

1. Исходные данные:

$S_B =$ м – ход поршня;

$l_2 =$ м - длина шатуна;

$\omega_1 =$ 1/с – угловая скорость кривошипа;

$m_2 =$ кг – масса шатуна;

$m_3 =$ кг - масса поршня;

$F_c =$ Н - сила сопротивления движению поршня;

$\varphi_1 =$ ° - угол поворота кривошипа.

2. Структурный анализ механизма

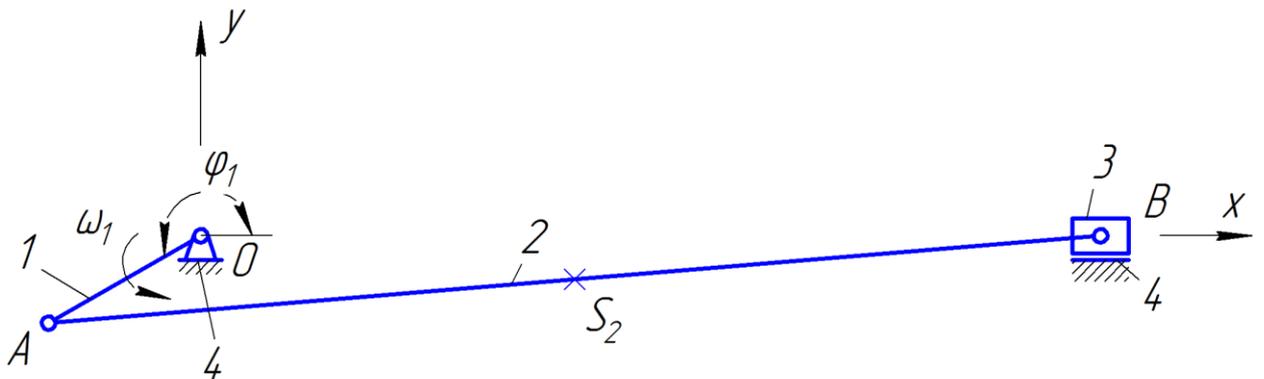


Рис.1

Механизм состоит из подвижных звеньев: ведущего звена – кривошипа 1 и присоединенной к нему двухповодковой группы Ассура, состоящей из шатуна 2 и поршня 3, и неподвижной стойки 4. Кривошип совершает вращательное движение, поршень – поступательное, а шатун – сложное.

Длина кривошипа:

$$l_1 = 0,5 S_B = 0,5 * \quad = \quad \text{м.}$$

Центр масс шатуна находится посередине между точками A и B .

Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата	

3. Построение схемы механизма

Выбирается масштаб длин:

$$K_l = \frac{l_1}{OA} = \frac{\quad}{25} = \quad \text{м/мм, где}$$

$OA = 25$ мм – длина отрезка на схеме механизма, соответствующая длине кривошипа OA .

Определяем длину отрезка AB , соответствующего на схеме механизма длине шатуна l_2 :

$$AB = \frac{l_2}{K_l} = \quad \text{мм.}$$

Длина отрезка AS_2 :

$$AS_2 = \frac{1}{2} AB = \frac{1}{2} * \quad = \quad \text{мм.}$$

Методом засечек строим схему механизма с угловым шагом положения кривошипа 45° . Пунктирной линией наносим траекторию движения центра масс шатуна – точки S_2 . Далее строим в выбранном масштабе длин расчетное положение механизма при заданном угле поворота кривошипа

$$\varphi_1 = \quad ^\circ$$

Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата	

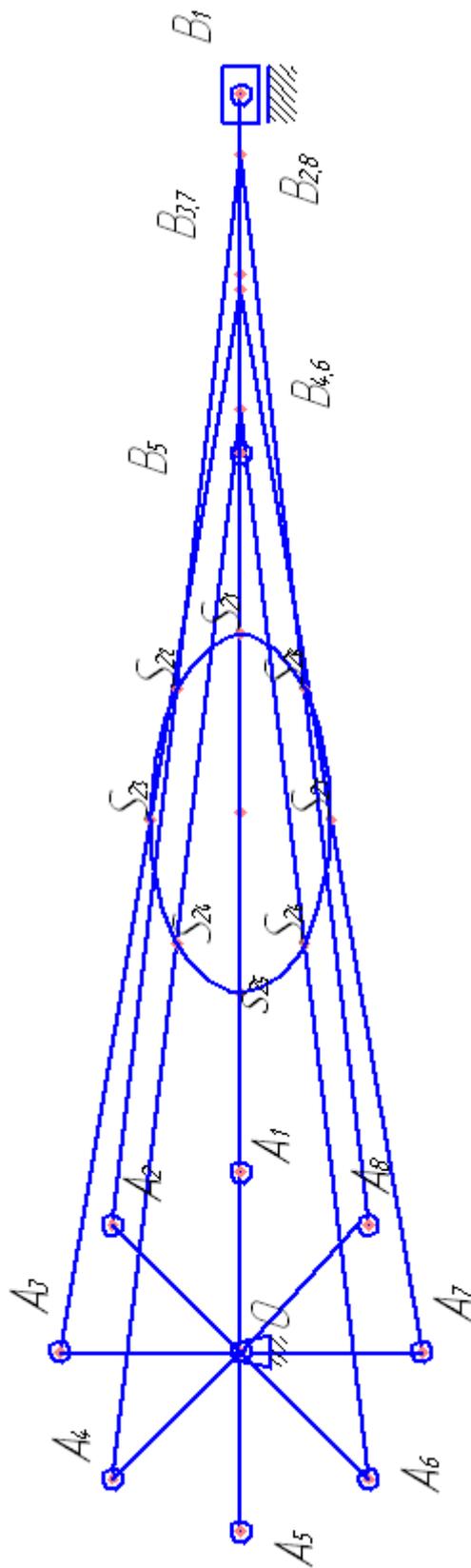


Рис.2

Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата	

4. Построение плана скоростей

Линейная скорость точки A кривошипа определяется характером ее движения – вращение вокруг точки O . Ее скорость направлена нормально к отрезку OA по направлению вращения. Скалярная величина этой скорости:

$$V_A = \omega_1 * l_1 = \quad * \quad = \quad \text{м/с.}$$

Задаемся масштабом плана скоростей:

$$K_v = \frac{V_A}{oa} = \frac{\quad}{70} = \quad \text{м/с/мм,}$$

где $oa = 70$ мм – отрезок на плане скоростей, соответствующий скорости точки A .

Скорость точки B можно определить векторным уравнением:

$$\vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{B/A}$$

_____ , где

$$// OB \quad \perp OA \quad \perp AB$$

\vec{V}_B - абсолютная скорость движения точки B ;

\vec{V}_A - абсолютная скорость движения точки A , которая в данном векторном уравнении определяет скорость переносного движения;

$\vec{V}_{B/A}$ - относительная скорость движения точки B при вращении вокруг точки A .

В заданном масштабе строится план скоростей.

Точка o – полюс плана скоростей, все отрезки, выходящие из этой точки, соответствуют абсолютным скоростям точек механизма. Отрезки, не выходящие из полюса, а соединяющие другие точки, отображают относительные скорости движения, например отрезок ab соответствует относительной скорости движения точки B вокруг точки A .

Замерами определяем длины отрезков

$$ab = \quad \text{мм,}$$

$$ob = \quad \text{мм.}$$

Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата	

Положение точки s_2 на плане скоростей определяется соотношением:

$$as_2 = \frac{1}{2}ab = \frac{1}{2} * \quad = \quad \text{мм.}$$

Замерами определяем $os_2 = \quad$ мм.

Абсолютная скорость точки B :

$$V_B = ob * K_v = \quad * \quad = \quad \text{м/с.}$$

Абсолютная скорость точки S_2 :

$$V_{s_2} = os_2 * K_v = \quad * \quad = \quad \text{м/с.}$$

Относительная скорость движения точки B вокруг точки A :

$$V_{B/A} = ab * K_v = \quad * \quad = \quad \text{м/с.}$$

Угловая скорость вращения шатуна:

$$\omega_2 = \frac{V_{B/A}}{l_2} = \quad = \quad \text{1/с.}$$

На схеме механизма показываются линейные скорости точек B и S_2 и направление угловой скорости шатуна.

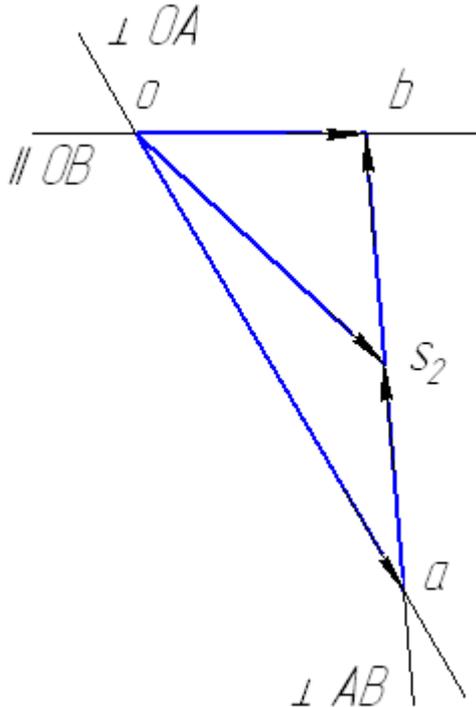


Рис.3

Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата	

5. Построение плана ускорений

Ускорение точки A является центростремительным, поскольку кривошип вращается с постоянной угловой скоростью. Его величина:

$$a_A = \omega_1^2 * l_1 = \quad \quad \quad = \quad \quad \quad \text{м/с}^2.$$

Векторное уравнение для определения ускорения точки B :

$$\begin{array}{ccccccc} \vec{a}_B & = & \vec{a}_A & + & \vec{a}_{B/A}^n & + & \vec{a}_{B/A}^\tau \\ \hline & & // OB & & //OA & & //AB & & \perp AB \end{array}$$

где

\vec{a}_B - полное ускорение точки B , м/с² ;

$\vec{a}_{B/A}^n$ - нормальное ускорение точки B при вращении вокруг точки A , по направлению определяется : от точки B к точке A .

Его величина:

$$a_{B/A}^n = \omega_2^2 \bullet l_2 = \quad \quad \quad = \quad \quad \quad \text{м/с}^2.$$

$\vec{a}_{B/A}^\tau$ - тангенциальное ускорение точки B при вращении вокруг точки A . Оно направлено по нормали к отрезку AB .

Выбираем масштаб плана ускорений:

$$K_a = \frac{a_A}{o'a'} = \frac{\quad}{100} = \quad \quad \quad \text{м/с}^2/\text{мм}, \text{ где}$$

$o'a' = 100$ мм – отрезок на плане ускорений, соответствующий величине и направлению ускорения точки A .

Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата	

Ускорению $\vec{a}_{B/A}^n$ на плане ускорений соответствует вектор $\vec{Z}_{B/A}^n$, длина которого

$$Z_{B/A}^n = \frac{a_{B/A}^n}{K_a} = \quad \text{мм.}$$

Построение плана ускорений начинается с полюса – точки o' , от которой откладывается отрезок $o'a' = 100$ мм по направлению от точки А к точке О. Затем из точки a' по направлению от точки В к точке А проводится отрезок $Z_{B/A}^n$, из конца этого отрезка проводится линия, перпендикулярная направлению АВ до пересечения с линией, параллельной оси Х-Х, проведенной из полюса плана ускорений – точки o' . Пересечении этих двух прямых определит положение точки b' и длину отрезка $Z_{B/A}^r$.

Замерами определяем:

$$o'b' = \quad \text{мм;}$$

$$a'b' = \quad \text{мм;}$$

$$Z_{B/A}^r = \quad \text{мм.}$$

Положение точки s'_2 на плане ускорений определяется соотношением:

$$a's'_2 = 1/2 a'b' = 0,5 \quad \text{мм.}$$

Замерами определяется длина отрезка $o's'_2 = \quad \text{мм.}$

Полное ускорение точки В :

$$a_B = o'b' * K_a = \quad * \quad = \quad \text{м/с}^2.$$

Ускорение точки S_2 :

$$a_{S_2} = o's'_2 * K_a = \quad * \quad = \quad \text{м/с}^2.$$

Тангенциальное ускорение точки В :

$$a_{B/A}^r = Z_{B/A}^r \bullet K_a = \quad * \quad = \quad \text{м/с}^2.$$

Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата	

Оно определяет величину и направление углового ускорения шатуна:

$$\xi_2 = \frac{a_{B/A}^\tau}{l_2} = 1/c^2.$$

На схеме механизма показываються ускорения точек B и S_2 и направление углового ускорения шатуна ξ_2 .

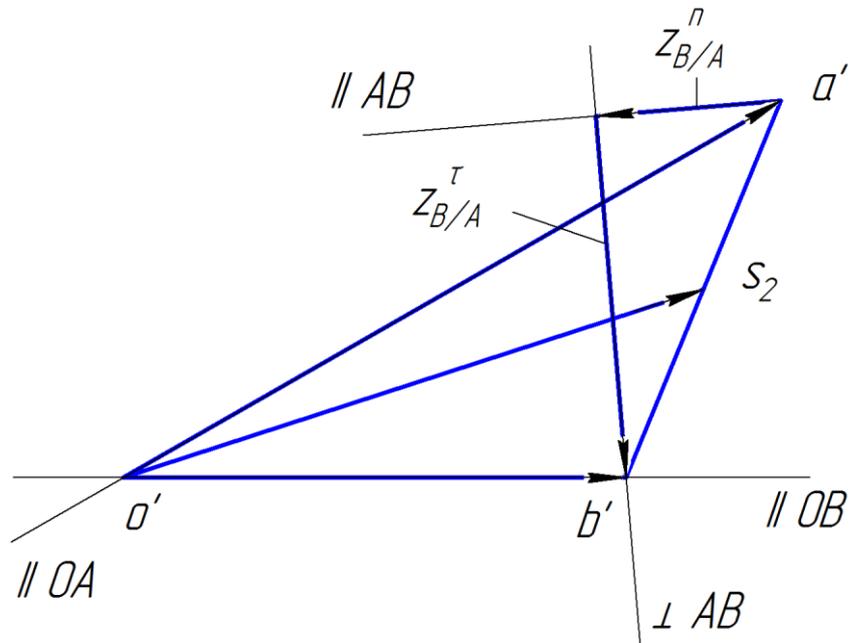


Рис.4

Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата	

6. Силовой анализ механизма

Анализ начинается с наиболее удаленной от ведущего звена группы Асура (шатун-поршень). Остановим механизм в заданном положении и рассмотрим равновесие этой группы. Силы тяжести звеньев:

$$\text{шатуна } G_2 = m_2 * g = \quad * 10 = \quad \text{Н};$$

$$\text{поршня } G_3 = m_3 * g = \quad * 10 = \quad \text{Н}.$$

Сила инерции шатуна

$$\vec{P}_{u2} = -\vec{a}_{s2} \bullet m_2 ,$$

т.е. направление этой силы противоположно ускорению центра масс шатуна.

Величина этой силы:

$$P_{u2} = a_{s2} \bullet m_2 = \quad * \quad = \quad \text{Н}.$$

Сила инерции поршня направлена противоположно его ускорению и имеет величину

$$P_{u3} = a_B \bullet m_3 = \quad * \quad = \quad \text{Н}.$$

Сила активного сопротивления F_C , вызванная давлением воздуха в полости за поршнем по направлению противоположна положительному направлению оси X.

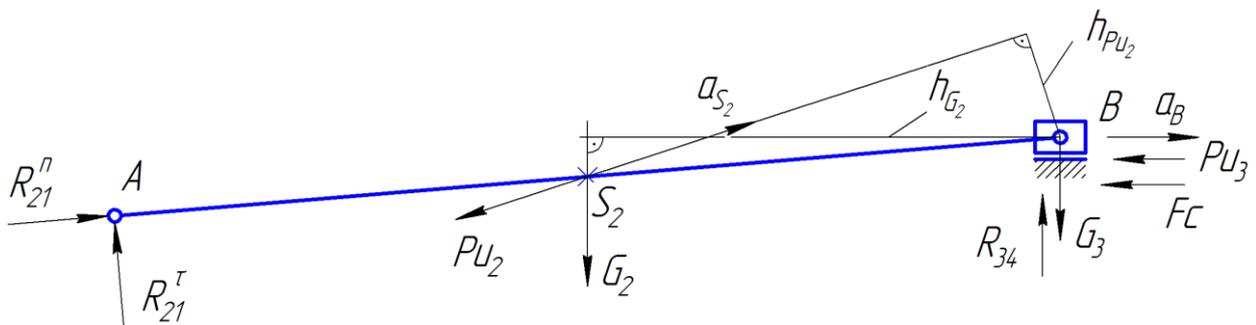


Рис.5

Действие кривошипа на шатун заменяем реакциями \vec{R}_{21}^n и \vec{R}_{21}^τ , первая из них направлена по шатуну, другая – перпендикулярно ему. Величины этих реакций пока неизвестны. Реакция стойки на поршень \vec{R}_{34} направлена по оси У. Ее величина пока тоже неизвестна.

Уравнение равновесия группы имеет вид:

$$\vec{R}_{21}^n + \vec{R}_{21}^\tau + \vec{G}_2 + \vec{P}_{u2} + \vec{G}_3 + \vec{P}_{u3} + \vec{R}_{34} + \vec{F}_C = 0 \quad (1)$$

Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата	

Данное уравнение имеет три неизвестных, поэтому решить его графическим способом невозможно. Составим уравнение моментов относительно точки B:

$$m_B = -R_{21}^{\tau} \cdot AB + G_2 \cdot h_{G2} + P_{u2} \cdot h_{P_{u2}} = 0 \quad (2)$$

Определим замерами плечи h_{G2} и $h_{P_{u2}}$:

$$h_{G2} = \quad \text{мм};$$

$$h_{P_{u2}} = \quad \text{мм}.$$

Решим уравнение (2) относительно R_{21}^{τ} :

$$R_{21}^{\tau} = \frac{G_2 \cdot h_{G2} + P_{u2} \cdot h_{P_{u2}}}{AB} = \quad \text{Н}.$$

Знак (-), полученный в результате вычислений, говорит о том, что направление реакции \vec{R}_{21}^{τ} противоположно, указанному на рисунке 5..

Для построения плана сил зададим масштаб:

$$K_F = \frac{F_C}{Z_{F_C}} = \frac{\quad}{200} = \quad \text{Н/мм},$$

где $Z_{F_C} = 200$ мм – отрезок на плане сил, соответствующий силе сопротивления F_C .

Итак, силы, действующие на поршень и шатун, и отрезки им соответствующие:

$$R_{21}^{\tau} = \quad \text{Н}; \quad Z_{21}^{\tau} = \frac{R_{21}^{\tau}}{K_F} = \quad \text{мм};$$

$$G_2 = \quad \text{Н}; \quad Z_{G2} = \frac{G_2}{K_F} = \quad \text{мм};$$

$$P_{u2} = \quad \text{Н}; \quad Z_{u2} = \frac{P_{u2}}{K_F} = \quad \text{мм};$$

$$P_{u3} = \quad \text{Н}; \quad Z_{u3} = \frac{P_{u3}}{K_F} = \quad \text{мм};$$

$$G_3 = \quad \text{Н}; \quad Z_{G3} = \frac{G_3}{K_F} = \quad \text{мм}.$$

В выбранном масштабе строится план сил группы звеньев 2-3.

Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата	

Проводится линия, параллельная прямой АВ. Из произвольно выбранной точки этой прямой восстанавливается перпендикуляр и вдоль него откладывается вектор Z_{21}^r , соответствующий реакции R_{21}^r , направление которой определяется по рис.5 с учетом знака. Дальнейшие построения определены векторным уравнением (1). Каждый последующий вектор имеет начало в точке окончания предыдущего вектора, т.е. откладываются последовательно отрезки $Z_{21}^r, Z_{G2}, Z_{u2}, Z_{u3}, Z_{G3}, Z_{Fc}$, Из конца вектора Z_{Fc} проводится линия, перпендикулярная х-х, отрезок этой линии Z_{34} соответствует реакции со стороны стойки на поршень, замыкающий отрезок Z_{21}^n

Соответствует нормальной составляющей реакции R_{21}^n .

Суммарная реакция кривошипа на шатун:

$$\vec{R}_{21} = \vec{R}_{21}^r + \vec{R}_{21}^n$$

Замерами определяем длины отрезков и соответствующие им реакции:

$$Z_{21}^n = \quad \text{мм}; \quad R_{21}^n = Z_{21}^n \cdot K_F = \quad \text{Н};$$

$$Z_{21} = \quad \text{мм}; \quad R_{21} = Z_{21} \cdot K_F = \quad \text{Н};$$

$$Z_{23} = \quad \text{мм}; \quad R_{23} = Z_{23} \cdot K_F = \quad \text{Н};$$

$$Z_{34} = \quad \text{мм}; \quad R_{34} = Z_{34} \cdot K_F = \quad \text{Н}.$$

R_{21} - реакция кривошипа на шатун;

R_{23} - реакция поршня на шатун;

R_{34} - реакция со стороны стойки на поршень.

Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата	

7. Определение уравновешивающего момента методом плана сил

Рассмотрим первичный механизм (кривошип) с приложенными к нему силами.

$$\vec{R}_{12} = -\vec{R}_{21} \quad \text{- реакция шатуна на кривошип.}$$

Уравнение равновесия кривошипа:

$$\vec{R}_{12} + \vec{R}_{14} = 0, \quad \text{где } \vec{R}_{14} \text{ - реакция со стороны стойки на кривошип.}$$

$$R_{12} = \quad \text{Н.}$$

Уравнение моментов сил относительно точки O :

$$R_{12} \cdot h_{R_{12}} - M_y = 0,$$

Величина плеча $h_{R_{12}}$ действия силы R_{12} относительно точки O определяется со схемы основного механизма, выполненного в масштабе K_l .

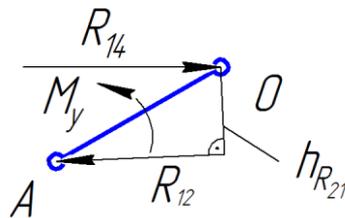


Рис.7

$$h_{R_{12}} = \quad \text{мм, определяется замером.}$$

Тогда $M_y = R_{12} \cdot h_{R_{12}} \cdot K_l = \quad = \quad \text{Нм}$ – это величина уравновешивающего момента, который должен быть приложен к кривошипу для обеспечения заданного закона его движения $\omega_1 = const$.

Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата	

8. Определение уравновешивающего момента методом жесткого рычага Жуковского

На повернутый на 90° план скоростей в соответствующих точках прикладываются активные силы F_C , G_2 , G_3 , силы инерции P_{u2} и P_{u3} , а в точке a – уравновешивающая сила P_y , направленная перпендикулярно отрезку oa по направлению вращения кривошипа.

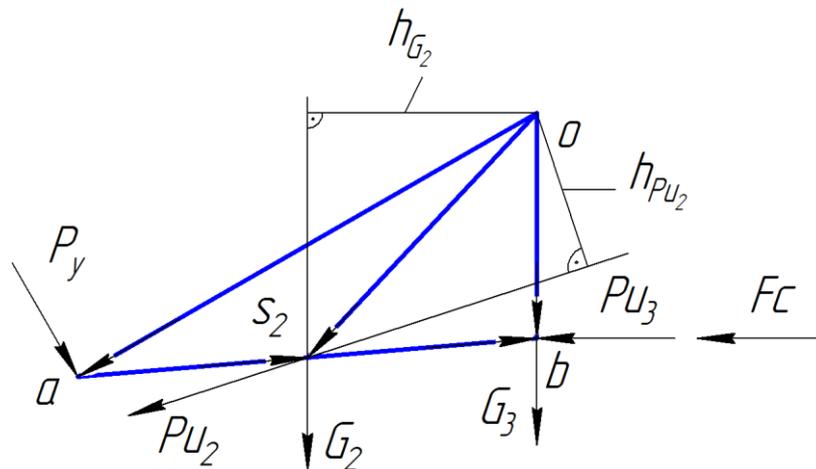


Рис.8

Уравнение моментов относительно полюса плана скоростей – точки o :

$$\Sigma m_o = P_y \cdot oa + P_{u2} \cdot h_{Pu2} + G_2 \cdot h_{G2} - (P_{u3} + F_C) \cdot ob = 0$$

Замерами определим плечи;

$$h_{G2} = \quad \text{мм}; \text{ и } h_{Pu2} = \quad \text{мм и определим величину}$$

уравновешивающей силы:

$$P_y = \frac{(P_{u3} + F_C) \cdot ob + P_{u2} \cdot h_{Pu2} - G_2 \cdot h_{G2}}{oa} =$$

$$= \quad \text{Н.}$$

Величина уравновешивающего момента определенная методом

$$\text{Жуковского: } M_y^{\text{Ж}} = P_y \cdot l_1 = \quad \text{Нм.}$$

Погрешность определения уравновешивающего момента различными способами составляет

$$\delta = \frac{M_y^{\text{Ж}} - M_y}{M_y^{\text{Ж}}} \cdot 100\% =$$

Изм.	Лит.	№ докум.	Подпись	Дата	

