

2 Кінематичне дослідження та силовий аналіз важільного механізму

- Вхідні параметри :
- коефіцієнт зміни швидкості руху ланки 10 $R = 1,8$;
 - сила корисного опору $P_C = 5,8$ кН ;
 - кутова координата силового розрахунку $\varphi_8 = 200^\circ$;
 - хід повзуна 12 $\ell_{12} = 500$ мм;
 - частота обертання валу 8 $n_8 = 195$ хв⁻¹;
 - розміри за рисунком $\ell = 480$ мм, $X = 450$ мм;
 - відношення $BC/OB, BS_{11}/BC.$ $\lambda_1 = 0,7, m_{12} = 40$ кг.;

2.1 Структурний аналіз механізму

Визначаємо рухомість механізму за формулою Чебишова (рисунок 2.1)

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

де $n=5$ – число рухомих ланок (8 – кривошип OB , 9 - повзун 10 – коромисло AB , 10 – шатун BC , 11 – повзун); $p_1=7$ – число кінематичних пар 5го класу; $p_2=0$ – число кінематичних пар 4го класу.

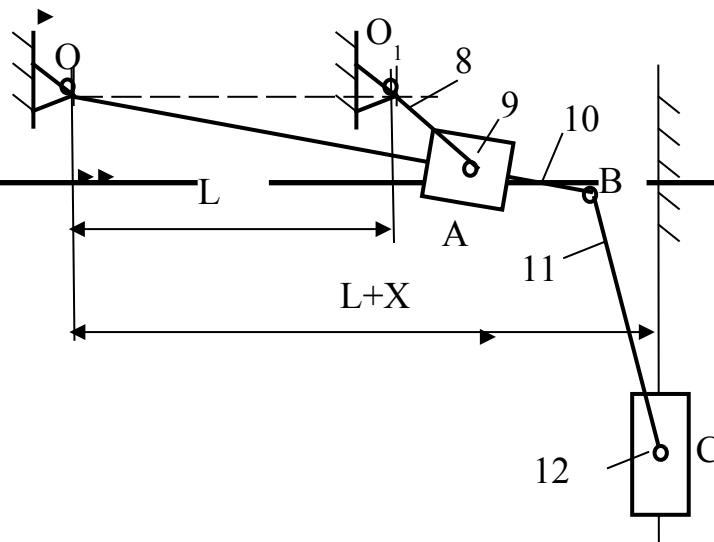


Рисунок 2.1.- Кінематична схема стругального верстата

Структурна формула механізму

$$I_1(0 - 8) + II_3(9 - 10) + II_2(11 - 12).$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Побудова планів механізму та циклограма руху.

Будуємо крайні положення механізму, враховуючи,

$$\psi = 180^\circ \cdot \frac{R-1}{R+1} = 180^\circ \cdot \frac{1,4-1}{1,4+1} = 30^\circ;$$

$$\lambda_1 = BC/OB,$$

$$0,7 = BC/181,$$

$$BC = 222 \cdot 0,7 = 155,4 \text{ мм},$$

$$\lambda_2 = BS_{11}/BC,$$

$$0,5 = BS_{11}/222,$$

$$BS_{11} = 0,5 \cdot 222 = 111 \text{ мм}.$$

Масштабний коефіцієнт довжини

$$\mu_\ell = \frac{\ell_8}{O_1A_0} = \frac{0,17}{70,8} = 0,0024 \frac{\text{м}}{\text{мм}};$$

$$\ell_{10} = B_0S_{10} \cdot \mu_\ell = 181 \cdot 0,0024 = 0,4344 \text{ м},$$

$$\ell_{11} = B_0C \cdot \mu_\ell = 222 \cdot 0,0024 = 0,5328 \text{ м}.$$

Розміри ланок якими креслимо механізм помістимо у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1.- Розміри ланок механізму

Ланки	ℓ_8	OB	ℓ_{11}	$\ell_{BS_{11}}$	X	ℓ	ℓ_{12}
$\ell_{i,\text{м}}$	0,17	0,4344	0,5328	0,2664	0,45	0,48	05
$\ell_{i,\text{мм}}$	70,8	181	222	111	187,5	200	208,3

Складемо циклограму руху ланок механізму

Кут φ_8	Град.	0 -- 150	150 -- 360
Цикл	--	Холостий хід	Робочій хід
Сила P	кН	$P_C = 0$	$P_C = 5$

2.3 Побудова планів швидкостей механізму

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розраховуємо швидкість точки А за формулою

$$V_A = \omega_8 \cdot \ell_8 = 20,558 \cdot 0,1344 = 2,763 \frac{м}{с}; \quad \vec{V}_A \perp AO_1.$$

де $\omega_8 = \frac{\pi \cdot n_k}{30} = \frac{3,14 \cdot 195}{30} = 20,558 c^{-1}$ - кутова швидкість кривошипу

Масштабний коефіцієнт швидкості

$$\mu_V = \frac{V_A}{p_V a} = \frac{2,763}{55} = 0,05 \frac{м \cdot c^{-1}}{мм}.$$

Швидкість точки А розкладаємо за рівнянням

$$\frac{\vec{V}_{A10}}{\perp O_1 A} = \frac{\vec{V}_{A8}}{\perp O_1 A} + \frac{\vec{V}_{A10A9}}{\parallel BO},$$

$$\frac{\vec{V}_{A10}}{= 0} = \frac{\vec{V}_O}{\perp BO} + \frac{\vec{V}_{AO}}{\perp BO}.$$

Точку В на плані знаходимо за теоремою подібності

$$BO / AO = p_{VB} / p_{VA10};$$

$$p_{VB} = BO * p_{VA10} / AO = 28 * 140 / 80 = 48 \text{ мм}.$$

Точку С знаходимо за векторним рівнянням

$$\frac{\vec{V}_C}{\parallel y - y} = \frac{\vec{V}_B}{\oplus} + \frac{\vec{V}_{BC}}{\perp BC};$$

Точки S₁₀, S₁₁ знаходимо за подібністю

$$bs_{11} = \lambda_2 * bc = 0,5 * 16 = 8,0 \text{ мм}; \quad p_{VS10} = 0,5 * p_{VB10} = 0,5 * 48 = 24 \text{ мм}.$$

З планів швидкостей за допомогою масштабного коефіцієнту знаходимо швидкості інших точок та ланок, наприклад:

$$V_B = p_{VB} * \mu_V = 48 * 0,05 = 2,88 \text{ м/с},$$

$$V_{A10} = p_{VA10} * \mu_V = 42 * 0,05 = 2,52 \text{ м/с},$$

$$V_C = p_{VC} * \mu_V = 56 * 0,05 = 3,36 \text{ м/с},$$

$$V_{S10} = p_{VS10} * \mu_V = 24 * 0,05 = 1,44 \text{ м/с}.$$

Результати розрахунків швидкостей заносимо в таблицю 2.2

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат					

Таблиця 2.2 – Швидкості точок механізму

φ	Од. вим	0,12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
p_{va10}	мм	0	28	50	51	26	55	28	45	52,5	53	44	26
V_{a10}	м/с	0	1,4	2,5	2,55	1,4	2,75	1,4	2,25	2,65	2,65	2,2	1,3
p_{vs10}	мм	0	61	69	76	61	53	44	42	39	40	44	62
V_{s10}	м/с	0	3,05	3,45	3,5	3,05	2,65	2,2	2,1	2,95	2,0	2,2	2,6
p_{vb}	мм	0	124	139	140	123	104	89	84	80	79	84	92
V_b	м/с	0	6,2	6,92	7,0	6,15	5,2	4,45	4,2	4,0	3,95	4,2	4,6
p_{vc}	мм	0	115	135	139	139	0	91	83	70	71	81	87
V_c	м/с	0	5,75	6,75	6,95	6,95	0	4,55	4,15	3,95	3,85	4,05	4,35
p_{vs11}	мм	0	119	135	139	139	0	90	83,5	80	78,5	83	83
V_{s11}	м/с	0	5,95	6,85	6,95	6,95	0	4,5	4,175	4,0	3,97	4,15	4,45
a_{8a10}	мм	55	47	20	20	47	55	47	32	11	13	32	48
V_{a8a10}	м/с	2,35	1	1	2,35	2,75	2,35	1,6	1,55	0,55	0,65	1,6	2,4
bc	мм	0	29	14	15	30	31	30	15	6	5	35	22
V_{bc}	м/с	0	1,45	0,7	0,75	5,5	1,55	1,5	0,75	0,3	0,25	1,75	1,1
ω_8	c^{-1}	20,558	20,558	20,558	20,558	20,558	20,558	20,558	20,558	20,558	20,558	20,558	20,558
ω_{10}	c^{-1}	0	1,64	0,79	0,84	6,2	1,8	1,69	0,84	0,34	0,28	1,97	
ω_{11}	c^{-1}	0	10,9	12,8	13,1	13,1	0	8,6	7,8	7,5	7,3	7,7	8,2

Кутові швидкості розраховуємо за наступними формулами;

$$\omega_{10} = \frac{V_B}{\ell_{OB}} = \frac{2,88}{0,886} = 3,25c^{-1},$$

$$\omega_{11} = \frac{V_{BC}}{\ell_{BC}} = \frac{4,25}{0,528} = 8,05c^{-1},$$

Розрахунки кутових швидкостей заносимо до таблиці 2.2.

2.4 Побудова планів прискорень механізму

Розраховуємо прискорення точки А за формулою

$$a^n_{A8} = \omega_8^2 \cdot \ell_8 = 20,558^2 \cdot 0,1344 = 56,8 \frac{M}{c^{-2}}; \quad \bar{a}_A \text{ ПАО.}$$

Масштабний коефіцієнт прискорень

$$\mu_a = \frac{a_{A8}}{p_{A8}} = \frac{56,8}{113,6} = 0,5 \frac{M \cdot c^{-2}}{мм}.$$

для заданого положення $\varphi_8 = 200^\circ$, визначаємо прискорення точок A_{10} , A_{A8A9} .

$$\overline{a^n_{A10}} + \overline{a^t_{A10}} = \overline{a^n_{A8}} + \overline{a^n_{A8A9}} + \overline{a^{kop}_{A8A9}};$$

ПАО \perp ОА

$$a^n_{A10} = \omega_{10}^2 * OA * \mu_e = 3,51^2 * 237 * 0,0024 = 7,0 \frac{M}{c^2};$$

$$p_v a_{10} = \frac{a^n_{A10}}{\mu_a} = \frac{7,0}{0,5} = 14,0 \text{ мм};$$

$$a^{kop}_{A8A9} = 2 * \omega_{10} * V_{A8A10} = 2 * 3,51 * 0,05 = 12,6 \frac{M}{c^2};$$

$$\bar{a}^{kop}_{A8A9} = \frac{a^{kop}_{A8A9}}{\mu_a} = \frac{12,6}{0,5} = 25,2 \text{ мм.}$$

Точку В на плані знаходимо за теоремою подібності

$$BO / AO = p_{aB} / p_{aA10};$$

$$p_{aB} = BO * p_{aA10} / AO = 92 * 117 / 237 = 43,3 \text{ мм.}$$

Прискорення точки С за рівнянням

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{\bar{a}_c}{\Pi y - y} = \frac{\bar{a}_b}{\oplus} + \frac{\bar{a}_{cb}^n}{\Pi CB} + \frac{\bar{a}_{cb}^t}{\perp CB};$$

$$a_{cb}^n = \omega_{11}^2 \cdot \ell_{cb} = 0,76^2 \cdot 220 \cdot 0,0024 = 0,4 \frac{M}{c^2};$$

$$\frac{\bar{a}_{cb}^n}{\mu_a} = \frac{a_{cb}^n}{0,5} = \frac{0,4}{0,5} = 0,6 \text{ мм.}$$

Точки центрів мас S_{10} , S_{11} на плані прискорень знаходимо за подібністю.

Результати розрахунків зводимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Прискорення точок механізму

φ , град.	a_{A8}^n	a_{A10}^n	a_{A10}^r	a_{A10}	a_{A8A9}^{kop}	a_{A8A9}	a_B	a_{CB}^n	a_{CB}^r	a_{S10}	a_{S11}	a_C
0	56,8	0	23,5	23,5	0	12,8	48,6	0	5,8	25,8	52,3	56,4
200	56,8	7,0	27,0	27,9	12,6	35,6	21,6	0,4	42	42	84	83

Де кутові прискорення ланок механізму визначаємо за формулами

$$\varepsilon_{10} = \frac{a_{A10}^r}{\ell_{AO}} = \frac{27}{0,1344} = 209,82 c^{-2};$$

$$\varepsilon_{11} = \frac{a_{BC}^r}{\ell_{BC}} = \frac{42}{0,5328} = 78,83 c^{-2}.$$

2.5 Розрахунки сил, які діють на ланки механізму

Маси ланок $m_i = 150 \cdot \ell_i$

$$m_8 = 150 \cdot 0,17 = 25,5 \text{ кг,}$$

$$m_{10} = 150 \cdot 0,1344 = 20,1 \text{ кг,}$$

$$m_{11} = 150 \cdot 0,5328 = 40 \text{ кг.}$$

$$m_{12} = 40 \text{ кг.}$$

Сили ваги $G_i = m g$,

$$G_8 = 250,1 \text{ Н; } G_{10} = 392,4 \text{ Н; } G_{11} = 392,4 \text{ Н; } G_{12} = 392,4 \text{ Н.}$$

												Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								

$$g \approx 9,81 \frac{M}{c^2}.$$

Сили інерції ланок

$$P_{И10} = m_{10} * a_{s10} = 20,1 * 84 = 1680 \text{ Н};$$

$$P_{И11} = m_{11} * a_{s11} = 40 * 84 = 3360 \text{ Н}.$$

$$P_{И12} = m_{12} * a_c = 40 * 83 = 3320 \text{ Н}.$$

Центральні моменти інерції

$$I_i = 0,1 \cdot m_i \cdot \ell_i^2$$

$$I_8 = 0,1 \cdot 25,5 \cdot 0,17^2 = 0,074 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$I_{10} = 0,1 \cdot 54,3 \cdot 0,362^2 = 0,71 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$I_{11} = 0,1 \cdot 38,1 \cdot 0,254^2 = 0,24 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Моменти сил інерції ланок

$$M_{u10} = \varepsilon_{10} \cdot I_{10} = 209,82 \cdot 0,71 = 148,9 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{u11} = \varepsilon_{11} \cdot I_{11} = 78,83 \cdot 0,24 = 18,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пари сил моментів інерції, якщо за плече приймаємо довжину ланки

$$P'_{u10} = P''_{u10} = \frac{M_{u10}}{\ell_{10}} = \frac{148,9}{0,1344} = 1107,9 \text{ Н};$$

$$P'_{u11} = P''_{u11} = \frac{M_{u11}}{\ell_{11}} = \frac{18,9}{0,5328} = 35,5 \text{ Н}.$$

2.6 Силовий аналіз методом планів сил.

Структурна група 12-11 на цій групі діють такі сили;

$$G_{11} = 392,4 \text{ Н}; \quad P_{И11} = 3360 \text{ Н}; \quad P_C = 964,3 \text{ Н};$$

$$P'_{И11} = P''_{И11} = 35,5 \text{ Н}. \quad G_{12} = 392,4 \text{ Н}. \quad P_{И12} = 3320 \text{ Н}.$$

Рівняння рівноваги Даламбера групи 12-11 $\sum \bar{P}_i = 0;$

						Арк.
						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\bar{R}_{10-11}^n + \bar{R}_{10-11}^t + \bar{G}_{11} + \bar{P}_{u11} + \bar{P}_C + \bar{R}_{0-12} + \bar{G}_{12} = 0;$$

Записуємо суму моментів сил відносно точки С

$$\sum M_C(F) = 0; \quad + R_{10-11}^t \cdot BC + P_{u11}' \cdot BC + P_{u11} \cdot h_2 - G_{11} \cdot h_1 = 0;$$

$$- R_{10-11}^t = \frac{P_{u11}' \cdot BC + P_{u11} \cdot h_2 - G_{11} \cdot h_1}{BC} = \frac{35,5 \cdot 157 + 3360 \cdot 28 - 392,4 \cdot 22}{157} = 579,7 \text{ Н.}$$

Будуємо план сил групи 12 – 11 використовуючи масштабний коефіцієнт

$$\mu_p = \frac{P_{и11}}{\bar{P}_{и11}} = \frac{3360}{112} = 30 \text{ Н / мм.}$$

Вектори сил заносимо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. Сили групи 11 - 12

Сила	\bar{R}_{10-11}^t	R_{10-11}^n	G_{11}	$P_{и11}$	R_{10-11}	P_C	R_{0-12}	R_{11-12}	G_{12}	$P_{и12}$
$P_i, \text{Н}$	579,7	4800	392,4	3360	4860	964,3	1530	2010	392,4	3320
$\bar{P}_i, \text{мм}$	19,3	160	13	112	162	32,1	51	67	13	110,7

З плану сил знаходимо:

$$R_{10-11} = \bar{R}_{10-11} \cdot \mu_p = 162 \cdot 30 = 4860 \text{ Н.}$$

$$R_{11-12} = \bar{R}_{11-12} \cdot \mu_p = 67 \cdot 30 = 2010 \text{ Н.}$$

$$R_{0-12} = \bar{R}_{0-12} \cdot \mu_p = 51 \cdot 30 = 1530 \text{ Н.}$$

Структурна група 10-9 на цій групі діють сили;

$$G_{10} = 392,4 \text{ Н}; \quad P_{и10} = 1680 \text{ Н}; \quad P'_{и10} = P''_{и10} = 1107,9 \text{ Н}; \quad R_{10-11} = 4860 \text{ Н.}$$

Рівняння рівноваги Даламбера групи 10-9 $\sum \bar{P}_i = 0$

$$\bar{R}_{8-9} + \bar{G}_{10} + \bar{P}_{и10} + \bar{R}_{0-10}^n + \bar{R}_{0-10}^r + \bar{R}_{11-10} = 0.;$$

Записуємо суму моментів сил відносно точки О

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

$$\sum M_O(F) = 0; \quad R_{8-9} \cdot AO + P'_{H10} \cdot \ell_{10} - R_{11-10} \cdot h_3 + P_{H10} \cdot h_2 + G_{10} \cdot h_1 = 0;$$

$$R_{8-9} = \frac{-P'_{H10} \cdot \ell_{10} + R_{11-10} \cdot h_3 - P_{H10} \cdot h_2 - G_{10} \cdot h_1}{AO} =$$

$$\frac{-1107,9 \cdot 182 + 4860 \cdot 142 - 1680 \cdot 89 - 392,4 \cdot 86}{145} = 2104,9 \text{ Н.}$$

Будуємо план сил групи 10 – 9 використовуючи масштабний коефіцієнт

$$\mu_{P_{10-9}} = \frac{R_{8-9}}{\bar{R}_{8-9}} = \frac{2104,9}{70,1} = 30 \text{ Н / мм.}$$

Вектори сил заносимо до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5. Сили групи 10 - 9

СИЛА	G_{10}	P_{H10}	R_{8-9}	R_{10-11}	P'_{u10}	R_{0-10}	R_{9-10}
P_i , Н	392,4	1680	2104,9	4860	1107,9	2610	2104,9
\bar{P}_i , мм	13	56	70,1	162	36,9	87	70,1

З плану сил знаходимо:

$$R_{0-10} = \bar{R}_{0-10} \cdot \mu_{P_{10-9}} = 87 \cdot 30 = 2610 \text{ Н.}$$

Початковий механізм 0-8

На початковому механізмі діють сили;

$$G_8 = 250,1 \text{ Н}; \quad R_{8-9} = 2104,9 \text{ Н}; \quad R_{0-8} = ? \text{ Н.}$$

Записуємо суму моментів сил відносно точки O_1 .

$$\sum M_{O_1}(8) = 0; \quad -P_{3p} \cdot \bar{r}_{b5} + R_{9-8} \cdot h_1 = 0,$$

$$P_{3p} = \frac{R_{9-8} \cdot h_1}{r_{b5}} = \frac{2104,9 \cdot 64}{28,125} = 4966,4 \text{ Н.}$$

Зрівноважувальний момент

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$P_{3P}^{\text{ж}} = (P_{И10} * h_8 - P_{N11} * h_{10} + P_C * p_{VC} - G_{11} * h_9 + P'_{N10} * p_{VC} + P'_{N11} * bc + G_{12} * p_{VC} + P_{12} * p_{VC} - G_{10} * h_7) / p_{va8} =$$

$$(1680 * 31 - 3360 * 32 - 964,3 * 50 - 392,4 * 24 - 1107,9 * 29 + 35,5 * 102 + 392,4 * 50 + 3320 * 50 - 392,4 * 32) / 55 = 4818,2 \text{ Н.}$$

Визначаємо величину зрівноважувального моментів сил

$$M_{3P}^{\text{ж}} = P_{3P}^{\text{ж}} * \ell_8 = 4818,2 * 0,03055 = 147,2 \text{ Нм}$$

Визначаємо відносну помилку зрівноважувального моменту сил

$$\Delta M_{3P} = 100\% * (M_{3P}^{\text{ж}} - M_{3P}) / M_{3P} = (147,2 - 151,7) / 151,7 = 2,97 \%$$

Помилка менше допустимої в 5%.