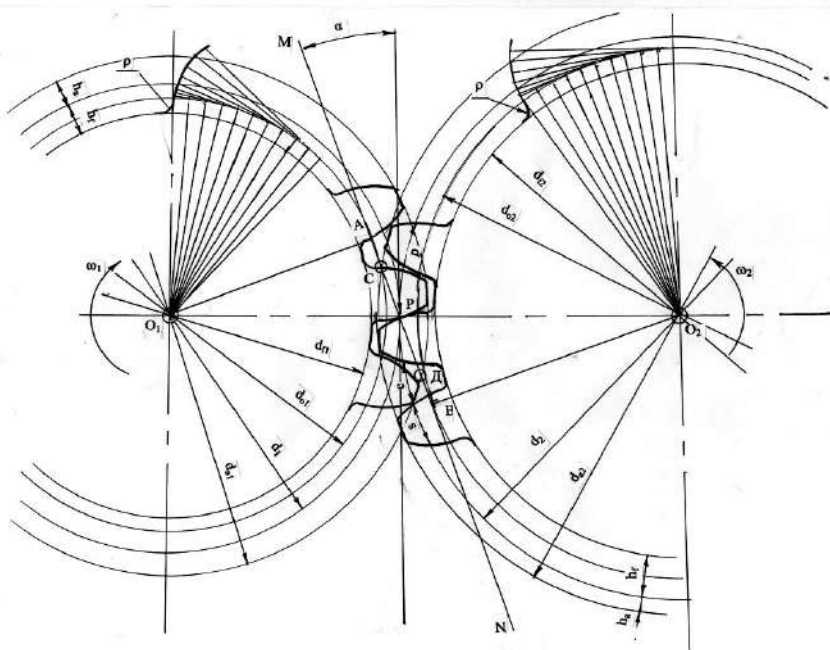


Рис. 4.6. Эвольвентное зацепление зубчатых колес

## Комплект заданий расчетно-графических работ:

### РГР № 7 "Кинематический анализ сложного зубчатого механизма аналитическим и графическим методом"

1. Получить вариант зубчатого механизма с исходными данными:  $m$ -модуль зацепления,  $Z_1, Z_2, Z_3, \dots$  - число зубьев колес механизма,  $\omega_d$  - скорость входного звена

2. Из условия соосности вычислить неизвестное число зубьев одного из колес

3. Вычисление передаточного отношения аналитическим методом.

3.1. Механизм разделить на ступени, выделяя планетарный механизм.

Вычислить передаточное отношение ЗМ по формуле

$$i_{1n} = \frac{\omega_1}{\omega_n} = i_{12} i_{34} \dots i_{(n-1)n}, \quad (1)$$

где  $i$  - передаточное отношение от входного звена 1 к выходному звену  $n$  зубчатого механизма. Либо через число зубьев

$$i_{1n} = (-1)^m \frac{z_2 z_4 \dots z_n}{z_1 z_3 \dots z_{n-1}}, \quad (2)$$

где  $m$  - число внешних зацеплений.

3.2. Для планетарного механизма на основе метода обращенного движения используем формулу Виллиса

$$i_{jH}^{(k)} = 1 - i_{jk}^{(H)}, \quad (3)$$

где верхний индекс характеризует остановленное колесо  $k$  или остановленное  $H$ -водило, нижний индекс - входное звено  $j$  и выходное звено  $H$  планетарной передачи.

Если водило  $H$  является входным звеном, то используют формулу

$$i_{Hj}^{(k)} = \frac{1}{i_{jH}^{(k)}} = \frac{1}{1 - i_{jk}^{(H)}} \quad (4)$$

4. Вычисление передаточного отношения графическим методом.

4.1. Вычислить диаметры и радиусы колес по формулам

$$d_j = mz_j, \quad r_j = \frac{d_j}{2}$$

и скорость точки зацепления ведущего колеса по формуле

$$v = r\omega$$

4.2. Вычертить механизм с точными радиусами (диаметрами) колес в выбранном масштабе.

4.3. Построить картину скоростей. Ниже приведены примеры различных планетарных передач и графическое определение скоростей

#### 4.12. Синтез планетарного механизма

Синтез планетарного механизма заключается в подборе чисел зубьев его колёс таким образом, чтобы удовлетворить следующим условиям:

- 1) заданному передаточному отношению;
- 2) условию соосности;
- 3) условию соседства;
- 4) условию сборки;
- 5) условию правильного зацепления

**Обеспечить данное передаточное отношение** – подобрать числа зубьев так, чтобы передаточное отношение редуктора было равно требуемому или находилось бы в диапазоне его допустимых значений.

**Условие соосности** требует, чтобы при совпадении осей центральных колес и водила обеспечивалось зацепление сателлитов с центральными колесами.

**Условие соседства** требует, чтобы между окружностями выступов зубьев соседних сателлитов существовал зазор. Обычно в редукторах с целью уменьшения нагрузок на зубья колес и динамической уравновешенности механизма устанавливают не один, а несколько сателлитов.



Они должны устанавливаться под равными углами, располагаться в одной плоскости, а окружности вершин сателлитов не должны пересекаться.

Для соблюдения этого условия требуется удовлетворить следующим неравенствам:

$$\sin \frac{\pi}{k} > \frac{z_2 + 2}{z_1 + z_2} \quad (\text{при внутреннем зацеплении сателлитов с центральным колесом}), \text{ где } k -$$

число сателлитов.

**Условие сборки:** сумма зубьев центральных колес должна быть кратна числу сателлитов. Условие равных углов между сателлитами требует одновременного зацепления всех сателлитов с центральными колесами при симметричном расположении зон зацепления. Это условие связано с тем, что сборка механизма не всегда возможна, после установки первого сателлита последующие могут не совпадать с впадинами одного из центральных колес.

**Условие правильного зацепления** – условие отсутствия заклинивания и отсутствия интерференции зубьев. При нормальном зацеплении без смещения при внешнем зацеплении  $z_{\min} > 17$ , а при внутреннем  $z_{\min} > 60$ .

## **Перечень вопросов для зачета по ТММ**

### ***Обзор основных видов механизмов***

- ТММ как научная дисциплина
- Основные понятия: машина, механизм, кинематическая пара, кинематическая цепь, звено, деталь.
- Как делятся машины по функциональному признаку?
- Виды механизмов по функциональному признаку.
- Какие механизмы называют рычажными?
- В чем особенность зубчатой передачи и кулачкового механизма?
- Какие звенья всегда входят в состав шарнирных механизмов?
- Чем кривошип отличается от коромысла?
- Объясните принцип работы наиболее распространенных рычажных механизмов?
- Что такое фрикционный механизм и как он работает?
- Какие механизмы имеют гибкие связи?

### ***Структура и структурные схемы механизмов.***

- Классификация звеньев
- Кинематические пары и их классификация.
- Что такое «степень подвижности механизма», формула Чебышева?
- Вид групп Ассура плоских механизмов (для II класса 2 порядка)
- Основные виды плоских рычажных механизмов с низшими парами.
- Принцип образования плоских рычажных механизмов. Структурные группы Ассура.
- Что представляют собой структурная группа и начальный механизм?
- Какие звенья выбирают в качестве начальных при кинематическом анализе механизма? -
- Алгоритм проведения структурного анализа механизма

### ***Кинематический анализ и кинематика плоских рычажных механизмов с низшими кинематическими парами***

- Опишите последовательность кинематического анализа плоского механизма?
- Перечислите методы исследования кинематики механизмов.
- Что называется масштабом в ТММ?
- Как определяют скорость и ускорение конца кривошипа?
- Запишите векторные уравнения для построения планов скоростей и ускорений и объясните их составляющие (при поступат., вращат., плоском движении, при сложном движении точки).
- Запишите уравнения планов скоростей и ускорений для любой структурной группы II класса, содержащей внутреннюю поступательную пару?
- Запишите уравнения планов скоростей и ускорений для любой структурной группы II класса, содержащей хотя бы одну внешнюю поступательную пару?
- Как определяют величину и направление ускорения Кориолиса?
- В каких случаях при построении планов скоростей и ускорений применяют метод подобия?
- Как определяют скорости и ускорения центра масс шатуна?
- Как определить угловую скорость и ускорение стержневого звена?
- В чем заключается метод кинематических диаграмм? Графическое дифференцирование (на примере метода хорд)
- Как определяют масштабы по осям координат при построении графика производной?

### ***Кинетостатический анализ механизма***

- Классификация сил, действующих на звенья механизмов и машин.
- Что является основной задачей кинетостатики механизмов?
- Какие данные должны быть известны для решения задач кинетостатики?
- В чем заключается принцип Даламбера?
- В чем заключается принцип освобожденности от связей?
- Объясните принцип равенства действия и противодействия в кинематических парах.

- В каких случаях возникают силы инерции в механизмах?
- К чему сводится расчёт инерционных воздействий в различных случаях движения звеньев в плоскости? Привести необходимые формулы.
- В какой последовательности выполняется силовой расчёт механизма?
- Составьте уравнение равновесия группы Ассура второго класса любого вида в векторной форме.
- Что такое уравнивающий момент (уравнивающая сила)? Из какого условия он (она) определяется?

### ***Кинематика зубчатых механизмов***

- Для чего применяются зубчатые механизмы?
- Что такое передаточное отношение?
- Какие зубчатые механизмы называют редукторами, мультипликаторами?
- Как можно выразить передаточное отношение в паре зубчатых колёс?
- Виды зубчатых механизмов и передач.
- В чём состоит основное достоинство механизмов планетарного типа?
- Назовите элементы типовой схемы механизма планетарного типа.
- При помощи каких параметров можно выразить передаточное отношение,?
- Что означают знаки «+» и «-» в передаточных отношениях?

### ***Эвольвентное зубчатое зацепление***

- Что такое эвольвента окружности, производящая прямая?
- Что называется шагом колеса, модулем, головкой, ножкой зуба?
- В каком месте измеряется толщина зуба, ширина впадины колеса?
- Какими свойствами обладает делительная окружность?
- Как определяются геометрические размеры зубчатых колёс: радиусы начальных окружностей, межосевое расстояние, радиусы окружностей впадин, радиусы окружностей вершин?
- Что такое коэффициент высоты головки зуба, чему он равен?
- Какая окружность колеса называется основной?
- Что такое полюс зацепления?
- Какие окружности колёс называются начальными?
- Что такое угол зацепления?
- Что такое линия зацепления, рабочая часть (активная) линии зацепления?
- Что такое радиальный зазор, за счёт чего он образуется?
- Какими методами изготавливают эвольвентные зубья,
- Что такое реечный производящий исходный контур (инструментальная рейка)?
- Что такое подрез зубчатого колеса?
- Какое число зубьев считается минимальным, от чего оно зависит?
- Как предотвратить подрез зубчатого колеса?
- Что такое коэффициент смещения исходного контура?
- Какие зубчатые колёса называются нулевыми, положительными и отрицательными?
- Что называется коэффициентом перекрытия, и что он характеризует?
- Для чего назначаются коэффициенты смещения при нарезании зубчатых колёс?
- В каких случаях зубья колеса считают подрезанными? Заостренными?

Зав. кафедрой ПТМ и МР



И.В.Никитаев

## **Методические указания на выполнение курсовой работы (КР) по ТММ**

### **Общие указания курсового проектирования**

Курсовая работа состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части, которая выполняется на листах формата А1, А2 или А3, в зависимости от выбранных масштабов планов и графиков, а так же их компоновки.

**Графическая часть** КР выполняется посредством любого графического пакета (Компас, Autocad и др.) и оформляется в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД. На всех планах и графиках должны быть указаны масштабы.

**Расчетная часть** выполняется в виде пояснительной записки в соответствии с требованиями, предъявляемыми к текстовым документам ГОСТ 2.105-95.

Пояснительная записка должна включать все числовые расчеты, необходимые для выполнения работы. Текстовая часть должна ограничиваться лишь краткими указаниями к расчету и ссылками на графические построения. Все формулы и уравнения пишутся в общем виде, а затем в них подставляются необходимые числовые значения.

Результаты целесообразно сводить в таблицы. Записку следует писать на одной стороне листа стандартного формата А4. Записка должна быть в сброшюрованном виде и иметь титульный лист, на котором указывается шифр задания, название работы, Ф.И.О. студента и преподавателя.

### **Указания по содержанию и порядку выполнения курсовой работы.**

#### **1-й лист. Кинематический анализ рычажного механизма**

При выполнении первого листа КР, если это необходимо, по заданным условиям рассчитать размеры звеньев проектируемого механизма. Произвести структурный и кинематический анализы. Данные для выполнения первого листа работы выбираются по таблице данных, прилагаемой к заданию. Графические построения произвести на листе формата А1. Объем графической части состоит из построения плана положений, планов скоростей, ускорений, кинематических диаграмм.

#### **Порядок выполнения:**

- Произвести структурный анализ механизма (в расчетно- пояснительной записке)
- Определить неизвестные размеры звеньев механизма по заданным условиям (в расчетно-пояснительной записке при необходимости)
- Построить 12 положений механизма, равноотстоящих по углу поворота кривошипа; при этом отсчет (нулевое положение механизма) начинать от одного из крайних положений (по рабочему звену) либо ближнему, либо дальнему. Положения механизма пронумеровать в направлении вращения кривошипа (если не задано, то против хода часовой стрелки). Звенья необходимо пронумеровать, а точки (центры шарниров, центры тяжести и др.) обозначить заглавными буквами с индексами, соответствующими номеру положения механизма.
- Построить планы скоростей и ускорений для положений механизма, указанных руководителем курсовой работы. Планы вычерчиваются тонкими линиями; на них должны быть показаны все характерные точки механизма, в том числе и центры тяжести звеньев.
- На основании построенных планов скоростей и ускорений определить угловые скорости и угловые ускорения звеньев механизма.
- Построить кинематические диаграммы перемещения, скорости и ускорения выходного звена.
- Сравнить величины ускорений, скоростей и угловых скоростей и ускорений, полученных методом кинематических диаграмм и с помощью планов скоростей и ускорений.
- Все полученные результаты с указанием измерений привести в таблицах.

Основанием для выполнения первого листа являются расчетно-графические работы **РГР № 2- 5**.

#### **2-й лист. Силовой анализ**

В задачу силового расчета входит определение реакции во всех кинематических парах и величины уравновешивающего момента методом планов сил. При выполнении второго листа курсовой работы используются данные, полученные в результате кинематического анализа(первый лист).

#### **Порядок выполнения:**

- Вычертить заданную индикаторную диаграмму или график сил полезного сопротивления, произвести разметку в соответствии с ходом рабочего звена и определить силы, действующие на рабочее звено во всех положениях механизма.

- Определить силы инерции и момент сил инерции звеньев механизма, для которых построены планы ускорений.

- Для расчетного положения определить полные реакции во всех кинематических парах методом планов сил (с учетом сил инерции, весов звеньев, сил движущих или полезного сопротивления), а так же уравновешивающий момент и уравновешивающую силу на ведущем звене (кривошипе). При этом необходимо вычертить отдельно структурные группы, показать силы и моменты, действующие на звенья механизма, и построить планы сил, отдельно для каждой структурной группы.

Выполнение второго листа основано на РГР № 6.

### 3-й лист. Зубчатый механизм

В объем листа входит решение задачи синтеза эвольвентного прямозубого стандартного (без смещения) зацепления и кинематический анализ либо синтез сложного планетарного механизма. Графические построения выполняются на листе формата А1, А2 или А3 в зависимости от масштаба и компоновки. Первая задача содержит расчет и проектирование эвольвентного зацепления пары колес простой передачи. Вторая - на определение передаточного отношения аналитическим и графическим методами в случае анализа или подбор числа зубьев в случае синтеза зубчатого механизма.

Третий лист с пояснениями выполняется, опираясь на РГР № 7, 8, 9.

Все вычисления и формулы с подстановками числовых значений привести в пояснительной записке.

В пояснительной записке сопоставить все величины, определенные аналитическим и графическим методами, а так же вычислить в процентах ошибки графических построений по сравнению с аналитическими расчетами.

## Раздел 7. Варианты заданий курсовой работы

### 7.1 Пакет № 1 заданий к курсовой работе

#### Вариант № 1

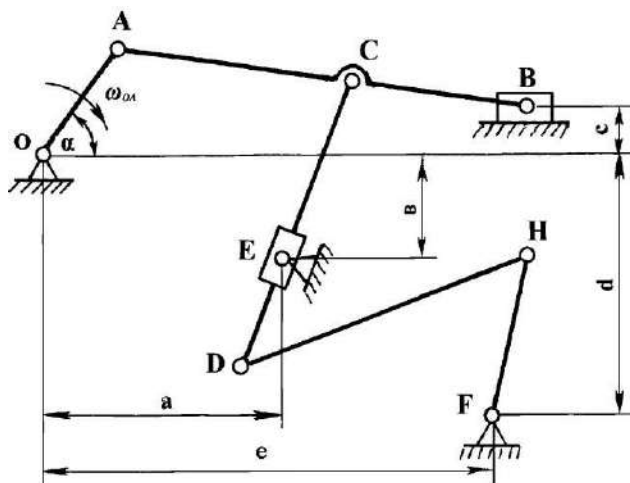


Рис. 1.1. Структурная схема механизма к варианту № 1

1

#### Исходные данные к варианту № 1.1

| Обозначение | Предпоследняя цифра зачетной книжки |   |   |   |   |
|-------------|-------------------------------------|---|---|---|---|
|             | 1                                   | 2 | 3 | 4 | 5 |
|             | 6                                   | 7 | 8 | 9 | 0 |

|                    |      |      |      |      |      |
|--------------------|------|------|------|------|------|
| $L_{OA}, \text{м}$ | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 |
| $L_{AB}, \text{м}$ | 0,31 | 0,70 | 1,18 | 1,60 | 2,00 |
| $L_{AC}, \text{м}$ | 0,18 | 0,38 | 0,62 | 0,80 | 1,10 |
| $L_{CD}, \text{м}$ | 0,34 | 0,84 | 1,08 | 1,40 | 1,75 |
| $L_{DH}, \text{м}$ | 0,30 | 0,55 | 0,79 | 1,00 | 1,25 |
| $L_{FH}, \text{м}$ | 0,22 | 0,34 | 0,53 | 0,70 | 0,95 |
| $L_a, \text{м}$    | 0,06 | 0,29 | 0,42 | 0,55 | 0,75 |
| $L_b, \text{м}$    | 0,15 | 0,40 | 0,51 | 0,70 | 1,00 |
| $L_c, \text{м}$    | 0,02 | 0,08 | 0,08 | 0,12 | 0,14 |
| $L_d, \text{м}$    | 0,30 | 0,84 | 0,84 | 1,18 | 1,38 |
| $L_e, \text{м}$    | 0,32 | 0,95 | 0,95 | 1,35 | 2,10 |
| $m, \text{мм}$     | 6    | 8    | 10   | 12   | 14   |

**Вариант № 2**

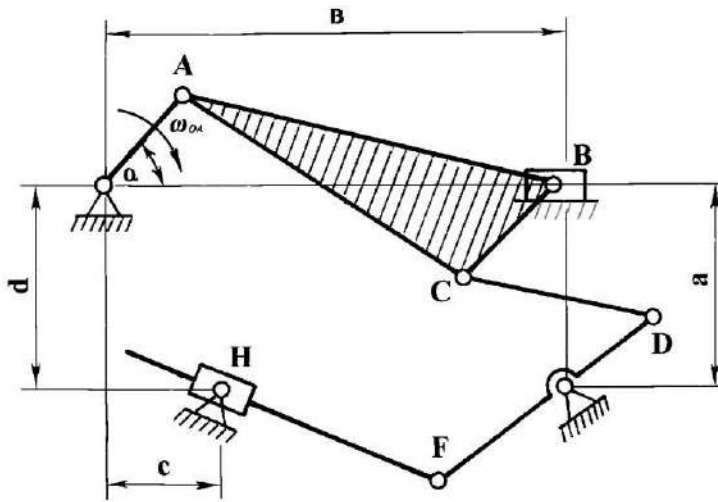


Рис. 1.2. Структурная схема механизма к варианту № 2

**Исходные данные к варианту № 2**

| Обозначение        | Предпоследняя цифра зачетной книжки |        |        |        |        |
|--------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                    | 1<br>6                              | 2<br>7 | 3<br>8 | 4<br>9 | 5<br>0 |
| $L_{OA}, \text{м}$ | 0,10                                | 0,15   | 0,20   | 0,25   | 0,30   |
| $L_{AB}, \text{м}$ | 0,33                                | 0,60   | 0,92   | 1,22   | 1,55   |
| $L_{BC}, \text{м}$ | 0,08                                | 0,23   | 0,26   | 0,32   | 0,35   |
| $L_{AC}, \text{м}$ | 0,34                                | 0,46   | 0,95   | 1,25   | 1,60   |
| $L_{CD}, \text{м}$ | 0,28                                | 0,56   | 0,90   | 1,20   | 1,52   |
| $L_{ED}, \text{м}$ | 0,14                                | 0,35   | 0,47   | 0,70   | 0,84   |
| $L_{EF}, \text{м}$ | 0,11                                | 0,30   | 0,36   | 0,55   | 0,68   |
| $L_a, \text{м}$    | 0,12                                | 0,34   | 0,41   | 0,58   | 0,72   |
| $L_b, \text{м}$    | 0,60                                | 1,15   | 1,78   | 2,32   | 2,95   |
| $L_c, \text{м}$    | 0,26                                | 0,30   | 0,60   | 0,90   | 1,15   |
| $L_d, \text{м}$    | 0,14                                | 0,32   | 0,70   | 0,95   | 1,24   |
| $m, \text{мм}$     | 6                                   | 8      | 10     | 12     | 14     |

**Вариант № 3**



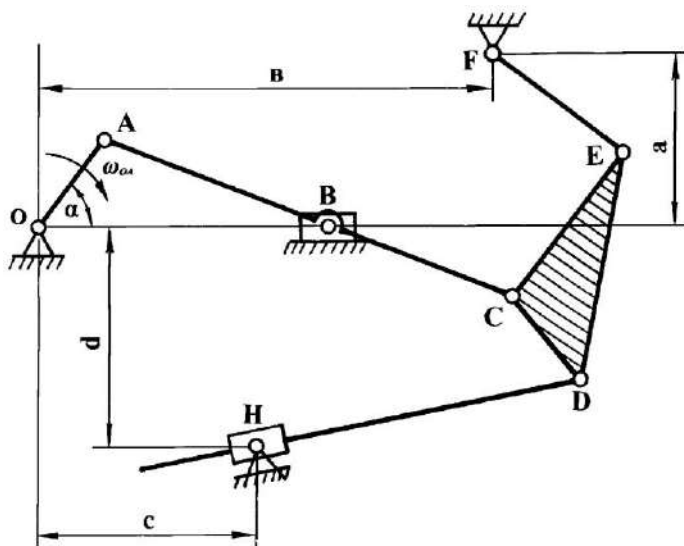
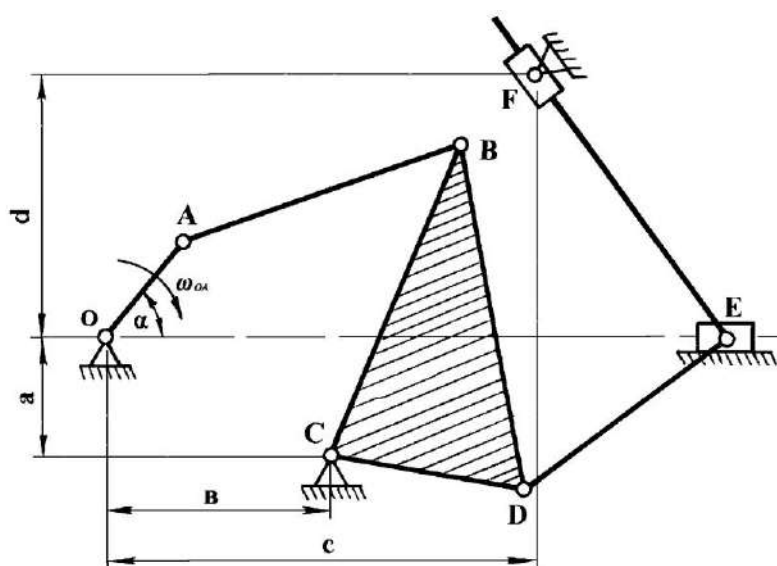


Рис. 1.3. Структурная схема механизма к варианту № 1.3

**Исходные данные к варианту № 3**

| Обозначение         | Предпоследняя цифра зачетной книжки |        |        |        |        |
|---------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                     | 1<br>6                              | 2<br>7 | 3<br>8 | 4<br>9 | 5<br>0 |
| $L_{OA}, \text{ м}$ | 0,10                                | 0,15   | 0,20   | 0,25   | 0,30   |
| $L_{AB}, \text{ м}$ | 0,32                                | 0,58   | 0,88   | 1,16   | 1,46   |
| $L_{BC}, \text{ м}$ | 0,14                                | 0,23   | 0,52   | 0,66   | 0,75   |
| $L_{CE}, \text{ м}$ | 0,14                                | 0,33   | 0,47   | 0,60   | 0,76   |
| $L_{EF}, \text{ м}$ | 0,17                                | 0,27   | 0,41   | 0,52   | 0,68   |
| $L_{CD}, \text{ м}$ | 0,08                                | 0,15   | 0,24   | 0,32   | 0,40   |
| $L_{ED}, \text{ м}$ | 0,16                                | 0,37   | 0,51   | 0,66   | 0,81   |
| $L_a, \text{ м}$    | 0,21                                | 0,42   | 0,62   | 0,84   | 1,00   |
| $L_b, \text{ м}$    | 0,49                                | 0,80   | 1,41   | 1,94   | 2,38   |
| $L_c, \text{ м}$    | 0,25                                | 0,50   | 0,75   | 1,04   | 1,22   |
| $L_d, \text{ м}$    | 0,17                                | 0,35   | 0,68   | 0,72   | 0,86   |
| $m, \text{ мм}$     | 6                                   | 8      | 10     | 12     | 14     |

**Вариант № 4**



1.4. Структурная схема механизма к варианту № 4

Исходные данные к варианту № 4

| Обозначение         | Предпоследняя цифра зачетной книжки |        |        |        |        |
|---------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                     | 1<br>6                              | 2<br>7 | 3<br>8 | 4<br>9 | 5<br>0 |
| $L_{OA}, \text{ м}$ | 0,10                                | 0,15   | 0,20   | 0,25   | 0,30   |
| $L_{AB}, \text{ м}$ | 0,23                                | 0,41   | 0,74   | 0,94   | 1,16   |
| $L_{BC}, \text{ м}$ | 0,20                                | 0,41   | 0,63   | 0,81   | 1,02   |
| $L_{CD}, \text{ м}$ | 0,09                                | 0,20   | 0,30   | 0,39   | 0,51   |
| $L_{BD}, \text{ м}$ | 0,22                                | 0,44   | 0,65   | 0,86   | 1,10   |
| $L_{DE}, \text{ м}$ | 0,19                                | 0,25   | 0,50   | 0,70   | 0,88   |
| $L_a, \text{ м}$    | 0,04                                | 0,08   | 0,12   | 0,15   | 0,21   |
| $L_b, \text{ м}$    | 0,13                                | 0,30   | 0,45   | 0,58   | 0,74   |
| $L_c, \text{ м}$    | 0,35                                | 0,70   | 1,26   | 1,54   | 1,8    |
| $L_d, \text{ м}$    | 0,14                                | 0,25   | 0,50   | 0,66   | 0,74   |
| $m, \text{ мм}$     | 6                                   | 8      | 10     | 12     | 14     |

Вариант № 5

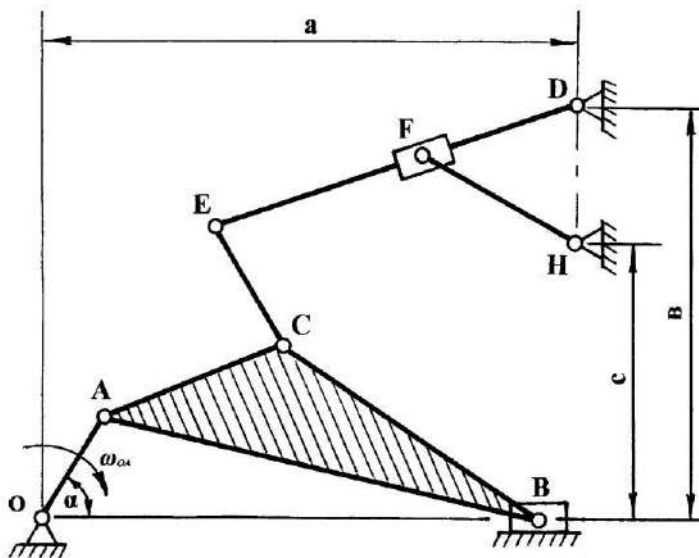


Рис. 1.5. Структурная схема механизма к варианту № 5

Исходные данные к варианту № 5

| Обозначение         | Предпоследняя цифра зачетной книжки |        |        |        |        |
|---------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                     | 1<br>6                              | 2<br>7 | 3<br>8 | 4<br>9 | 5<br>0 |
| $L_{OA}, \text{ м}$ | 0,10                                | 0,15   | 0,20   | 0,25   | 0,30   |
| $L_{AB}, \text{ м}$ | 0,32                                | 0,57   | 0,83   | 1,18   | 1,48   |
| $L_{AC}, \text{ м}$ | 0,14                                | 0,27   | 0,34   | 0,50   | 0,60   |
| $L_{BC}, \text{ м}$ | 0,25                                | 0,39   | 0,61   | 0,94   | 1,21   |
| $L_{CE}, \text{ м}$ | 0,29                                | 0,46   | 0,71   | 1,08   | 1,32   |
| $L_{DE}, \text{ м}$ | 0,25                                | 0,34   | 0,68   | 0,96   | 1,18   |
| $L_{FH}, \text{ м}$ | 0,20                                | 0,29   | 0,53   | 0,76   | 0,95   |
| $L_a, \text{ м}$    | 0,30                                | 0,60   | 0,87   | 1,18   | 1,46   |
| $L_b, \text{ м}$    | 0,41                                | 0,51   | 0,83   | 1,22   | 1,70   |
| $L_c, \text{ м}$    | 0,36                                | 0,44   | 0,60   | 0,85   | 1,34   |
| $m, \text{ мм}$     | 6                                   | 8      | 10     | 12     | 14     |

Вариант № 6

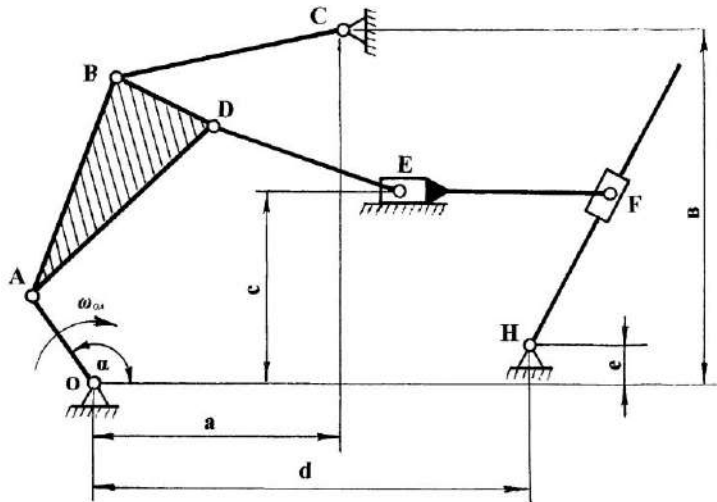


Рис. 1.6. Структурная схема механизма к варианту №.6

**Исходные данные к варианту № 6**

| Обозначение  | Предпоследняя цифра зачетной книжки |        |        |        |        |
|--------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|              | 1<br>6                              | 2<br>7 | 3<br>8 | 4<br>9 | 5<br>0 |
| $L_{OA}$ , м | 0,10                                | 0,15   | 0,20   | 0,25   | 0,30   |
| $L_{AB}$ , м | 0,34                                | 0,65   | 0,89   | 1,18   | 1,52   |
| $L_{BC}$ , м | 0,31                                | 0,38   | 0,84   | 1,06   | 1,48   |
| $L_{AD}$ , м | 0,30                                | 0,55   | 0,77   | 1,10   | 1,44   |
| $L_{BD}$ , м | 0,14                                | 0,20   | 0,24   | 0,32   | 0,44   |
| $L_{DE}$ , м | 0,47                                | 0,68   | 1,25   | 1,62   | 2,13   |
| $L_{EF}$ , м | 0,15                                | 0,18   | 0,38   | 0,52   | 0,68   |
| $L_a$ , м    | 0,16                                | 0,33   | 0,60   | 0,72   | 0,80   |
| $L_b$ , м    | 0,44                                | 0,57   | 1,28   | 1,68   | 2,14   |
| $L_c$ , м    | 0,28                                | 0,50   | 0,77   | 1,10   | 1,38   |
| $L_d$ , м    | 0,66                                | 0,98   | 1,69   | 2,12   | 2,70   |
| $L_e$ , м    | 0,17                                | 0,35   | 0,38   | 0,45   | 0,70   |
| $m$ , мм     | 6                                   | 8      | 10     | 12     | 14     |

**Вариант № 7**

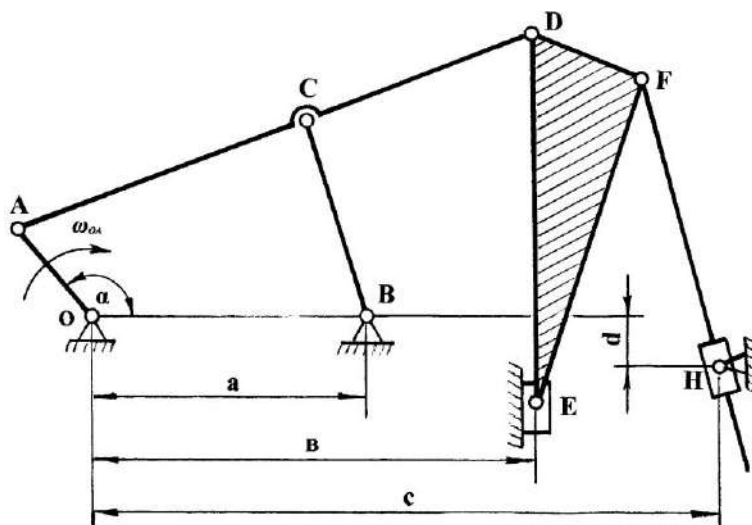


Рис. 1.7. Структурная схема механизма к варианту № 7

Исходные данные к варианту №.7

| Обозначение         | Предпоследняя цифра зачетной книжки |        |        |        |        |
|---------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                     | 1<br>6                              | 2<br>7 | 3<br>8 | 4<br>9 | 5<br>0 |
| $L_{OA}, \text{ м}$ | 0,10                                | 0,15   | 0,20   | 0,25   | 0,30   |
| $L_{AC}, \text{ м}$ | 0,31                                | 0,70   | 1,18   | 1,60   | 2,00   |
| $L_{BC}, \text{ м}$ | 0,24                                | 0,34   | 0,67   | 0,78   | 0,96   |
| $L_{CD}, \text{ м}$ | 0,10                                | 0,15   | 0,33   | 0,42   | 0,55   |
| $L_{DE}, \text{ м}$ | 0,48                                | 0,68   | 1,58   | 1,89   | 2,42   |
| $L_{DF}, \text{ м}$ | 0,10                                | 0,11   | 0,20   | 0,25   | 0,32   |
| $L_{EF}, \text{ м}$ | 0,52                                | 0,64   | 1,51   | 1,96   | 2,51   |
| $L_a, \text{ м}$    | 0,22                                | 0,53   | 0,78   | 0,98   | 1,22   |
| $L_b, \text{ м}$    | 0,25                                | 0,61   | 0,90   | 1,18   | 1,46   |
| $L_c, \text{ м}$    | 0,45                                | 0,77   | 1,35   | 1,86   | 2,24   |
| $L_d, \text{ м}$    | 0,02                                | 0,09   | 0,11   | 0,15   | 0,19   |
| $m, \text{ мм}$     | 6                                   | 8      | 10     | 12     | 14     |

Вариант № 8

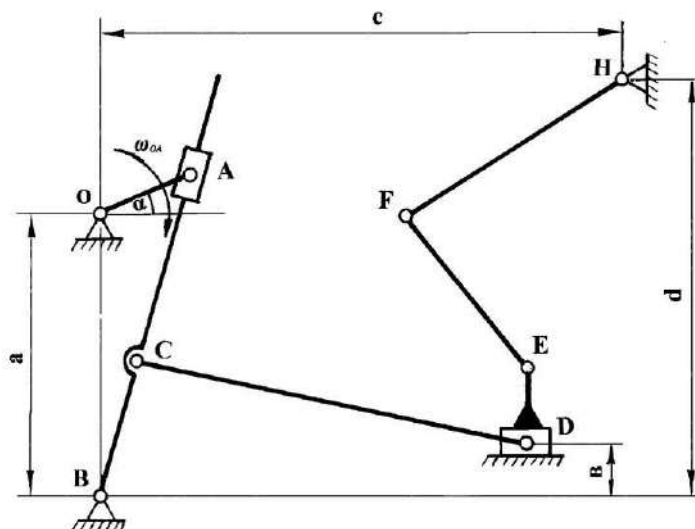


Рис. 1.8. Структурная схема механизма к варианту № 8

Исходные данные к варианту № 8

| Обозначение         | Предпоследняя цифра зачетной книжки |        |        |        |        |
|---------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                     | 1<br>6                              | 2<br>7 | 3<br>8 | 4<br>9 | 5<br>0 |
| $L_{OA}, \text{ м}$ | 0,10                                | 0,15   | 0,20   | 0,25   | 0,30   |
| $L_{BC}, \text{ м}$ | 0,31                                | 0,70   | 1,18   | 1,60   | 2,00   |
| $L_{CD}, \text{ м}$ | 0,34                                | 0,66   | 0,77   | 1,12   | 1,41   |
| $L_{DE}, \text{ м}$ | 0,08                                | 0,11   | 0,15   | 0,18   | 0,22   |
| $L_{EF}, \text{ м}$ | 0,18                                | 0,33   | 0,44   | 0,66   | 0,86   |
| $L_{FH}, \text{ м}$ | 0,18                                | 0,33   | 0,44   | 0,66   | 0,86   |
| $L_a, \text{ м}$    | 0,40                                | 0,66   | 0,91   | 1,34   | 2,00   |
| $L_b, \text{ м}$    | 0,22                                | 0,32   | 0,43   | 0,65   | 0,97   |
| $L_c, \text{ м}$    | 0,33                                | 0,82   | 0,79   | 0,96   | 1,21   |
| $L_d, \text{ м}$    | 0,54                                | 1,01   | 1,32   | 1,57   | 1,90   |
| $m, \text{ мм}$     | 6                                   | 8      | 10     | 12     | 14     |

Вариант № 9

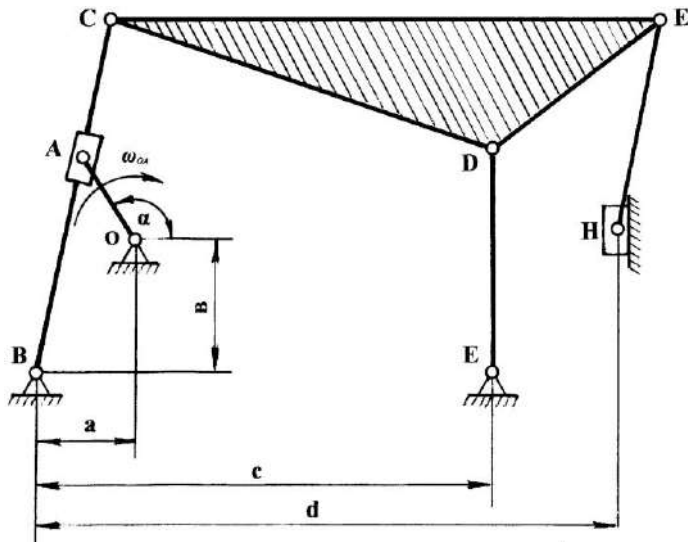


Рис. 1.9. Структурная схема механизма к варианту № 9

**Исходные данные к варианту № 9**

| Обозначение         | Предпоследняя цифра зачетной книжки |        |        |        |        |
|---------------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                     | 1<br>6                              | 2<br>7 | 3<br>8 | 4<br>9 | 5<br>0 |
| $L_{OA}, \text{ м}$ | 0,10                                | 0,15   | 0,20   | 0,25   | 0,30   |
| $L_{BC}, \text{ м}$ | 0,35                                | 0,70   | 1,20   | 1,47   | 1,92   |
| $L_{CD}, \text{ м}$ | 0,21                                | 0,50   | 0,67   | 0,92   | 1,19   |
| $L_{CE}, \text{ м}$ | 0,31                                | 0,60   | 1,17   | 1,56   | 1,88   |
| $L_{DE}, \text{ м}$ | 0,19                                | 0,42   | 0,75   | 0,88   | 1,05   |
| $L_{FD}, \text{ м}$ | 0,24                                | 0,39   | 0,86   | 1,10   | 1,32   |
| $L_{EH}, \text{ м}$ | 0,26                                | 0,65   | 0,90   | 1,21   | 1,45   |
| $L_a, \text{ м}$    | 0,13                                | 0,25   | 0,38   | 0,52   | 0,64   |
| $L_b, \text{ м}$    | 0,16                                | 0,28   | 0,65   | 0,70   | 0,94   |
| $L_c, \text{ м}$    | 0,15                                | 0,64   | 0,42   | 0,64   | 0,76   |
| $L_d, \text{ м}$    | 0,49                                | 1,02   | 1,71   | 2,18   | 2,63   |
| $m, \text{ мм}$     | 6                                   | 8      | 10     | 12     | 14     |

**Вариант № 10**

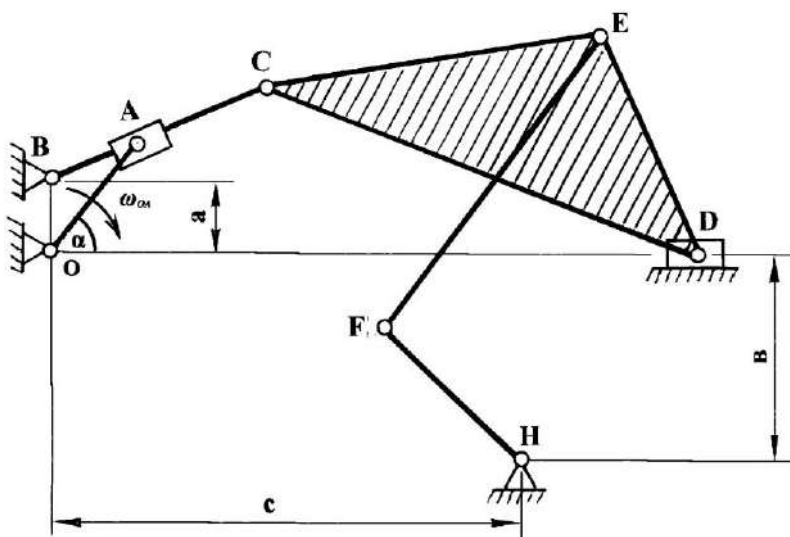


Рис. 1.10. Структурная схема механизма к варианту № 10

**Исходные данные к варианту № 10**

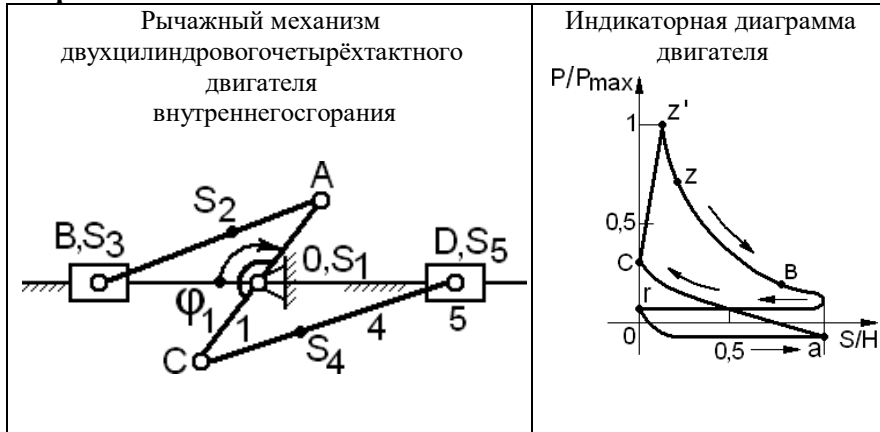
| Обозначение | Предпоследняя цифра зачетной книжки |        |        |        |        |
|-------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|             | 1<br>6                              | 2<br>7 | 3<br>8 | 4<br>9 | 5<br>0 |
| $L_{OA}, м$ | 0,10                                | 0,15   | 0,20   | 0,25   | 0,30   |
| $L_{BC}, м$ | 0,17                                | 0,40   | 0,48   | 0,67   | 0,84   |
| $L_{CD}, м$ | 0,50                                | 1,08   | 1,17   | 1,59   | 2,10   |
| $L_{CE}, м$ | 0,38                                | 0,84   | 0,98   | 1,42   | 1,98   |
| $L_{DE}, м$ | 0,20                                | 0,43   | 0,48   | 0,61   | 0,74   |
| $L_{EF}, м$ | 0,36                                | 0,89   | 0,94   | 1,42   | 1,76   |
| $L_{HF}, м$ | 0,23                                | 0,63   | 0,37   | 0,64   | 0,82   |
| $L_a, м$    | 0,02                                | 0,06   | 0,06   | 0,09   | 0,11   |
| $L_b, м$    | 0,24                                | 0,56   | 0,51   | 0,62   | 0,79   |
| $L_c, м$    | 0,55                                | 1,34   | 1,21   | 1,85   | 2,30   |
| $t, мм$     | 6                                   | 8      | 10     | 12     | 14     |

**Дополнительные данные к Пакету заданий № 1**

| Сумма двух последних цифр зачетной книжки | Угол поворота начального звена (кривошипа $OA$ )<br>$\alpha$ , град | Число оборотов ведущего колеса<br>$n_{вщ.}$<br>об./мин | Число оборотов ведомого колеса<br>$n_{вд.}$<br>об./мин |
|---|---|--|--|
| 0   | 15  | 350  | 220  |
| 1   | 30  |  | 230  |
| 2   | 45  |  | 240  |
| 3   | 60  |  | 250  |
| 4   | 75  |  | 260  |
| 5   | 105   | 400  | 270  |
| 6   | 120   |  | 280  |
| 7   | 135   |  | 290  |
| 8   | 150   |  | 300  |
| 9   | 165   |  | 310  |
| 10  | 195   | 450  | 320  |
| 11  | 210   |  | 330  |
| 12  | 225   |  | 340  |
| 13  | 240   |  | 350  |
| 14  | 255   |  | 360  |
| 15  | 285   | 500  | 370  |
| 16  | 300   |  | 380  |
| 17  | 315   |  | 390  |
| 18  | 330   |  | 400  |

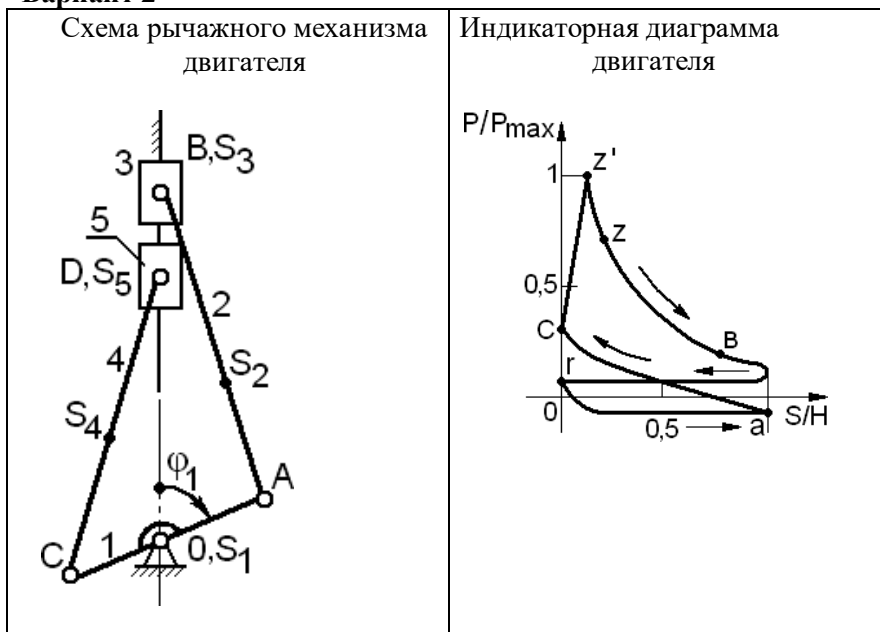
**7.2 Пакет № 2 исходных данных к курсовой работе**

### Вариант 1



|                                     |       |       |       |       |       |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     |
| $L_{OA} = L_{OC}$ м                 | 0,05  | 0,06  | 0,05  | 0,04  | 0,05  |
| $L_{AB} = L_{CD}$ м                 | 0,19  | 0,24  | 0,17  | 0,16  | 0,18  |
| $n_1 = 2n_k$ , об/мин               | 4600  | 4700  | 5200  | 5100  | 4800  |
| $m_2 = m_4$ , кг                    | 0,34  | 0,31  | 0,34  | 0,32  | 0,32  |
| $m_3 = m_5$ , кг                    | 0,36  | 0,33  | 0,34  | 0,36  | 0,35  |
| $J_{S1}$ , кг·м <sup>2</sup>        | 0,007 | 0,006 | 0,007 | 0,005 | 0,009 |
| $J_{S2} = J_{S4}$ кг·м <sup>2</sup> | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,001 | 0,002 |
| $P_{max}$ , МПа                     | 2,8   | 3,0   | 3,5   | 3,2   | 3,1   |
| d, м                                | 0,08  | 0,07  | 0,06  | 0,06  | 0,07  |
| $\delta$                            | 0,05  | 0,06  | 0,06  | 0,07  | 0,06  |

### Вариант 2

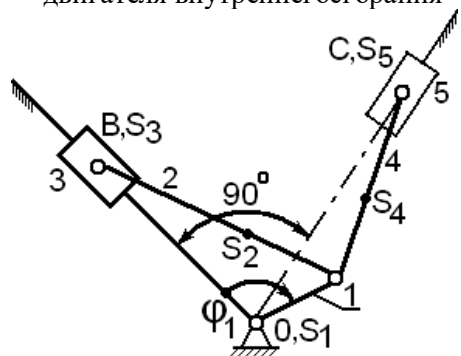


|  |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|---|---|---|---|---|

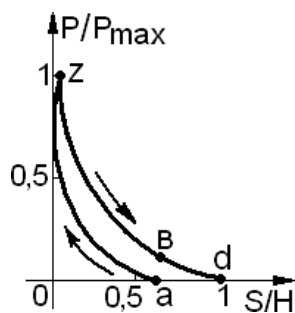
|  |      |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|------|
| $L_{OA} = L_{OC}$ мм                   | 80   | 70   | 60   | 65   | 75   |
| $L_{AB} = L_{CD}$ мм                   | 280  | 270  | 250  | 240  | 270  |
| $n_1 = 2n$ Коб/мин                     | 2000 | 1800 | 1600 | 1500 | 1200 |
| $m_2 = m_4$ , кг                       | 2,9  | 3,2  | 3,6  | 4,2  | 4,5  |
| $m_3 = m_5$ , кг                       | 3,0  | 3,5  | 3,2  | 5,0  | 5,9  |
| $J_{O_1}$ , кг·см <sup>2</sup>         | 4,0  | 5,0  | 3,5  | 8,0  | 15   |
| $J_{S_2} = J_{S_4}$ кг·см <sup>2</sup> | 1,7  | 2,5  | 1,9  | 4,0  | 9,5  |
| $P_{max}$ , МПа                        | 2,5  | 2,6  | 2,8  | 2,4  | 2,7  |
| d, мм                                  | 66   | 68   | 60   | 65   | 73   |
| $\delta$                               | 0,05 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,05 |

### Вариант 3

Рычажный механизм V-образного двухцилиндрового четырёхтактного двигателя внутреннего сгорания



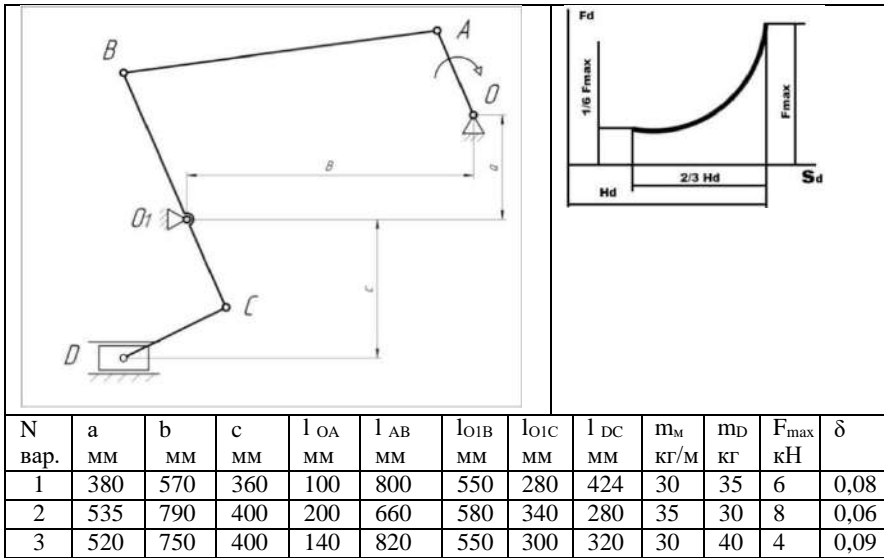
Индикаторная диаграмма двигателя



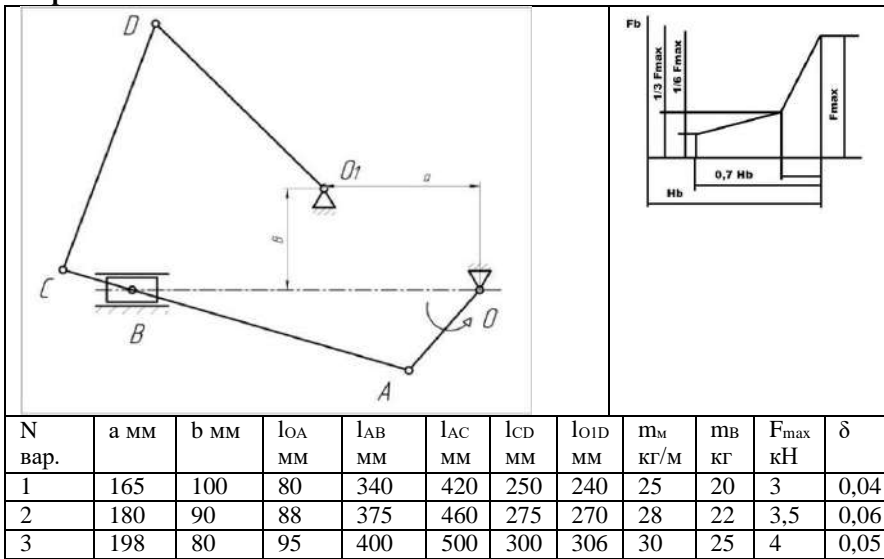
|   |       |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| Вариант 3                               | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     |
| $L_{OA}$ , м                            | 0,08  | 0,07  | 0,09  | 0,07  | 0,08  |
| $L_{AB} = L_{AC}$ , м                   | 0,32  | 0,30  | 0,36  | 0,28  | 0,33  |
| $n_1 = n$ Коб/мин                       | 2200  | 1900  | 2100  | 1800  | 2000  |
| $m_2 = m_4$ , кг                        | 2,5   | 2,8   | 3,0   | 3,3   | 3,6   |
| $m_3 = m_5$ , кг                        | 2,7   | 3,0   | 3,3   | 3,6   | 3,9   |
| $J_{S_1}$ , кг·м <sup>2</sup>           | 0,12  | 0,13  | 0,14  | 0,15  | 0,16  |
| $J_{S_2} = J_{S_4}$ , кг·м <sup>2</sup> | 0,05  | 0,07  | 0,07  | 0,08  | 0,09  |
| $J_{возд}$ , кг·м <sup>2</sup>          | 0,26  | 0,20  | 0,16  | 0,14  | 0,12  |
| $P_{max}$ , МПа                         | 6,0   | 6,6   | 6,5   | 6,4   | 6,3   |
| d, м                                    | 0,10  | 0,12  | 0,10  | 0,09  | 0,11  |
| $\delta$                                | 1/120 | 1/110 | 1/100 | 1/120 | 1/110 |

### Вариант 4

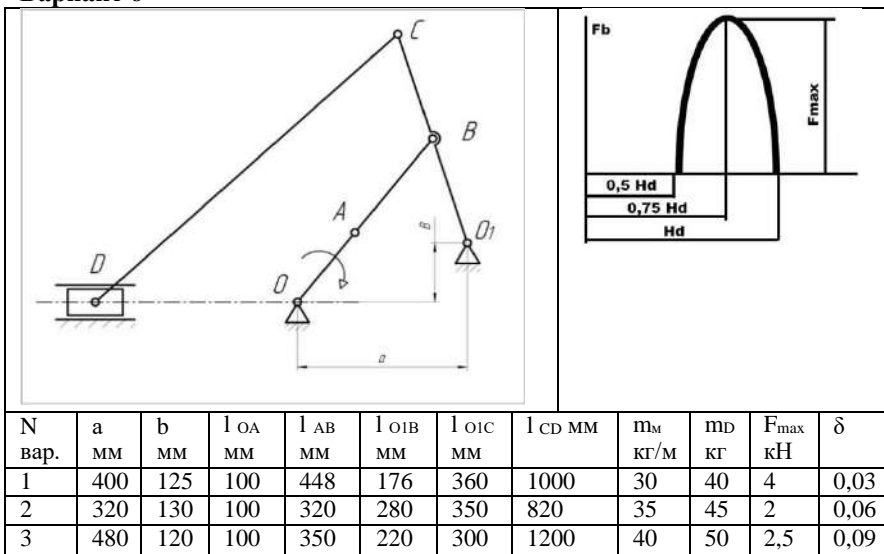




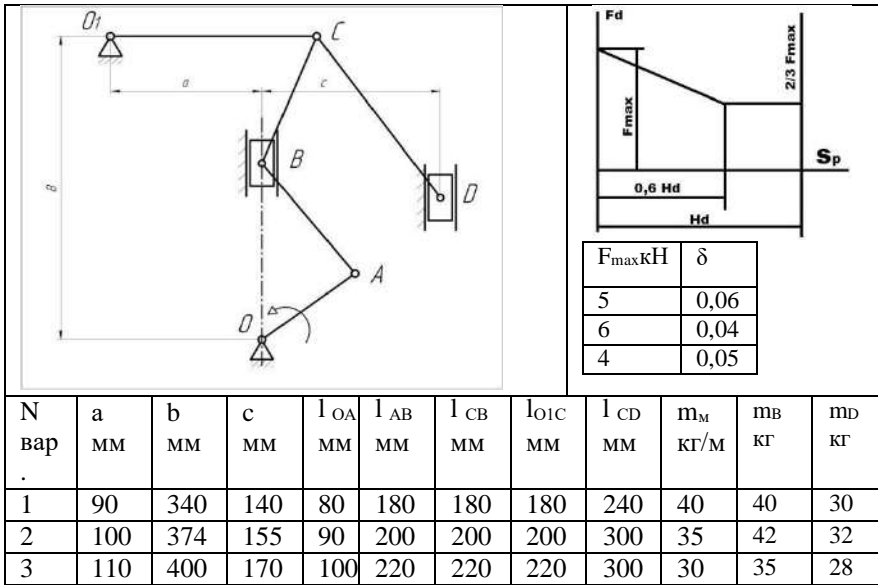
**Вариант 5**



**Вариант 6**

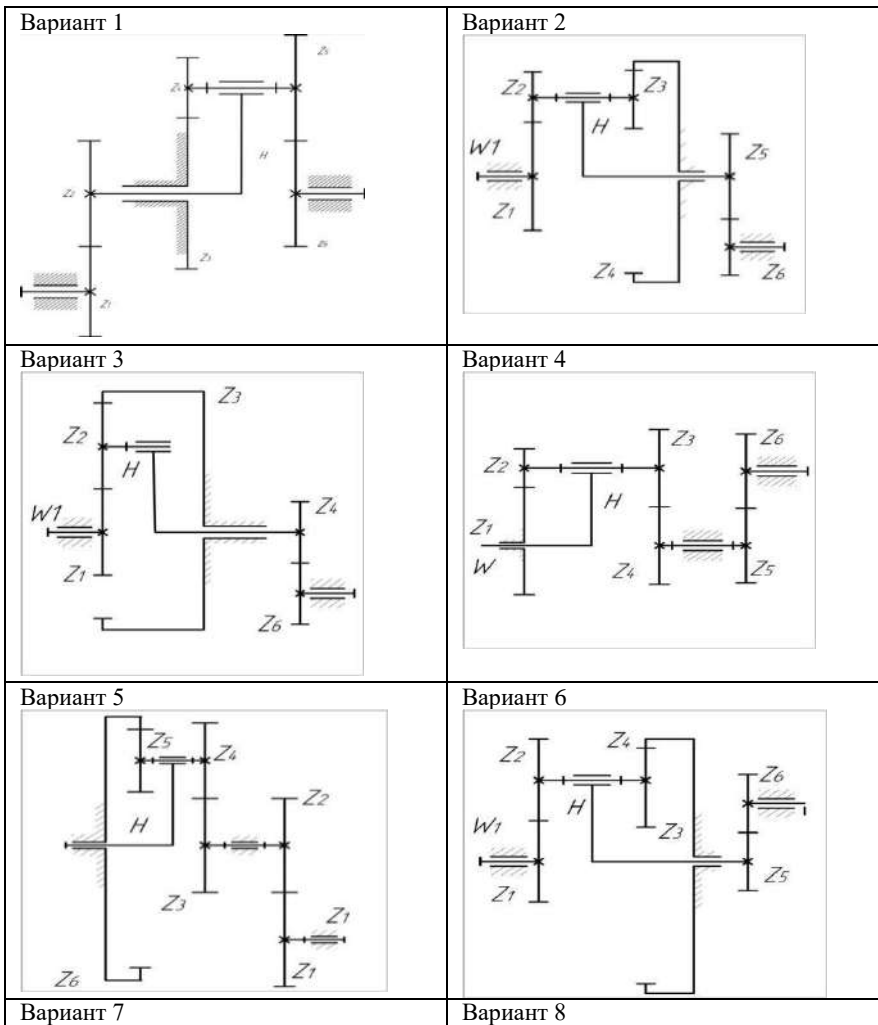


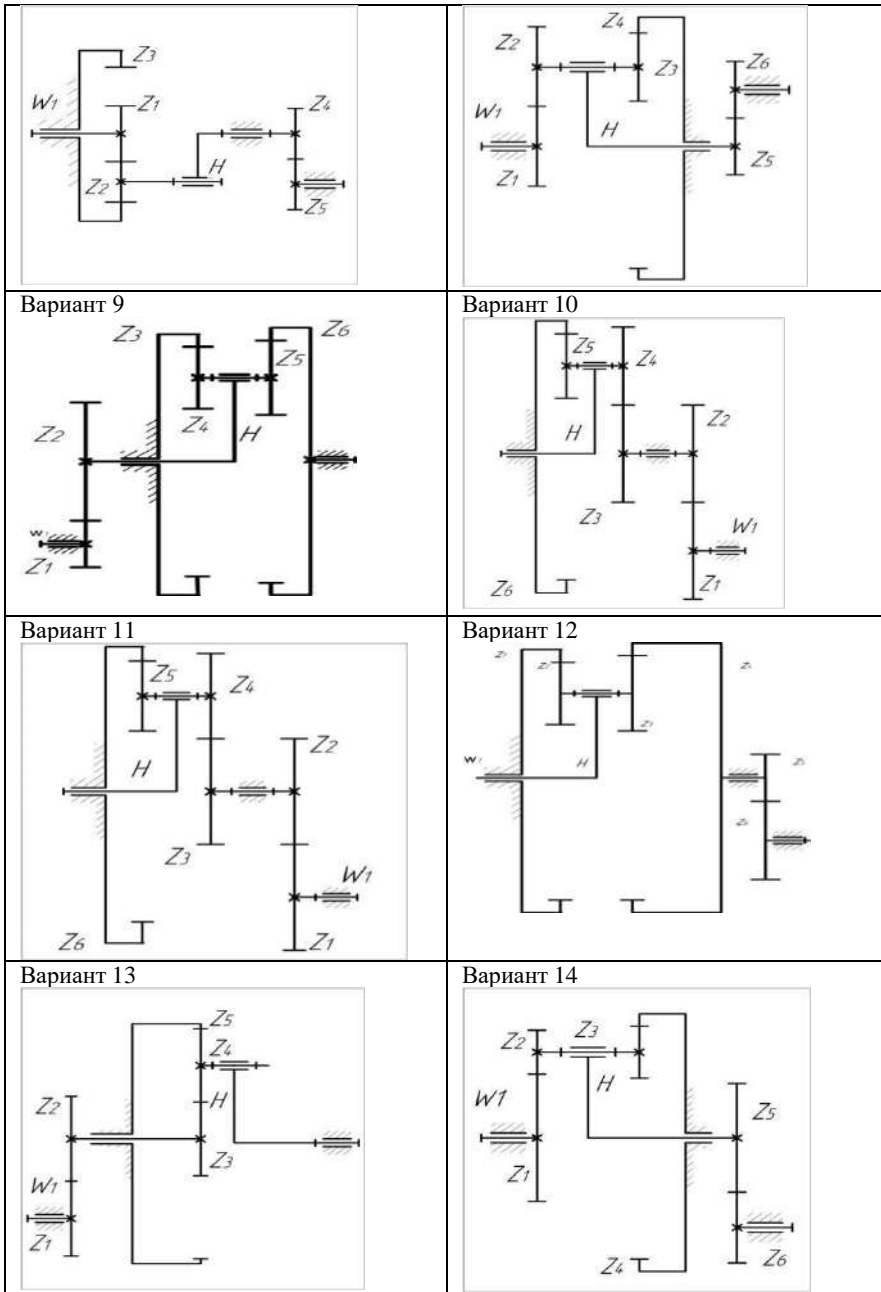
**Вариант 7**



### 7.3 Пакет № 3 исходных данных к курсовой работе (кинематика сложных зубчатых механизмов)

Техническое задание: по заданной входной скорости и числу зубьев колес найти передаточное отношение механизма аналитическим и графическим способом, вычислить погрешность графического построения. Неизвестные числа зубьев найти из условия соосности.





Данные для анализа:

| Вариант 1 | N вар | $\omega_d$<br>1/c | $Z_1$ | $Z_2$ | $Z_3$ | $Z_4$ | $Z_5$ | $Z_6$ |
|-----------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           | 1     | 314               | 17    | 34    | 60    | 34    | 48    | -     |
|           | 2     | 302               | 18    | 38    | 56    | 32    | 42    | -     |
|           | 3     | 284               | 19    | 42    | 52    | 30    | 38    | -     |
| Вариант 2 | N вар | $\omega_d$<br>1/c | $Z_1$ | $Z_2$ | $Z_3$ | $Z_4$ | $Z_5$ | $Z_6$ |
|           | 1     | 300               | 34    | 22    | -     | 81    | 19    | 32    |
|           | 2     | 314               | 35    | 21    | -     | 82    | 18    | 32    |
|           | 3     | 300               | 36    | 20    | -     | 83    | 17    | 34    |
| Вариант 3 | N вар | $\omega_d$<br>1/c | $Z_1$ | $Z_2$ | $Z_3$ | $Z_4$ | $Z_5$ | $Z_6$ |

|           |          |                   |                |                |                |                |                |                |
|-----------|----------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|           | 1        | 298               | 20             | -              | 10<br>4        | 18             | 0              | 28             |
|           | 2        | 300               | 22             | 40             | -              | 19             | 0              | 32             |
|           | 3        | 303               | 26             | -              | 12<br>6        | 20             | 0              | 36             |
| Вариант 4 | N<br>вар | $\omega_d$<br>1/c | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> | Z <sub>4</sub> | Z <sub>5</sub> | Z <sub>6</sub> |
|           | 1        | 300               | 34             | 25             | 41             | -              | 18             | 36             |
|           | 2        | 300               | 35             | 20             | 42             | -              | 19             | 38             |
|           | 3        | 314               | 36             | 30             | 43             | -              | 20             | 40             |
| Вариант 5 | N<br>вар | $\omega_d$<br>1/c | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> | Z <sub>4</sub> | Z <sub>5</sub> | Z <sub>6</sub> |
|           | 1        | 100               | 17             | 34             | 28             | 38             | 26             | -              |
|           | 2        | 99                | 19             | 38             | 28             | 40             | 28             | -              |
|           | 3        | 148               | 20             | 40             | 28             | 42             | 30             | -              |
| Вариант 6 | N<br>вар | $\omega_d$<br>1/c | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> | Z <sub>4</sub> | Z <sub>5</sub> | Z <sub>6</sub> |
|           | 1        | 300               | 17             | 34             | 28             | -              | 18             | 41             |
|           | 2        | 150               | 19             | 38             | 28             | -              | 19             | 42             |
|           | 3        | 150               | 20             | 40             | 28             | -              | 20             | 44             |
| Вариант 7 | N<br>вар | $\omega_d$<br>1/c | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> | Z <sub>4</sub> | Z <sub>5</sub> | Z <sub>6</sub> |
|           | 1        | 102               | 20             | -              | 10<br>2        | 18             | 28             | 0              |
|           | 2        | 151               | 22             | 40             | -              | 19             | 32             | 0              |
|           | 3        | 148               | 26             | -              | 96             | 20             | 36             |                |
| Вариант 8 | N<br>вар | $\omega_d$<br>1/c | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> | Z <sub>4</sub> | Z <sub>5</sub> | Z <sub>6</sub> |
|           | 1        | 284               | 19             | 36             | -              | 84             | 17             | 34             |
|           | 2        | 146               | 20             | 35             | -              | 82             | 18             | 32             |
|           | 3        | 135               | 21             | 34             | -              | 81             | 19             | 32             |
| Вариант 9 | N<br>вар | $\omega_d$<br>1/c | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> | Z <sub>4</sub> | Z <sub>5</sub> | Z <sub>6</sub> |
|           | 1        | 314               | 18             | 26             | 68             | -              | 22             | 54             |
|           | 2        | 300               | 19             | 28             | 71             | -              | 24             | 68             |
|           | 3        | 300               | 20             | 30             | 76             | -              | 26             | 72             |
| Вариант10 | N<br>вар | $\omega_d$<br>1/c | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> | Z <sub>4</sub> | Z <sub>5</sub> | Z <sub>6</sub> |
|           | 1        | 314               | 18             | 31             | 26             | 34             | -              | 86             |

|            |          |                   |                |                |                |                |                |                |
|------------|----------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|            | 2        | 300               | 19             | 32             | 28             | 36             | –              | 89             |
|            | 3        | 310               | 20             | 33             | 30             | 38             | –              | 90             |
| Вариант 11 | N<br>вар | $\omega_d$<br>1/c | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> | Z <sub>4</sub> | Z <sub>5</sub> | Z <sub>6</sub> |
|            | 1        | 150               | 24             | 38             | 88             | 34             | –              | 86             |
|            | 2        | 102               | 25             | 40             | 92             | 36             | –              | 89             |
|            | 3        | 76                | 26             | 42             | 96             | 38             | –              | 90             |
| Вариант 12 | N<br>вар | $\omega_d$<br>1/c | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> | Z <sub>4</sub> | Z <sub>5</sub> | Z <sub>6</sub> |
|            | 1        | 300               | 65             | –              | 20             | 60             | 24             | 17             |
|            | 2        | 302               | 68             | –              | 22             | 54             | 26             | 18             |
|            | 3        | 314               | 71             | –              | 24             | 68             | 28             | 19             |
| Вариант 13 | N<br>вар | $\omega_d$<br>1/c | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> | Z <sub>4</sub> | Z <sub>5</sub> | Z <sub>6</sub> |
|            | 1        | 105               | 26             | -              | 12<br>6        | 20             | 0              | 36             |
|            | 2        | 100               | 22             | 40             | -              | 19             | 0              | 32             |
|            | 3        | 75                | 20             | -              | 10<br>4        | 18             | 0              | 28             |
| Вариант 14 | N<br>вар | $\omega_d$<br>1/c | Z <sub>1</sub> | Z <sub>2</sub> | Z <sub>3</sub> | Z <sub>4</sub> | Z <sub>5</sub> | Z <sub>6</sub> |
|            | 1        | 150               | 23             | 32             | –              | 78             | 21             | 31             |
|            | 2        | 150               | 24             | 31             | –              | 77             | 22             | 30             |
|            | 3        | 280               | 25             | 30             | –              | 76             | 23             | 30             |