

Шерстобитов Юрий Антонович, Студент,
Санкт-Петербургский Горный Университет императрицы Екатерины II
Sherstobitov Yuri Antonovich,
St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РЕЗЦА DYNAMIC ANALYSIS OF THE MECHANISM OF MOVEMENT OF THE CUTTER

Аннотация. В данной статье при помощи построения динамических диаграмм даётся заключение по закону движения ведущего звена механизма перемещения резца после установки маховика в соответствии с условиями эксплуатации.

Abstract. In this article, using the construction of dynamic diagrams, a conclusion is given on the law of motion of the leading link of the cutter movement mechanism after installing the flywheel in accordance with the operating conditions.

Ключевые слова: Динамический анализ, приведенный момент, петля Виттенбауэра, момент инерции, механизм перемещения резца.

Keywords: Dynamic analysis, reduced moment, Wittenbauer loop, moment of inertia, mechanism of movement of the cutter.

Исследуемый механизм изображен на рис.1.

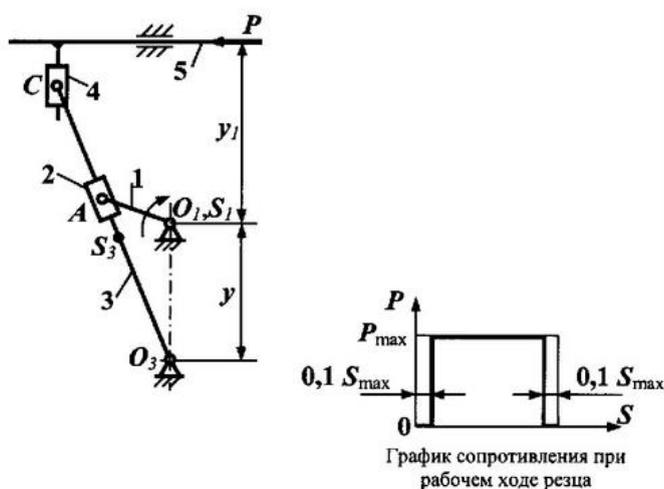


Рисунок 1 – Механизм перемещения резца

Построение диаграммы зависимости момента сопротивления от угла поворота:

Приведённой силой называется сила, мгновенная мощность которой равна сумме мгновенных мощностей, приложенных к механизму сил, в заданном положении:

$$P_{np} = M_c \cdot \omega_1, \quad (1)$$

где M_c – приведённый момент сопротивления.

Запишем уравнение для определения приведённой силы механизма:

$$P_{мех} = G_3 \cdot V_{S3} \cdot \cos \alpha + G_5 \cdot V_{S5} \cdot \cos \gamma + P \cdot V_{C3} \cdot \cos \beta, \quad (2)$$

где α – угол между векторами V_{S3} и G_3 ;

β – угол между векторами P и V_{C3} (при рабочем ходе равен 180° , при холостом – 0°);

γ – угол между векторами V_{S5} и G_5 , $\gamma = 90^\circ$;



P – сила полезных сопротивлений (при рабочем ходе резца равна 6000 Н, при холостом ходе – 0 Н).

Из формул (1) и (2) выражаем приведённый момент сопротивления и получаем:

$$M_c = \frac{I}{\omega_l} (G_3 \cdot V_{S3} \cdot \cos \alpha + P \cdot V_{C3} \cdot \cos \beta). \quad (3)$$

Данные для всех положений приведены в таблице 1.

Таблица 1

Приведённые моменты сопротивлений

№ пол.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
V_{S3} , м/с	0,71	1,11	1,29	1,31	1,12	0,73	0,03	1,04	2,08	2,36	1,07	0
V_{C3} , м/с	1,39	2,20	2,57	2,58	2,21	1,42	0,05	2,02	4,14	4,71	2,09	0
G_3 , Н	1765,8	1765,8	1765,8	1765,8	1765,8	1765,8	1765,8	1765,8	1765,8	1765,8	1765,8	1765,8
G_5 , Н	3924	3924	3924	3924	3924	3924	3924	3924	3924	3924	3924	3924
P , Н	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	0	0	0	0	0
α , град	103,6	99,1	93,233	86,95	81,067	76,5	74,533	103,16 7	95,47	84,85	77	0
β_3 , град	180	180	180	180	180	180	180	0	0	0	0	0
M_c , Нм	-574,14	-898,94	-1037,67	-1023,21	-864,65	-547,63	-20,57	-27,76	-23,31	24,99	28,39	0

По полученным приведённым моментам сопротивлений строим диаграмму в зависимости от угла поворота ведущего звена (рис. 2).

Коэффициент моментов сопротивлений $\mu_M = 10 \text{ Нм/мм}$, коэффициент угла поворота ведущего звена $\mu_\phi = 0,02617 \text{ рад/мм}$.

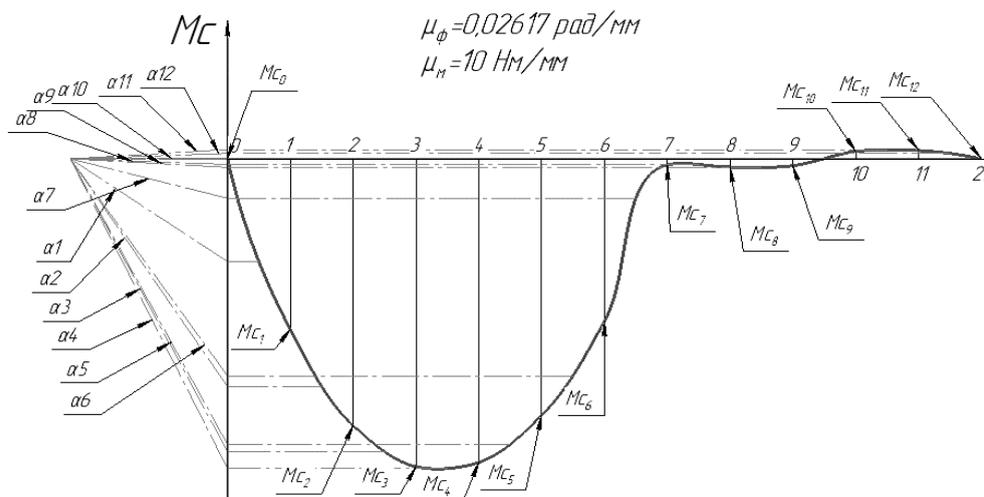


Рисунок 2 – Диаграмма зависимости момента от угла поворота ведущего звена



Построение диаграмм работ сил сопротивления, движущих сил, диаграмм моментов движущих сил и приращения кинетической энергии:

При помощи диаграммы зависимости момента от угла поворота ведущего звена и путём графического интегрирования строится диаграмма работ сил сопротивления в зависимости от угла поворота ведущего звена (рис. 3) [1].

Коэффициент сил сопротивления $\mu_A = 13,085 \text{ Нм/мм}$, коэффициент угла поворота ведущего звена $\mu_\varphi = 0,02617 \text{ рад/мм}$.

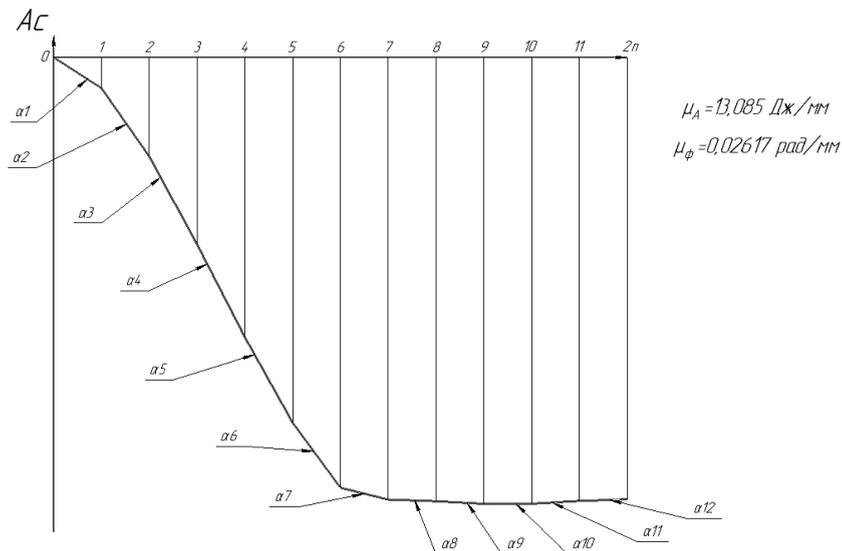


Рисунок 3 – Диаграмма зависимости работ сил сопротивления от угла поворота ведущего звена

На данной диаграмме соединяем начало и конец и получаем диаграмму работ движущих сил в зависимости от угла поворота ведущего звена (рис. 4).

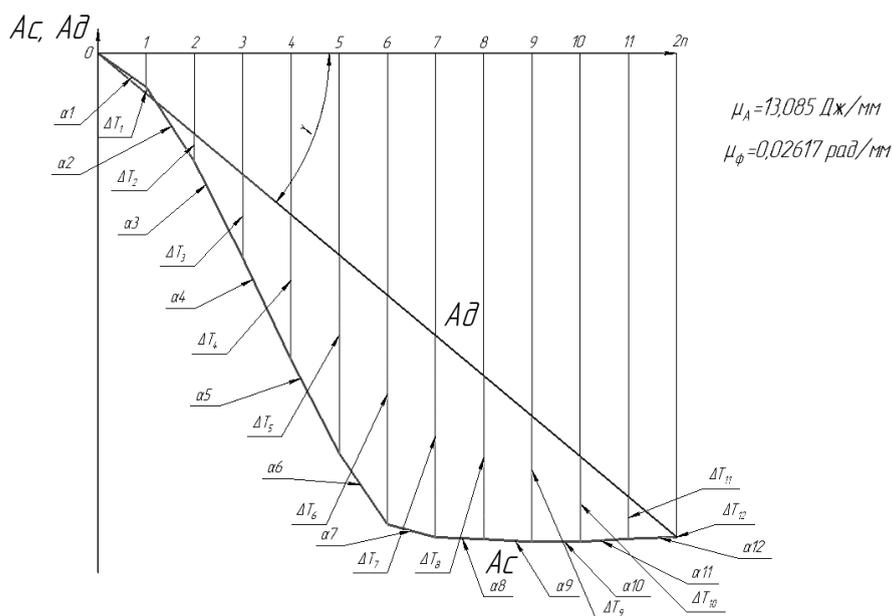


Рисунок 4 – Диаграмма зависимости работ движущих сил от угла поворота ведущего звена



Далее методом графического дифференцирования строим диаграмму моментов движущих сил в зависимости от угла поворота ведущего звена (рис.5).

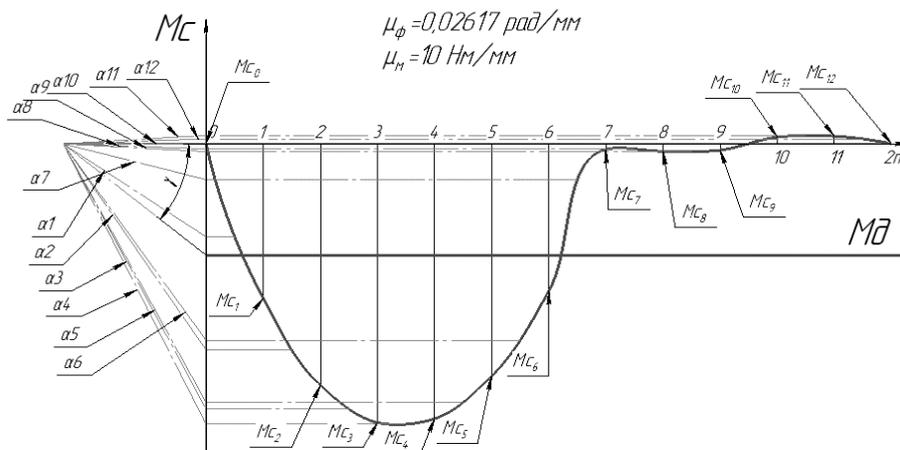


Рисунок 5 – Диаграмма зависимости моментов движущих сил от угла поворота ведущего звена

Далее используем формулу приращения кинетической энергии:

$$\Delta T = A_g - A_c. \quad (4)$$

Строим диаграмму приращения кинетической энергии в зависимости от угла поворота ведущего звена (рис. 6). Коэффициент сил сопротивления $\mu_A = 13,085 \text{ Нм/мм}$, коэффициент угла поворота ведущего звена $\mu_\phi = 0,02617 \text{ рад/мм}$.

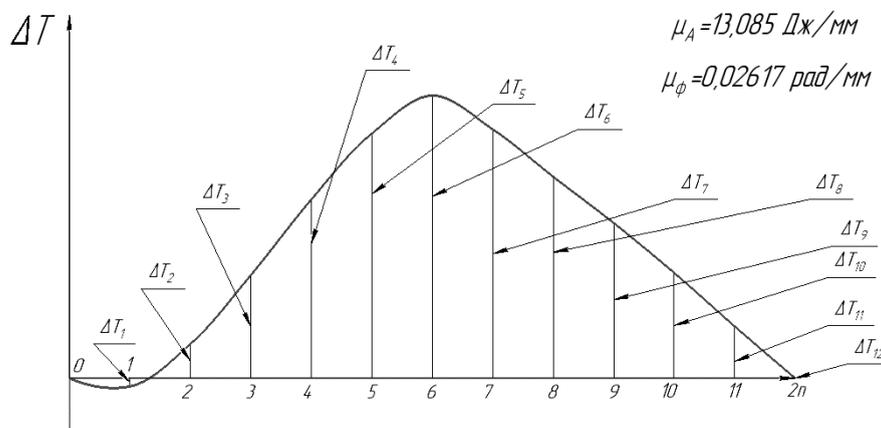


Рисунок 6 – Диаграмма зависимости приращения кинетической энергии от угла поворота ведущего звена

Построение диаграмм приведённых моментов инерций и энергомасс:

Приведённым моментом инерции называется момент инерции условного тела, вращающегося вместе со звеном приведения, кинетическая энергия которого равна сумме кинетических энергий всех звеньев механизма в заданном положении.

Приведённая масса – условная масса, сосредоточенная на звене приведения, кинетическая энергия которой равна сумме кинетических энергий всех звеньев механизма в заданном положении.



Формула общего приведённого момента инерции:

$$J_{np} = \frac{I}{\omega_1^2} \sum_{i=1}^n (m_i \cdot V_{Si}^2 + J_{Si} \cdot \omega_i^2). \quad (5)$$

Формула приведённого момента инерции для нашего механизма:

$$J_{np} = \frac{I}{\omega_1^2} (J_{01} \cdot \omega_1^2 + m_3 \cdot V_{S3}^2 + J_{S3} \cdot \omega_3^2 + m_5 \cdot V_{S5}^2). \quad (6)$$

Приведённые моменты инерции для всех положений механизма представлены в таблице 2.

Таблица 2

Приведённые моменты инерций

№ положения	J _{np} , кгм ²
1	6,831703
2	12,86932
3	16,58133
4	16,71239
5	13,02632
6	7,026495
7	2,806045
8	11,32345
9	38,43558
10	49,07372
11	11,95018
12	2,8

Затем строим диаграмму приведённых моментов инерции в зависимости от угла поворота ведущего звена (рис. 7). Коэффициент приведённого момента инерции $\mu_J = 0,25 \text{ кгм}^2/\text{мм}$, коэффициент угла поворота ведущего звена $\mu_\varphi = 0,02617 \text{ рад}/\text{мм}$.

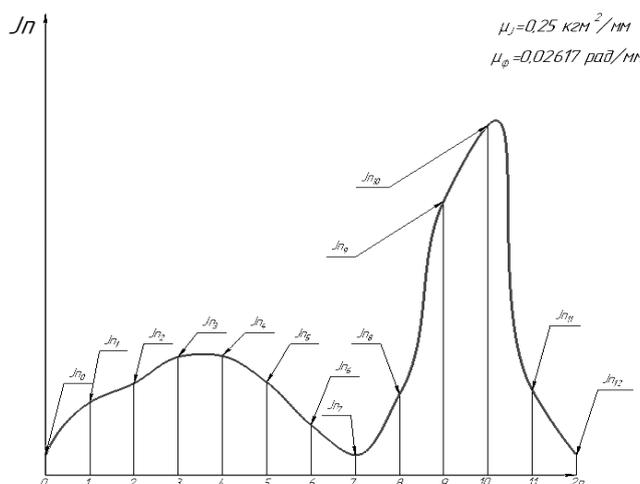


Рисунок 7 – Диаграмма зависимости приведённого момента инерции от угла поворота ведущего звена



Путём исключения третьей координаты строим диаграмму энергомасс, также известную как «Петля Виттенбауэра» (рис. 8).

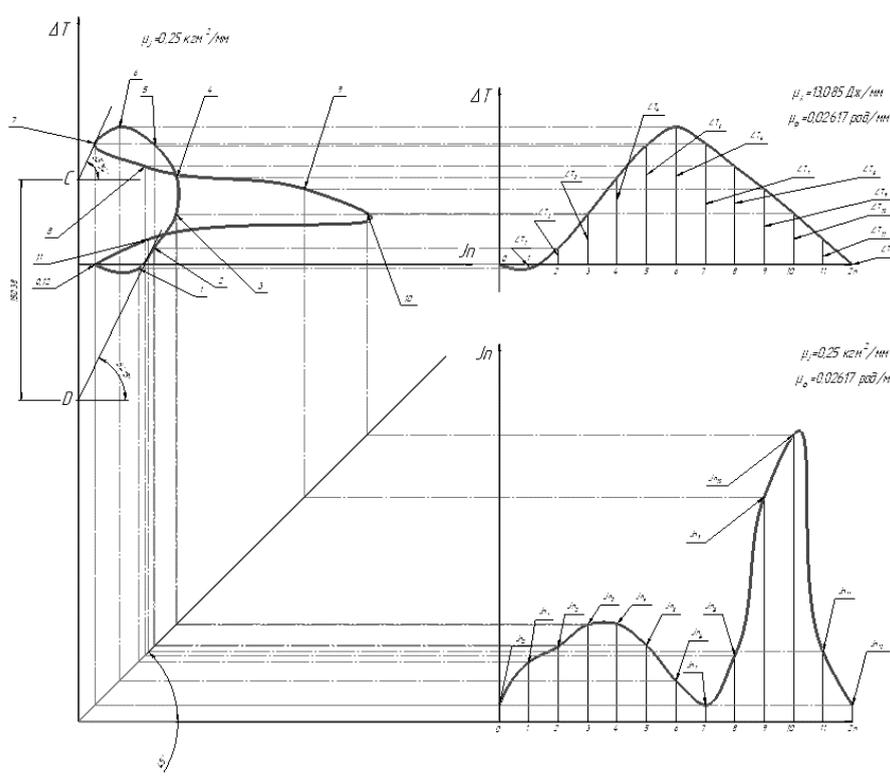


Рисунок 8 – Петля Виттенбауэра

Определение момента инерции маховика:

В зависимости от допускаемой величины коэффициента неравномерности хода машины определяется момент инерции маховика, подлежащего установлению на звено привода.

Для начала определим углы касательной к внешней кривой Виттенбауэра:

$$\tan(\psi_{max}) = \frac{\mu_J}{2\mu_A} \cdot \omega_1^2 \cdot (1 + \delta), \quad (7)$$

$$\tan(\psi_{max}) = \frac{0,25}{2 \cdot 13,085} \cdot 15^2 \cdot (1 + 0,04) = 2,23538,$$

$$\tan(\psi_{min}) = \frac{\mu_J}{2\mu_A} \cdot \omega_1^2 \cdot (1 - \delta), \quad (8)$$

$$\tan(\psi_{min}) = \frac{0,25}{2 \cdot 13,085} \cdot 15^2 \cdot (1 - 0,04) = 2,06343.$$

Из этих расчётов следует, что углы равны:

$$\psi_{max} = \tan^{-1}(\psi_{max}), \quad (9)$$

$$\psi_{max} = \tan^{-1}(2,23538) = 65,90^\circ,$$

$$\psi_{min} = \tan^{-1}(\psi_{min}), \quad (10)$$

$$\psi_{min} = \tan^{-1}(2,06343) = 64,14^\circ.$$

На диаграмме энергомасс проводим касательные под этими углами и получаем отрезок $CD = 150,38$ мм.

Находим момент инерции маховика:



$$J_{\max} = \frac{CD \cdot \mu_A}{\delta \cdot \omega_1^2}, \quad (11)$$
$$J_{\max} = \frac{150,38 \cdot 13,085}{0,04 \cdot 15^2} = 218,6 \text{ кгм}^2/\text{м}.$$

Список литературы:

1. ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН: Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов специальностей 170100 и 170300 / Санкт-Петербургский государственный горный ин-т. Сост.: А.В. Большунов, В.В. Денегин, Г.В. Соколова. СПб, 2005. 19 с.

