

**ОПД.Ф.02.03 ТЕОРИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ  
КИНЕМАТИЧЕСКИЙ И СИЛОВОЙ РАСЧЕТЫ РЫЧАЖНОГО  
ШЕСТИЗВЕННИКА**

Методические указания к расчетно-графической работе

## ***Введение***

Методические указания «Кинематический и силовой расчеты рычажного шестизвенника» используются при выполнении расчетно-графической работы по теории механизмов и машин. В них рассмотрены следующие вопросы: структурный анализ механизма, определение скоростей и ускорений отдельных точек и звеньев механизма, силовой расчет, построение рычага Жуковского Н.Е. Приводятся схемы, формулы, алгоритмы решения задач.

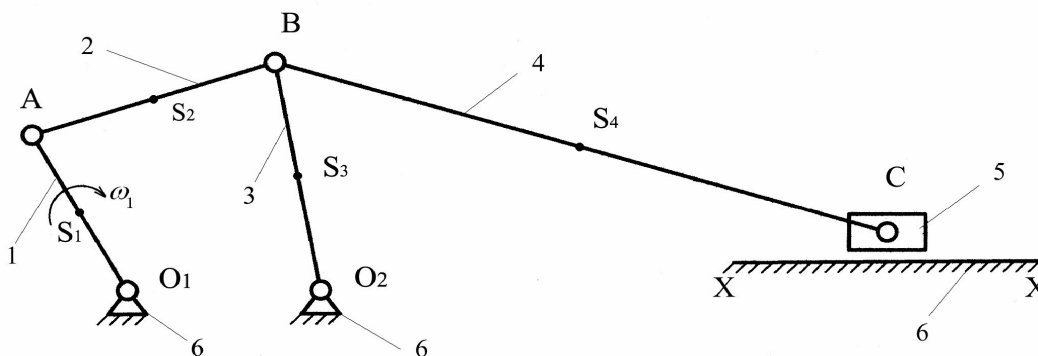
Методические указания предназначены для студентов технических специальностей очной полной и сокращенной формы обучения.

### ***Задание на расчетно-графическую работу***

1. Число оборотов кривошипа  $n_1 = 60$  об/мин. Угловая скорость кривошипа  $\omega_1$  является постоянной.
2. Размеры звеньев:  
 $O_1A=0,15$  м,  $AB=0,2$  м,  $BC=0,5$  м,  $BO_2=0,185$  м.  
Центры масс звеньев расположены по середине соответствующих звеньев.
3. Массы звеньев:  $m_1=1,5$  кг,  $m_2=2$  кг,  $m_3 = 2$  кг,  $m_4=5$  кг,  $m_5 = 5$  кг.
4. Момент инерции относительно оси, проходящей через центр масс звена:  $I_{s_2} = 0,05\text{êã} \cdot \text{ì}^2$ ,  $I_{s_3} = 0,06\text{êã} \cdot \text{ì}^2$ ,  $I_{s_4} = 0,05\text{êã} \cdot \text{ì}^2$ .
5. Рабочие усилие:  $F=40$  Н.

# 1. Структурный анализ механизма

## 1.1. Структурная схема механизма.



## 1.2. Звенья механизма.

Звено	Наименование	Подвижность	Число подвижных звеньев
1	Кривошип	Подвижное	n=5
2	Шатун	Подвижное	
3	Коромысло	Подвижное	
4	Шатун	Подвижное	
5	Ползун	Подвижное	
6	Стойка	Неподвижное	

## 1.3. Кинематические пары.

№ п/п	Обозначение на структурной схеме	Соединяемые звенья	Вид	Тип кинематической пары		Индекс
				Характер соприкосновения	Степень подвижности	
1	O <sub>1</sub>	1,6	Вращат.	Низшая	Одноподвижная	V <sub>O<sub>1</sub></sub> (1,6)
2	A	1,2	Вращат.	Низшая	Одноподвижная	V <sub>A</sub> (1,2)
3	B	2,3	Вращат.	Низшая	Одноподвижная	V <sub>B</sub> (2,3)
4	B	3,4	Вращат.	Низшая	Одноподвижная	V <sub>B</sub> (3,4)
5	C	4,5	Вращат.	Низшая	Одноподвижная	V <sub>C</sub> (4,5)
6	C	5,6	Поступат.	Низшая	Одноподвижная	Π <sub>C</sub> (5,6)
7	O <sub>2</sub>	3,6	Вращат.	Низшая	Одноподвижная	V <sub>O<sub>2</sub></sub> (3,6)

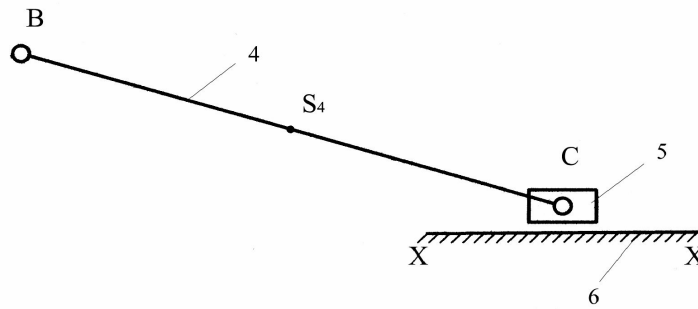
Число одноподвижных кинематических пар  $p_1=7$ , число двух подвижных кинематических пар  $p_2=0$ .

## 1.4. Степень подвижности механизма.

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_1 - p_2 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 - 0 = 1$$

### 1.5. Строение групп Ассура.

#### 1.5.1. Последняя группа Ассура.

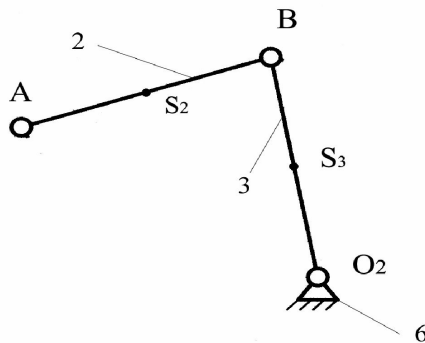


II класс, 2 порядок, вид ВВП.

Степень подвижности:  $W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_1 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$ .

Структурная формула:  $II \left( \frac{4,5}{B_B(3,4)B_C(4,5)I_{\tilde{N}}(5,6)} \right)$ .

#### 1.5.2. Предпоследняя группа Ассура.

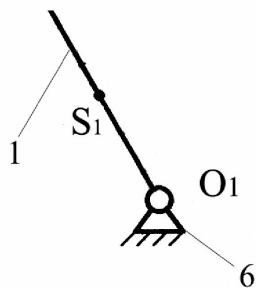


II класс, 2 порядок, вид ВВВ

Степень подвижности  $W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_1 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$ .

Структурная формула:  $II \left( \frac{2,3}{B_A(1,2)B_B(2,3)B_{O_2}(3,6)} \right)$ .

#### 1.5.3. Начальный механизм.



I класс

Степень подвижности  $W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_1 = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 1$ .

Структурная формула:  $I \left( \frac{1}{B_{O_1}(1,6)} \right)$ .

### 1.6. Структурная формула всего механизма.

$$I\left(\frac{1}{B_{O_1}(1,6)}\right) \rightarrow II\left(\frac{2,3}{B_A(1,2)B_B(2,3)B_{O_2}(3,6)}\right) \rightarrow III\left(\frac{4,5}{B_B(3,4)B_C(4,5)\dot{I}_{\dot{N}}(5,6)}\right).$$

1.7. Класс всего механизма II, так как наивысший класс группы Ассура, входящей в данный механизм II.

## 2. Кинематический анализ механизма

### 2.1. Определение скоростей точек звеньев и угловых скоростей звеньев.

Построим кинематическую схему механизма в масштабе  $\mu_l = 0,005 \frac{\dot{i}}{\ddot{i}}$ .

#### 2.1.1. Определение угловой скорости кривошипа:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 60}{30} = 6,28 \text{ с}^{-1}.$$

#### 2.1.2. Определение скорости точки A:

$$V_A = \omega_1 \cdot O_1A = 6,28 \cdot 0,15 = 0,94 \dot{i} / \ddot{n}.$$

Вектор скорости  $\vec{V}_A$  перпендикулярен кривошипу  $O_1A$ .

Выбираем масштаб плана скоростей  $\mu_V = 0,01 \frac{\dot{i} / c}{\dot{i} \dot{i}}$ .

Найдём отрезок, изображающий вектор скорости  $\vec{V}_A$  на плане:

$$p_V a = \frac{V_A}{\mu_V} = \frac{0,94}{0,01} = 94 \text{ мм}.$$

Из полюса плана скоростей  $p_V$  откладываем данный отрезок перпендикулярно  $O_1A$  в направлении угловой скорости  $\omega_1$ .

#### 2.1.3. Определение скорости точки B:

Запишем векторное уравнение:

$$\vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{BA}.$$

Направления векторов скоростей:  $\vec{V}_B \perp BO_2$ ,  $\vec{V}_{BA} \perp BA$ .

Продолжим строить план скоростей.

Из конца вектора  $\vec{V}_A$  (точка  $a$ ) проводим направление вектора  $\vec{V}_{BA}$ . Из полюса (точка  $p_V$ ) проводим направление вектора  $\vec{V}_B$ . На пересечении двух проведённых направлений получим точку  $b$ . Измеряя длины полученных отрезков и умножая их на масштаб  $\mu_V$ , получим значения скоростей:

$$V_B = p_V b \cdot \mu_V = 92 \cdot 0,01 = 0,92 \dot{i} / \ddot{n};$$

$$V_{BA} = ab \cdot \mu_V = 31 \cdot 0,01 = 0,31 \dot{i} / \ddot{n}.$$

#### 2.1.4. Определение скорости точки C:

Запишем векторное уравнение:

$$\vec{V}_C = \vec{V}_B + \vec{V}_{CB}.$$

Направления векторов скоростей:  $\vec{V}_C \parallel X-X$ ,  $\vec{V}_{CB} \perp CB$ .

Продолжим строить план скоростей.

Из конца вектора  $\overline{V}_B$  (точка  $b$ ) проводим направление вектора  $\overline{V}_{CB}$ . Из полюса (точка  $p_V$ ) проводим направление вектора  $\overline{V}_C$ . На пересечении двух проведённых направлений получим точку  $c$ . Измеряя длины полученных отрезков и умножая их на масштаб  $\mu_V$ , получим значения скоростей:

$$V_C = p_V c \cdot \mu_V = 86 \cdot 0,01 = 0,86 \text{ м/с};$$

$$V_{CB} = cb \cdot \mu_V = 17 \cdot 0,01 = 0,17 \text{ м/с}.$$

**2.1.5. Определение угловой скорости шатуна AB:**

$$\omega_2 = \frac{V_{BA}}{AB} = \frac{0,31}{0,2} = 1,55 \text{ с}^{-1}.$$

Для определения направления  $\omega_2$  переносим вектор  $\overline{V}_{BA}$  в точку  $B$  шатуна  $AB$  и смотрим как она движется относительно точки  $A$ . Направление этого движения соответствует  $\omega_2$ . В данном случае угловая скорость  $\omega_2$  направлена по часовой стрелке.

**2.1.6. Определение угловой скорости коромысла BO<sub>2</sub>:**

$$\omega_3 = \frac{V_B}{BO_2} = \frac{0,92}{0,185} = 4,97 \text{ с}^{-1}.$$

Для определения направления  $\omega_3$  переносим вектор  $\overline{V}_B$  в точку  $B$  коромысла  $BO_2$  и смотрим как она движется относительно точки  $O_2$ . Направление этого движения соответствует  $\omega_3$ . В данном случае угловая скорость  $\omega_3$  направлена по часовой стрелке.

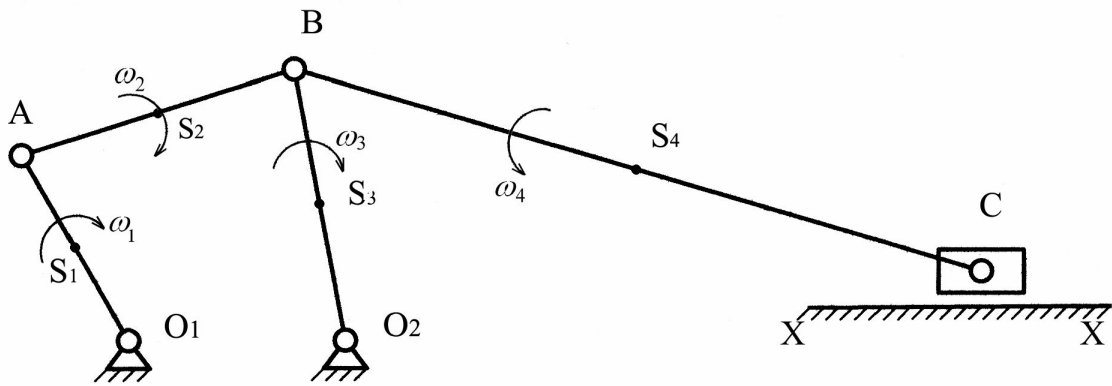
**2.1.7. Определение угловой скорости шатуна BC:**

$$\omega_4 = \frac{V_{CB}}{BC} = \frac{0,17}{0,5} = 0,34 \text{ с}^{-1}.$$

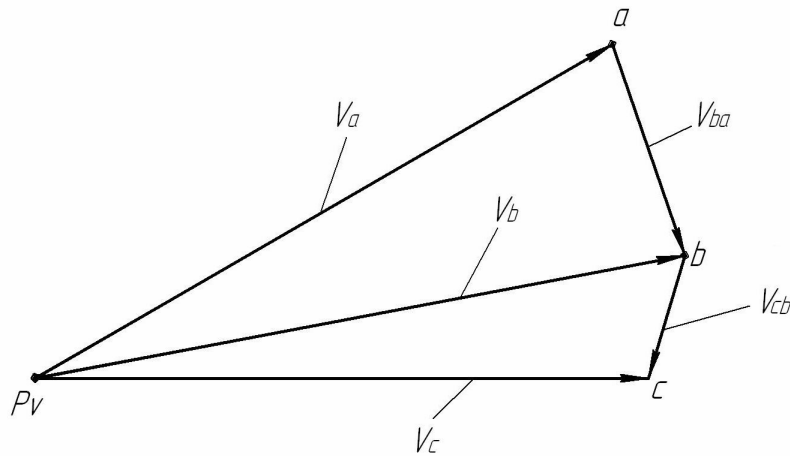
Для определения направления  $\omega_4$  переносим вектор  $\overline{V}_{CB}$  в точку  $C$  шатуна  $CB$  и смотрим, как она движется относительно точки  $B$ . Направление этого движения соответствует  $\omega_4$ . В данном случае угловая скорость  $\omega_4$  направлена по часовой стрелке.

Исследуемая величина	Отрезок на плане	Направление	Величина отрезка на плане, мм	Масштабный коэффициент, $\mu_V$	Значение величины, м/с
$V_A$	$p_V a$	$\overline{V}_A \perp O_1 A$	94	$0,01 \frac{\text{м/с}}{\text{мм}}$	0,94
$V_B$	$p_V b$	$\overline{V}_B \perp BO_2$	92		0,92
$V_{BA}$	$ab$	$\overline{V}_{BA} \perp BA$	31		0,31
$V_C$	$p_V c$	$\overline{V}_C // X-X$	86		0,86
$V_{CB}$	$cb$	$\overline{V}_{CB} \perp CB$	17		0,17
$\omega_2$	По часовой стрелке				$1,55 \text{ с}^{-1}$
$\omega_3$	По часовой стрелке				$4,97 \text{ с}^{-1}$
$\omega_4$	Против часовой стрелки				$0,34 \text{ с}^{-1}$

Кинематическая схема механизма  $\mu_l = 0,005 \frac{i}{\ddot{i}}$



План скоростей  $\mu_v = 0,01 \frac{i/\dot{n}}{i \dot{i}}$



## 2.2. Определение ускорений точек звеньев и угловых ускорений звеньев

### 2.2.1. Определение ускорения точки A:

Так как угловая скорость  $\omega_1$  является постоянной, то  $\vec{a}_A = \vec{a}_A^n$ .

$a_A = \omega_1^2 \cdot O_1A = 6,28^2 \cdot 0,15 = 5,9 \text{ /c}^2$ . Вектор ускорения  $\vec{a}_A$  направлен параллельно кривошипу  $O_1A$  от точки A к точке  $O_1$ .

Выбираем масштаб плана ускорений  $\mu_a = 0,05 \frac{\text{м/с}^2}{\text{мм}}$ . Найдём отрезок, изображающий вектор ускорения  $\vec{a}_A$  на плане:  $p_a a = \frac{a_A}{\mu_a} = \frac{5,9}{0,05} = 118 \dot{i} \dot{i}$ . Из полюса плана ускорений  $p_a$

откладываем данный отрезок в направлении, параллельном  $AO_1$ .

### 2.2.2. Определение ускорения точки B:

Запишем векторное уравнение:  $\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA}$ .

Вектор относительного ускорения  $\overrightarrow{a_{BA}}$  раскладываем на нормальную и касательную составляющие:  $\overrightarrow{a_{BA}} = \overrightarrow{a_{BA}^n} + \overrightarrow{a_{BA}^r}$ .

Нормальное относительное ускорение равно:  $a_{BA}^n = \omega_2^2 \cdot AB = 1,55^2 \cdot 0,2 = 0,48 \text{ м/с}^2$ .

Найдём отрезок, изображающий вектор ускорения  $\overrightarrow{a_{BA}^n}$  на плане:

$$an = \frac{a_{BA}^n}{\mu_a} = \frac{0,48}{0,05} = 9,6 \text{ мм}.$$

Продолжаем строить план ускорений. Вектор ускорения  $\overrightarrow{a_{BA}^n}$  направлен параллельно  $AB$ . Откладываем отрезок  $an$  из точки  $a$  плана ускорений в указанном направлении от точки  $B$  к точке  $A$ .

Вектор ускорения  $\overrightarrow{a_{BA}^r}$  направлен перпендикулярно  $AB$ . Проводим это направление из точки  $n$  плана ускорений.

Вектор ускорения  $\overrightarrow{a_B}$  раскладываем на нормальную и касательную составляющие:

$$\overrightarrow{a_B} = \overrightarrow{a_B^n} + \overrightarrow{a_B^r}.$$

Нормальное ускорение равно:  $a_B^n = \omega_3^2 \cdot BO_2 = 4,97^2 \cdot 0,185 = 4,57 \text{ м/с}^2$ .

Найдём отрезок, изображающий вектор ускорения  $\overrightarrow{a_B^n}$  на плане:

$$p_a m = \frac{a_B^n}{\mu_a} = \frac{4,57}{0,05} = 91 \text{ мм}.$$

Продолжаем строить план ускорений. Вектор ускорения  $\overrightarrow{a_B^n}$  направлен параллельно  $BO_2$ . Откладываем отрезок  $p_a m$  из точки  $p_a$  плана ускорений в указанном направлении от точки  $B$  к точке  $O_2$ . Вектор ускорения  $\overrightarrow{a_B^r}$  направлен перпендикулярно  $BO_2$ . Проводим это направление из точки  $m$  плана ускорений. Две прямые линии, проведённые из точек  $n$  и  $m$  в указанных направлениях, пересекаются в точке  $b$ .

Найдём величины ускорений. Измеряя длины полученных отрезков и умножая их на масштаб  $\mu_a$ , получим:

$$a_B^r = mb \cdot \mu_a = 27 \cdot 0,05 = 1,35 \text{ м/с}^2;$$

$$a_B = p_a b \cdot \mu_a = 95 \cdot 0,05 = 4,75 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{BA}^r = nb \cdot \mu_a = 21 \cdot 0,05 = 1,05 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{BA} = ab \cdot \mu_a = 23 \cdot 0,05 = 1,15 \text{ м/с}^2.$$

### 2.2.3. Определение ускорения точки C:

Запишем векторное уравнение:  $\overrightarrow{a_C} = \overrightarrow{a_B} + \overrightarrow{a_{CB}}$ .

Вектор относительного ускорения  $\overrightarrow{a_{CB}}$  раскладываем на нормальную и касательную составляющие:  $\overrightarrow{a_{CB}} = \overrightarrow{a_{CB}^n} + \overrightarrow{a_{CB}^r}$ .

Нормальное относительное ускорение равно:

$$a_{CB}^n = \omega_4^2 \cdot BC = 0,34^2 \cdot 0,5 = 0,058 \text{ м/с}^2.$$



Найдём отрезок, изображающий вектор ускорения  $\overrightarrow{a_{CB}^n}$  на плане:  
 $bk = \frac{a_{CB}^n}{\mu_a} = \frac{0,05}{0,05} = 1\ddot{i}$ . Продолжаем строить план ускорений. Так как отрезок  $bk$  мал, то его на плане ускорений не откладываем. Точки  $b$  и  $k$  совпадают.

Вектор ускорения  $\overrightarrow{a_{CB}^r}$  направлен перпендикулярно  $BC$ . Проводим это направление из точки  $k$  плана ускорений.

Вектор ускорения  $\overrightarrow{a_C}$  направлен параллельно оси  $X-X$ . Проводим это направление из полюса  $p_a$ . Две прямые линии, проведённые из точек  $k$  и  $p_a$  в указанных направлениях, пересекаются в точке  $c$ .

Найдём величины ускорений. Измеряя длины полученных отрезков и умножая их на масштаб  $\mu_a$ , получим:

$$a_c = p_a c \cdot \mu_a = 65 \cdot 0,05 = 3,25 \dot{i} / \ddot{n}^2;$$

$$a_{CB}^r = kc \cdot \mu_a = 88 \cdot 0,05 = 4,4 \dot{i} / \ddot{n}^2;$$

$$a_{CB} = cb \cdot \mu_a = 88 \cdot 0,05 = 4,4 \dot{i} / \ddot{n}^2.$$

#### 2.2.4. Определение ускорения точки $S_1$ :

$a_{S_1} = \omega_1^2 \cdot AS_1 = 6,28^2 \cdot 0,075 = 2,95 \dot{i} / c^2$ . Вектор ускорения  $\overrightarrow{a_{S_1}}$  направлен параллельно кривошипу  $O_1A$  от точки  $S_1$  к точке  $O_1$ .

#### 2.2.5. Определение ускорения точки $S_2$ :

Воспользуемся следствием из теоремы подобия. Составим пропорцию:

$$\frac{AB}{AS_2} = \frac{ab}{as_2}, \quad as_2 = \frac{ab \cdot AS_2}{AB} = \frac{23 \cdot 100}{200} = 11,5 \dot{i}.$$

Данный отрезок откладываем на прямой  $ab$  от точки  $a$ . Точку  $s_2$  соединяем с полюсом  $p_a$ .

$$\text{Величина ускорения: } a_{s_2} = p_a s_2 \cdot \mu_a = 5,35 \dot{i} / \ddot{n}^2.$$

#### 2.2.6. Определение ускорения точки $S_3$ :

Воспользуемся следствием из теоремы подобия. Составим пропорцию:

$$\frac{BO_2}{BS_3} = \frac{p_a b}{bs_3}, \quad bs_3 = \frac{p_a b \cdot BS_3}{BO_2} = \frac{95 \cdot 92,5}{185} = 47,5 \dot{i}.$$

Данный отрезок откладываем на прямой  $p_a b$  от точки  $b$ . Точку  $s_3$  соединяем с полюсом  $p_a$ .

$$\text{Величина ускорения: } a_{s_2} = p_a s_2 \cdot \mu_a = 48 \cdot 0,05 = 2,4 \dot{i} / \ddot{n}^2.$$

#### 2.2.7. Определение ускорения точки $S_4$ :

Воспользуемся следствием из теоремы подобия. Составим пропорцию:

$$\frac{BC}{BS_4} = \frac{bc}{bs_4}, \quad bs_4 = \frac{bc \cdot BS_4}{BC} = \frac{88 \cdot 250}{500} = 44 \dot{i}.$$

Данный отрезок откладываем на прямой  $bc$  от точки  $b$ . Точку  $s_4$  соединяем с полюсом  $p_a$ .

$$\text{Величина ускорения: } a_{s_4} = p_a s_4 \cdot \mu_a = 69 \cdot 0,05 = 3,45 \dot{i} / \ddot{n}^2.$$

#### 2.2.8. Определение углового ускорения шатуна $AB$ :

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{BA}^r}{AB} = \frac{1,05}{0,2} = 5,25 \ddot{n}^{-2}.$$

Для определения направления  $\varepsilon_2$  переносим вектор  $\vec{a}_{BA}^r$  в точку  $B$  шатуна  $AB$  и смотрим, как она движется относительно точки  $A$ . Направление этого движения соответствует  $\varepsilon_2$ . В данном случае угловое ускорение  $\varepsilon_2$  направлено против часовой стрелки.

**2.2.9. Определение углового ускорения коромысла  $BO_2$ :**

$$\varepsilon_3 = \frac{a_B^r}{BO_2} = \frac{1,35}{0,185} = 25,7 \tilde{n}^{-2}.$$

Для определения направления  $\varepsilon_3$  переносим вектор  $\vec{a}_B^r$  в точку  $B$  коромысла  $BO_2$  и смотрим, как она движется относительно точки  $O_2$ . Направление этого движения соответствует  $\varepsilon_3$ . В данном случае угловое ускорение  $\varepsilon_3$  направлено по часовой стрелке.

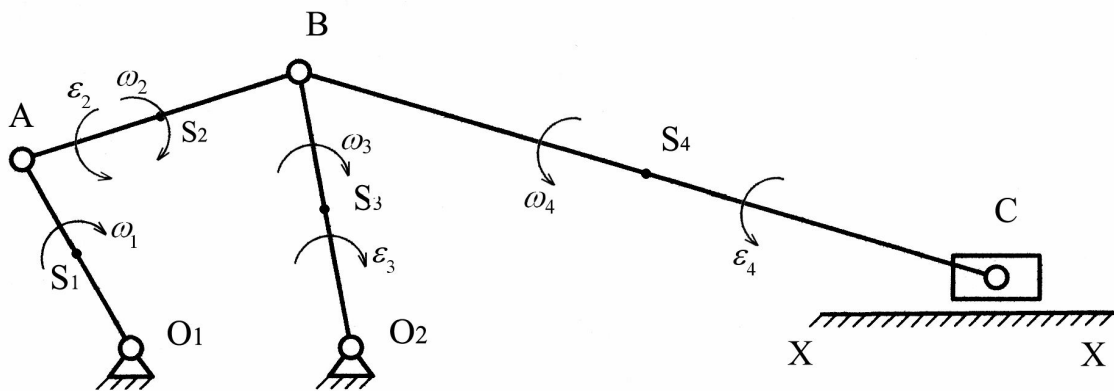
**2.2.10. Определение углового ускорения шатуна  $BC$ :**

$$\varepsilon_4 = \frac{a_{CB}^r}{BC} = \frac{4,4}{0,2} = 2,2 \tilde{n}^{-2}.$$

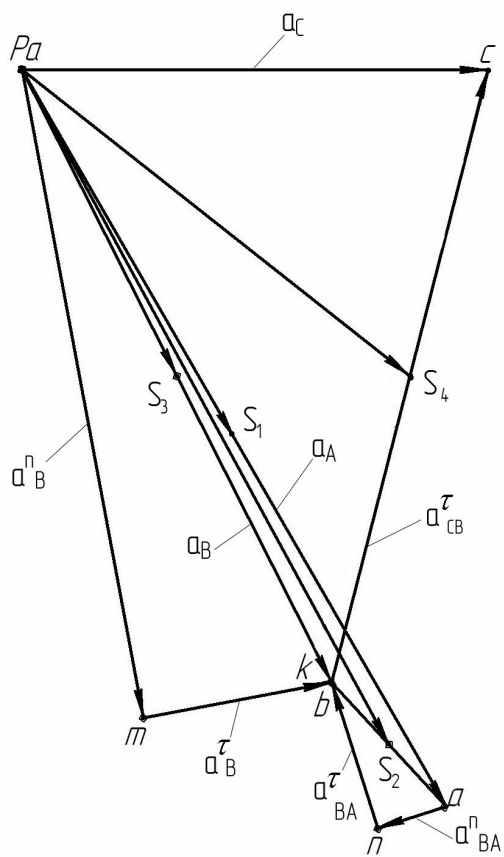
Для определения направления  $\varepsilon_4$  переносим вектор  $\vec{a}_{CB}^r$  в точку  $C$  шатуна  $BC$  и смотрим, как она движется относительно точки  $B$ . Направление этого движения соответствует  $\varepsilon_4$ . В данном случае угловое ускорение  $\varepsilon_4$  направлено против часовой стрелки.

Исследуемая величина	Отрезок на плане	Направление	Величина отрезка на плане, мм	Масштабный коэффициент $\mu_a$	Значение величины, $м/с^2$
$a_A$	$p_a a$	$\vec{a}_A // AO_1$	118	$0,05 \frac{м/с^2}{мм}$	5,9
$a_{BA}^n$	$an$	$\vec{a}_{BA}^n // AB$	10		0,48
$a_{BA}^r$	$nb$	$\vec{a}_{BA}^r \perp AB$	21		1,05
$a_{BA}$	$ab$		23		1,15
$a_B^n$	$p_a m$	$\vec{a}_B^n // BO_2$	91		4,57
$a_B^r$	$mb$	$\vec{a}_B^r \perp BO_2$	27		1,35
$a_B$	$p_a b$		95		4,75
$a_{CB}^n$	$bk$	$\vec{a}_{CB}^n // CB$	1		0,058
$a_{CB}^r$	$ck$	$\vec{a}_{CB}^r \perp CB$	88		4,4
$a_{CB}$	$bc$		88		4,4
$a_C$	$p_a c$	$\vec{a}_C // X-X$	65		3,25
$a_{s_1}$	$p_a s_1$	$\vec{a}_{s_1} // AO_1$	59		2,95
$a_{s_2}$	$p_a s_2$		107		5,35
$a_{s_3}$	$p_a s_3$		48		2,4
$a_{s_4}$	$p_a s_4$		69		3,45
$\varepsilon_2$	Против часовой стрелки				$5,25 с^{-2}$
$\varepsilon_3$	По часовой стрелке				$25,68 с^{-2}$
$\varepsilon_4$	Против часовой стрелки				$2,2 с^{-2}$

Кинематическая схема механизма  $\mu_l = 0,005 \frac{i}{i}$



План ускорений  $\mu_a = 0,05 \frac{i/\tilde{n}^2}{i i}$



### 3. Силовой расчет механизма

#### 3.1. Силовой расчет последней группы Ассура вида ВВП

##### 3.1.1. Определение сил тяжести звеньев:

$$G_4 = m_4 \cdot g = 5 \cdot 9,8 = 49 \text{ Н} \quad , \quad G_5 = m_5 \cdot g = 5 \cdot 9,8 = 49 \text{ Н} \quad .$$

##### 3.1.2. Определение сил инерции:

$$F_{\dot{\epsilon}_4} = m_4 \cdot a_{S_4} = 5 \cdot 3,45 = 17,25 \text{ Н} \quad , \quad F_{\dot{\epsilon}_5} = m_5 \cdot a_C = 5 \cdot 3,25 = 16,25 \text{ Н} \quad .$$

Силы инерции направлены в противоположную сторону соответствующим ускорениям центров масс звеньев.

##### 3.1.3. Определение момента инерции:

$$M_{\dot{\epsilon}_4} = I_{S_4} \cdot \epsilon_4 = 0,05 \cdot 2,2 = 0,11 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad ;$$

Момент инерции направлен в противоположную сторону угловому ускорению  $\epsilon_4$ .

Построим группу Ассура в масштабе  $\mu_l$ .

Покажем все действующие на нее силы и неизвестные реакции  $R_{65}^r$ ,  $R_{34}^r$ ,  $R_{34}^n$ .

##### 3.1.4. Определим реакцию $R_{34}^r$ :

Составим уравнение моментов всех сил, действующих *на звено 4*, относительно точки *C*.

$$\sum_{i=1}^n M_C = 0; \quad -R_{34}^r \cdot BC - F_{u_4} \cdot h_2 + G_4 \cdot h_1 - M_{u_4} = 0.$$

Найдем реакцию  $R_{34}^r$ .

$$R_{34}^r = \frac{-F_{u_4} \cdot h_2 + G_4 \cdot h_1 - M_{u_4}}{BC} = \frac{-17,25 \cdot 0,095 + 49 \cdot 0,245 - 0,11}{0,5} = 20,5 \text{ Н}.$$

Длины плеч  $h_1$  и  $h_2$  измерены на расчетной схеме и умножены на масштабный коэффициент  $\mu_l = 0,005 \text{ м} / \text{мм}$ .

$$h_1 = 49 \cdot 0,005 = 0,245 \text{ м} \quad ; \quad h_2 = 19 \cdot 0,005 = 0,095 \text{ м} \quad .$$

##### 3.1.5. Определим реакции $R_{34}^n$ и $R_{65}$ :

Составим векторное уравнение равновесия всех сил, действующих на *всю группу Ассура*.

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0; \quad \vec{R}_{34}^n + \vec{R}_{34}^r + \vec{F} + \vec{G}_4 + \vec{G}_5 + \vec{F}_{u_5} + \vec{F}_{u_4} + \vec{R}_{65} = 0.$$

Выберем масштаб плана сил  $\mu_F = 1 \text{ Н} / \text{мм}$ .

Вычислим величины отрезков, соответствующих векторам сил. Данные занесем в табл. 1:

Таблица 1

Обозначение силы	$G_4$	$G_5$	$F_{\dot{\epsilon}_4}$	$F_{\dot{\epsilon}_5}$	$F$	$R_{34}^r$	$R_{34}^n$	$R_{34}$	$R_{65}$	$R_{54}$
Величина силы, Н	49	49	17,25	16,25	40	20,5	17	27	62	27
Отрезок на плане, мм	49	49	17	16	40	21	17	27	62	27

Строим план сил. В соответствии с векторным уравнением откладываем отрезки, соответствующие векторам  $\vec{R}_{34}^r$ ,  $\vec{F}$ ,  $\vec{G}_4$ ,  $\vec{G}_5$ ,  $\vec{F}_{u_5}$ ,  $\vec{F}_{u_4}$ . Векторы можно откладывать в

любом порядке, но обязательно начать построение с вектора  $\overline{R_{34}^r}$ . Затем из начала вектора  $\overline{R_{34}^r}$  проводим направление вектора  $\overline{R_{34}^n}$ , а из конца последнего вектора проводим направление вектора  $\overline{R_{65}^r}$ . Пересекаясь, эти направления замыкают многоугольник сил.

Измеряя на плане сил отрезки, соответствующие векторам  $\overline{R_{34}^r}$ ,  $\overline{R_{34}^n}$ ,  $\overline{R_{65}^r}$  и умножая их на масштаб  $\mu_F$ , получим значение этих реакций. Данные занесены в табл. 1.

### 3.1.6. Определим реакцию $R_{54}$ .

Составим векторное уравнение равновесия всех сил, действующих *звено 4*.

$$\sum_{i=1}^n \overline{F_i} = 0; \quad \overline{G_4} + \overline{F_{u_4}} + \overline{R_{34}} + \overline{R_{54}} = 0.$$

Выберем масштаб плана сил  $\mu_F = 1 \text{ Ѕ} / \text{мм}$ .

Строим план сил. В соответствии с векторным уравнением откладываем отрезки, соответствующие векторам  $\overline{G_4}$ ,  $\overline{F_{u_4}}$ ,  $\overline{R_{34}}$ . Векторы можно откладывать в любом порядке. Соединяя начало первого вектора и конец последнего, получим многоугольник сил и отрезок, определяющий реакцию  $R_{54}$ . Измеряя его длину и умножая на масштаб  $\mu_F$ , получим величину реакции  $R_{54}$ .

## 3.2. Силовой расчет предпоследней группы Ассур вида ВВВ.

### 3.2.1. Определение сил тяжести звеньев:

$$G_2 = m_2 \cdot g = 2 \cdot 9,8 = 19,6 \text{ Ѕ} \quad , \quad G_3 = m_3 \cdot g = 2 \cdot 9,8 = 19,6 \text{ Ѕ} \quad .$$

### 3.2.2. Определение сил инерции:

$$F_{e_2} = m_2 \cdot a_{s_2} = 2 \cdot 5,35 = 10,7 \text{ Ѕ} \quad , \quad F_{e_3} = m_3 \cdot a_{s_3} = 2 \cdot 2,4 = 4,8 \text{ Ѕ} \quad .$$

Силы инерции направлены в противоположную сторону соответствующим ускорениям центров масс звеньев.

### 3.2.3. Определение моментов инерции:

$$M_{e_2} = I_{s_2} \cdot \varepsilon_2 = 0,05 \cdot 5,25 = 0,26 \text{ Ѕ} \cdot \text{мм} \quad ; \quad M_{e_3} = I_{s_3} \cdot \varepsilon_3 = 0,06 \cdot 25,68 = 1,54 \text{ Ѕ} \cdot \text{мм} \quad .$$

Моменты инерции направлены в противоположные стороны соответствующим угловым ускорениям.

Построим группу Ассур в масштабе  $\mu_l$ .

Покажем все действующие на нее силы (в том числе реакцию  $\overline{R_{43}} = -\overline{R_{34}}$ ) и неизвестные реакции  $R_{12}^r, R_{12}^n, R_{63}^r, R_{63}^n$ .

### 3.2.4. Определим реакцию $R_{12}^r$ .

Составим уравнение моментов всех сил, действующих *на звено 2*, относительно точки **В**.

$$\sum_{i=1}^n M_B = 0; \quad -R_{12}^r \cdot AB - F_{u_2} \cdot h_6 + G_2 \cdot h_5 - M_{u_2} = 0.$$

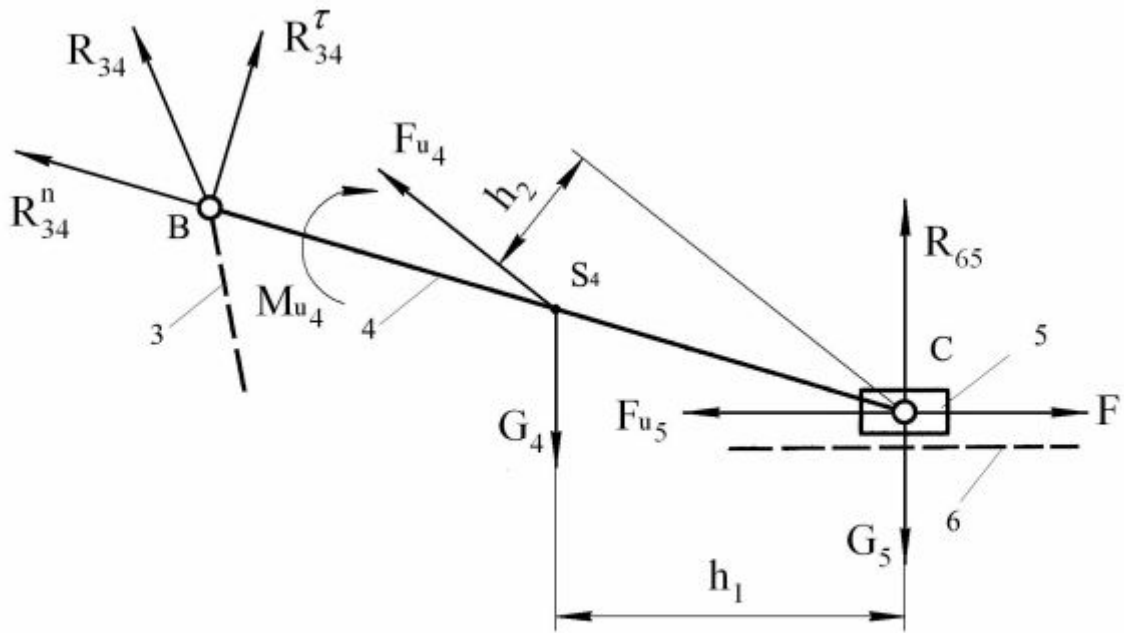
Найдем реакцию  $R_{12}^r$ :

$$R_{12}^r = \frac{-F_{u_2} \cdot h_6 + G_2 \cdot h_5 - M_{u_2}}{AB} = \frac{-10,7 \cdot 0,1 + 19,6 \cdot 0,095 - 0,26}{0,2} = 2,66 \text{ Н}.$$

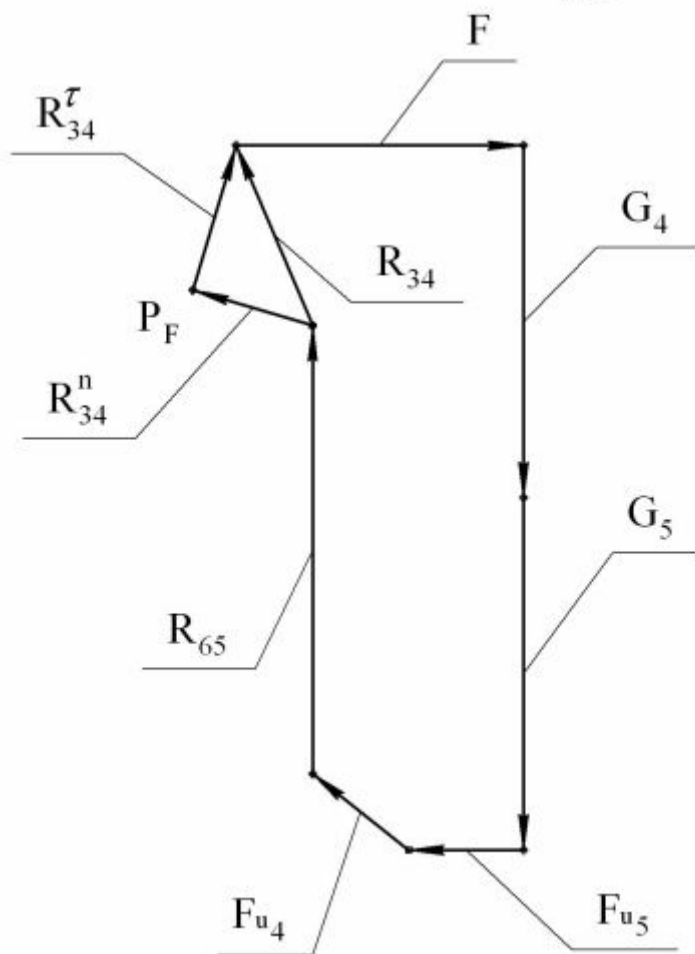
Длины плеч  $h_5$  и  $h_6$  измерены на расчетной схеме и умножены на масштабный коэффициент  $\mu_l = 0,005 \text{ мм} / \text{мм}$ .

$$h_5 = 19 \cdot 0,005 = 0,095 \text{ мм} \quad ; \quad h_6 = 20 \cdot 0,005 = 0,1 \text{ мм} \quad .$$

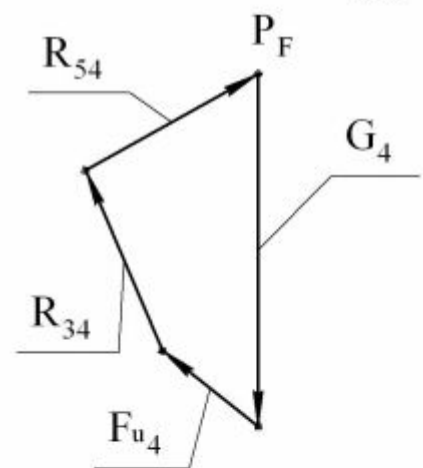
Последняя группа Ассура вида ВВП  $\mu_1 = 0,005 i / i i$



План сил для группы Ассура  $\mu_F = 1 \dot{i} / i i$



План сил для звена 4  $\mu_F = 1 \dot{i} / i i$



### 3.2.5. Определим реакцию $R_{63}^r$ .

Составим уравнение моментов всех сил, действующих *на звено 3*, относительно точки *B*.

$$\sum_{i=1}^n M_B = 0; \quad -R_{63}^r \cdot BO_2 - F_{u_3} \cdot h_3 - G_3 \cdot h_4 + M_{u_3} = 0.$$

Найдем реакцию  $R_{63}^r$ .

$$R_{63}^r = \frac{-F_{u_3} \cdot h_3 - G_3 \cdot h_4 + M_{u_3}}{BO_2} = \frac{-4,8 \cdot 0,025 - 19,6 \cdot 0,02 + 1,54}{0,2} = 5,56H.$$

Длины плеч  $h_3$  и  $h_4$  измерены на расчетной схеме и умножены на масштабный коэффициент  $\mu_l = 0,005 \frac{i}{ii}$ .

$$h_3 = 5 \cdot 0,005 = 0,025i; \quad h_4 = 4 \cdot 0,005 = 0,02i.$$

### 3.2.6. Определим реакции $R_{63}^n$ и $R_{12}^n$ .

Составим векторное уравнение равновесия всех сил, действующих на *всю группу Ассура*.

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0; \quad \vec{R}_{63}^n + \vec{R}_{63}^r + \vec{G}_2 + \vec{R}_{43} + \vec{G}_3 + \vec{F}_{u_2} + \vec{F}_{u_3} + \vec{R}_{12}^r + \vec{R}_{12}^n = 0.$$

Выберем масштаб плана сил  $\mu_F = 0,5 \frac{i}{ii}$ .

Вычислим величины отрезков, соответствующих векторам сил. Данные занесем в табл. 2.

Строим план сил. В соответствии с векторным уравнением откладываем отрезки, соответствующие векторам  $\vec{G}_2, \vec{G}_3, \vec{F}_{u_2}, \vec{F}_{u_3}, \vec{R}_{12}^r, \vec{R}_{63}^r, \vec{R}_{43}$ . Векторы можно откладывать в любом порядке, но обязательно начать построение с вектора  $\vec{R}_{63}^r$ , а закончить построение вектором  $\vec{R}_{12}^r$ . Затем из начала вектора  $\vec{R}_{63}^r$  проводим направление вектора  $\vec{R}_{63}^n$ , а из конца вектора  $\vec{R}_{12}^r$  проводим направление вектора  $\vec{R}_{12}^n$ . Пересекаясь, эти направления замыкают многоугольник сил. Измеряя на плане сил отрезки, соответствующие векторам  $\vec{R}_{12}^r, \vec{R}_{12}^n, \vec{R}_{63}^r, \vec{R}_{63}^n, \vec{R}_{12}^r, \vec{R}_{63}^r$  и умножая их на масштаб  $\mu_F$ , получим значение этих реакций. Данные занесены в табл. 2.

Таблица 2

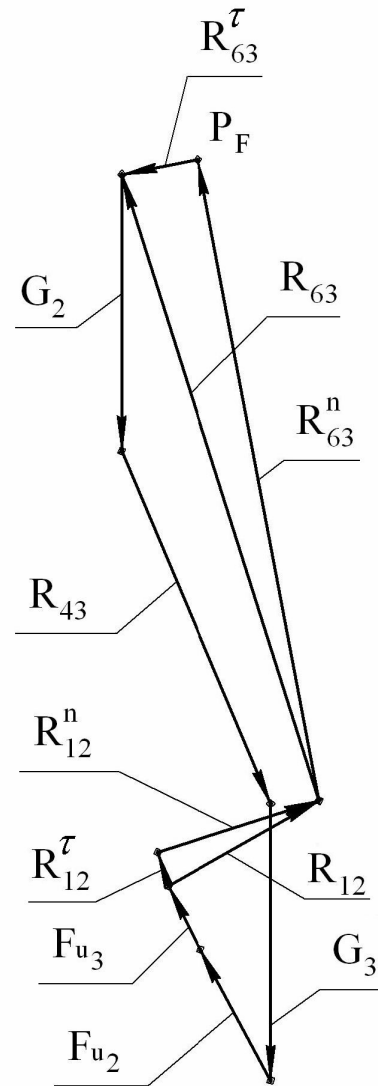
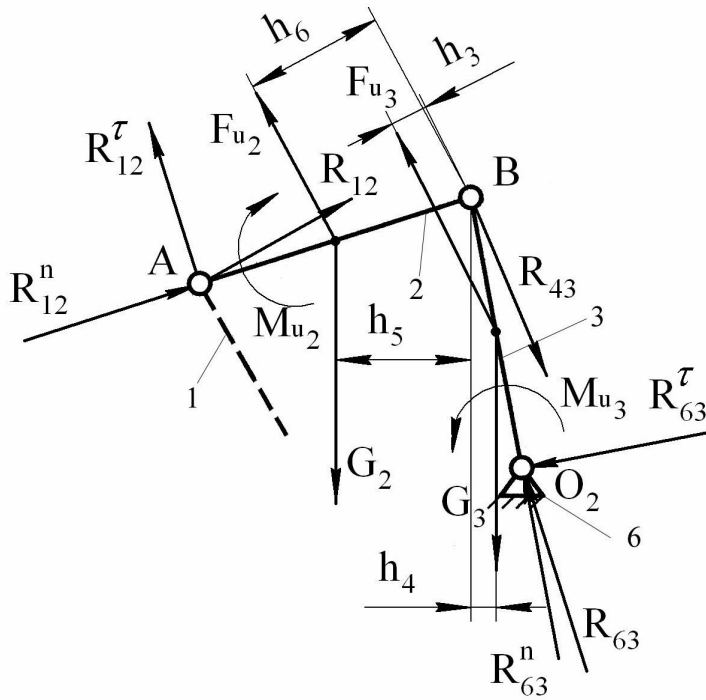
Обозначение силы	$G_2$	$G_3$	$F_{e_2}$	$F_{e_3}$	$R_{43}$	$R_{12}$	$R_{12}^r$	$R_{12}^n$	$R_{63}$	$R_{63}^r$	$R_{63}^n$
Величина силы, Н	19,6	19,6	10,7	4,8	27	12,5	2,66	12	46,5	5,56	46
Отрезок на плане, мм	39	39	21	10	54	25	5	24	93	11	92

**Предпоследняя группа Ассура вида ВВВ**

$$\mu_1 = 0,005 \dot{i} / i \dot{i}$$

**План сил для группы Ассура**

$$\mu_F = 0,5 \dot{I} / i \dot{i}$$



**3.3. Силовой расчет начального механизма**

**3.3.1. Определение силы тяжести звена:**

$$G_1 = m_1 \cdot g = 1,5 \cdot 9,8 = 14,7 \dot{I} \text{ .}$$

**3.3.2. Определение силы инерции:**

$$F_{\dot{e}_1} = m_1 \cdot a_{s_1} = 1,5 \cdot 2,95 = 4,43 \dot{I} \text{ .}$$

Сила инерции направлена в противоположную сторону ускорению  $a_{s_1}$ .

Построим начальный механизм в масштабе  $\mu_1$ .

Покажем все действующие на него силы, неизвестную реакцию  $\overline{R}_{61}$  и уравновешивающий момент  $M_{\dot{o}\dot{o}}$ .



### 3.3.3. Найдем величину уравновешивающего момента $M_{\delta\delta}$ .

Запишем уравнение моментов всех сил относительно точки  $O_1$ .

$$\sum_{i=1}^n M_{O_1} = 0; \quad R_{21} \cdot h_8 + G_1 \cdot h_7 - M_{\delta\delta} = 0.$$

Уравновешивающий момент  $M_{\delta\delta}$  равен:

$$\dot{I}_{\delta\delta} = R_{21} \cdot h_8 + G_1 \cdot h_7 = 12,5 \cdot 0,15 + 14,7 \cdot 0,04 = 2,46 \dot{I} \cdot i.$$

Здесь  $\vec{R}_{21} = -\vec{R}_{12}$ .

Длины плеч  $h_7$  и  $h_8$  измерены на расчетной схеме и умножены на масштабный коэффициент  $\mu_l = 0,005 \frac{i}{\dot{i}i}$ .

$$h_7 = 8 \cdot 0,005 = 0,04 i; \quad h_8 = 30 \cdot 0,005 = 0,15 i.$$

Тогда уравновешивающая сила равна:

$$F_{\delta\delta} = \frac{\dot{I}_{\delta\delta}}{\dot{I}_1 \dot{A}} = \frac{2,46}{0,15} = 16,42 \dot{I}.$$

### 3.3.4. Найдем реакцию $R_{61}$ .

Составим векторное уравнение равновесия всех сил, действующих на начальный механизм.

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0; \quad \vec{F}_{u_1} + \vec{R}_{21} + \vec{G}_1 + \vec{R}_{61} = 0.$$

Выберем масштаб плана сил  $\mu_F = 0,5 \frac{\dot{I}}{i i}$ .

Вычислим величины отрезков, соответствующих векторам сил. Данные занесем в табл. 3:

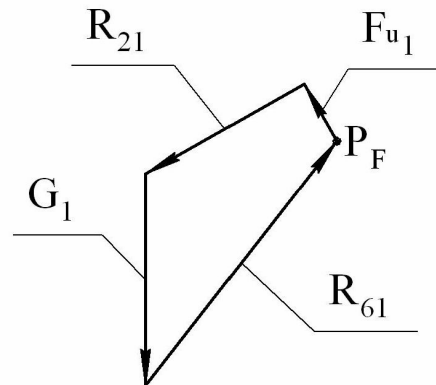
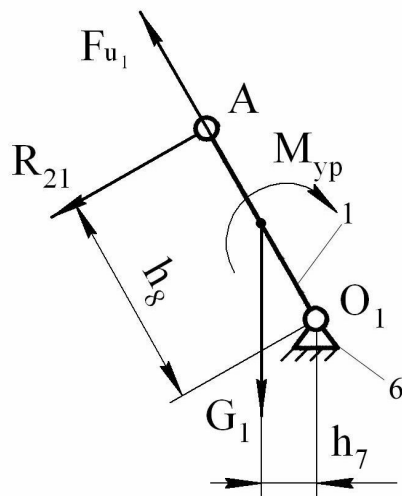
Таблица 3

Обозначение силы	$G_1$	$F_{u_1}$	$R_{21}$	$R_{61}$
Величина силы, Н	14,7	4,43	12,5	21,5
Отрезок на плане, мм	29	9	25	43

Строим план сил. В соответствии с векторным уравнением откладываем отрезки, соответствующие векторам  $\vec{G}_1, \vec{F}_{u_1}, \vec{R}_{21}$ . Векторы можно откладывать в любом порядке. Соединяя начало первого вектора и конец последнего, получим многоугольник сил и отрезок, определяющий реакцию  $R_{61}$ . Измеряя его длину и умножая на масштаб  $\mu_F$ , получим величину реакции  $R_{61}$ . Данные занесены в табл. 3.

Начальный механизм  $\mu_i = 0,005 \dot{i} / \dot{i} \dot{i}$

План сил для начального механизма  
 $\mu_F = 0,5 \dot{I} / \dot{i} \dot{i}$



#### 4. Определение уравновешивающей силы с помощью рычага Жуковского Н.Е.

4.1. Уравновешивающую силу  $F'_{yp}$  приложим в точке  $A$  перпендикулярно кривошипу  $O_1A$ .

4.2. План скоростей повернем на  $90^\circ$ . В соответствующих точках плана скоростей приложим векторы сил, сохраняя их направления, каждый момент инерции  $M_{\dot{e}_2}, M_{\dot{e}_3}, M_{\dot{e}_4}$  заменим парой сил. Силы проводятся из кинематических пар звена под углом  $90^\circ$  так, чтобы эти силы вращали звено в ту же сторону, что и соответствующий момент инерции:

$$F_2 = F'_2 = \frac{M_{u_2}}{AB} = \frac{0,26}{0,2} = 1,3H ;$$

$$F_3 = F'_3 = \frac{M_{u_3}}{BO_2} = \frac{1,54}{0,185} = 8,32H ;$$

$$F_4 = F'_4 = \frac{M_{u_4}}{BC} = \frac{0,11}{0,5} = 0,22H .$$

и каждую силу перенесем на план.

4.3. Составим уравнение моментов всех сил относительно полюса  $p_V$ :

$$\sum_{i=1}^n M_{p_V} = 0 ;$$

$$G_1 \cdot h_3 - F'_{yp} \cdot p_V a + G_3 \cdot h_1 + G_4 \cdot h_1 + G_2 \cdot h_2 + F_{u_2} \cdot h_4 + F_{u_3} \cdot h_5 + F_{u_4} \cdot h_6 + F_{u_5} \cdot p_V c - F_2 \cdot h_7 -$$

$$-F'_2 \cdot h_8 + F_3 \cdot p_V b - F'_4 \cdot h_{10} + F_4 \cdot h_9 - F \cdot p_V c = 0 .$$

Решая уравнение, получим:

$$F_{yp} = \frac{14,7 \cdot 35 + 19,6 \cdot 13 + 49 \cdot 13 + 19,6 \cdot 48 + 10,7 \cdot 20 + 4,8 \cdot 22 + 17,25 \cdot 96 + 16,25 \cdot 130 - 1,3 \cdot 16 - 1,3 \cdot 30 + 8,32 \cdot 140 - 0,22 \cdot 64 + 0,22 \cdot 37 - 40 \cdot 130}{140} = 16,67H.$$

Длины всех плеч измерены на расчетной схеме.

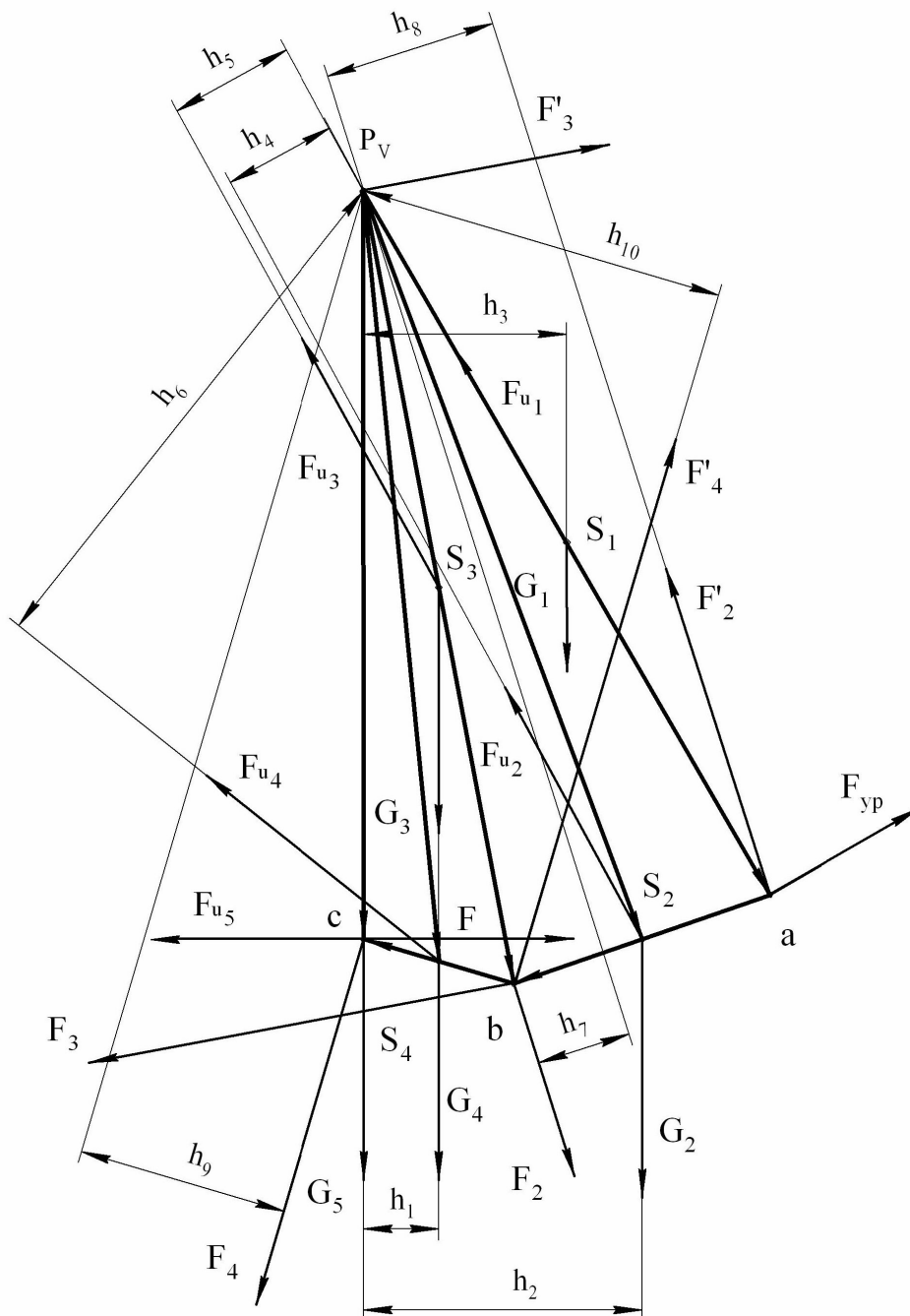
Таким образом, с помощью теоремы Жуковского Н.Е можно:

1. Определить уравнивающую силу  $\overline{F_{\omega\omega}}$ , не проводя силового расчета;
2. Проверить значение уравнивающей силы  $\overline{F_{\omega\omega}}$ , полученной из силового расчета. Погрешность расчетов составляет:

$$\Delta\% = \frac{F'_{\omega\omega} - F_{\omega\omega}}{F_{\omega\omega}} \cdot 100\% = \frac{16,67 - 16,42}{16,67} \cdot 100\% = 1,5\%.$$

Погрешность не должна превышать 20 %.

Рычаг Жуковского  $\mu_v = 0,0067 \frac{i / \dot{n}}{i \dot{i}}$



## **5. Правила оформления расчетно-графической работы**

### **5.1. Пояснительная записка.**

Пояснительная записка - документ, содержащий описание исследуемого механизма, обоснования принятых при его разработке методов исследования и технических решений, все виды расчетов, схемы, таблицы, поясняющие расчеты и принятые решения.

Пояснительная записка расчетно-графической работы должна содержать:

1. Титульный лист (приложение 1);
2. Задание на расчетно-графическую работу;
3. Введение;
4. Содержание;
5. Структурный анализ механизма;
6. Кинематический анализ механизма:
  - 6.1. Определение скоростей точек звеньев и угловых скоростей звеньев;
  - 6.2. Определение ускорений точек звеньев и угловых ускорений звеньев;
7. Силовой расчет механизма;
8. Расчет уравновешивающей силы с помощью рычага Жуковского Н.Е..

### **5.2. Общие требования к оформлению пояснительной записки.**

Текстовые документы расчетно-графической работы должны быть сброшюрованы по ГОСТ 2.301-68. Титульный лист выполняется на бумаге формата А4 по ГОСТ 2.301-68 и должен соответствовать указанному ниже образцу. Текст записки должен быть набран в текстовом редакторе Microsoft Word. Шрифт пояснительной записки - Times New Roman, размер шрифта 14 с полуторным межстрочным интервалом. Выравнивание - по ширине. Ориентация страницы - книжная.

Листы записки должны иметь рамку и штамп с основной надписью.

Текст записки пишется в рамку, образованную полями: левое – 20 мм, правое – 5 мм, верхнее – 5 мм, нижнее – 5 мм. Основную надпись на листах пояснительной записки выполняют по ГОСТ 2.104-68. и ГОСТ 2.105-95. Примеры заполнения основной надписи первого листа пояснительной записки расчетно-графической работы и основной надписи последующих листов даны ниже (приложение 2).

Заголовки всех разделов выделяют в отдельную строку и выполняют прописными буквами. Все разделы, подразделы, пункты, подпункты нумеруют и оформляют согласно требованиям ГОСТ 2.105-75 следующим образом, например: 1.3.4.6 - где 1 -номер раздела, 3 - подраздела, 4 - пункта, 6 - подпункта. Разделы «Введение», «Задание», «Содержание» - не нумеруют.

Очередной раздел необходимо начинать с новой страницы. В конце подразделов результаты расчетов надо свести в таблицы, где привести значения, полученные в результате аналитических и графических расчетов.

Раздел «Содержание» должен содержать названия разделов и подразделов с указанием страниц.

### **5.3. Правила оформления формул.**

1. Нумеруют только те формулы, на которые имеются ссылки по тексту. Номер формулы заключается в круглые скобки с выравниванием по правому краю.

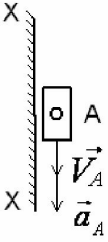
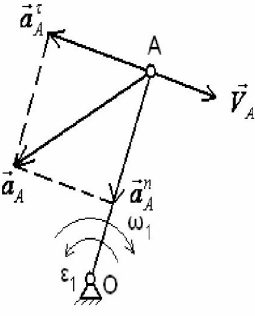
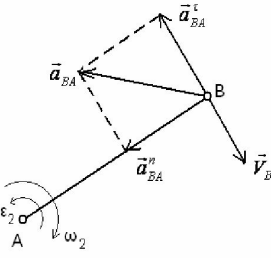
2. Расчетные формулы записывают сначала в символьном виде, затем в них подставляют цифровые значения физических величин и, наконец, приводят окончательный ответ с обязательным указанием размерности, например,

$$V_A = \omega_1 \cdot O_1A = 30 \cdot 0,02 = 0,6 \text{ м / с}$$

#### **5.4. Правила оформления графических построений.**

1. Все рисунки и графики должны быть озаглавлены и пронумерованы по ГОСТ 7.32-2001.
2. Графические построения следует выполнять карандашом в соответствии с ГОСТ 2.105-95 и ГОСТ 2.106-96.
3. Каждый лист должен иметь основные надписи по ГОСТ 2.104-68 (приложение 2).
4. Все построения необходимо снабжать соответствующей им надписью и масштабным коэффициентом.
5. Масштабные коэффициенты построений следует выбирать так, чтобы площадь листа была максимально заполненной.
6. Кинематическая схема механизма:
  - 6.1. В расчетном положении кинематическую схему механизма надо выполнять основными линиями, указать масштаб;
  - 6.2. Кинематические пары следует обозначать заглавными буквами латинского алфавита, центры масс звеньев буквами «S» с индексами, соответствующими номеру звена;
  - 6.3. Для расчетного положения механизма указывать номера звеньев и направления угловых скоростей и ускорений, полученные на основании расчетов.
7. Планы скоростей и ускорений:
  - 7.1. Концы векторов скоростей (ускорений) точек механизма следует обозначать малыми буквами латинского алфавита в соответствии с буквами на плане механизма;
  - 7.2. Направления абсолютных и относительных скоростей (ускорений) надо показывать стрелками.
8. Планы сил:
  - 8.1. Группы Ассура следует выполнять в масштабе;
  - 8.2. Векторы сил необходимо изображать в истинном направлении;
  - 8.3. Каждый вектор надо снабжать соответствующим обозначением;
  - 8.4. Планы сил необходимо строить в масштабе.

**Основные формулы для определения скоростей и ускорений точек звеньев**

№	Вид движения	Скорость	Ускорение
1	Поступательное (ползун по стойке) 	Все точки звена имеют одинаковую скорость $\vec{V}_A$ , вектор, который направлен вдоль траектории движения точки A. $\vec{V}_A \parallel X-X$	Все точки звена имеют одинаковые ускорения $\vec{a}_A$ . Если вектор ускорения $\vec{a}_A$ направлен в сторону $\vec{V}_A$ , то движение равноускоренное, если вектор ускорения $\vec{a}_A$ направлен в противоположную сторону $\vec{V}_A$ , то движение равнозамедленное. $\vec{a}_A \parallel X-X$
2	Вращательное вокруг неподвижной оси (кривошип или коромысло относительно стойки) 	Скорость точки A $V_A = \omega_1 \cdot OA$ Вектор $\vec{V}_A$ направлен перпендикулярно OA, в сторону угловой скорости $\omega_1$ . $\vec{V}_A \perp OA$	Полное ускорение точки A $\vec{a}_A = \vec{a}_A^n + \vec{a}_A^\tau$ Нормальное ускорение $a_A^n = \omega_1^2 \cdot OA$ Вектор $\vec{a}_A^n$ направлен по радиусу AO к центру вращения O. $\vec{a}_A^n \parallel OA$ . Касательное ускорение $a_A^\tau = \epsilon_1 \cdot OA$ Вектор $\vec{a}_A^\tau$ направлен перпендикулярно AO в сторону углового ускорения $\epsilon_1$ $\vec{a}_A^\tau \perp OA$
3	Звено совершает плоскопараллельное движение (шатун) 	Скорость точки B $\vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{BA}$ Относительная скорость $V_{BA} = \omega_2 \cdot AB$ Вектор $\vec{V}_{BA}$ направлен перпендикулярно к BA в сторону угловой скорости $\omega_2$ . $\vec{V}_{BA} \perp BA$	Ускорение точки B $\vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA}$ Относительное ускорение $\vec{a}_{BA} = \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}_{BA}^\tau$ Нормальное ускорение $a_{BA}^n = \omega_2^2 \cdot AB$ Вектор $\vec{a}_{BA}^n$ направлен параллельно AB (от точки B к точке A) $\vec{a}_{BA}^n \parallel BA$ Касательное ускорение $a_{BA}^\tau = \epsilon_2 \cdot AB$ Вектор $\vec{a}_{BA}^\tau$ направлен перпендикулярно AB $\vec{a}_{BA}^\tau \perp BA$

### ***Рекомендуемая основная литература***

1. Смелягин А.И. Теория механизмов и машин.- Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003.
2. Теория механизмов и машин. Под ред. К.В. Фролова.- М.: Высшая школа, 2002.
3. Левитинский Н.И. Теория механизмов и машин.- М.: Наука, 1990.
4. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин.- М.: Наука, 1988.
5. Попов С.А. Курсовое проектирование по теории машин и механизмов.- М.: Высшая школа, 1986.
6. Марголин Ш.Ф. Теория механизмов и машин.- Минск: Высшая школа, 1978.

### ***Рекомендуемая дополнительная литература***

1. Заблонский К. И. Теория механизмов и машин. Киев: Высшая школа, 1989.
2. Теория механизмов. Под ред. В.А. Гавриленко. М.: Высшая школа, 1973.

### ***Содержание***

	Стр.
1. Структурный анализ механизма	4
2. Кинематический анализ механизма	6
2.1. Определение скоростей точек звеньев и угловых скоростей звеньев	6
2.2. Определение ускорений точек звеньев и угловых ускорений звеньев	8
3. Силовой расчет механизма	13
3.1. Силовой расчет последней группы Ассурова вида ВВП	13
3.2. Силовой расчет предпоследней группы Ассурова вида ВВВ	14
3.3. Силовой расчет начального механизма	17
4. Определение уравновешивающей силы с помощью рычага Жуковского Н.Е.	19
5. Правила оформления расчетно-графической работы	22
6. Приложение 1. Образец оформления титульного листа	24
7. Приложение 2. Образец выполнения основных надписей на текстовых и чертежных документах	25
8. Приложение 3. Расположение схем и планов на формате А1	27
9. Приложение 4. Основные формулы для определения скоростей и ускорений точек звеньев	28
10. Рекомендуемая литература	29