

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

### Исходные данные

#### Параметры передачи

Модуль  $m := 3$  Число зубьев шестерни  $Z1 := 10$

Угол наклона зубьев  $\beta := 0 \cdot \text{deg}$  Число зубьев колеса  $Z2 := 25$

#### Параметры исходного производящего контура режущего инструмента

Угол главного профиля  $\alpha := 20 \cdot \text{deg}$

Коэффициент высоты головки зуба  $ha_ := 1$

Коэффициент радиального зазора  $c_ := 0.25$

Вспомогательная функция инвалюты  $\text{inv}(t) := \tan(t) - t$

Индекс 1 соответствует шестерни, 2 - колесу.

### Расчетные формулы

С учетом наклона зубьев (вариативно)

$$\text{Торцевой модуль } mt := \frac{m}{\cos(\beta)}$$

$$\text{Торцевой коэфф. высоты головки зуба } hat_ := ha_ \cdot \cos(\beta)$$

$$\text{Торцевой коэфф. радиального зазора } ct_ := c_ \cdot \cos(\beta)$$

$$\text{Торцевой угол главного профиля } \alpha t := \text{atan}\left(\frac{\tan(\alpha)}{\cos(\beta)}\right)$$

$$\text{Инвалюта в торцевом сечении } \text{inv}\alpha t := \text{inv}(\alpha t)$$

$$\text{Радиус скруления режущего контура } \rho_{ft} := \frac{ct_ \cdot mt}{1 - \sin(\alpha t)}$$

$$\text{Торцевой шаг } Pt := mt \cdot \pi$$

$$\text{Толщина зуба исходного контура по делительной прямой } S0 := \frac{Pt}{2}$$

$$\text{Хорда дугового шага по делительной окружности шестерни } p1x := mt \cdot Z1 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{Z1}\right)$$

$$\text{Хорда дугового шага по делительной окружности колеса } p2x := mt \cdot Z2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{Z2}\right)$$

$$\text{Делительные окружности } R1 := mt \cdot \frac{Z1}{2} \quad R2 := mt \cdot \frac{Z2}{2}$$

$$\text{Основные окружности } Rb1 := R1 \cdot \cos(\alpha t) \quad Rb2 := R2 \cdot \cos(\alpha t)$$

$$\text{Минимальное число зубьев, при котором колесо может быть нарезано без смещения } Z_{\text{mint}} := \frac{2 \cdot hat_}{\sin(\alpha t)^2}$$

$$\text{Минимальные коэффициенты смещения } X_{\text{mint}1} := \frac{hat_ \cdot (Z_{\text{mint}} - Z1)}{Z_{\text{mint}}} \quad X_{\text{mint}2} := \frac{hat_ \cdot (Z_{\text{mint}} - Z2)}{Z_{\text{mint}}}$$

$$\text{Инвалюта главного контура в торцевом сечении } \text{inv}\alpha tw(X1, X2) := \text{inv}(\alpha t) + 2 \cdot \frac{X1 + X2}{Z1 + Z2} \cdot \tan(\alpha t)$$

Угол зацепления, как численное решение уравнения

$$\alpha tw := \alpha t \quad \alpha tw(X1, X2) := \text{root}(\text{inv}(\alpha tw) - \text{inv}\alpha tw(X1, X2), \alpha tw)$$

$$\text{Начальные окружности } R_{w1}(X1, X2) := R1 \cdot \frac{\cos(\alpha t)}{\cos(\alpha tw(X1, X2))} \quad R_{w2}(X1, X2) := R2 \cdot \frac{\cos(\alpha t)}{\cos(\alpha tw(X1, X2))}$$

$$\text{Межосевое расстояние } aw(X1, X2) := R_{w1}(X1, X2) + R_{w2}(X1, X2)$$

Коэффициент воспринимаемого смещения  $y(X1, X2) := \frac{aw(X1, X2) - R1 - R2}{mt}$

Коэффициент уравнивающего смещения  $dy(X1, X2) := X1 + X2 - y(X1, X2)$

Окружности вершин  $Ra1(X1, X2) := R1 + \hat{m}t + X1 \cdot mt - dy(X1, X2) \cdot mt$

$$Ra2(X1, X2) := R2 + \hat{m}t + X2 \cdot mt - dy(X1, X2) \cdot mt$$

Окружности впадин  $Rf1(X1, X2) := R1 - \hat{m}t - ct \cdot mt + X1 \cdot mt$

$$Rf2(X1, X2) := R2 - \hat{m}t - ct \cdot mt + X2 \cdot mt$$

Высота зуба  $h(X1, X2) := mt \cdot (2 \cdot \hat{m} + ct - dy(X1, X2))$

Толщина зуба по делительной окружности

$$S1(X1) := \frac{Pt}{\gamma} + 2 \cdot X1 \cdot mt \cdot \tan(\alpha t)$$

$$S2(X2) := \frac{Pt}{\gamma} + 2 \cdot X2 \cdot mt \cdot \tan(\alpha t)$$

Угол зацепления шестерни  $\alpha a1(X1, X2) := \arccos\left(\frac{Rb1}{Ra1(X1, X2)}\right)$

Угол зацепления колеса  $\alpha a2(X1, X2) := \arccos\left(\frac{Rb2}{Ra2(X1, X2)}\right)$

Толщина зуба по окружности вершин

$$Sa1(X1, X2) := 2 \cdot Ra1(X1, X2) \cdot \left( \frac{S1(X1)}{2 \cdot R1} + \operatorname{inv} \alpha t - \operatorname{inv}(\alpha a1(X1, X2)) \right)$$

$$Sa2(X1, X2) := 2 \cdot Ra2(X1, X2) \cdot \left( \frac{S2(X2)}{2 \cdot R2} + \operatorname{inv} \alpha t - \operatorname{inv}(\alpha a2(X1, X2)) \right)$$

Коэффициент торцевого перекрытия

$$\epsilon \alpha(X1, X2) := \frac{\sqrt{Ra1(X1, X2)^2 - Rb1^2} + \sqrt{Ra2(X1, X2)^2 - Rb2^2} - aw(X1, X2) \cdot \sin(\alpha tw(X1, X2))}{Pt \cdot \cos(\alpha t)}$$

Коэффициент осевого перекрытия  $\psi b := 4$

$$\epsilon \beta(X1, X2) := \frac{\psi b \cdot \sin(\beta)}{\pi}$$

Коэффициент перекрытия общий  $\epsilon \gamma(X1, X2) := \epsilon \alpha(X1, X2) + \epsilon \beta(X1, X2)$

Коэффициент давления  $\upsilon p(X1, X2) := \frac{2 \cdot (Z1 + Z2)}{Z1 \cdot Z2 \cdot \cos(\alpha t) \cdot \tan(\alpha tw(X1, X2))}$

Коэффициенты удельного скольжения

$$\lambda_{1 \text{ расч}}(X1, X2) := \left( 1 + \frac{Z1}{Z2} \right) \cdot \frac{Z2 \cdot (\tan(\alpha a2(X1, X2)) - \tan(\alpha tw(X1, X2)))}{(Z1 + Z2) \cdot \tan(\alpha tw(X1, X2)) - Z2 \cdot \tan(\alpha a2(X1, X2))}$$

$$\lambda_{2 \text{ расч}}(X1, X2) := \left( 1 + \frac{Z1}{Z2} \right) \cdot \frac{Z1 \cdot (\tan(\alpha a1(X1, X2)) - \tan(\alpha tw(X1, X2)))}{(Z1 + Z2) \cdot \tan(\alpha tw(X1, X2)) - Z1 \cdot \tan(\alpha a1(X1, X2))}$$

Длины линий зацепления: доплюсной, заплуюсной

$$\rho L1(X1, X2) := R1 \cdot \sin(\alpha t) - \frac{mt \cdot (ha - X1)}{\sin(\alpha t)} \quad \rho L2(X1, X2) := R2 \cdot \sin(\alpha t) - \frac{mt \cdot (ha - X2)}{\sin(\alpha t)}$$

Длины активных линий зацепления: доплюсной, заплуюсной

$$\rho F1(X1, X2) := aw(X1, X2) \cdot \sin(\alpha tw(X1, X2)) - Ra2(X1, X2) \cdot \sin(\alpha a2(X1, X2))$$

$$\rho F2(X1, X2) := aw(X1, X2) \cdot \sin(\alpha tw(X1, X2)) - Ra1(X1, X2) \cdot \sin(\alpha a1(X1, X2))$$

Варьируем X1  $i := 0, 1 \dots 11$   $X1_i := \frac{i}{10}$

Задаем X2 := 0.5

# Результаты расчета

$$X2 = 0.5 \quad R1 = 15 \quad R2 = 37.5 \quad Rb1 = 14.095$$

$$Rb2 = 35.238 \quad Pt = 9.425 \quad mt = 3 \quad \text{hat}_- = 1$$

$$ct_- = 0.25 \quad \frac{\alpha t}{deg} = 20 \quad \rho ft = 1.14 \quad p1x = 9.271$$

$$p2x = 9.4 \quad Zmint = 17.097 \quad Xmint1 = 0.415 \quad Xmint2 = -0.462$$

$$S0 = 4.712 \quad S2(X2) = 5.804$$

$$X1_i = y(X1_i, X2) = dy(X1_i, X2) = \frac{\alpha tw(X1_i, X2)}{deg} = Rw1(X1_i, X2) \quad Rw2(X1_i, X2) = h(X1_i, X2) = aw(X1_i, X2) =$$

0	0.458	0.042	23.693	15.393	38.482	6.625	53.875
0.1	0.542	0.058	24.295	15.465	38.662	6.577	54.127
0.2	0.625	0.075	24.864	15.535	38.839	6.524	54.374
0.3	0.705	0.095	25.406	15.604	39.011	6.466	54.616
0.4	0.784	0.116	25.922	15.672	39.18	6.402	54.852
0.5	0.862	0.138	26.415	15.739	39.346	6.335	55.085
0.6	0.938	0.162	26.888	15.804	39.51	6.264	55.314
0.7	1.013	0.187	27.343	15.868	39.671	6.189	55.539
0.8	1.087	0.213	27.78	15.932	39.829	6.111	55.761
0.9	1.16	0.24	28.202	15.994	39.985	6.029	55.979
1	1.232	0.268	28.609	16.056	40.139	5.945	56.195
1.1	1.303	0.297	29.003	16.117	40.291	5.858	56.408

$$X1_i = Ra1(X1_i, X2) \quad Ra2(X1_i, X2) \quad Rf1(X1_i, X2) = Rf2(X1_i, X2) = S1(X1_i) = Sa1(X1_i, X2) = Sa2(X1_i, X2) =$$

0	17.875	41.875	11.25	35.25	4.712	1.947	1.762
0.1	18.127	41.827	11.55	35.25	4.931	1.835	1.821
0.2	18.374	41.774	11.85	35.25	5.149	1.719	1.886
0.3	18.616	41.716	12.15	35.25	5.368	1.599	1.958
0.4	18.852	41.652	12.45	35.25	5.586	1.477	2.035
0.5	19.085	41.585	12.75	35.25	5.804	1.351	2.116
0.6	19.314	41.514	13.05	35.25	6.023	1.223	2.201
0.7	19.539	41.439	13.35	35.25	6.241	1.092	2.29
0.8	19.761	41.361	13.65	35.25	6.459	0.959	2.382
0.9	19.979	41.279	13.95	35.25	6.678	0.824	2.477
1	20.195	41.195	14.25	35.25	6.896	0.686	2.574
1.1	20.408	41.108	14.55	35.25	7.115	0.547	2.674

$$X1_i = \varepsilon\alpha(X1_i, X2) = \varepsilon\gamma(X1_i, X2) = \lambda1_{\text{расч}}(X1_i, X2) = \lambda2_{\text{расч}}(X1_i, X2) = \text{vp}(X1_i, X2) =$$

0	1.351	1.351	-10.299	0.632	0.679
0.1	1.317	1.317	-35.112	0.648	0.66
0.2	1.283	1.283	19.971	0.664	0.643
0.3	1.248	1.248	7.077	0.679	0.627
0.4	1.214	1.214	4.016	0.693	0.613
0.5	1.179	1.179	2.642	0.706	0.6
0.6	1.144	1.144	1.86	0.718	0.588
0.7	1.109	1.109	1.354	0.73	0.576
0.8	1.074	1.074	0.999	0.741	0.566
0.9	1.039	1.039	0.736	0.752	0.556
1	1.004	1.004	0.532	0.762	0.546
1.1	0.968	0.968	0.37	0.772	0.537

$$\varepsilon_{\text{доп}} := 1.05$$

$$X11 := 1$$

$$\text{Given } \varepsilon\alpha(X11, X2) = \varepsilon_{\text{доп}} \quad X_{\varepsilon} := \text{Find}(X11) = 0.87$$

$$X111 := 1$$

$$\text{Given } \frac{\text{Sa1}(X111, X2)}{\text{mt}} = 0.4 \quad X_{\text{Sa}} := \text{Find}(X111) = 0.618$$

$$X1_{\varepsilon} := \begin{pmatrix} X_{\varepsilon} \\ X_{\varepsilon} \end{pmatrix} \quad Y1_{\varepsilon} := \begin{pmatrix} 5 \\ 0 \end{pmatrix} \quad X1_{\min} := \begin{pmatrix} X_{\min1} \\ X_{\min1} \end{pmatrix} \quad Y1_{\min} := \begin{pmatrix} 5 \\ 0 \end{pmatrix} \quad X1_{\text{sa}} := \begin{pmatrix} X_{\text{Sa}} \\ X_{\text{Sa}} \end{pmatrix} \quad Y1_{\text{sa}} := \begin{pmatrix} 5 \\ 0 \end{pmatrix}$$

