

Расчёт одноступенчатого цилиндрического редуктора с ЭЦ-зацеплением в программе Mathcad.

$A_w=100, Z=36/7$

Ввод исходных данных для расчёта.

Mathcad - [ЦЭЦ кривизны точек линии контакта - 1в - 2ст ГУК2]

Модуль упругости материала
 $E := 2.08 \cdot 10^{11} \frac{N}{m^2}$
 $E = 2.08 \times 10^{11} \text{ Па}$

коэффициент трения $K := 0.06$

Момент входн. (генератор н*м)
 $M := 100 \cdot J$

к-во роликов $z := 7$

делительный диаметр (межцентровое расстояние):
 $D := 200 \cdot \text{mm}$

Длина оси червяка:
 $l_r := 20 \cdot \text{mm}$

Желаемый угол контакта в зацеплении: (ввод от 0 до 45)
 $\alpha_k := 20.440$

фиксированный угол поворота генератора (в радианах) Δ : (ввод от 0 до 359)
 $\Delta := 0$

Увеличение межцентрового расстояния ΔD_w :
 $\Delta D_w := 0.00000000 \text{ mm}$

Условие обрезания вершин $obr < 0$:
 $obr := -14.758 \text{ mm}$

Окружность d1 - радиус цилиндра для обрезания зубьев колеса:
 $d1 := e + \eta$
 $\eta_1 := 0.5 \cdot \text{mm}$

Окружность d2 - радиус цилиндра для обрезания зубьев шестерни:
 $d2 := \rho + e - \eta_1$
 $d2 = 25.504 \text{ mm}$

$d2$ должно быть $> \frac{D}{2} + D_d = 16.279 \text{ mm}$

к-во оборотов в минуту $\Omega := 1500$

количество циклов кривой $N := 36$
 $n := \frac{N}{z} + 1 = 6.1429$

радиус ролика: $\rho := 10.75 \text{ mm}$

диаметр ролика $d_w := 21.50 \text{ mm}$

эксцентриситет $e := ek$

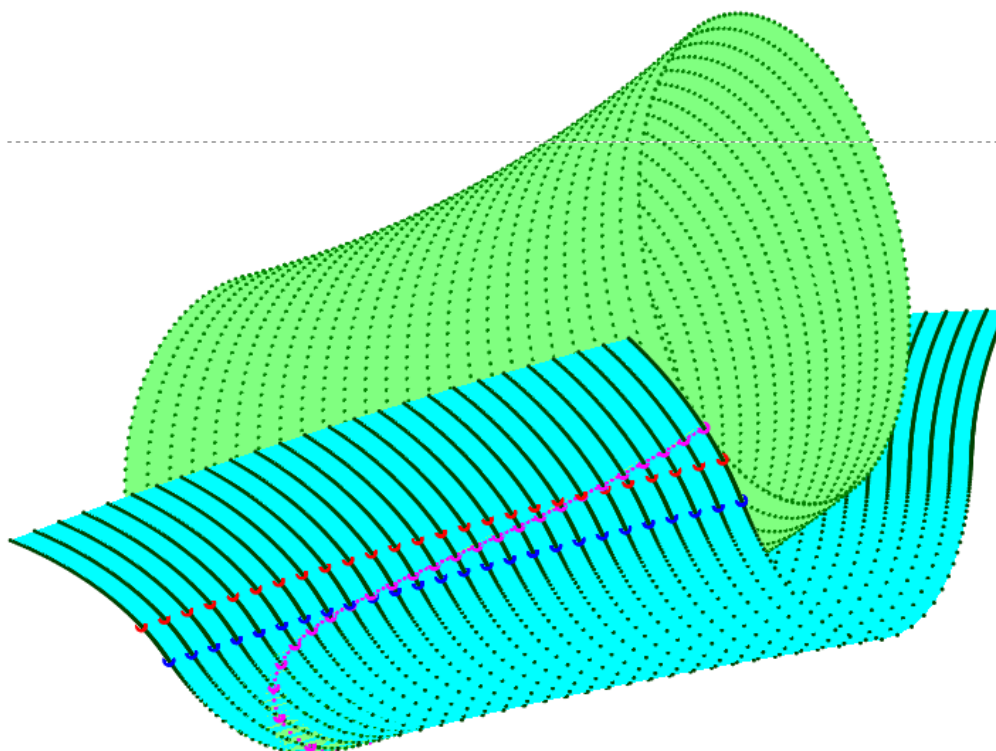
$R_k := \frac{\left(\frac{D}{2} + D_d\right) \cdot z}{z + N}$
 $ek := R_k \cdot \cos\left(\alpha_k \cdot \frac{\pi}{180}\right)$
 $dk := 2 \cdot \sqrt{R_k^2 - ek^2}$
 $ek = 15.25411 \text{ mm}$
 $dk = 11.37016 \text{ mm}$

Подобраны геометрические параметры “e” и “d” ЭЦ-зацепления из расчёта минимальных контактных напряжений по гипотезе Винклера и формулам Герца.

Определение расположения линии пятна контакта в зонах вогнутого и выпуклого контакта. Линия контакта разбита на 25 точек (слева на право)

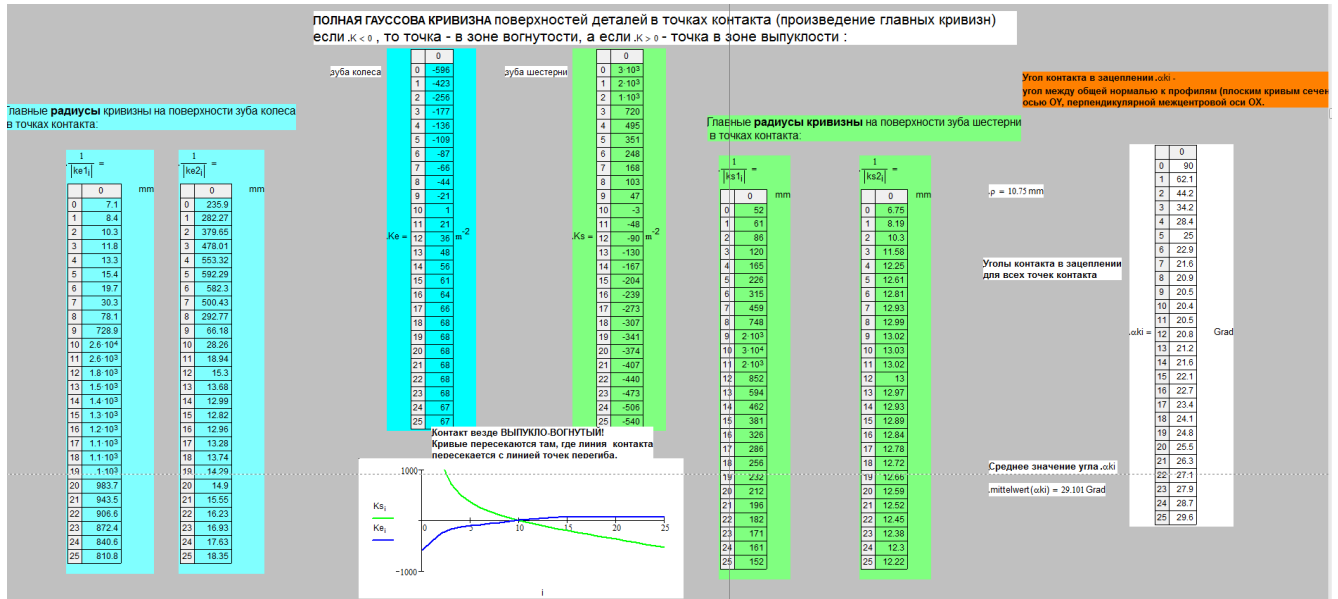
Красные точки - точки полюса, синие - точки перегиба, розовые - линия контакта.

Пересечение розовой и красной линий указывает на точку линии контакта, в которой контакт - в полюсе.

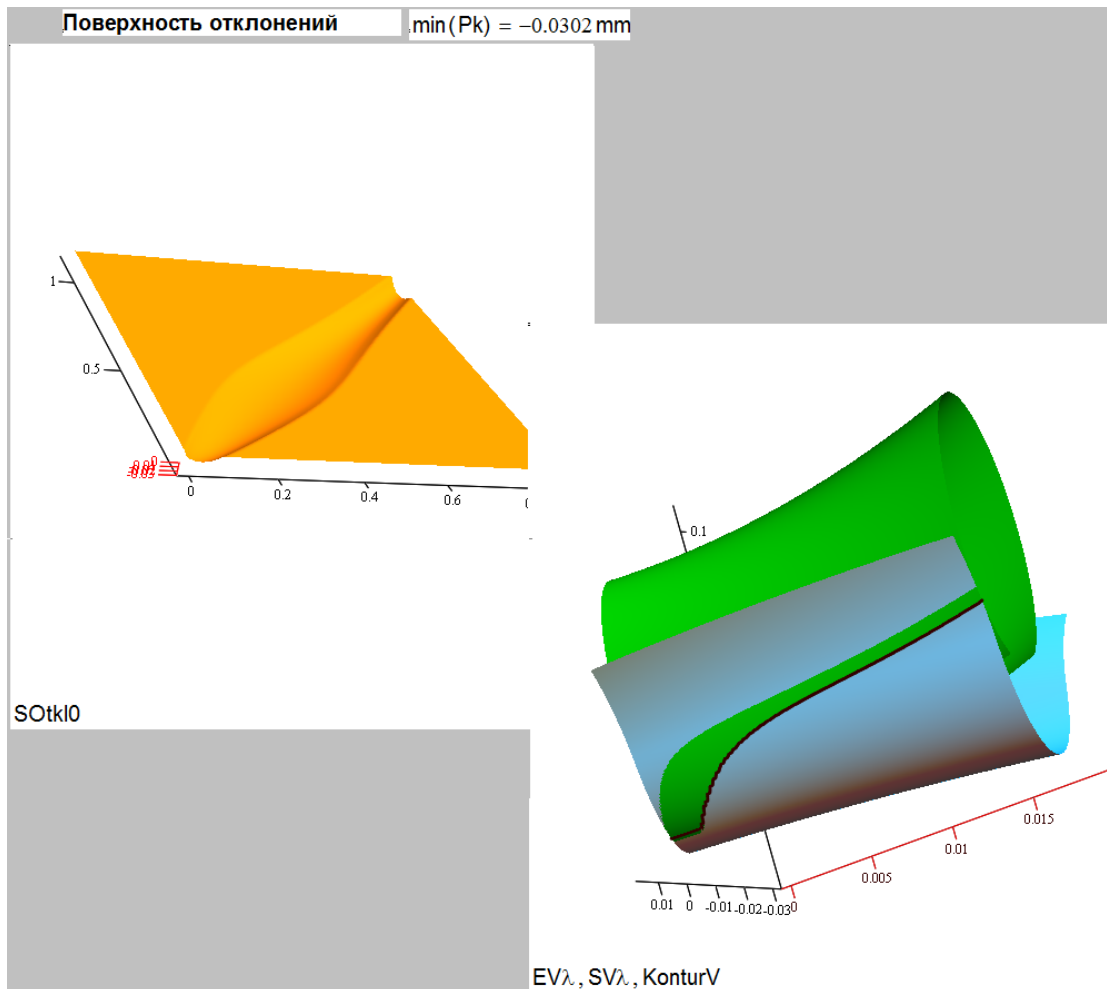


Определение кривизны поверхности зуба шестерни (зелёный цвет) и колеса (синий цвет) вдоль линии контакта.

Определение угла давления/контакта в 25 точках вдоль всей линии контакта.



Доворачиваем шестерню, что бы зуб шестерни внедрялся в поверхность зуба колеса на 30 мкм. Получаем пятно контакта. Ниже показано пятно контакта в зацеплении и его развёртка.



Площадь куска поверхности **вых.дет**, ограниченной контуром пятна контакта при проникновении на 30 мкм на одном зубе без модификаций:

$$Spkont = 49.34 \text{ mm}^2$$

Расчёт контактных напряжений (КН) по Гипотезе Винклера. Определение КН во всех точках пятна контакта при максимальном проникновении одной из точек на 30 мкм. Распределение сил по Гуку не учитывалось.

Контактные напряжения в точках пятна контакта:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	3.472-10 ⁷	2.708-10 ⁷	1.725-10 ⁷	5.521-10 ⁶	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	5.465-10 ⁷	4.909-10 ⁷	4.118-10 ⁷	3.115-10 ⁷	1.934-10 ⁷	6.008-10 ⁶	0	0	0	0	0	0	0	0
2	7.188-10 ⁷	6.847-10 ⁷	6.251-10 ⁷	5.429-10 ⁷	4.411-10 ⁷	3.225-10 ⁷	1.896-10 ⁷	4.444-10 ⁶	0	0	0	0	0	0
3	8.641-10 ⁷	8.523-10 ⁷	8.13-10 ⁷	7.496-10 ⁷	6.649-10 ⁷	5.618-10 ⁷	4.429-10 ⁷	3.105-10 ⁷	1.667-10 ⁷	1.33-10 ⁶	0	0	0	0
4	9.825-10 ⁷	9.936-10 ⁷	9.756-10 ⁷	9.316-10 ⁷	8.647-10 ⁷	7.778-10 ⁷	6.737-10 ⁷	5.548-10 ⁷	4.233-10 ⁷	2.81-10 ⁷	1.296-10 ⁷	0	0	0
5	1.074-10 ⁸	1.109-10 ⁸	1.113-10 ⁸	1.089-10 ⁸	1.041-10 ⁸	9.709-10 ⁷	8.823-10 ⁷	7.775-10 ⁷	6.588-10 ⁷	5.283-10 ⁷	3.877-10 ⁷	2.386-10 ⁷	8.229-10 ⁶	0
6	1.139-10 ⁸	1.198-10 ⁸	1.225-10 ⁸	1.222-10 ⁸	1.193-10 ⁸	1.141-10 ⁸	1.069-10 ⁸	9.786-10 ⁷	8.736-10 ⁷	7.555-10 ⁷	6.262-10 ⁷	4.875-10 ⁷	3.407-10 ⁷	1.87-10 ⁷
7	1.177-10 ⁸	1.261-10 ⁸	1.311-10 ⁸	1.331-10 ⁸	1.322-10 ⁸	1.288-10 ⁸	1.233-10 ⁸	1.158-10 ⁸	1.068-10 ⁸	9.625-10 ⁷	8.452-10 ⁷	7.174-10 ⁷	5.807-10 ⁷	4.393-10 ⁷
8	1.188-10 ⁸	1.299-10 ⁸	1.373-10 ⁸	1.415-10 ⁸	1.427-10 ⁸	1.412-10 ⁸	1.375-10 ⁸	1.317-10 ⁸	1.241-10 ⁸	1.15-10 ⁸	1.045-10 ⁸	9.286-10 ⁷	8.024-10 ⁷	6.878-10 ⁷
9	1.173-10 ⁸	1.31-10 ⁸	1.41-10 ⁸	1.475-10 ⁸	1.508-10 ⁸	1.514-10 ⁸	1.495-10 ⁸	1.454-10 ⁸	1.394-10 ⁸	1.317-10 ⁸	1.225-10 ⁸	1.121-10 ⁸	1.006-10 ⁸	8.817-10 ⁷
10	1.131-10 ⁸	1.296-10 ⁸	1.421-10 ⁸	1.51-10 ⁸	1.567-10 ⁸	1.593-10 ⁸	1.593-10 ⁸	1.57-10 ⁸	1.526-10 ⁸	1.464-10 ⁸	1.386-10 ⁸	1.295-10 ⁸	1.192-10 ⁸	1.078-10 ⁸
11	1.062-10 ⁸	1.256-10 ⁸	1.408-10 ⁸	1.522-10 ⁸	1.602-10 ⁸	1.65-10 ⁸	1.67-10 ⁸	1.665-10 ⁸	1.638-10 ⁸	1.592-10 ⁸	1.528-10 ⁸	1.45-10 ⁸	1.359-10 ⁸	1.257-10 ⁸
12	9.677-10 ⁷	1.19-10 ⁸	1.37-10 ⁸	1.51-10 ⁸	1.613-10 ⁸	1.684-10 ⁸	1.725-10 ⁸	1.739-10 ⁸	1.73-10 ⁸	1.7-10 ⁸	1.652-10 ⁸	1.588-10 ⁸	1.509-10 ⁸	1.419-10 ⁸
13	8.466-10 ⁷	1.099-10 ⁸	1.307-10 ⁸	1.474-10 ⁸	1.602-10 ⁸	1.696-10 ⁸	1.758-10 ⁸	1.792-10 ⁸	1.801-10 ⁸	1.788-10 ⁸	1.756-10 ⁸	1.706-10 ⁸	1.642-10 ⁸	1.564-10 ⁸
14	6.993-10 ⁷	9.825-10 ⁷	1.22-10 ⁸	1.414-10 ⁸	1.598-10 ⁸	1.685-10 ⁸	1.77-10 ⁸	1.825-10 ⁸	1.853-10 ⁸	1.858-10 ⁸	1.842-10 ⁸	1.807-10 ⁸	1.756-10 ⁸	1.692-10 ⁸
15	5.257-10 ⁷	8.405-10 ⁷	1.108-10 ⁸	1.33-10 ⁸	1.51-10 ⁸	1.653-10 ⁸	1.76-10 ⁸	1.836-10 ⁸	1.864-10 ⁸	1.908-10 ⁸	1.908-10 ⁸	1.89-10 ⁸	1.854-10 ⁸	1.802-10 ⁸

Максимальное контактное напряжение (в месте самого глубокого проникновения): $\mu_{\text{max}} = \begin{pmatrix} 79 \\ 70 \end{pmatrix}$

$\text{max}(\sigma_z) = 2.501 \times 10^8 \text{ Pa}$

$\text{max}(\sigma_{\text{v},\mu}) = 1.706 \times 10^6$

Среднее значение величин контактных напряжений: $\text{mittelwert}(\sigma_z) = 1.611 \times 10^8 \text{ Pa}$

Среднее значение величин проникновения (в микронах): $\text{mittelwert}(\text{P}k\text{Lin}) = -30.203 \text{ m}$

Среднее значение величин проникновения (в микронах): $\text{mittelwert}(\text{M}pk) = -19.456 \text{ m}$

Лотери на трение: $Qp_v := \sum |fg0_v \cdot |vp_v|$

значение кпд без проникновения: $\text{mittelwert}(\text{K}pD) = 99.9999989706$

значение кпд с проникновением: $\text{K}pD = 97.60406$

КПД

При расчёте по формулам Герца (по радиусам кривизны в полюсе) КН получаются выше. Но при учёте выпуклости и вогнутого контакта (при расчёте КН по Герцу) в каждой из 25 точек среднее значение КН становятся меньше и становятся сравнимыми с КН по гипотезе Винклера. Данная методика расчёта находится на стадии разработки. Во внимание берётся и распределение сил по Гуку и приведённых площадей контакта. Для упрощения свойства материала шестерни и колеса в данной методике пока не учитываются.

Проверка КН в системе ANSYS у разных расчётчиков получается разная.

Предлагаем всем желающим попробовать рассчитать ЭЦ-зацепление и решить для себя его плюсы (или минусы).