

621.01(07)  
Е 405

Федеральное агенство по образованию Российской Федерации

ГОУВПО “Южно-Уральский Государственный Университет”  
Филиал в г. Златоусте  
Кафедра “Техническая механика”

**Сборник заданий для курсового проектирования по теории  
механизмов и машин**

г. Златоуст  
2007г.

УДК 621.01(07)

Гончаров Ю. А. Сборник заданий для курсового проектирования по теории механизмов и машин. За основу использована методичка “Курсовое проектирование по ТММ с использованием ЭВМ” Методические указания. – Челябинск: 1980.

Издание переработано силами студента группы НЗД-301 Мерешкина А.А. Под руководством кандидата технических наук Лопатина Д.Б.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКИХ РЫЧАЖНО-ШАРНИРНЫХ МЕХАНИЗМОВ

### I. КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ

#### I. Общий порядок исследования

В заданиях на курсовое проектирование, приведенных в настоящих методических указаниях, рассматриваются сравнительно несложные по структуре, шестизвенные механизмы 2 класса (по классификации Л.В. Ассура - И.И. Артоболевского) со степенью подвижности  $\omega = 1$ . Исследование их кинематики проводится аналитическим методом для 24 положений, соответствующих 24 равноотстоящим положениям ведущего звена (кривошипа) в пределах одного его оборота.

Исходными данными для исследования являются кинематическая схема механизма, размеры его звеньев, угловая скорость ведущего звена (во всех заданиях принято  $\omega_1 = \text{const}$ ).

Рекомендуется следующий порядок кинематического исследования механизма.

Исследование начинается с простейшего механизма, включающего ведущее звено (I), первую присоединенную группу Ассура (звенья 2, 3) и стойку (звено 0). Для этого механизма составляются уравнения, отражающие зависимость линейных и угловых координат звеньев от обобщенной координаты, за которую принят угол поворота ведущего звена. Такие уравнения могут быть составлены или непосредственно, на основе геометрических соотношений в кинематической схеме механизма, или путем использования так называемых уравнений замкнутости многоугольника кинематической схемы.

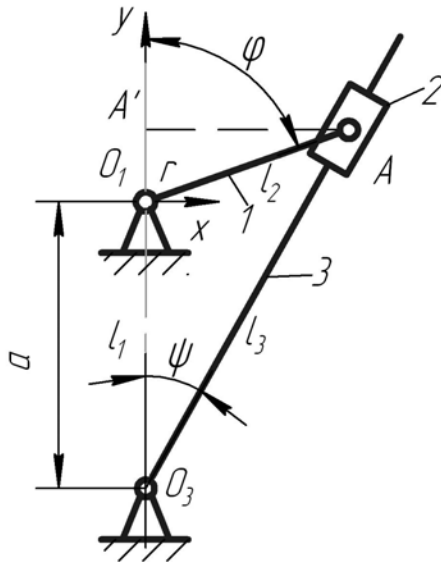
Составленные уравнения дифференцируются по времени. В результате выводятся формулы для определения скоростей точек и звеньев механизма. Повторное дифференцирование позволяет получить формулы для определения ускорений.

Далее рассматривается следующий простейший механизм, в котором за ведущее звено принимается одно из звеньев первой структурной группы (звено 3), а ведомыми звеньями являются звенья второй группы (звенья 4 и 5). Для этого механизма также составляются зависимости координат звеньев от обобщенной координаты, за которую принимается перемещение (линейное или угловое) звена 3. Производится дифференцирование этих уравнений.

По полученным формулам перемещений, скоростей и ускорений, составляется циклическая программа счета на ЭВМ. Шаг параметра  $\varphi$  принимается постоянным. При расчёте для 24 положений механизма  $\Delta\varphi = 0,2617994$ .

За начальное положение механизма во всех заданиях (кроме задания №4) принято положение соответствующее верхнему вертикальному положению кривошипа. Направление вращения кривошипа – по часовой стрелке.

## 2. Пример вывода формул для исследования кинематики простейших механизмов.



I. Кулисный механизм (рис. I) Дано: длина кривошипа  $r$  межосевое расстояние  $a$ , угол поворота кривошипа  $\varphi$ , угловая скорость кривошипа  $\omega_1$ . Требуется определить: угол поворота кулисы  $\psi$ , её угловую скорость  $\omega_3$ , угловое ускорение  $\varepsilon_3$ .

В механизме можно выделить замкнутый векторный контур  $O_1AO_3$ , уравнение замкнутости которого имеет вид:

$$l_1 + l_2 = l_3.$$

Проектируя это уравнение на оси координат, получаем

$$l_2 \sin \varphi = l_3 \sin \psi \quad (1),$$

$$l_1 + l_2 \cos \varphi = l_3 \cos \psi \quad (2).$$

Принимая во внимание, что  $l_1 = a$ ,  $l_2 = r$ , и выполнив преобразования найдём

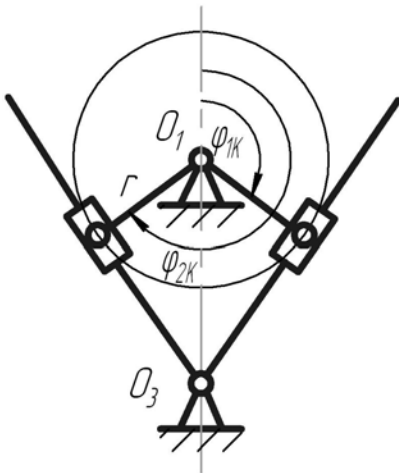
$$\psi = \arcsin \frac{r \sin \varphi}{\sqrt{(a + r \cos \varphi)^2 + r^2 \sin^2 \varphi}} \quad (3).$$

Эту формулу можно получить и из непосредственного рассмотрения кинематической схемы механизма: в треугольнике  $A'O_3A$ .  $AA' = r \sin \varphi$ . Учитывая, что  $\omega_1 = \frac{d\varphi}{dt}$ ,

$\omega_3 = \frac{d\psi}{dt}$ ,  $\varepsilon_3 = \frac{d\omega_3}{dt}$  и принимая во внимание что  $\omega_1 = \text{const}$  найдём:

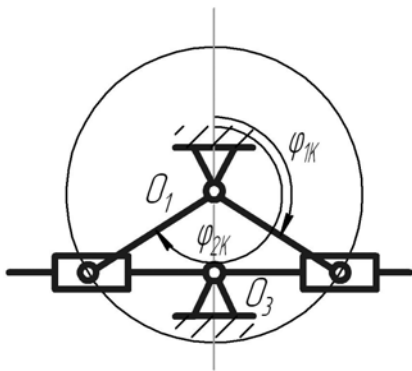
$$\omega_3 = r\omega_1 \frac{a \cos \varphi + r}{(a + r \cos \varphi)^2 + r^2 \sin^2 \varphi} \quad (4)$$

$$\varepsilon_3 = r\omega_1^2 \frac{a(r^2 - a^2) \sin \varphi}{[(a + r \cos \varphi)^2 + r^2 \sin^2 \varphi]^2} \quad (5).$$



Анализ формулы (4) показывает, что при  $r < a$  кулиса является качающейся, то есть в крайних положениях её  $\omega_3 = 0$ . Углы поворота кривошипа, соответствующие крайним положениям кулисы (рис. 2) определяются по формулам:

$$\varphi_{1k} = \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{r}{a} \quad (6)$$



$$\varphi_{2k} = \frac{3\pi}{2} - \arcsin \frac{r}{a} \quad (7).$$

При  $r > a$  кулиса является вращающейся и занимает крайнее правое и крайнее левое (горизонтальные) положения при углах  $\varphi_{1k}$  и  $\varphi_{2k}$  (рис. 3), определяемых по

$$\text{формулам: } \varphi_{1k} = \frac{\pi}{2} + \arcsin \frac{a}{r} \quad (8)$$

$$\varphi_{2k} = \frac{3\pi}{2} - \arcsin \frac{a}{r} \quad (9).$$

Для механизма с вращающейся кулисой за I оборот кривошипа кулиса также совершает полный оборот, т.е. угол  $\psi$  изменяется в пределах от 0 до  $2\pi$ . При вычислении угла  $\psi$  на ЭВМ приходится использовать формулу различного вида в зависимости от величины угла  $\varphi$ .

$$\text{Обозначим } \psi' = \arcsin \frac{r \sin \varphi}{\sqrt{(a + r \cos \varphi)^2 + r^2 \sin^2 \varphi}}.$$

Анализ кинематической схемы механизма с вращающейся кулисой позволяет установить, что

$$\text{При } \varphi \leq \varphi_{1k} \quad \psi = \psi'$$

$$\text{При } \varphi_{1k} < \varphi < \varphi_{2k} \quad \psi = \pi - \psi'$$

$$\text{При } \varphi_{2k} \leq \varphi \leq 2\pi \quad \psi = 2\pi + \psi'$$

## 2. Нецентральный (внеосный) кривошипно-ползунный механизм (рис. 4)

Дано:  $l_1, l_2, b, \psi, \varepsilon_1, \omega_1$

Требуется определить:  $S_c, V_c, \theta, \omega_2, \varepsilon_2$

Из схемы механизма имеем  $l_1 \cos \psi = b + l_2 \sin \theta$  откуда

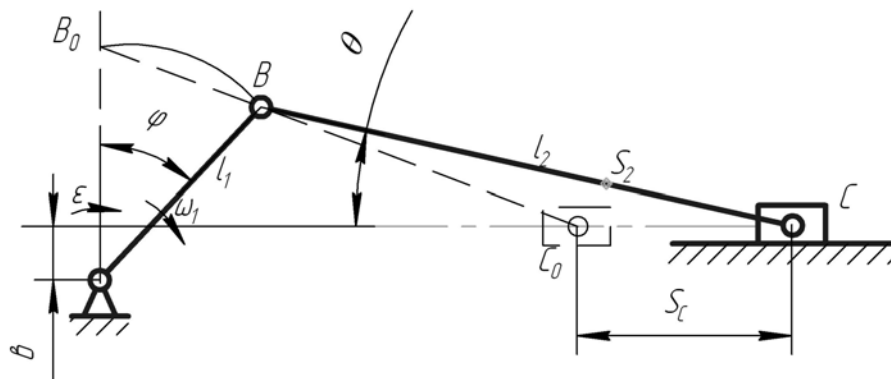


Рис. 4

$$\theta = \arcsin \frac{l_1 \cos \psi - b}{l_2} \quad (10)$$

$$Sc = l_1 \sin \psi + l_2 \cos \theta - \sqrt{l_2^2 - (l_1 - b)^2} \quad (11)$$

$$\omega_2 = -\omega_1 \frac{l_1 \sin \psi}{l_2 \cos \theta} \quad (12)$$

$$Vc = l_1 \omega_1 \cos \psi - l_2 \omega_2 \sin \theta \quad (13)$$

$$\varepsilon_2 = \omega_2^2 \operatorname{tg} \theta - \frac{l_1 (\varepsilon_1 \sin \psi + \omega_1^2 \cos \psi)}{l_2 \cos \theta} \quad (14)$$

$$a_c = l_1 (\varepsilon_1 \cos \psi - \omega_1^2 \sin \psi) - l_2 (\omega_2^2 \cos \theta + \varepsilon_2 \sin \theta) \quad (15)$$

Определим скорость и ускорение произвольной точки  $S_2$  шатуна (рис. 5):

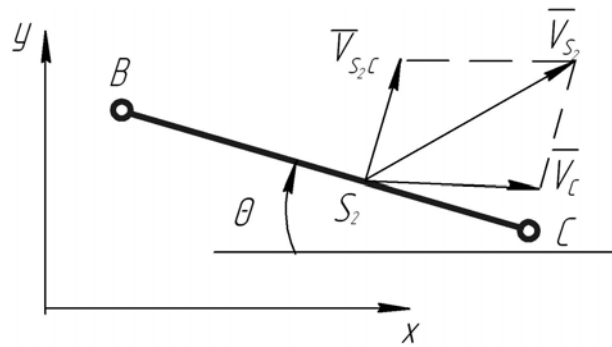


Рис. 5

При плоском движении шатуна справедливо векторное равенство:

$$\overline{V}_{S_2} = \overline{V}_c + \overline{V}_{S_2C},$$

Причем

$$V_{S_2C} = l_{S_2C} \omega_2.$$

Проекции скорости  $V_{S_2}$  на координатные оси:

$$V_{S_2}^X = Vc + l_{S_2C} \omega_2 \sin \theta \quad (16)$$

$$V_{S_2}^Y = l_{S_2C} \omega_2 \sin \theta \quad (17)$$

Дифференцируя последние формулы по времени, получаем:

$$a_{S_2}^X = a_c + l_{S_2C} \omega_2^2 \cos \theta + l_{S_2C} \varepsilon_2 \sin \theta \quad (18)$$

$$a_{S_2}^Y = -l_{S_2C} \omega_2^2 \sin \theta + l_{S_2C} \varepsilon_2 \cos \theta \quad (19)$$

### 3. Центральный кривошипно – ползунный механизм (рис. 6)

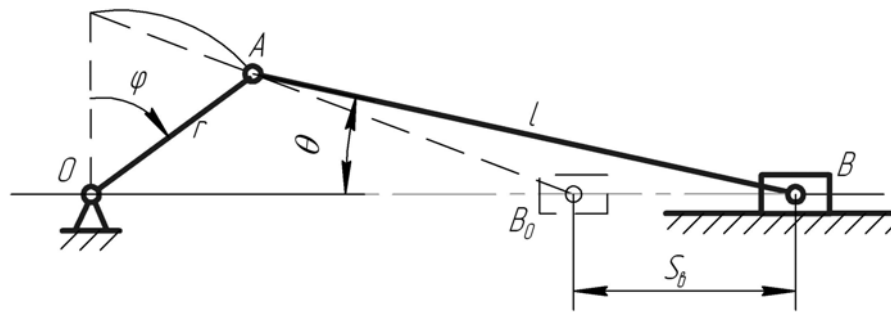


Рис. 6

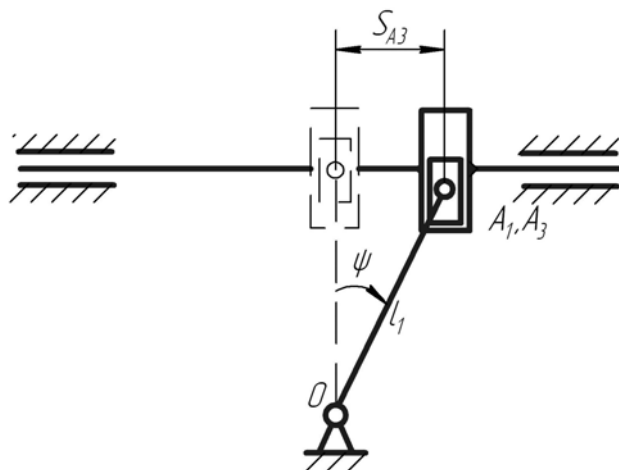
Этот

механизм

является частным случаем рассмотренного выше нецентрального механизма. Поэтому формулы для его кинематического исследования можно получить, полагая в формулах для нецентрального механизма  $b = 0$  и заменив угол  $\psi$  на угол  $\varphi$ .

### 4. Синусный механизм (рис. 7)

Дано:  $l_1, \psi, \omega_1, \varepsilon_1$ .



Требуется определить:  $S_{A3}, V_{A3}, a_{A3}$   
(точка А принадлежит ползуну 3)

Из схемы механизма:

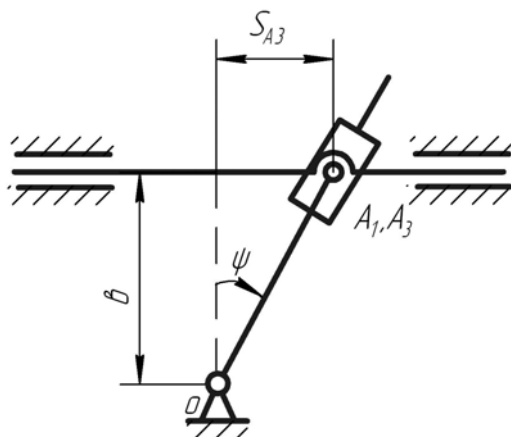
$$S_{A3} = l_1 \sin \psi \quad (20)$$

$$V_{A3} = l_1 \omega_1 \cos \psi \quad (21)$$

$$a_{A3} = l_1 (\varepsilon_1 \cos \psi - \omega_1^2 \sin \psi) \quad (22)$$

### 5. Тангенсный механизм (рис. 8)

Дано:  $b, \psi, \varepsilon_1, \omega_1$



Требуется определить:  $S_{A3}, V_{A3}, a_{A3}$ .

Из схемы механизма следует:

$$S_{A3} = b \operatorname{tg} \psi \quad (23)$$

$$V_{A3} = \frac{b \omega_1}{\cos^2 \psi} \quad (24)$$

$$a_{A3} = \frac{b(\varepsilon_1 + 2\omega_1^2 \operatorname{tg} \psi)}{\cos^2 \psi} \quad (25)$$

В табл. I указана последовательность использования выведенных формул

кинематического исследования для всех заданий на курсовое проектирование.

Таблица I

№ задания	Определяемая величина	№ используемой формулы в тексте или её вид	Примечание
I	2	3	4
1	$\psi, \omega_3, \varepsilon_3$ $\theta, Sc, \omega_4, Vc, \varepsilon_4$ $a_c, V_{S_4}^X, V_{S_4}^Y, a_{S_4}^X, a_{S_4}^Y$ $\varphi_{1k}, \varphi_{2k}$	3 – 5 10 – 19 6, 7	Индексы 1, 2 в формулах заменить на 3, 4
2	$\psi, \varepsilon_3, \omega_3$ $S_{B5}, V_{B5}, a_{B5}$ $\varphi_{1k}, \varphi_{2k}$	3 – 5 20 – 22	Индексы I, $A_3$ заменить на 3, $B_5$
3 4	$\psi, \omega_3, \varepsilon_3$ $S_{B5}, V_{B5}, a_{B5}$ $\varphi_{1k}, \varphi_{2k}$	3 – 5 23 – 25 6, 7	Индексы I, $A_3$ заменить на 3, $B_5$
5	$\psi'$ $\varphi_{1k}, \varphi_{2k}$ $\psi$  $\omega_3, \varepsilon_3$ $\theta, Sc, Vc, \omega_4, \varepsilon_4$ $a_c, V_{S_4}^x, V_{S_4}^y, a_{S_4}^x, a_{S_4}^y$	3 8, 9 $\psi = \psi'$ $\psi = \pi - \psi'$ $\psi = 2\pi + \psi'$  4, 5 10 – 19	При $\varphi \leq \varphi_{1k}$ При $\varphi_{1k} < \varphi \leq \varphi_{2k}$ При $\varphi > \varphi_{2k}$  Индексы I и 2 заменить на 3, 4
6	$\psi', \varphi_{1k}, \varphi_{2k}$ $\psi, \omega_3, \varepsilon_3$ $S_{B5}, V_{B5}, a_{B5}$	Аналогично заданию 5  20 – 22	Индексы I, $A_3$ заменить на 3, $B_5$
7	$\theta_2, S_B, \omega_2, V_B, \varepsilon_2$ $a_B, V_{S_2}^x, V_{S_2}^y, a_{S_2}^x, a_{S_2}^y$	10 – 19	В формулах принять



	$\theta_4$ $S_C$ $\omega_4$ $V_C$ $\varepsilon_4$ $a_C$ $V_{S_4}^x$ $V_{S_4}^y$ $a_{S_4}^x$ $a_{S_4}^y$	$\arcsin \frac{r}{l_4} \sin \varphi$ $r + l_4 - r \cos \varphi - l_4 \sin \varphi$ $\omega_1 \frac{r \cos \varphi}{l_4 \cos \theta_4}$ $r \omega_1 \sin \varphi + l_4 \omega_4 \sin \theta_4$ $\omega_4^2 \operatorname{tg} \theta_4 - \frac{r \omega_1^2 \sin \varphi}{l_4 \cos \theta_4}$ $r \omega_1^2 \cos \varphi + l_4 (\omega_4^2 \cos \theta_4 + \varepsilon_4 \sin \theta_4)$ $l_{S_4 C} \omega_4 \cos \theta_4$ $V_C - l_{S_4 C} \omega_4 \sin \theta_4$ $-l_{S_4 C} \omega_4^2 \sin \theta_4 + l_{S_4 C} \varepsilon_4 \cos \theta_4$ $a_C - l_{S_4 C} \omega_4^2 \cos \theta_4 + l_{S_4 C} \varepsilon_4 \sin \theta_4$	$b = 0 \quad \varepsilon_1 = 0$ , заменить $l, c, \psi$ на $r, b, \varphi$
8	$\theta_2, S_B, \omega_2, V_B, \varepsilon_2$ $a_C, V_{S_2}^x, V_{S_2}^y, a_{S_2}^x, a_{S_2}^y$ $\psi_5$ $\omega_5$ $\varepsilon_5$	10 – 19 $\operatorname{arctg} \frac{S_B}{a}$ $\frac{V_B \cos^2 \psi_5}{a}$ $\frac{a_B \cos^2 \psi_5}{a} - 2 \omega_5^2 \operatorname{tg} \psi_5$	В формулах принять $b = 0 \quad \varepsilon_1 = 0$ , заменить $l, c, \psi$ на $r, b, \varphi$
9	$\theta_2, S_B, \omega_2, V_B, \varepsilon_2$ $a_C, V_{S_2}^x, V_{S_2}^y, a_{S_2}^x, a_{S_2}^y$ $\psi_5$	10 – 19	В формулах принять $b = 0 \quad \varepsilon_1 = 0$ , заменить $l, c, \psi$ на $r, b, \varphi$

	$\omega_5$  $\varepsilon_5$	$\arcsin \frac{S_B}{l_5}$  $\frac{V_B}{l_5 \cos \psi_5}$  $\frac{a_B}{l_5 \cos \psi_5} + \omega_5^2 \operatorname{tg} \psi_5$	
10	$\psi', \varphi_{1k}, \varphi_{2k}$  $\psi, \omega_3, \varepsilon_3$  $S_{B_5}$  $V_{B_5}$  $a_{B_5}$	аналогично заданию №5  $l_3(1 - \cos \psi)$  $l_3 \omega_3 \sin \psi$  $l_3(\omega_3^2 \cos \psi + \varepsilon_3 \sin \psi)$	

## II Динамическое исследование механизма

### I. Определение момента инерции маховика.

Определение момента инерции маховика, обеспечивающего заданный коэффициент неравномерности хода машины  $\delta$ , производится по методу Н.И. Мерцалова. Расчетная формула имеет вид:

$$J_M = \frac{E_M^{\max} - E_M^{\min}}{\delta \omega_{\text{ср}}^2},$$

где  $E_M^{\max}$ ,  $E_M^{\min}$  - максимальное и минимальное значения кинетической энергии вращающегося маховика (рис. 9)

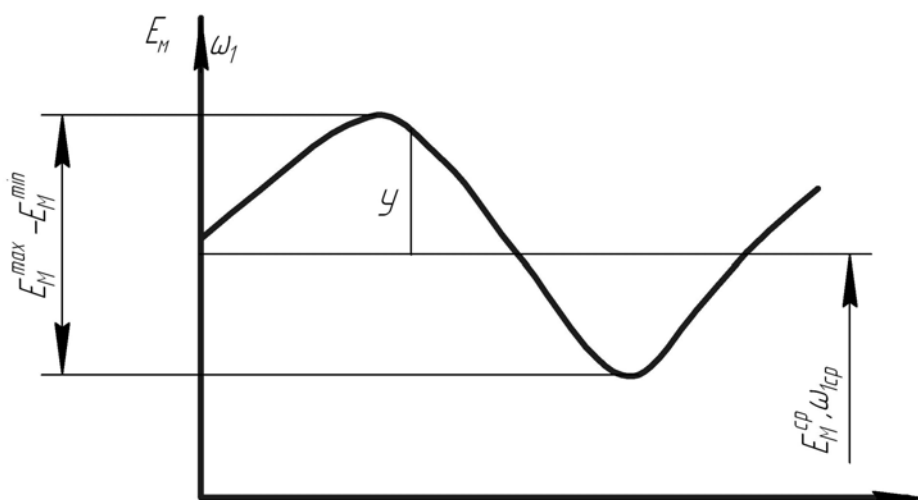


Рис. 9

$\omega_{\text{ср}}$  - среднее значение угловой скорости ведущего вала в машине (входит в число заданных величин, обозначено  $\omega_1$ ). Разность  $E_M^{\max} - E_M^{\min}$  находится по

графику изменения кинетической энергии маховика  $E_M = E_M(\varphi)$ . При построении этой зависимости для 24 положений механизма последовательно определяются:

1) момент силы сопротивления

$$M_{c_i}^{np} = \frac{\sum Q_j V_{Q_j} \cos(Q_j V_{Q_j}) + \sum G_j V_{G_j} \cos(G_j V_{G_j}) + \sum M_j \omega_j}{\omega_1}$$

$i$  - номер положения механизма

$j$  - номер звена

$Q, M$  - сила и момент сил полезного сопротивления

$G$  - сила тяжести звена

$V_Q, V_G$  - скорости точек приложения  $Q, G$

2) работа сил сопротивления

$$A_{ci} = \int_0^{\varphi_i} M_{ci} d\varphi \approx \sum_{i=1}^i M_{ci} \Delta\varphi$$

$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{k}$ ,  $k$  - число интервалов разбиения оборота ведущего звена (число исследуемых положений);

Работа сил сопротивления за полный цикл установившегося движения (цикл соответствует одному обороту ведущего звена)

$$A_{ci} = \int_0^{2\pi} M_{ci} d\varphi \approx \sum_{i=1}^k M_{ci} \Delta\varphi$$

3) момент сил движущих (который принят постоянным)

$$M_{\partial\phi} = -\frac{Ac}{2\pi} = \frac{-\sum_{i=1}^k M_{c_i}}{k}$$

4) работа сил движущих

$$A_{\partial\phi i} = M_{\partial\phi} \varphi_i$$

5) приращение кинетической энергии машины

$$\Delta E_i = A_{\partial\phi i} + A_{ci}$$

6) кинетическая энергия движущихся звеньев механизма (за исключением ведущего звена)

$$E_{3\phi i} = \frac{\sum m_j V_{sj}^2 + \sum J_{oj} \omega_j^2 + \sum (J_{sj} \omega_j^2 + m_j V_{sj}^2)}{2}$$

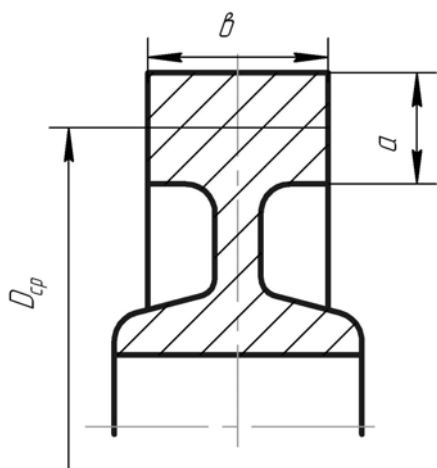
7) кинетическая энергия маховика

$$E_{Mi} = E_i - E_{3\phi i}$$

По найденному значению  $J_M$  определяются ориентировочные конструктивные размеры маховика.

Маховик обычно выполняют в виде колеса с тяжёлым ободом (рис. 10) имеющим прямоугольное сечение.

Приближенно можно считать  $J_{об} = 0,9J_M$ ,



$$J_{об} = \frac{mD_{ср}^2}{4}$$

$$m = \pi D_{ср} a b \gamma,$$

где  $m$  - масса обода маховика,  $\gamma$  - плотность материала маховика (для стали  $\gamma = 7800 \text{ кг/м}^3$ , для чугуна  $\gamma = 7300 \text{ кг/м}^3$ ).

При расчете диаметра маховика ориентировочно можно принять  $a = 0,75b$ ,  $b = (0,2...0,4)D_{ср}$ . Приведенные формулы и соотношения позволяют определить  $D_{ср}$

Если размеры маховика получаются несоизмеримо большими по отношению к размерам механизма, следует предусмотреть установку маховика на наиболее быстроходном валу машины, например на валу двигателя. Частота вращения двигателя может быть принята из стандартного ряда: 720, 1440, 2880 об/мин.

Вид формул для определения  $M_c^{np}$  и  $E_{зв}$  приводится в таблице 2. порядок графических построений предшествующих построению зависимости  $E_M = E_M(\varphi)$ , приводится в разделе “Порядок оформления проекта”.

Таблица 2

№ задания	Формула для определения момента сопротивления
1	$M_c^{np} = \frac{-QV_c + G_3 l_{O_3 S_3} \omega_3 \sin \psi - G_4 l_{S_4 C} \omega_4 \cos \theta}{\omega_1}$
2,3,4,6	$M_c^{np} = \frac{-QV_{B_5} + G_3 l_{O_3 S_3} \omega_3 \sin \psi}{\omega_1}$
2	$M_c^{np} = \frac{-QV_c + G_3 l_{O_3 S_3} \omega_3 \sin \psi + G_4 l_{S_4 C} \omega_4 \cos \theta}{\omega_1}$
7	$M_{c_1}^{np} = \frac{-Q_3 V_B - G_2 l_{B S_2} \omega_2 \cos \theta_2}{\omega_1}$ $M_{c_2}^{np} = \frac{Q_5 V_C + G_4 (V_c - l_{S_4 C} \omega_4 \cos \theta_4) + G_3 V_c}{\omega_1}$ $M_c^{np} = M_{c_1}^{np} + M_{c_2}^{np}$
8,9	$M_c^{np} = \frac{-M_5 \omega_5 + G_5 l_{O_5 S_5} \omega_5 \sin \psi_5 - G_2 l_{B S_2} \omega_2 \cos \theta}{\omega_1}$
10	$M_c^{np} = \frac{-M_3 \omega_3 + G_3 l_{O_3 S_3} \omega_3 \sin \psi + G_5 V_{B_5}}{\omega_1}$

№ задания	Формула для определения момента сопротивления
1,5	$E_{36} = \frac{J_{O_3} \omega_3^2 + J_{S_4} \omega_4^2 + m_4 V_{S_4}^2 + m_5 V_c^2}{2}$
2,3,4,6,10	$E_{36} = \frac{J_{O_3} \omega_3^2 + m_5 V_{B_5}^2}{2}$
7	$E_{361} = \frac{J_{S_2} \omega_2^2 + m_2 V_{S_2}^2 + m_3 V_B^2}{2}$ $E_{362} = \frac{J_{S_4} \omega_4^2 + m_4 V_{S_4}^2 + m_5 V_C^2}{2}$ $E_{36} = E_{361} + E_{362}$
8,9	$E_{36} = \frac{J_{S_2} \omega_2^2 + m_2 V_{S_2}^2 + m_3 V_B^2 + J_{O_5} \omega_5^2}{2}$

## 2. Определение фактической угловой скорости ведущего вала машины.

Приращение угловой скорости  $\Delta\omega_1$  определяется по формуле

$$\Delta\omega_1 = \frac{E_{Mi} - E_{Mcp}}{J_M \omega_{1cp}},$$

где  $E_{Mi}$  - текущее значение кинетической энергии маховика,  $E_{Mcc}$  - кинетическая энергия маховика при  $\omega_1 = \omega_{1cp}$ . На диаграмме  $E_M = E_M(\varphi)$  этой энергии соответствует прямая, проведенная через середину отрезка  $E_M^{\max} - E_M^{\min}$  (рис. 9). Для упрощения расчетов можно предварительно определить масштаб  $\mu_V$ .

$$\mu_\omega = \frac{\mu_E}{J_M \omega_{1cp}}$$

и вычислить  $\Delta\omega$  по формуле  $\Delta\omega_1 = \mu_V$ , снимая значения отрезка  $y$  с диаграммы  $E_M = E_M(\varphi)$  (рис. 9). Фактическая угловая скорость  $\omega_1$  в некотором рассматриваемом положении механизма находится как алгебраическая сумма средней угловой скорости  $\omega_{1cp}$  и приращения скорости  $\Delta\omega_1$  в данном положении:

$$\omega_1 = \omega_{1cp} + \Delta\omega_1.$$

## III Силовой расчет механизмов

Задачей силового расчета является определение давления в кинетических парах, возникающих при движении звеньев механизма, и величины уравновешивающего момента.

Силовой расчет ведется методом кинетостатики в следующем порядке.

- 1) Механизм разбивается на структурные группы.
- 2) Определяются величины сил инерции и моментов сил инерции, действующих

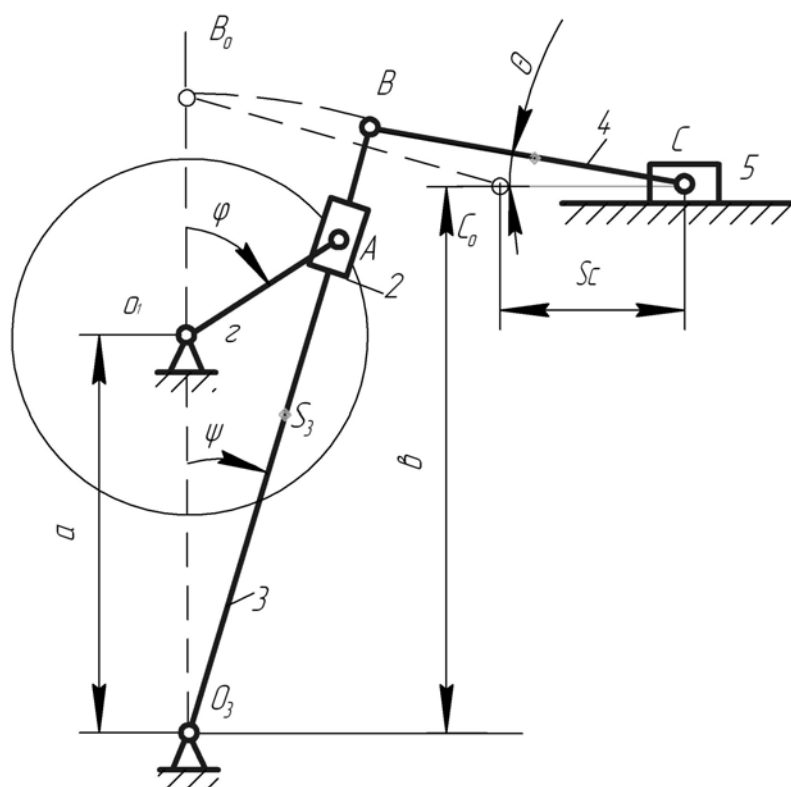
на звенья механизма

$$P_u = ma_S, M_u = J_S \varepsilon$$

- 3) Рассматриваются равновесия последней присоединенной к механизму структурной группы и отдельных звеньев, входящих в группу, под действием внешних сил, сил инерции и искомых давлений в кинематических парах. Записываются уравнения статики на основе их решения определяются давления в кинематических парах.
- 4) Производится расчет следующей (предпоследней) группы. При этом в число внешних сил включается найденное в предыдущем расчете давление в кинематической паре, соединяющей звено рассматриваемой группы с звеном последней группы.
- 5) Расчет завершается рассмотрением равновесия ведущего звена. При этом определяется  $M_{yp}$  и давление в кинематической паре ведущее звено – стойка. Давление в кинематической паре обозначается буквой  $P$  с двойным подстрочным индексом. Например,  $P_{12}$  - сила действия звена I на звено 2. Очевидно, что  $P_{12} = -P_{21}$ . Стойка обозначается индексом 0.

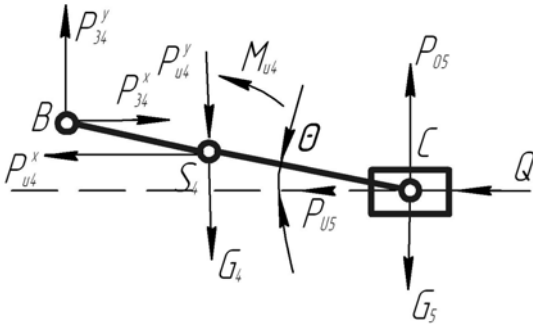
На схемах структурных групп силы инерции и моменты сил инерции направлены в предположение, что ускорения имеют положительные значения.

# Задание 1



Исходные данные						
Обозначение	Единицы измерения	Варианты				
		1	2	3	4	5
$\omega_1$	$c^{-1}$	21,0	18,5	19,8	20,2	17,8
$r$	м	0,09	0,11	0,115	0,117	0,115
$a$	м	0,187	0,233	0,289	0,270	0,289
$l_3$	м	0,35	0,427	0,505	0,484	0,505
$l_4$	м	0,07	0,10	0,05	0,07	0,08
$b$	м	0,327	0,402	0,484	0,460	0,484
$l_{s4c}$	$кг*м^2$	0,035	0,050	0,025	0,035	0,04
$m_3$	кг	3,5	5,12	6,06	5,81	7,07
$m_4$	кг	0,7	1,2	0,6	0,84	1,12
$m_5$	кг	9	9	8	8	10
$J_{O_3}$	$кг*м^2$	0,146	0,317	0,525	0,462	0,612
$J_{S_4}$	$кг*м^2$	0,003	0,011	0,010	0,004	0,006
$l_{O_3S_3}$	$кг*м^2$	0,175	0,213	0,252	0,242	0,252
$J_{S3}$	$кг*м^2$	0,036	0,079	0,131	0,113	0,153
$m_I$	кг	0,9	1,1	1,15	1,17	1,15
$Q$	Н	1800	2000	1600	1900	2000

Пример силового расчета заданию №1



Для группы в целом:

$$\sum X = 0, \text{опред. } P_{34}^x$$

$$\sum M_C = 0, \dots P_{34}^y$$

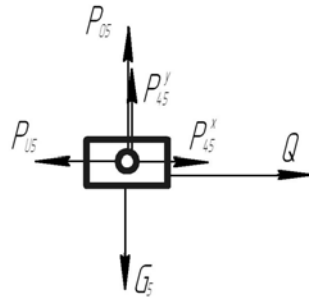
$$\sum Y = 0, \dots P_{05}$$

Для звена 5

$$\sum X = 0, \text{опред. } P_{45}^x$$

$$\sum Y = 0, \dots P_{45}^y$$

Для звена 2



$$\sum P = 0, \text{опред. л.д. } P_{12}$$

т.нр.  $P_{23}$

Для группы в целом

$$\sum M_{O_3} = 0, \text{опред. } P_{12}$$

$$\sum X = 0, \dots P_{03}^x$$

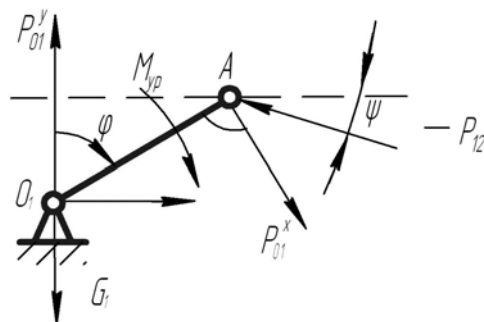
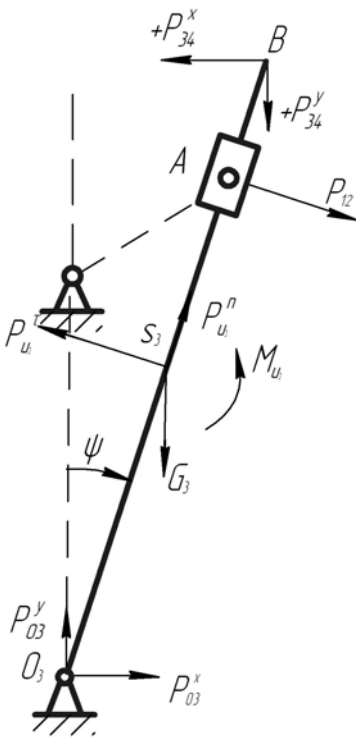
$$\sum Y = 0, \dots P_{03}^y$$

Для звена 1

$$\sum M_{O_1} = 0, \text{опред. } M_{yp}$$

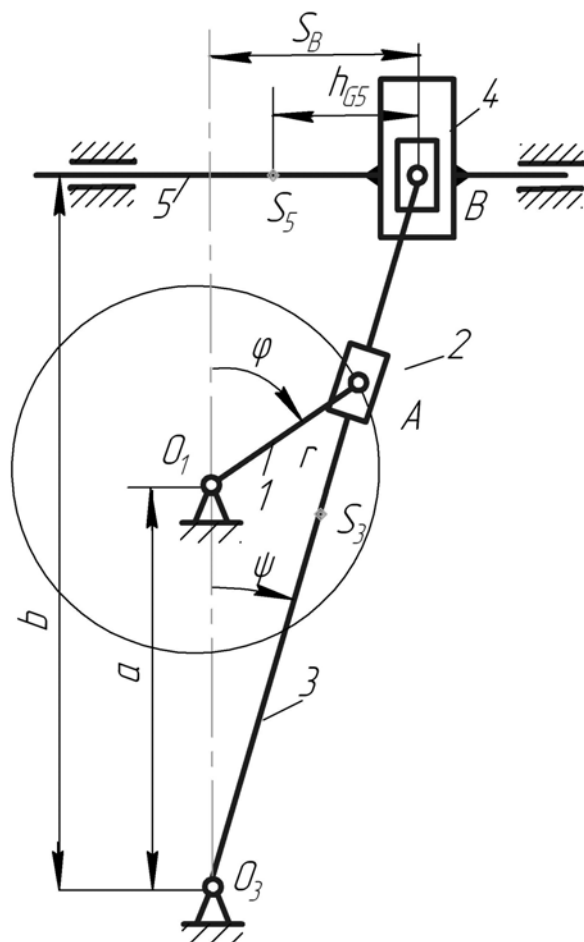
$$\sum X = 0, \dots P_{01}^x$$

$$\sum Y = 0, \dots P_{01}^y$$



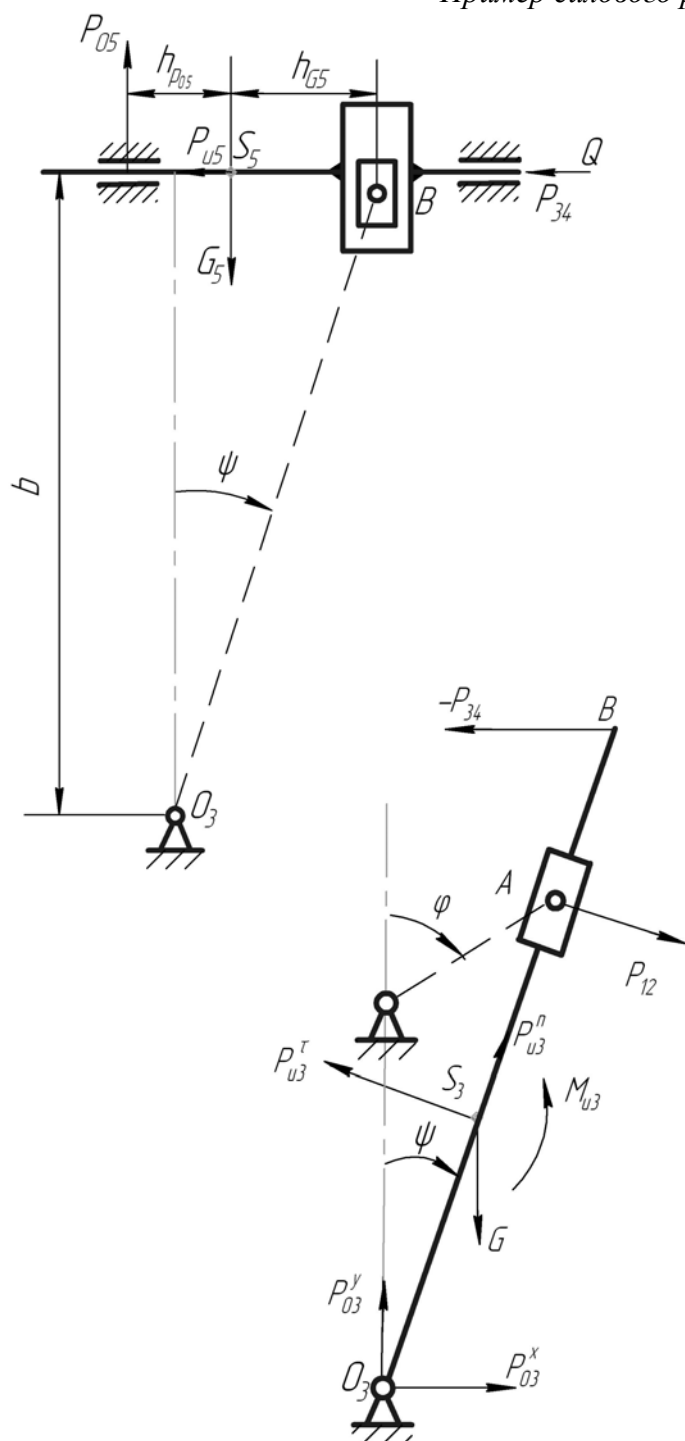


# Задание №2



Величина	Единицы измерения	Варианты				
		1	2	3	4	5
$\omega_1$	$c^{-1}$	17,3	17,3	19,8	24,7	18,8
$r$	м	0,115	0,117	0,115	0,095	0,107
$a$	м	0,289	0,270	0,289	0,203	0,213
$l_3$	м	0,505	0,484	0,505	0,374	0,400
$b$	м	0,484	0,460	0,484	0,352	0,374
$m_3$	кг	5,05	5,32	6,06	4,86	4,00
$m_5$	кг	10	9	8	8	10
$J_{O_3}$	$кг \cdot м^2$	0,437	0,432	0,525	0,230	0,217
$J_{O_3S_3}$	$кг \cdot м^2$	0,253	0,242	0,253	0,187	0,200
$J_{S3}$	$кг \cdot м^2$	0,109	0,108	0,131	0,058	0,054
$m_1$	кг	1,15	1,17	1,15	0,95	1,07
$Q$	Н	1800	1900	2000	2300	1800
$h_{G5}$	м	0,07	0,08	0,07	0,05	0,07

Пример силового расчета к заданию №2



Для звена 4

$$\sum P = 0,$$

$$P_{34} = P_{45}, \text{опред. л.д. } P_{34} \text{ т.нр. } P_{45}$$

Для группы в целом

$$\sum X = 0, \text{опред. } P_{34}$$

$$\sum Y = 0, \dots P_{05}$$

$$\sum M_{S5} = 0, \dots h_{P05}$$

Для звена 2:

$$\sum P = 0,$$

$$P_{12} = P_{23}, \text{опред. л.д. } P_{12} \text{ т.нр. } P_{23}$$

Для группы в целом

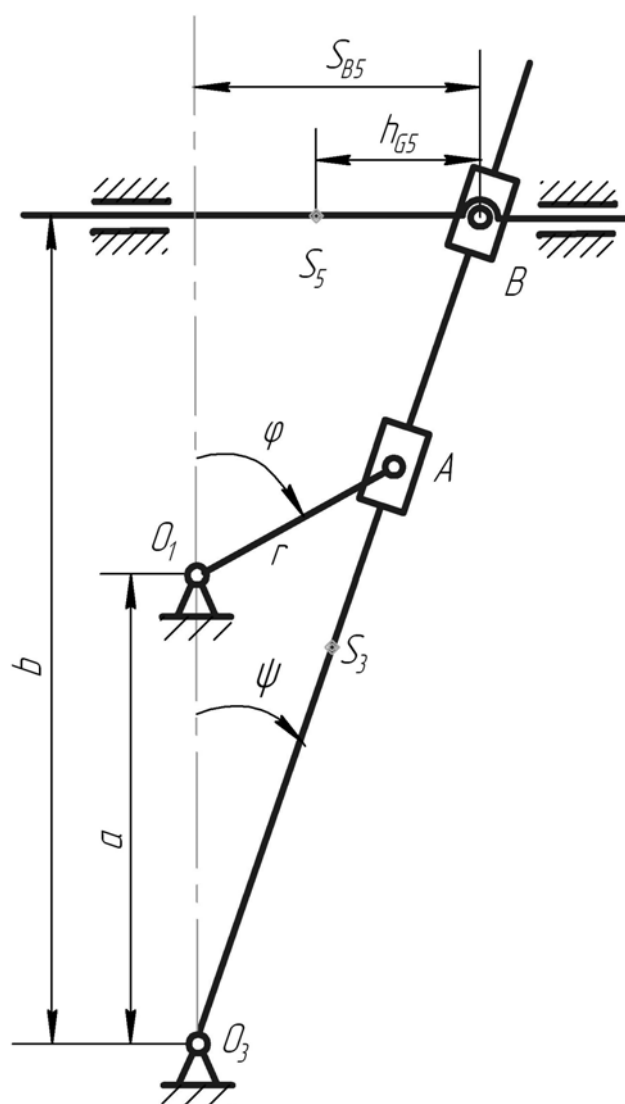
$$\sum M_{O3} = 0, \text{опред. } P_{12}$$

$$\sum X = 0, \dots P_{03}^x$$

$$\sum Y = 0, \dots P_{03}^y$$

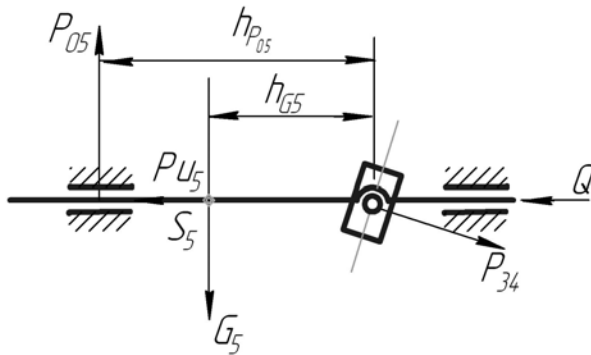
Расчёт ведущего звена см. задание №1

### Задание № 3



Величина	Единицы измерения	Варианты				
		1	2	3	4	5
$\omega_1$	$\text{с}^{-1}$	18,2	18,8	21,4	18,8	19,2
$r$	м	0,088	0,097	0,092	0,092	0,092
$a$	м	0,203	0,244	0,259	0,232	0,213
$b$	м	0,415	0,487	0,501	0,464	0,436
$m_3$	кг	5,4	7,6	7,16	7,23	5,67
$m_5$	кг	10	8	6	10	9
$J_{O_3}$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,535	1,034	1,032	0,892	0,619
$J_{O_3 S_3}$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,27	0,316	0,325	0,301	0,283
$J_{S_3}$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,134	0,258	0,258	0,223	0,155
$h_{G5}$	м	0,07	0,08	0,06	0,08	0,09
$Q$	Н	2000	2200	1800	2000	2400
$m_1$	кг	0,9	1,0	0,9	0,9	0,9

Пример силового расчета к заданию №3



Для звена 4

$$\sum P = 0,$$

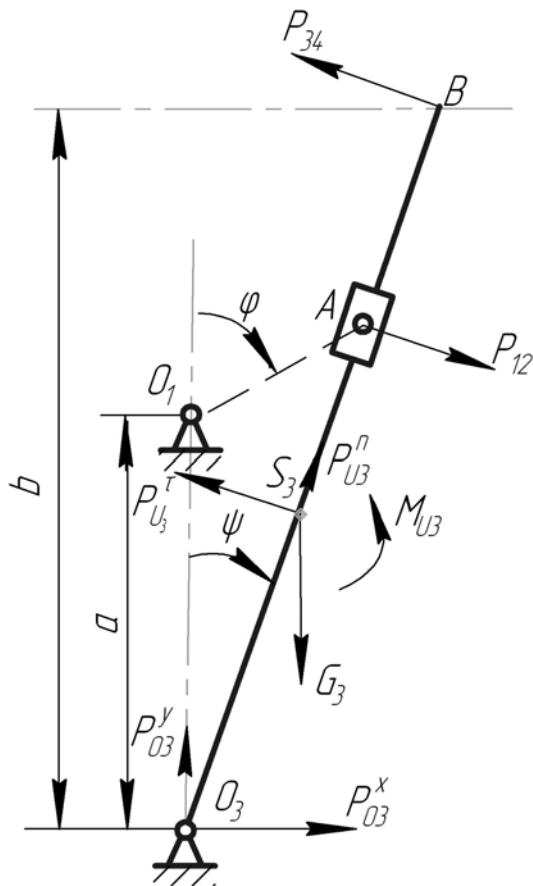
$$P_{45} = P_{34}, \text{опред. л.д. } P_{45} \text{ т.пр. } P_{34}$$

Для группы в целом

$$\sum X = 0, \text{опред. } P_{34}$$

$$\sum Y = 0, \dots P_{05}$$

$$\sum M_B = 0, \dots h_{P05}$$



Для звена 2:

$$\sum P = 0,$$

$$P_{12} = P_{23}, \text{опред. л.д. } P_{12} \text{ т.пр. } P_{23}$$

Для группы в целом

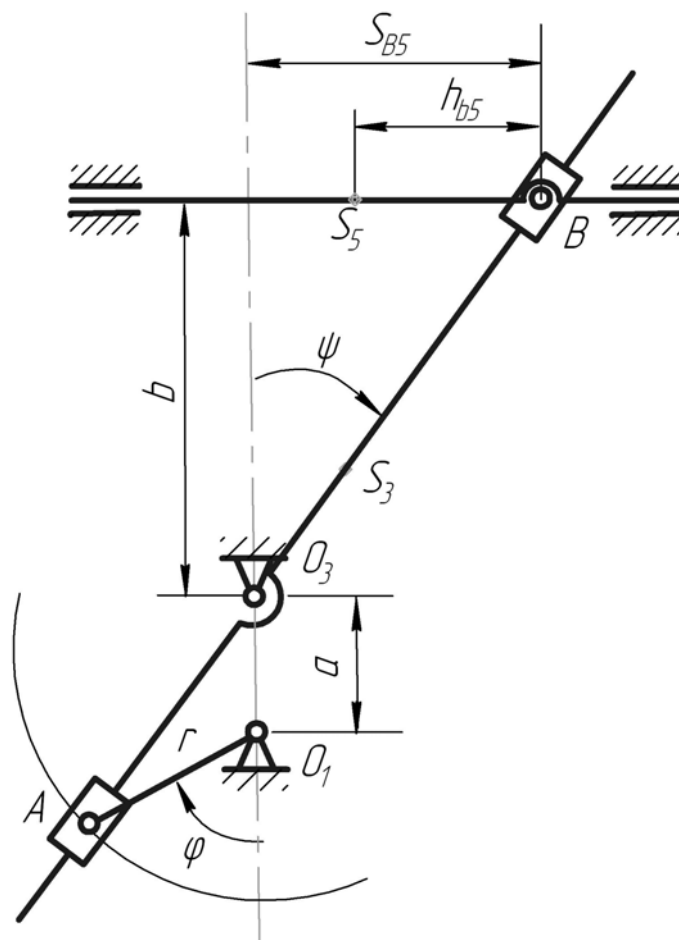
$$\sum M_{O3} = 0, \text{опред. } P_{12}$$

$$\sum X = 0, \dots P_{03}^x$$

$$\sum Y = 0, \dots P_{03}^y$$

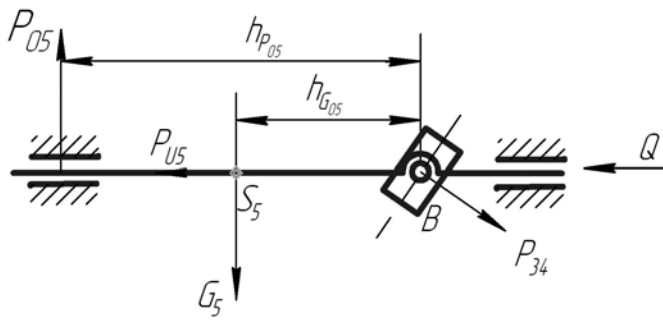
Расчёт ведущего звена см. задание №1

Задание № 4



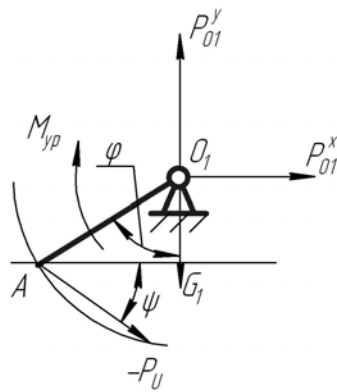
Величина	Единицы измерения	Варианты				
		1	2	3	4	5
$\omega_1$	$c^{-1}$	18,3	18,8	22,4	22,7	23,7
$r$	м	0,116	0,140	0,142	0,147	0,128
$a$	м	0,448	0,452	0,401	0,371	0,324
$b$	м	0,746	0,646	0,501	0,464	0,464
$m_3$	кг	16,1	18	13,8	11,8	11,8
$m_5$	кг	10	12	8	10	10
$J_{O_3}$	кг*м <sup>2</sup>	0,42	0,377	0,191	0,145	0,129
$J_{O_3 S_3}$	кг*м <sup>2</sup>	0,201	0,132	0,07	0,065	0,098
$J_{S_3}$	кг*м <sup>2</sup>	0,105	0,095	0,047	0,036	0,032
$h_{G5}$	м	0,05	0,06	0,05	0,04	0,05
$Q$	Н	3500	3600	4000	4500	4000
$m_1$	кг	1,1	1,4	1,4	1,5	1,3

Пример силового расчета к заданию №4

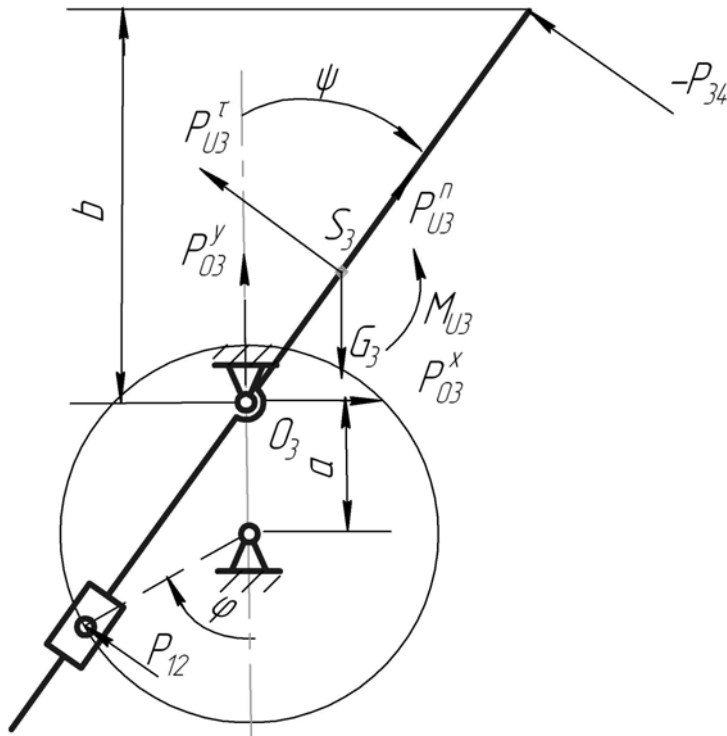


Порядок расчета структурной группы  
4,5 см. задание №3

Для звена 2  
определим л.д.  $P_{12}$  т.пр.  $P_{23}$

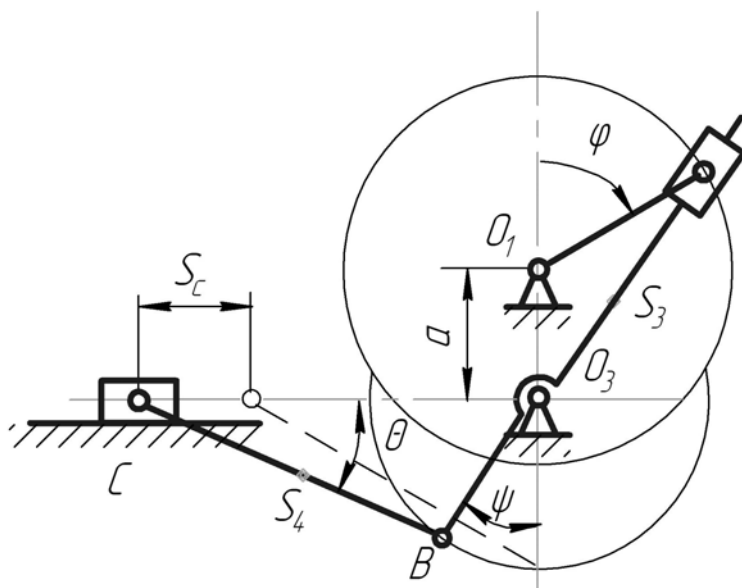


Для группы в целом  
 $\sum M_{O_3} = 0$  определим  $P_{12}$   
 $\sum X = 0$  определим  $P_{03}^x$   
 $\sum Y = 0$  определим  $P_{03}^y$



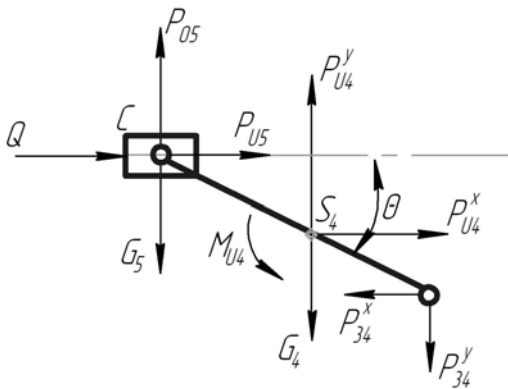
Для звена 1  
 $\sum M_{O_1} = 0$  определим  $M_{yp}$   
 $\sum X = 0$  определим  $P_{01}^x$   
 $\sum Y = 0$  определим  $P_{01}^y$

## Задание №5



Исходные данные						
Величина	Единицы измерения	Варианты				
		1	2	3	4	5
$\omega_1$	с <sup>-1</sup>	18,3	17,6	19,8	21,2	20,3
$r$	м	0,52	0,58	0,66	0,60	0,58
$a$	м	0,26	0,21	0,26	0,26	0,23
$l_3$	м	0,20	0,21	0,20	0,20	0,18
$l_4$	м	0,6	0,5	0,8	0,6	0,7
$b$	м	-	-	-	-	-
$l_{S_4C}$	кг*м <sup>2</sup>	0,30	0,25	0,40	0,30	0,35
$m_3$	кг	12,9	16,9	17,8	16,8	13
$m_4$	кг	6,0	6,0	9,8	7,2	7,0
$m_5$	кг	7	8	10	9	8
$J_{O_3}$	кг*м <sup>2</sup>	4,44	7,05	8,64	7,11	4,86
$J_{S_4}$	кг*м <sup>2</sup>	0,183	0,127	0,552	0,220	0,291
$J_{O_3S_3}$	кг*м <sup>2</sup>	0,446	0,494	0,541	0,501	0,475
$J_{S_3}$	кг*м <sup>2</sup>	1,11	1,76	2,16	1,78	1,22
$m_I$	кг	-	-	-	-	-
$O$	Н	1500	1800	2000	2200	1600

Пример силового расчета к заданию №5



Для группы в целом

$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{34}^x$$

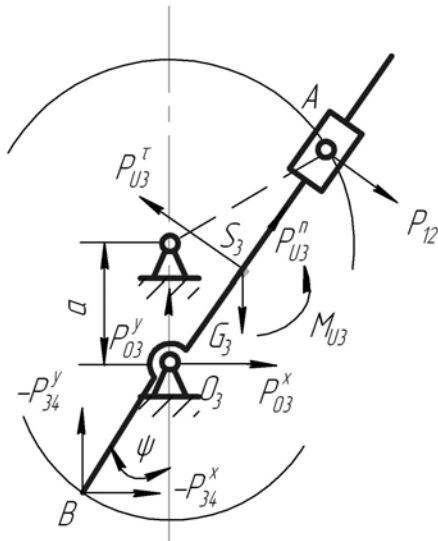
$$\sum Mc = 0 \text{ определим } P_{34}^y$$

$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{05}$$

Для звена 5:

$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{45}^x$$

$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{45}^y$$



Для звена 2

$$\sum P = 0,$$

$$P_{12} = P_{23}, \text{опред. л.д. } P_{12} \text{ т.нр. } P_{23}$$

Для группы в целом

$$\sum M_{03} = 0 \text{ определим } P_{12}$$

$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{03}^x$$

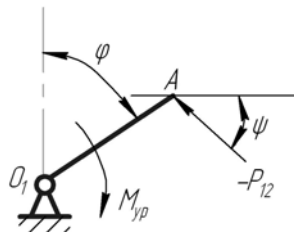
$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{03}^y$$

Для звена 1

$$\sum M_{01} = 0 \text{ определим } M_{yp}$$

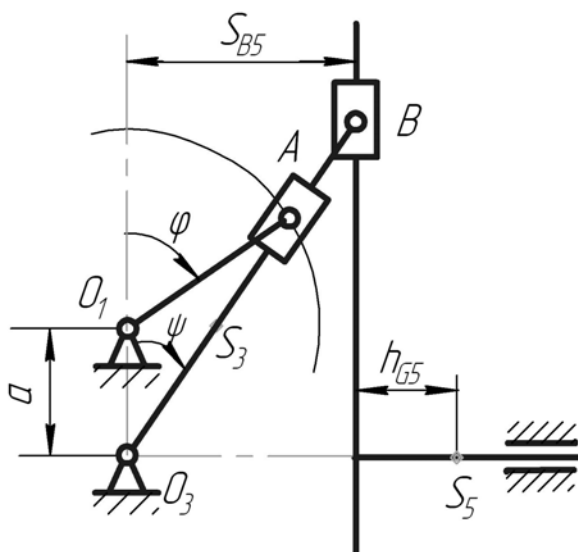
$$\sum P = 0,$$

$$P_{01} = P_{12}$$



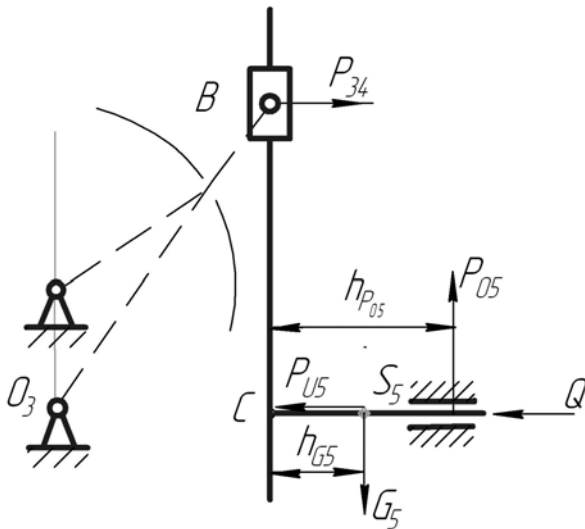


# Задание №6



Исходные данные						
Величина	Единицы измерения	Варианты				
		1	2	3	4	5
$\omega_1$	$\text{с}^{-1}$	20,9	24,5	25,7	24,2	31,6
$r$	м	0,107	0,114	0,115	0,112	0,100
$a$	м	0,054	0,053	0,046	0,048	0,040
$l_3$	м	0,20	0,21	0,20	0,20	0,18
$m_3$	кг	2,0	2,5	2,4	2,4	1,8
$m_5$	кг	7	8	10	9	8
$J_{O_3}$	$\text{кг}\cdot\text{м}^2$	0,027	0,038	0,033	0,033	0,018
$J_{O_3S_3}$	$\text{кг}\cdot\text{м}^2$	0,10	0,105	0,10	0,10	0,088
$J_{S_3}$	$\text{кг}\cdot\text{м}^2$	0,007	0,009	0,008	0,008	0,005
$h_{G5}$	м	0,05	0,06	0,05	0,05	0,04
$m_1$	кг	1,1	1,2	1,2	1,1	1,0
$Q$	Н	1500	1800	2000	2200	1600

Пример силового расчета к заданию №6



Для звена 4:

$$\sum \bar{P} = 0$$

$P_{45} = P_{34}$  опред. л.д.  $P_{34}$

т.пр.  $P_{45}$

Для группы в целом:

$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{34}$$

$$\sum M_S = 0 \text{ определим } h_{P05}$$

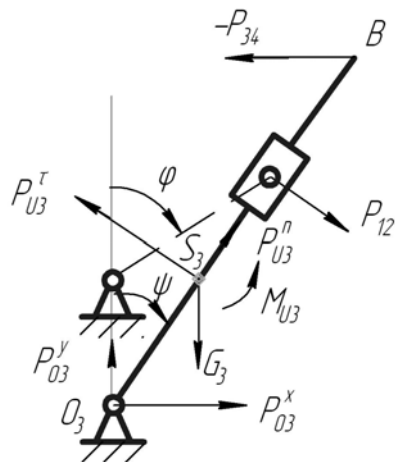
$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{05}$$

Для звена 2

$$\sum \bar{P} = 0$$

$P_{12} = P_{23}$  опред. л.д.  $P_{12}$

т.пр.  $P_{34}$



Для группы в целом:

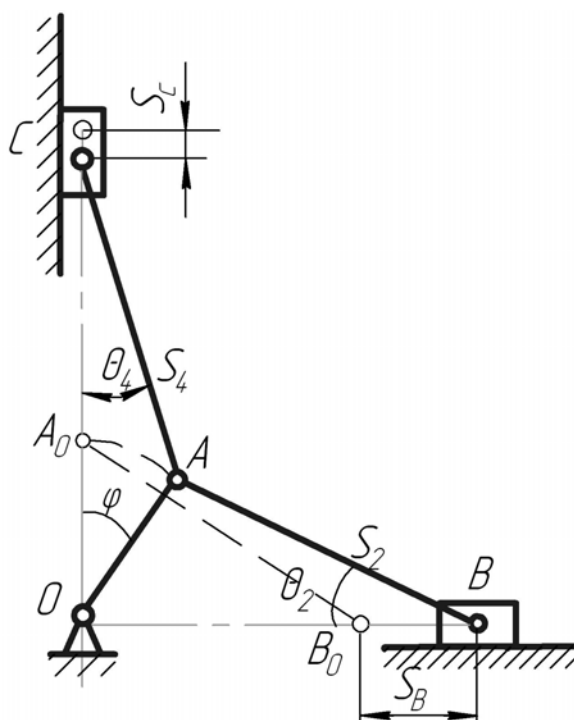
$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{03}^x$$

$$\sum M_{O3} = 0 \text{ определим } h_{12}$$

$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{03}^y$$

Расчёт ведущего звена см. задание №1

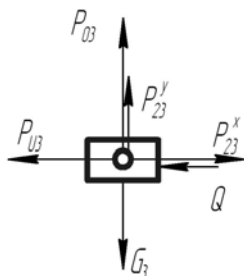
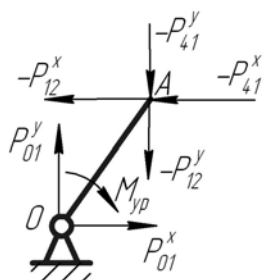
# Задание №7



Исходные данные							
Величина		Единицы измерения	Варианты				
пр.1	пр.2		1	2	3	4	5
$\omega_1$		$\text{с}^{-1}$	22	20	25	30	18
$r$		м	0,10	0,11	0,12	0,10	0,12
$l_2$	$l_4$	м	0,400	0,495	0,600	0,400	0,540
$l_{BS_2}$	$l_{CS_2}$	м	0,200	0,247	0,300	0,200	0,270
$J_{S_2}$	$J_{S_4}$	$\text{кг}\cdot\text{м}^2$	0,107	0,184	0,360	0,107	0,219
$m_1$		кг	1,0	1,1	1,2	1,0	1,2
$m_2$	$m_4$	кг	8	9	12	8	9
$m_3$	$m_5$	кг	5	8	10	7	8

$Q_3$	$Q_5$	Н	3000	3500	4000	3000	3500
-------	-------	---	------	------	------	------	------

Пример силового расчета к заданию №7

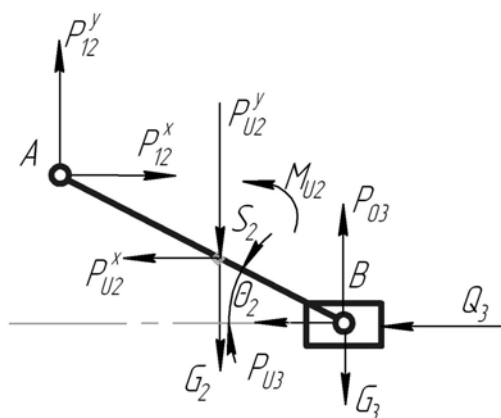


Для группы в целом

$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{12}^x$$

$$\sum M_B = 0 \text{ определим } P_{12}^y$$

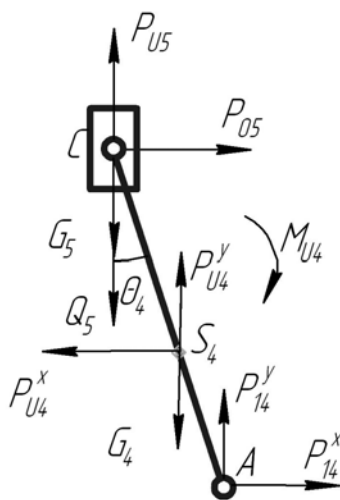
$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{03}$$



Для звена 3:

$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{23}^x$$

$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{23}^y$$

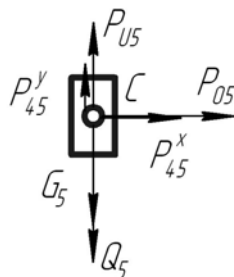


Для группы в целом

$$\sum M_C = 0 \text{ определим } P_{14}^x$$

$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{03}$$

$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{14}^y$$



Для звена 5:

$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{45}^x$$

$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{45}^y$$

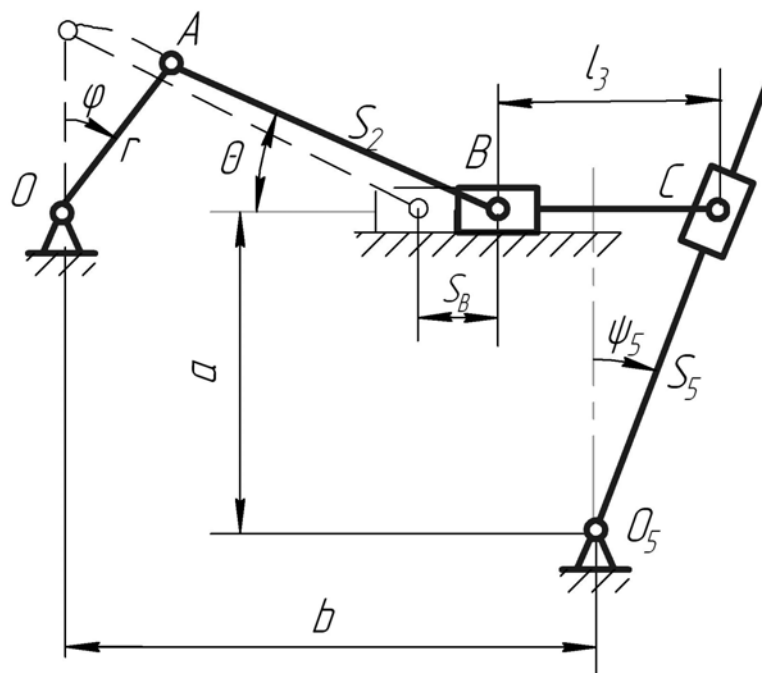
Для звена 1:

$$\sum M_o = 0 \text{ определим } M_{ур}$$

$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{01}^x$$

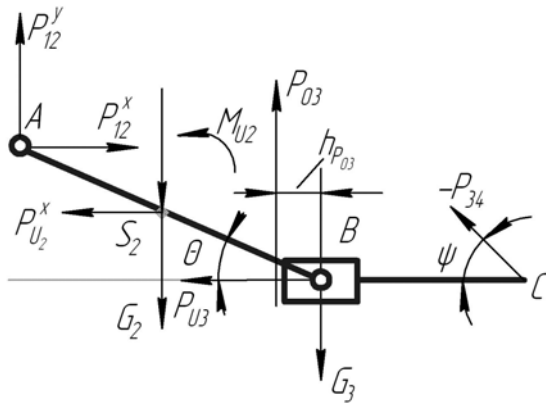
$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{01}^y$$

## Задание № 8



Исходные данные						
Варианты					Величина	Единицы измерения
1	2	3	4	5		
20	25	30	18	22	$\omega_1$	с <sup>-1</sup>
0,129	0,259	0,198	0,095	0,259	$r$	м
0,516	1,165	0,990	0,380	1,165	$l_2$	м
0,258	0,582	0,495	0,190	0,582	$l_{BS2}$	м
0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	$a$	м
0,266	0,375	0,415	0,269	0,375	$l_{O3S3}$	м
0,117	1,478	0,989	0,061	1,478	$J_{S2}$	кг*м <sup>2</sup>
0,514	1,577	2,331	0,687	1,577	$J_{05}$	кг*м <sup>2</sup>
5,16	12,8	11,9	4,9	12,8	$m_2$	кг
1,55	3,20	3,56	1,48	5,13	$m_3$	кг
5,33	8,25	9,96	7,00	8,25	$m_5$	кг
70	80	100	70	80	$M_5$	
0,128	0,394	0,583	0,172	0,394	$J_{S5}$	кг*м <sup>2</sup>
-	-	-	-	-	$b$	м
1,3	2,6	2,0	0,95	2,6	$m_1$	кг

Пример силового расчета к заданию №8



Для звена 4:

$$\sum \bar{P} = 0$$

$P_{45} = P_{34}$  опред. л.д.  $P_{34}$

т.пр.  $P_{45}$

Для группы в целом

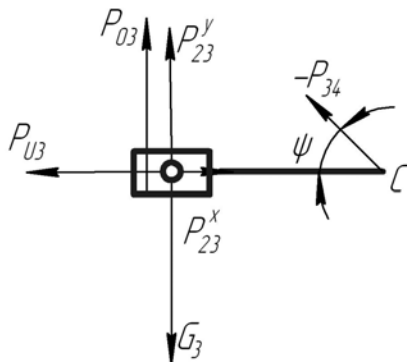
$$\sum M_{05} = 0 \text{ определим } P_{34}$$

$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{05}^x$$

$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{05}^y$$

Для группы в целом

$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{12}^x$$

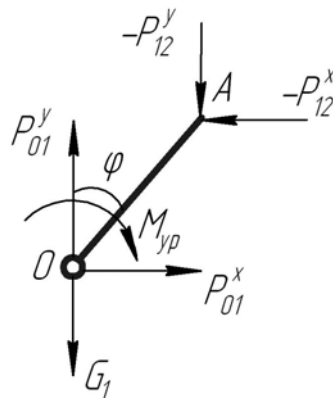


Для звена 2

$$\sum M_B = 0 \text{ определим } P_{12}^y$$

Для группы в целом

$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{03}$$

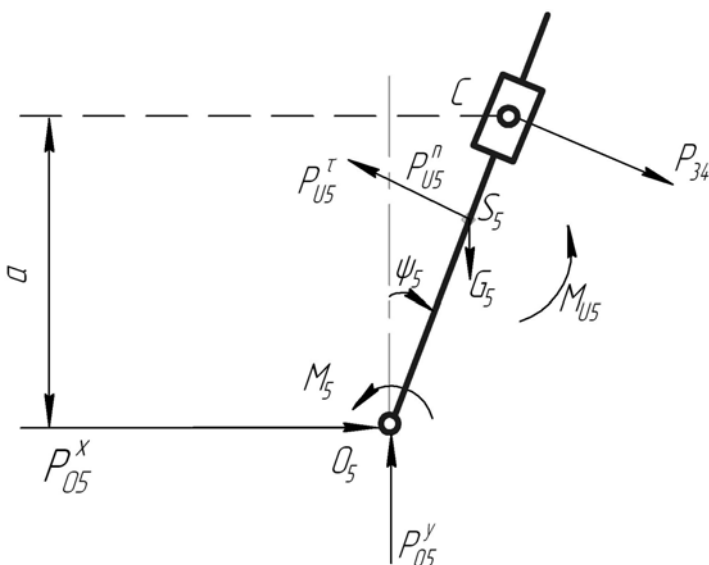


Для звена 3

$$\sum M_B = 0 \text{ определим } h_{P03}$$

$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{23}^x$$

$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{23}^y$$



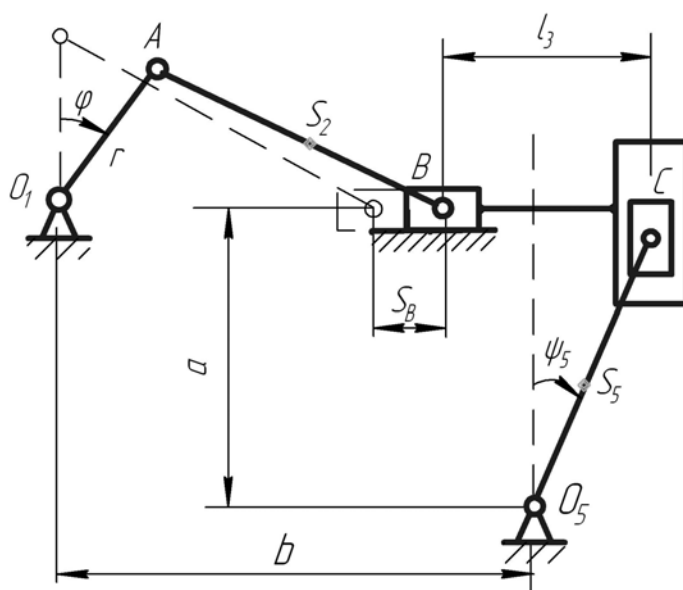
Для звена 1

$$\sum M_o = 0 \text{ определим } M_{ур}$$

$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{01}^x$$

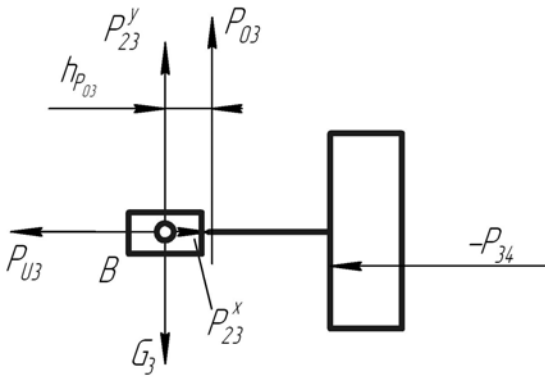
$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{01}^y$$

# Задание №9



Исходные данные						
Варианты					Величина	Единицы измерения
1	2	3	4	5		
22	20	25	30	18	$\omega_1$	$\text{с}^{-1}$
0,157	0,215	0,334	0,160	0,166	$r$	м
0,628	0,968	1,336	0,800	0,747	$l_2$	м
0,314	0,484	0,668	0,400	0,374	$l_{BS2}$	м
0,5	0,6	0,7	0,5	0,7	$l_5$	м
0,25	0,30	0,35	0,25	0,35	$l_{O3S3}$	м
0,210	0,848	1,274	0,565	0,354	$J_{S2}$	$\text{кг}\cdot\text{м}^2$
0,425	0,807	1,40	0,552	1,166	$J_{O5}$	$\text{кг}\cdot\text{м}^2$
6,3	10,6	16,0	10,4	7,5	$m_2$	кг
1,9	2,1	4,8	2,6	2,2	$m_3$	кг
5,0	6,6	8,4	6,5	7,0	$m_5$	кг
80	70	90	100	80	$M_5$	кг
0,106	0,202	0,35	0,138	0,279	$J_{S5}$	$\text{кг}\cdot\text{м}^2$
-	-	-	-	-	$b$	м
1,6	2,1	3,3	1,6	1,7	$m_1$	кг
0,485	0,577	0,653	0,485	0,688	$a$	м

*Пример силового расчета к заданию №9*



Для звена 4:

$$\sum \bar{P} = 0$$

$$P_{45} = P_{34} \text{ опред. л.д. } P_{45}$$

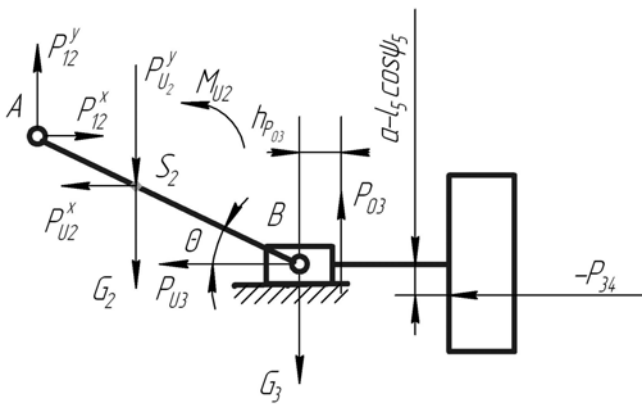
т.пр.  $P_{34}$

Для группы в целом

$$\sum M_{05} = 0 \text{ определим } P_{34}$$

$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{05}^x$$

$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{05}^y$$



Для группы в целом

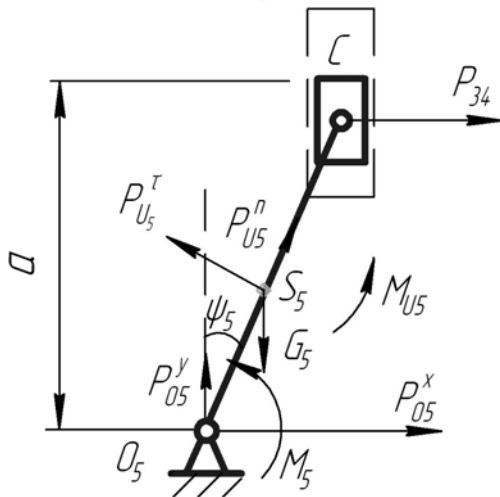
$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{12}^x$$

Для звена 2

$$\sum M_B = 0 \text{ определим } P_{12}^y$$

Для группы в целом

$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{03}$$



Для звена 3

$$\sum M_B = 0 \text{ определим } h_{P03}$$

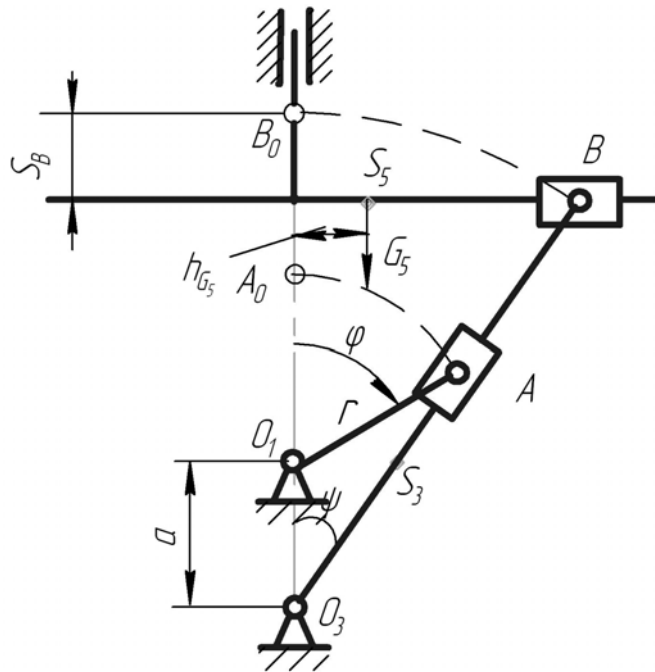
$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{23}^x$$

$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{23}^y$$

Расчет ведущего звена см. задание №8

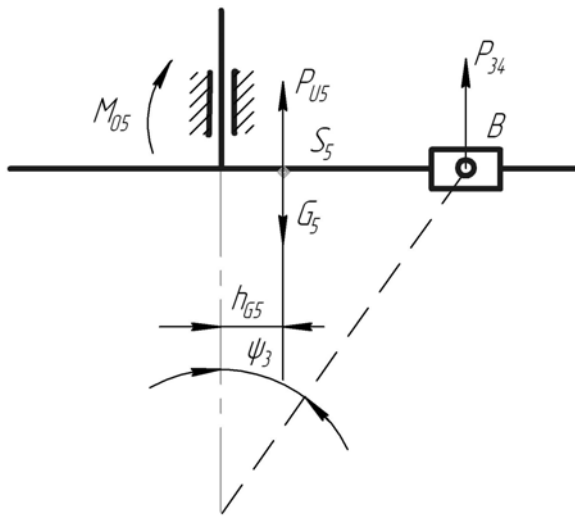


# Задание №10



Исходные данные						
Величина	Единицы измерения	Варианты				
		1	2	3	4	5
$\omega_1$	$\text{с}^{-1}$	10,3	12,3	13,1	10,6	15,4
$r$	м	0,22	0,27	0,22	0,26	0,20
$a$	м	0,102	0,134	0,097	0,106	0,096
$l_3$	м	0,4	0,425	0,4	0,45	0,375
$m_3$	кг	4	5,1	4	5,4	4,9
$m_5$	кг	3	2	4	3	4
$J_{O_3}$	$\text{кг}\cdot\text{м}^2$	0,218	0,313	0,218	0,372	0,234
$J_{O_3S_3}$	$\text{кг}\cdot\text{м}^2$	0,2	0,212	0,2	0,225	0,188
$J_{S3}$	$\text{кг}\cdot\text{м}^2$	0,054	0,078	0,054	0,093	0,058
$m_1$	кг	2,2	2,7	2,2	2,6	2,0
$M_3$	кг	70	80	100	70	80
$h_{G5}$	м	0,10	0,08	0,10	0,12	0,10

Пример силового расчета к заданию №10



Для звена 4:

$$\sum \bar{P} = 0$$

$$P_{45} = P_{34} \text{ опред. л.д. } P_{34}$$

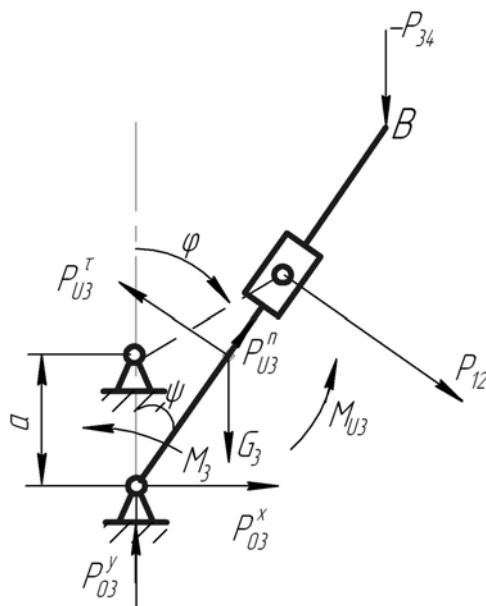
т.пр.  $P_{45}$

Для группы в целом

$$\sum X = 0, P_{05} = 0$$

$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{34}$$

$$\sum M_{S5} = 0 \text{ определим } M_{05}$$



Для звена 2

$$\sum \bar{P} = 0$$

$$P_{12} = P_{23} \text{ опред. л.д. } P_{12}$$

т.пр.  $P_{23}$

Для группы в целом

$$\sum M_{03} = 0 \text{ определим } P_{12}$$

$$\sum X = 0 \text{ определим } P_{03}^x$$

$$\sum Y = 0 \text{ определим } P_{03}^y$$

Расчет ведущего звена см. задание №1