

## **РОЗРАХУНОК ПРОФІЛЮ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ОЦІНКА ТОВЩИНИ ЙОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЗНОШЕНОГО КУЛАЧКА РОЗПОДІЛЬНОГО ВАЛУ ДВИГУНУ КАМАЗ-740.10**

Рубцов М.О., к.т.н.

Лазуренко А.С., асп.<sup>1</sup>

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел/факс (0619) 42-20-74

***Анотація*** – роботу присвячено обґрунтуванню формули розрахунку для відновлення електроконтактним наварюванням металевих матеріалів та кількісній оцінці змінювання товщини покриття за периметром кулачка розподільного валу двигуну КАМАЗ-740.10. Результати досліджень дозволять забезпечити рівномірне ущільнення порошкового матеріалу за периметром напікання для отримання якісного покриття.

***Ключові слова*** - профіль кулачка, електрод-пуансон, математична залежність, криволінійна поверхня, товщина покриття.

*Постановка проблеми.* В результаті аналізу досліджень [1, 2] заключаємо, що при постійному порошковому матеріалі, властивості покриття, отриманих електроконтактним напіканням, визначаються за умовами ущільнення порошку й температури напікання.

При електроконтактному напіканні порошкових матеріалів електродом-пуансоном на криволінійну поверхню, рівномірність ущільнення, а, отже, і властивості одержуваного покриття за площею напікання, визначаються у відповідності з формою контактної поверхні електрода-Пуансона до формі відновлюваної поверхні деталі. Замітимо, що при напіканні, виконаному за формою поверхні, що відновлюється, товщина порошкового шару у вихідному положенні буде нерівномірною.

У зв'язку з вище зазначеним, нами було виконано визначення форми криволінійної контактної поверхні електрода-пуансона, яке повинне вирішуватися в кожному конкретному випадку виходячи з форми й розмірів поверхні, що відновлюється і товщини покриття.

*Аналіз останніх досліджень.* Дослідженнями авторів [2, 3] встановлено, що до 37 % розподільних валів двигунів ЗМЗ-53, а також валів двигунів КАМАЗ-740.10, що надійшли в ремонт, вибрако-

---

© к.т.н. Рубцов М.О., інженер.Лазуренко А.С.

<sup>1</sup> - науковий керівник к.т.н., доц. Смелов А.О.

вустється через зношування кулачків. В результаті аналізу технічного стану розподільних валів при їхньому надходженні в ремонт встановлено, що до 37% валів впускні й до 42% валів випускні кулачки мають зношування менше припустимого та не вимагають ремонтних впливів; до 26% валів впускні й до 33% валів випускні кулачки підлягають відновленню перешліфовкою на еквідистантний профіль; до 37% валів маючих хоча б один впускний кулачок і до 25% валів - хоча б один випускний кулачок зі зношуванням більше граничного, тобто підлягають відновленню металопокриттями. Кількість кулачків, що мають зношування більше граничного коливається від 1 доб.

*Формування цілей статті.* Метою даної роботи є обґрунтування та вибір математичної залежності для розрахунку форми контактної поверхні електрода-пуансона при електроконтактному напиканні кулачків розподільного валу двигуну КАМАЗ-740.10, що дозволить забезпечити рівномірне ущільнення порошкового матеріалу за периметром напикання, і допоможе отримувати якісні покриття у процесі електроконтактного напикання порошкових матеріалів на криволінійну поверхню кулачка.

*Основна частина.* Згідно аналізу зношень кулачків розподільних валів двигуну КАМАЗ-740.10 по дослідженням [3], на профілі зношеного кулачка було встановлено три характерні точки  $O(0; 0)$ ,  $A(9,16198009; 6,325)$ ,  $B(17,6; 25,6)$  (рис. 1).

Слід зазначити, що форми вершин кулачків, зношених на різну величину, не мають геометричної подібності. У початковий момент, при величині зношування до  $(0,5...0,6)10^{-3}$  м, найбільшому зношуванню піддається вершина кулачка з боку набігання. З ростом величини зношування ця зона починає поширюватися й на сторону вершини, що є збіжною. При величині зношування  $(1,2...1,5)10^{-3}$  м форма зношеної вершини практично симетрична.

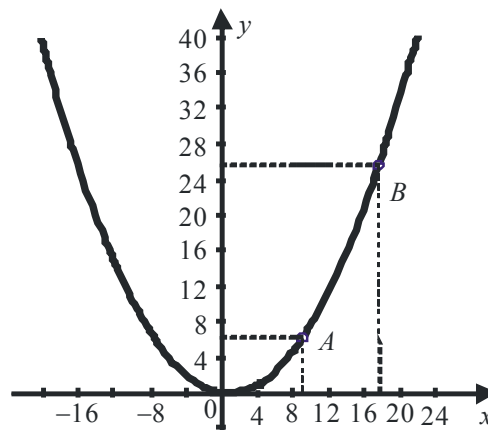


Рисунок 1 – Характерні точки зношення кулачків.

В [1] доведено, що профіль зношеного кулачка можна записати залежністю

$$y = a \cdot x^b. \quad (1)$$

Підставляючи в формулу (1) значення точок А і В отримаємо систему рівнянь

$$\begin{cases} 6,325 = a \cdot 9,16198009^b, \\ 25,6 = a \cdot 17,6^b. \end{cases}$$

Після розв'язання цієї системи отримаємо:  $a = 0,055069616$ ,  $b = 2,141550214$ , тобто залежність (1) прийме вигляд:

$$y = 0,055 \cdot x^{2,142}. \quad (2)$$

Аналізуючи залежність (2), можна зробити висновок, що вона близька до квадратичної.

Нами було запропоновано описувати профіль зношеного кулачка розподільного валу квадратичною залежністю

$$y = kx^2 + Lx + M. \quad (3)$$

Підставивши в залежність (3) координати точок О, А, В, матимемо:

$$\begin{cases} 0 = K \cdot 0^2 + L \cdot 0 + M, \\ 6,325 = K \cdot 9,16198009^2 + L \cdot 9,16199009 + M, \\ 25,6 = K \cdot 17,6^2 + L \cdot 17,6 + M. \end{cases}$$

Розв'язавши систему трьох лінійних рівнянь, отримаємо:  $K = 0,090565383$ ,  $L = -0,139405286$ ,  $M = 0$ . Підставивши ці коефіцієнти в (3), матимемо

$$y = 0,090565383x^2 - 0,139405286x. \quad (4)$$

Додатні значення  $y$  отримуємо при  $x \in (-\infty; 0) \cup (1,54; +\infty)$ . Тобто дана залежність має інтервал  $(0; 1,54)$ , де  $y < 0$ , що не підходить для досліджень.

Візьмемо для формули (3) п'ять точок:  $A(9,162; 6,325)$ ,  $B(17,6; 25,6)$ ,  $O(0; 0)$ ,  $A_1(-9,162; 6,325)$ ,  $B_1(-17,6; 25,6)$  і застосуємо метод найменших квадратів для визначення невідомих коефіцієнтів. Згідно цього метода:

$$S = \sum (y_i - Y)^2 \rightarrow \min \quad \text{або} \quad S = \sum (kx_i^2 + Lx_i + M - Y)^2 \rightarrow \min.$$

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial K} = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial L} = 0, \\ \frac{\partial S}{\partial M} = 0. \end{cases}$$

Одержали систему трьох лінійних рівнянь з трьома невідомими:  $K$ ,  $L$ ,  $M$ .

$$\begin{cases} K \sum_{i=1}^5 x_i^4 + L \sum_{i=1}^5 x_i^3 + M \sum_{i=1}^5 x_i^2 = \sum_{i=1}^5 Y_i x_i^2, \\ K \sum_{i=1}^5 x_i^3 + L \sum_{i=1}^5 x_i^2 + M \sum_{i=1}^5 x_i = \sum_{i=1}^5 Y_i x_i, \\ K \sum_{i=1}^5 x_i^2 + L \sum_{i=1}^5 x_i + M \cdot n = \sum_{i=1}^5 Y_i. \end{cases}$$

Складемо розрахункову таблицю 1.

Таблиця 1 – Розрахункові дані.

$n$	$x_i$	$Y_i$	$x_i Y_i$	$x_i^2$	$x_i^3$	$x_i^4$	$x_i^2 Y_i$
1	9,162	6,325	57,950	83,942	769,079	7046,300	530,935
2	17,6	25,6	450,56	309,76	5451,776	95951,258	7929,856
3	0	0	0	0	0	0	0
4	-9,162	6,325	-57,950	83,942	-769,079	7046,300	530,935
5	-17,6	25,6	-450,56	309,76	-5451,776	95951,258	7929,856
$\Sigma$	0	63,85	0	787,40	0	205995,12	16921,581

Підставивши значення сум в останню систему, матимемо

$$\begin{cases} 20,5995116 \cdot K + 0 \cdot L + 787,404 \cdot M = 16921,581, \\ 0 \cdot K + 787,404 \cdot L + 0 \cdot M = 0, \\ 787,404 \cdot K + 0 \cdot L + 5M = 63,85. \end{cases}$$

Розв'язавши цю систему, отримаємо:  $K = 0,083743082$ ;  $L = 0$ ;  $M = -0,41793572$ .

Отже,

$$y = 0,083743082x^2 - 0,41793572. \quad (5)$$

Додатні значення  $y$  отримуємо при

$x \in (-\infty; -2,23) \cup (2,23; +\infty)$ . Тобто дана залежність має інтервал  $(-2,23; 2,23)$ , де  $y < 0$ , що не підходить для досліджень.

Проаналізуємо ще три залежності виду  $y = Dx^2$ .

1) Якщо розглядувана парабола проходить через точку  $A(9,162; 6,325)$

$$D = \frac{6,325}{9,162^2} = 0,0775349427.$$

Тоді

$$y = 0,075349427x^2. \quad (6)$$

2) Якщо розглядувана парабола проходить через точку  $B(17,6; 25,6)$

$$D = \frac{25,6}{17,6^2} = 0,082644628.$$

Тоді

$$y = 0,082644628x^2. \quad (7)$$

3) Середнє значення коефіцієнта  $D$ , що знаходиться між точками  $A$  і  $B$ :

$$D = \frac{0,075349427 + 0,082644628}{2} = 0,078997028.$$

Тоді

$$y = 0,078997028x^2. \quad (8)$$

Всі отримані формули зведемо до таблиці з ціллю їх аналізу.

Таблиця 2 – Зведені дані.

№п/ п	Формула	$x = 0$	$x = 9,162$	$x = 17,6$	$\sum (y_i - Y)^2$
1	$y = 0,055 \cdot x^{2,1416}$	0	6,31773	25,57	0,00095
2	$y = 0,055x^2$	0	4,61682	17,04	76,246
3	$y = 0,090565383x^2 - 0,139405286x$	0	6,38	25,6	0,003025
4	$y = 0,083743082x^2 - 0,41793572$	0	6,61164	25,52	0,08853
5	$y = 0,83743082x^2$	0	7,02958	25,94	0,612033
6	$y = 0,75349427x^2$	0	6,325	23,34	5,1065
7	$y = 0,082644628x^2$	0	6,9374	25,6	0,375
8	$y = 0,078997028x^2$	0	6,631	24,47	1,3703

Аналізуючи одержані залежності, вважаємо, що базовою є залежність  $y = 0,055 \cdot x^{2,142}$ , оскільки вона має найменше відхилення в розрахункових точках. Для цього порівнюємо її площу з площею, яку дають криві 3, 4 і 7 на ділянці  $[0; 17; 6]$  (ці криві мають найкращі оціночні результати) (рис. 2).

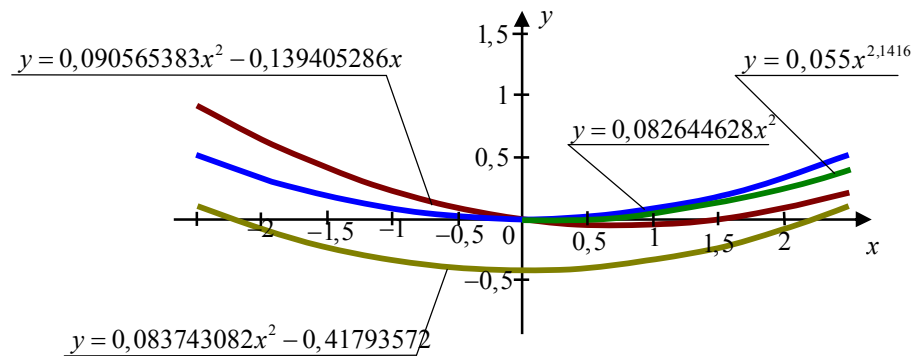


Рисунок 2 – Розташування кривих біля початку координат.

$$S_1 = \int_0^{17,6} 0,055069616 \cdot x^{2,141550214} dx = 0,055069616 \cdot \frac{x^{3,141550214}}{3,141550214} \Big|_0^{17,6} = 143,4196408$$

$$S_2 = \int_0^{17,6} (0,090565383x^2 - 0,139405286x) dx = \left( 0,090565383 \cdot \frac{x^3}{3} - 0,139405286 \cdot \frac{x^2}{2} \right) \Big|_0^{17,6} =$$

$$= \left( 0,090565383 \cdot \frac{x^3}{3} - 0,139405286 \cdot \frac{x^2}{2} \right) \Big|_0^{17,6} = 164,5807272 - 21,5910907 = 142,9896365$$

$$S_3 = \int_0^{17,6} (0,083743082x^2 - 0,41793572x) dx = 0,083743082 \cdot \frac{x^3}{3} \Big|_0^{17,6} - 0,41793572x \Big|_0^{17,6} =$$

$$= 152,1828415 - 7,355668672 = 144,8271728$$

$$S_4 = \int_0^{17,6} 0,082644628x^2 dx = 0,082644628 \cdot \frac{x^3}{3} \Big|_0^{17,6} = 150,1866665$$

$$|S_1 - S_2| = 0,4300043 \quad ; \quad |S_1 - S_3| = 1,407532 \quad ; \quad |S_1 - S_4| = 6,7670257$$

$$\Delta_1 = \sqrt{\frac{S_1 - S_2}{S_1}} = \sqrt{\frac{0,4300043}{143,4196408}} \approx 0,017315$$

$$\Delta_2 = \sqrt{\frac{S_1 - S_3}{S_1}} = \sqrt{\frac{1,407532}{143,4196408}} \approx 0,099066$$

$$\Delta_3 = \sqrt{\frac{S_1 - S_4}{S_1}} = \sqrt{\frac{6,7670257}{143,4196408}} \approx 0,217217$$

Отримані результати розрахунків підтверджують табличні розрахунки. За розрахункову залежність беремо  $y = 0,082644628x^2$ , яка має середнє квадратичне відхилення від залежності  $y = 0,055 \cdot x^{2,142}$

приблизно рівне 0,217 мм.

Знаючи форму кривої напикання, потрібно ще зробити розрахунок товщини прошарку порошку (рис. 3.).

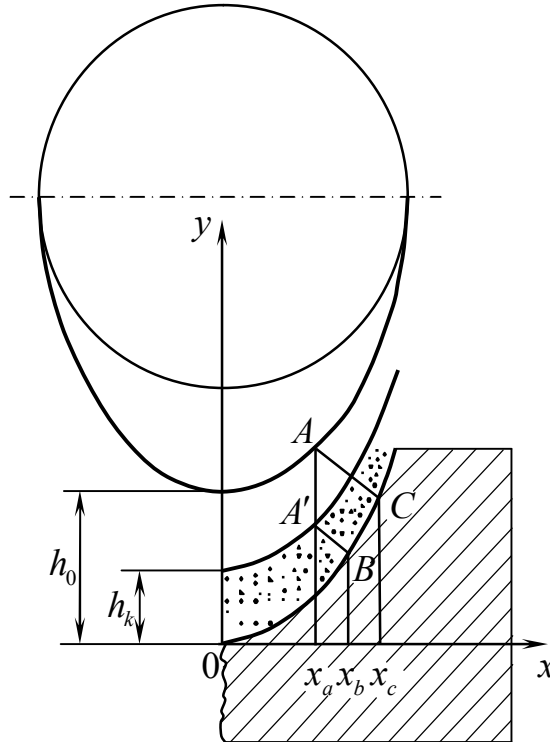


Рисунок 3 – Товщина прошарку порошку.

Рівномірність ущільнення можна встановити аналізуючи змінення відношення  $h_k / h_0$  по периметру напикання. Якщо в будь-якій точці цього відношення отримаємо одне й теж (або близькі) значення, то форма профілю електрода-пуансона прийнята вірно. З розрахункової схеми ущільнення порошкового матеріалу поверхні кулачка (рис. 3.) маємо

$$\frac{h_k}{h_0} = \frac{|A'B|}{|AC|} = \frac{|x_b - x_a|}{|x_c - x_a|},$$

де  $AC$  – нормаль до профілю кулачка в довільній точці в початковому положенні;  $A'B$  – нормаль до тієї ж точки профілю кулачка після напикання прошарку;  $x_a$ ,  $x_b$ ,  $x_c$  – абсциси точок  $A$ ,  $B$ ,  $C$  відповідно.

Товщина порошку визначається довжиною нормалі до поверхні. Формула нормалі в точці  $C$ :

$$y - y_i = -\frac{1}{y'(x_i)} \cdot (x - x_i) \quad \text{або} \quad y = y_i + \frac{x_i}{y'(x_i)} - \frac{x}{y'(x_i)},$$

де  $y_i = 0,082644628x_i^2 + \frac{x_i}{y'(x_i)} - \frac{x}{y'(x_i)} + h_0$ .

$$\text{Нехай } k = -\frac{1}{y'(x_i)}; \quad l = 0,082644628x_i^2 + \frac{x_i}{y'(x_i)} + h_0.$$

$$y = kx + l, \quad y = mx^2,$$

де  $m = 0,082644628$ .

$$\begin{cases} y = kx + l, \\ y = mx^2. \end{cases} \quad kx + l = mx^2, \quad mx^2 - kx - l = 0, \quad D = k^2 + 4ml.$$

$(x_1)_c = \frac{k - \sqrt{k^2 + 4ml}}{2m}$  – не підходить, оскільки під коренем стоїть вираз більший за  $k$ , а  $(x_1)_c$  не може бути від'ємним.

$(x_2)_c = \frac{k + \sqrt{k^2 + 4ml}}{2m}$  або з урахуванням того, що корінь тільки один можна записати  $x_c = \frac{k - \sqrt{k^2 + 4ml}}{2m}$ .

Для знаходження координат точки  $B(x_b; y_b)$  складемо аналогічну систему рівнянь, як і для отриманої точки  $C(x_c; y_c)$ .

$$y - y_i = -\frac{1}{y'(x_i)} \cdot (x - x_i) \quad \text{або} \quad y = y_i + \frac{x_i}{y'(x_i)} - \frac{x}{y'(x_i)},$$

де  $y_i = 0,082644628x_i^2 + \frac{x_i}{y'(x_i)} - \frac{x}{y'(x_i)} + h_k$ .

$$\text{Нехай } k = -\frac{1}{y'(x_i)}; \quad l_1 = 0,082644628x_i^2 + \frac{x_i}{y'(x_i)} + h_k.$$

$$y = kx + l, \quad y = mx^2,$$

де  $m = 0,082644628$ .

$$\begin{cases} y = kx + l_1, \\ y = mx^2. \end{cases} \quad kx + l_1 = mx^2, \\ mx^2 - kx - l_1 = 0, \quad D = k^2 + 4ml_1.$$

$(x_1)_b = \frac{k - \sqrt{k^2 + 4ml_1}}{2m}$  – не підходить, оскільки під коренем стоїть вираз більший за  $k$ , а  $(x_1)_b$  не може бути від'ємним.

$(x_2)_b = \frac{k + \sqrt{k^2 + 4ml_1}}{2m}$  або з урахуванням того, що корінь тільки один можна записати  $x_b = \frac{k + \sqrt{k^2 + 4ml_1}}{2m}$ .

Знайдемо аналітично різницю  $l - l_1$ .



$$l - l_1 = h_0 - h_k \text{ або } l_1 = l - h_0 + h_k,$$

і тоді

$$x_b = \frac{k + \sqrt{k^2 + 4m(l - h_0 + h_k)}}{2m}.$$

Підставляючи отримані значення в рівняння

$$\frac{h_k}{h_0} = \frac{|A'B|}{|AC|} = \frac{|x_b - x_a|}{|x_c - x_a|},$$

матимемо

$$\frac{h_{k_i}}{h_{0_i}} = \frac{\left| \frac{k + \sqrt{k^2 + 4ml_1}}{2m} - x_a \right|}{\left| \frac{k + \sqrt{k^2 + 4ml}}{2m} - x_a \right|}.$$

Або

$$\alpha(x_i) = \frac{h_{k_i}}{h_{0_i}} = \frac{2mx_i - k - \sqrt{k^2 + 4m(l - h_0 + h_k)}}{2mx_i - k - \sqrt{k^2 + 4ml}}.$$

Зробимо розрахунок  $\alpha(x_i)$  на ділянці  $x \in [1;9]$ , беручи  $m = 0,082644628$ ,  $h_0 = 0,005 \text{ і}$ ,  $h_k = 0,0018 \text{ і}$  ( $h_0 = 0,003 \text{ і}$ ,  $h_k = 0,0015 \text{ і}$ ) з 50 % ущільненням. Результати розрахунків зведені до таблиць.

1 варіант  $h_0 = 0,005 \text{ і}$  ;  $h_k = 0,0018 \text{ і}$

$x_i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\alpha(x_i)$	0,3624	0,3679	0,3735	0,3775	0,3797	0,38	0,3799	0,379	0,3778

2 варіант  $h_0 = 0,003 \text{ і}$  ;  $h_k = 0,0015 \text{ і}$

$x_i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\alpha(x_i)$	0,5015	0,5052	0,5091	0,5118	0,5134	0,5138	0,5136	0,514	0,51

Результати розрахунків обох варіантів показують, що коефіцієнт  $\alpha(x_i)$ , який характеризує ущільненість прошарку, практично однаковий для всіх точок профілю кулачку. Є деякі змінення по 1 варіанту від 0,36 до 0,38, та для 2 варіанту від 0,50 до 0,51. Але ці зміни не зроблять якогось впливу, оскільки змінення менші за розміри частини порошку.

*Висновки.*

В результаті вибору, аналізу та обґрунтуванню математичної залежності форми контактної поверхні електрода-пуансона для електрореконтактного напикання кулачків розподільного валу двигуну КА-МАЗ-740.10, отримали теоретичну можливість забезпечення рівномі-

рного ущільнення порошкового матеріалу за периметром напикання, що дозволяє отримувати якісне покриття в процесі електроконтактного напикання порошкових матеріалів на криволінійну поверхню кулачка. Отримані результати бажано підтвердити експериментально.

#### Література

1. Меркулов А.Ф. Восстановление кулачков распределительных валов ДВС электроконтактным напеканием металлических порошков в условиях сельскохозяйственных ремонтных предприятий.– дис. канд. техн. наук. / А.Ф. Меркулов. – М, 1969.-270 с.
2. Смелов А. А. Повышение межремонтного ресурса распределительных валов ДВС электромеханической обработкой в условиях сельскохозяйственных предприятий (на примере двигателя ЗМЗ-53).– дис. канд. техн. наук. / А. А. Смелов. – Москва, 1984. – 182с.
3. Лазуренко А.С. Аналіз зношень кулачків розподільних валів двигуну КАМАЗ-740.10/А.С. Лазуренко//Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. – Вип. 9. т. 1. – с. 125-131.

### **РАСЧЕТ ПРОФИЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ОЦЕНКА ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ИЗНОШЕННОГО КУЛАЧКА РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ВАЛА ДВИГАТЕЛЯ КАМАЗ-740.10**

**Рубцов М.О., Лазуренко А.С.**

#### *Аннотация*

**Работа посвящена обоснованию формулы расчета для восстановления электроконтактным навариванием металлических материалов и количественной оценке изменения толщины покрытия по периметру кулачка.**

### **CALCULATION FOR RESTORATION OF THE WEAR'S SHAPE AND QUANTITATIVE ESTIMATION'S CHANGING OF LAYER FOR SHAPE'S CAM OF CAMSHAFT'S ENGINE'S OF KAMAZ-740.10**

**N. Rubtsov., A. Lazurenko.**

**Character of wear's shape of the camshaft's cam is lighted. The mathematical formula for the wear's shape of the camshaft cam of engine KAMAZ -740.10 is represented. The quantitative estimation's changing of layer for shape's cam of camshaft's engine of KAMAZ 740.10 is resulted.**