

Конструирование динамометра для статических и динамических измерений на базе тензорезисторного преобразователя

Выполнил студент
группы 4-33
Дудин Р. Э.

Научный руководитель
к. т. н., доцент
Огурцов Ф. Б.

Цель работы

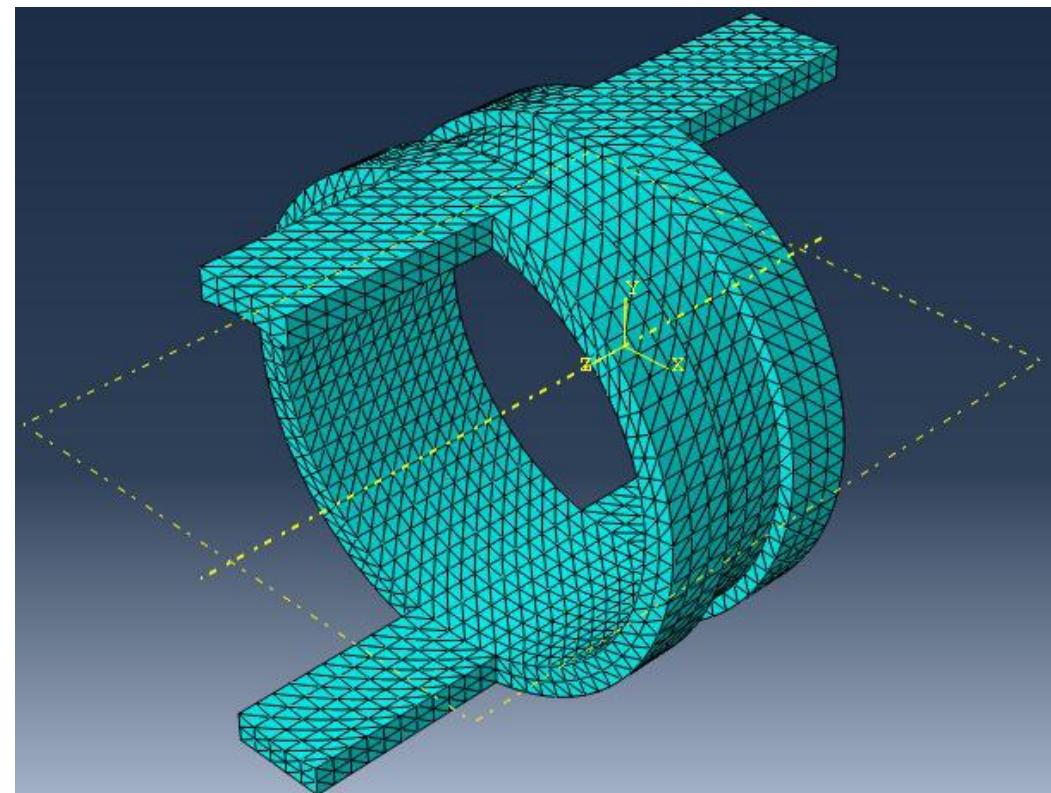
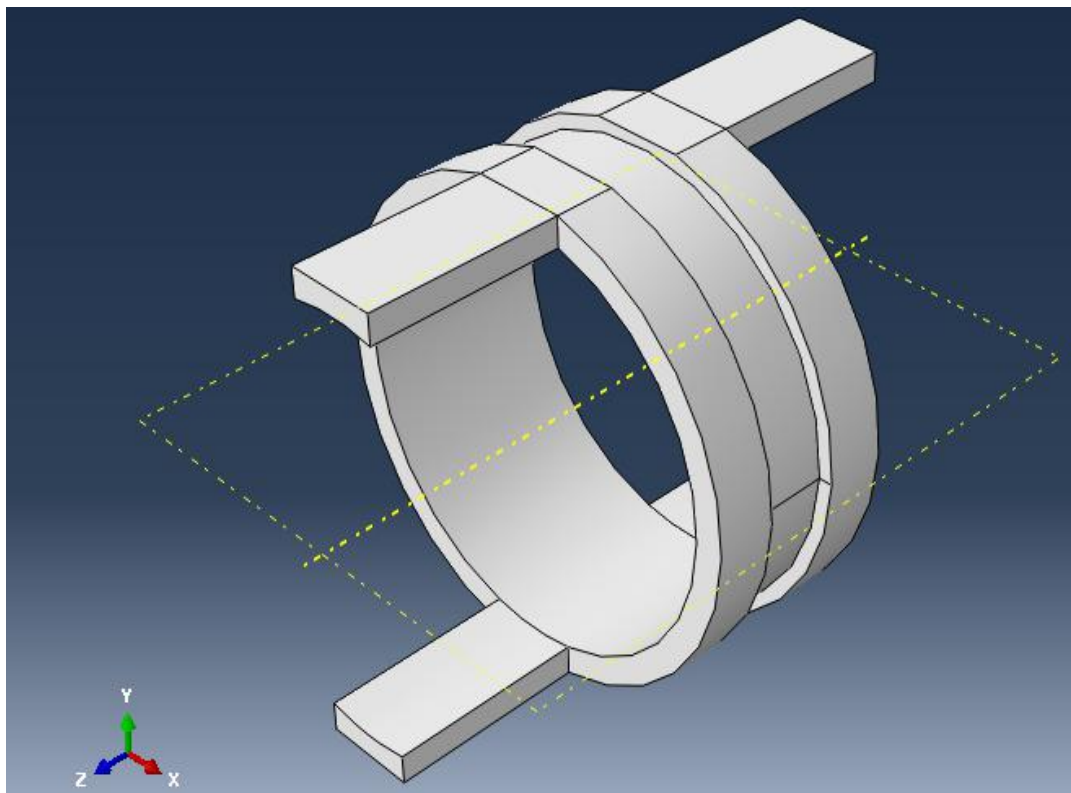
- Проектирование датчика силы для статических и динамических измерений. Диапазон измеряемых усилий до 100 Н. Рабочий диапазон частот 0-100 Гц.

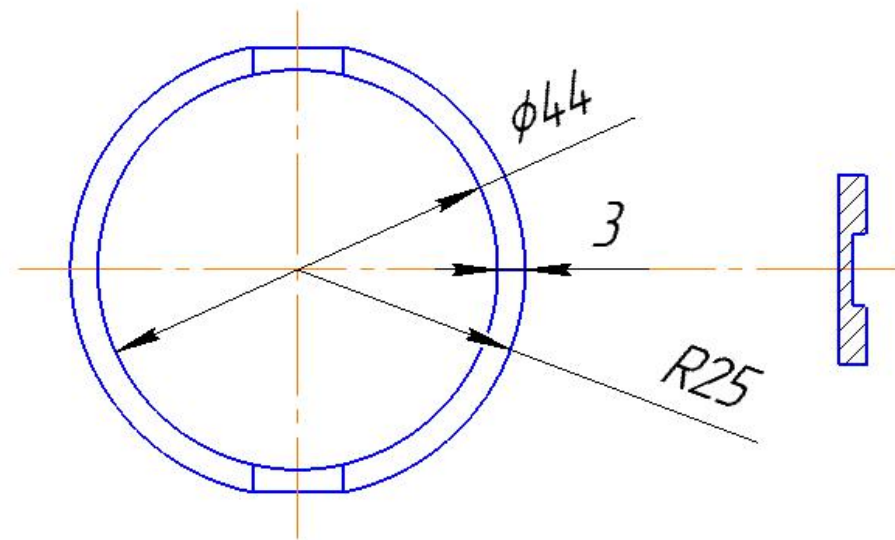
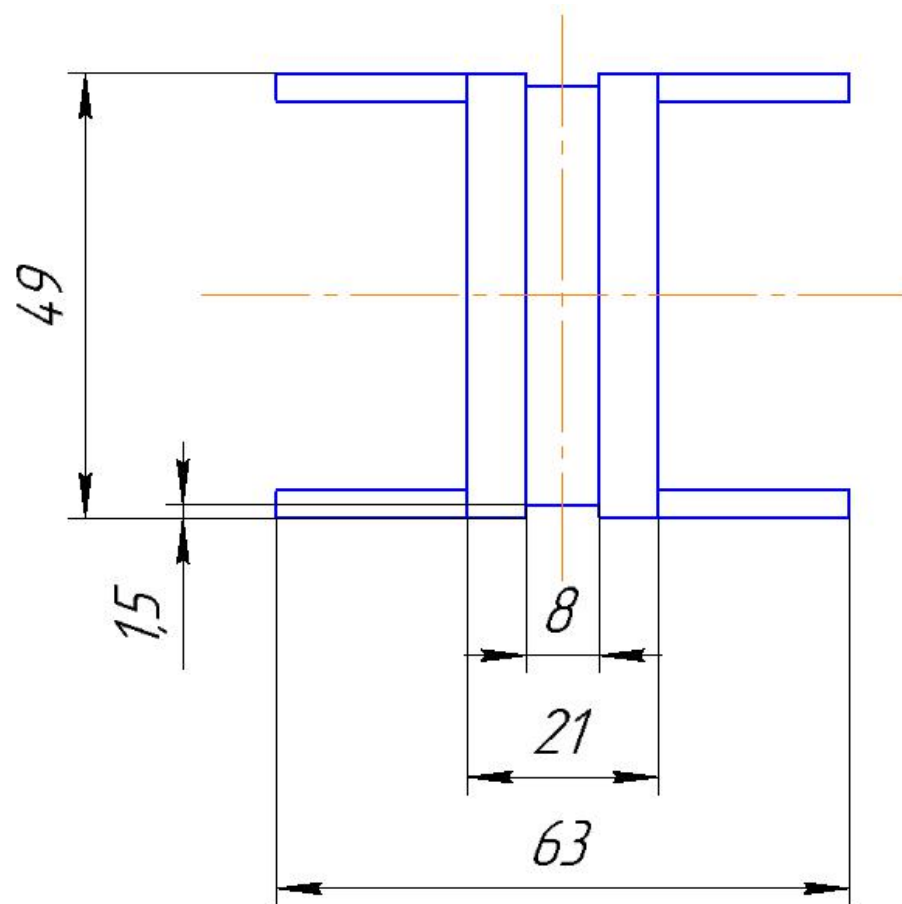
Задачи работы

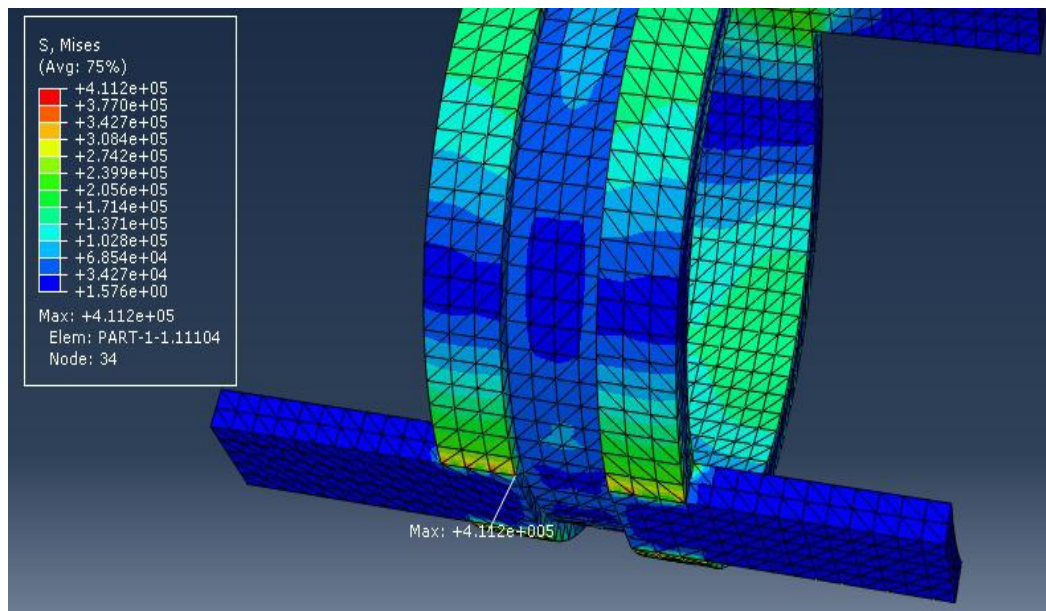
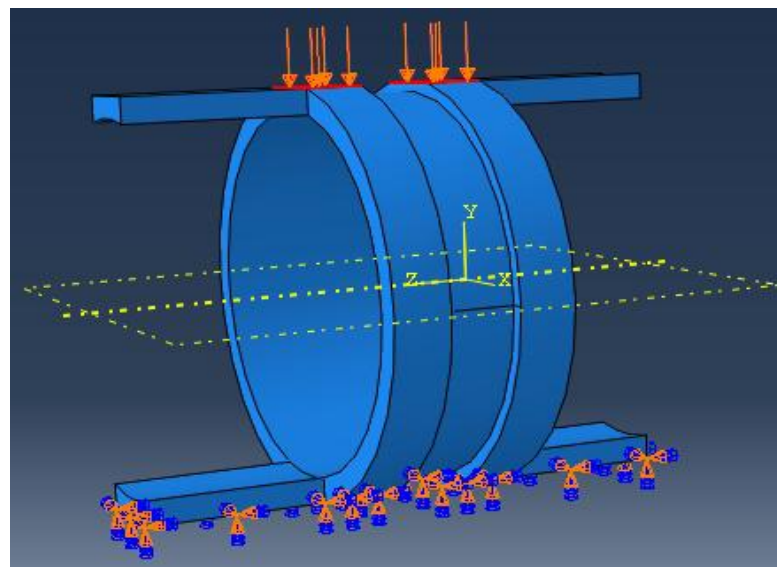
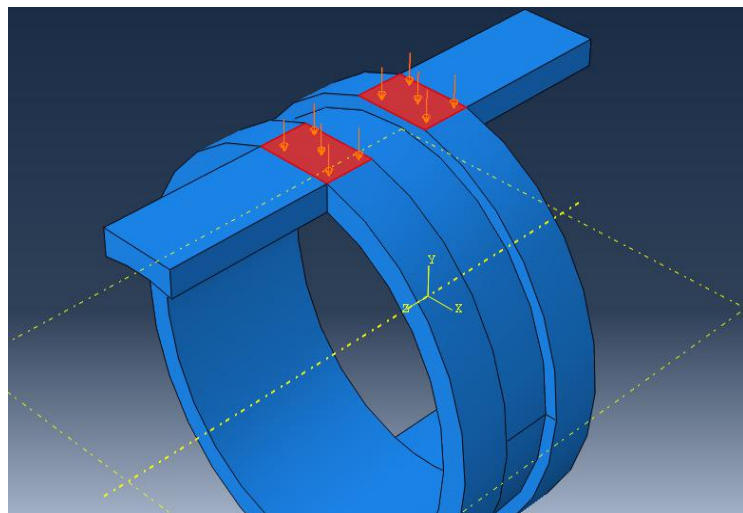
- Проведение литературного обзора существующих форм УЭ и выбор подходящей конструкции УЭ
- Моделирование упругого элемента в программном комплексе «Abaqus»
- Определение параметров (размеров) упругого элемента с целью достижения требуемого диапазона измерений
- Определение максимально допустимой нагрузки
- Определение диапазона рабочих частот
- Определение чувствительности УЭ
- Совершенствование УЭ с целью увеличения чувствительности
- Определение максимально допустимой нагрузки, рабочего диапазона частот и чувствительности усовершенствованного УЭ
- Сравнение полученных данных и дача общих рекомендаций

«+» КОЛЬЦЕВЫХ упругих элементов

- Большие перемещения
- Высокая чувствительность
- Возможность применения для сил, менее 10 Н





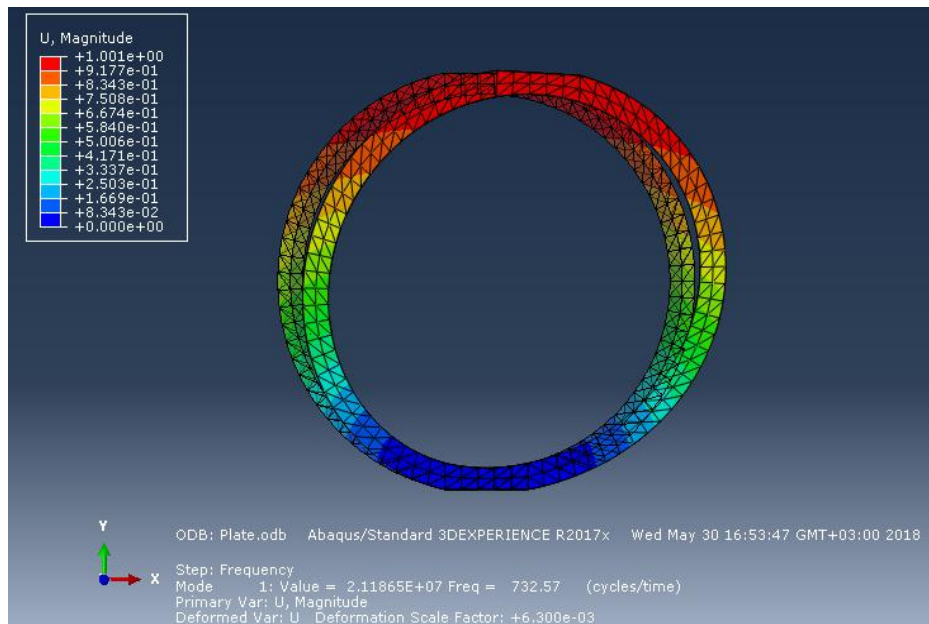


$$1H - \sigma_{\text{макс}}$$

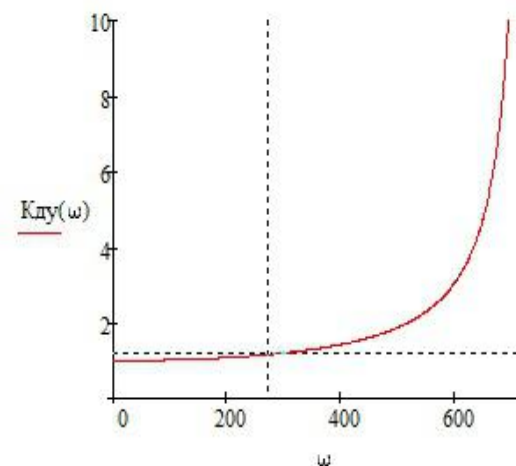
$$P_{\text{макс}} - \sigma_T$$

$$\frac{1H}{4,112 \cdot 10^5 \text{ Па}} = \frac{P_{\text{макс}}}{255 \cdot 10^6 \text{ Па}} \Rightarrow P_{\text{макс}}$$

$$= 620 \text{ H} (> 100 \text{ H})$$



$$K_{\text{Ду}}(\omega) = \frac{1}{\left| 1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2} \right|}, \omega_0 = 732,57 \text{ Гц}$$



Трассировка графика X-Y ✖

X-координата

266

Копировать X

Y-координата

1.1519

Копировать Y

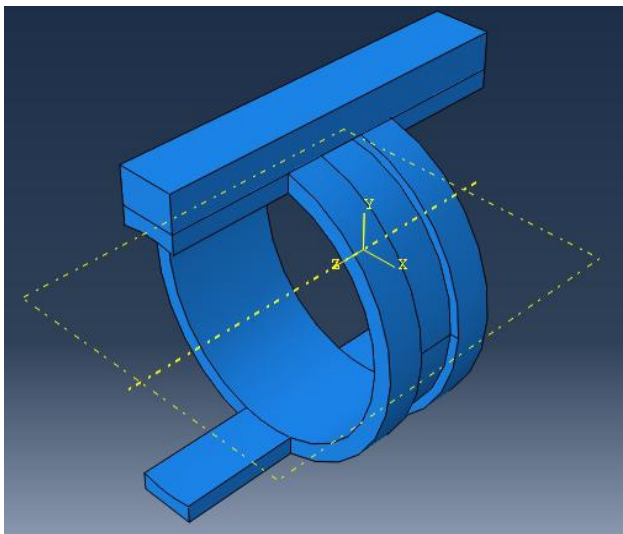
Y2-координата

Копировать Y2

☒ Отслеживать точки данных

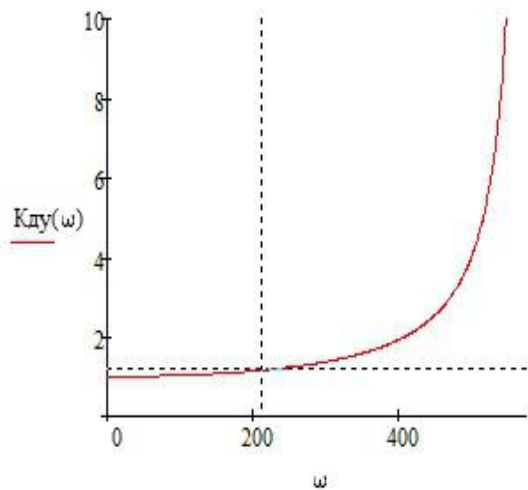
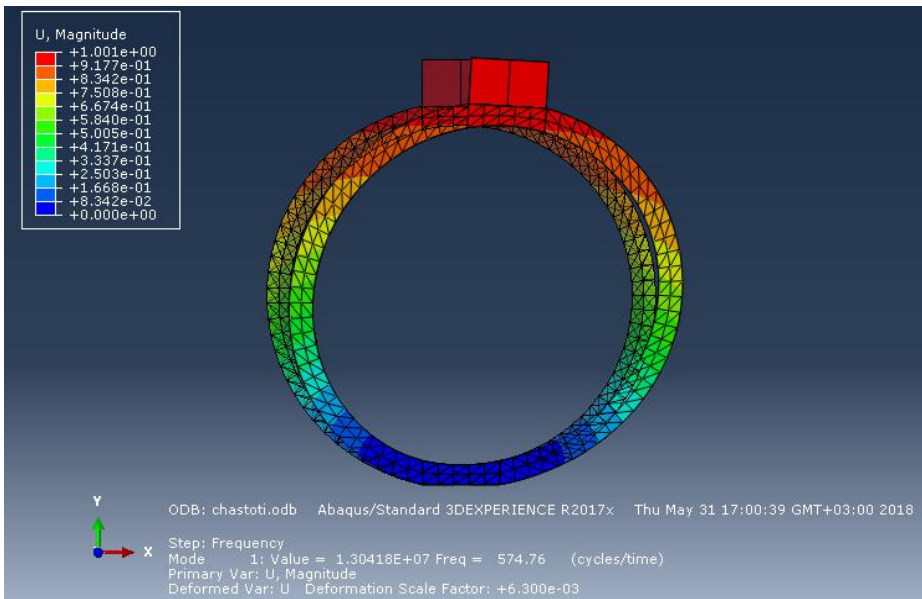
Закрыть

E I G E N V A L U E O U T P U T					
MODE NO	EIGENVALUE	FREQUENCY (RAD/TIME)	FREQUENCY (CYCLES/TIME)	GENERALIZED MASS	COMPOSITE MODAL DAMPING
1	2.11865E+07	4602.9	732.57	3.37636E-02	0.0000
2	4.04631E+07	6361.1	1012.4	1.92362E-02	0.0000
3	1.45282E+08	12053.	1918.3	1.29934E-02	0.0000
4	3.67563E+08	19172.	3051.3	8.60362E-03	0.0000
5	3.98763E+08	19969.	3178.2	3.90530E-03	0.0000



E I G E N V A L U E O U T P U T

MODE NO	EIGENVALUE	FREQUENCY (RAD/TIME)	FREQUENCY (CYCLES/TIME)	GENERALIZED MASS	COMPOSITE MODAL DAMPING
1	1.30418E+07	3611.3	574.76	4.90391E-02	0.0000
2	1.91306E+07	4373.9	696.12	4.27761E-02	0.0000
3	9.95517E+07	9977.6	1588.0	4.64436E-02	0.0000
4	3.12526E+08	17678.	2813.6	1.72664E-02	0.0000
5	3.84289E+08	19603.	3120.0	1.66740E-02	0.0000



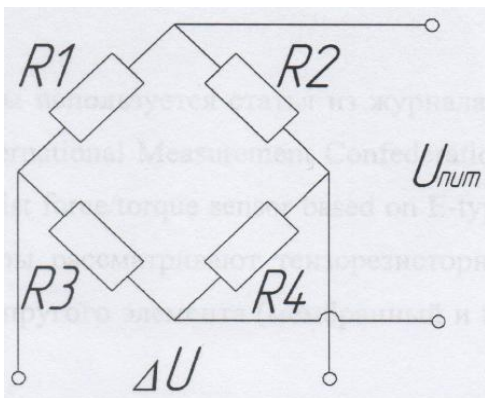
Трассировка графика X-Y

X-коорд: 208 Копировать X

Y-коорд: 1.1507 Копировать Y

Y2-коорд: Копировать Y2

☒ Отслеживать точки данных Закрыть



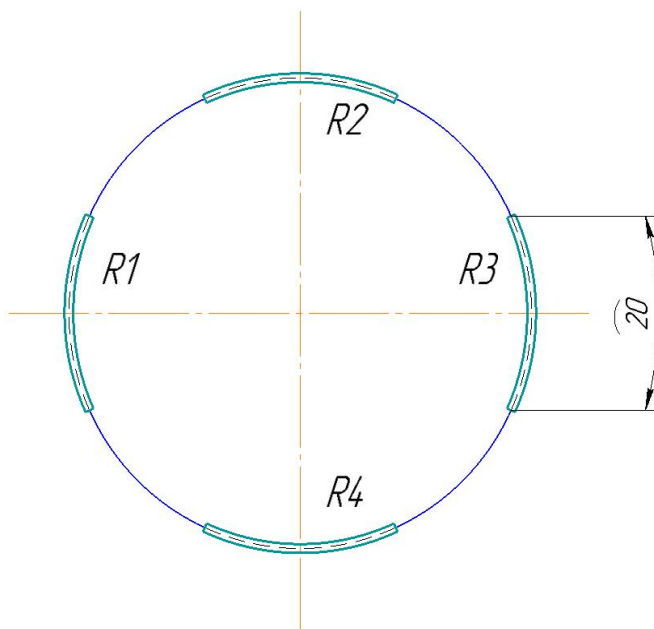
До нагрузки: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_0$

После нагрузки: $\Delta R_1 = \Delta R_3 = R_0 \cdot \mu \cdot \varepsilon_{11}$

$\Delta R_2 = \Delta R_4 = R_0 \cdot \mu \cdot \varepsilon_{12}$

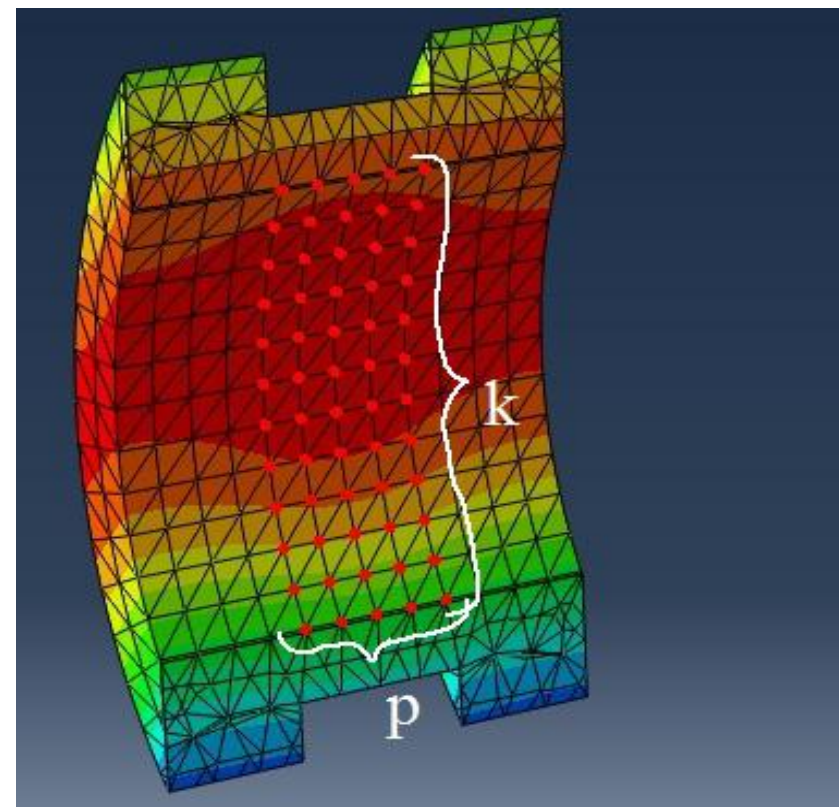
$$\Delta U = U_{\text{пит}} \cdot \left(\frac{R_4 + \Delta R_4}{R_1 + \Delta R_1 + R_4 + \Delta R_4} - \frac{R_3 + \Delta R_3}{R_2 + \Delta R_2 + R_3 + \Delta R_3} \right),$$

где $U_{\text{пит}} = 10 \text{ В}$.

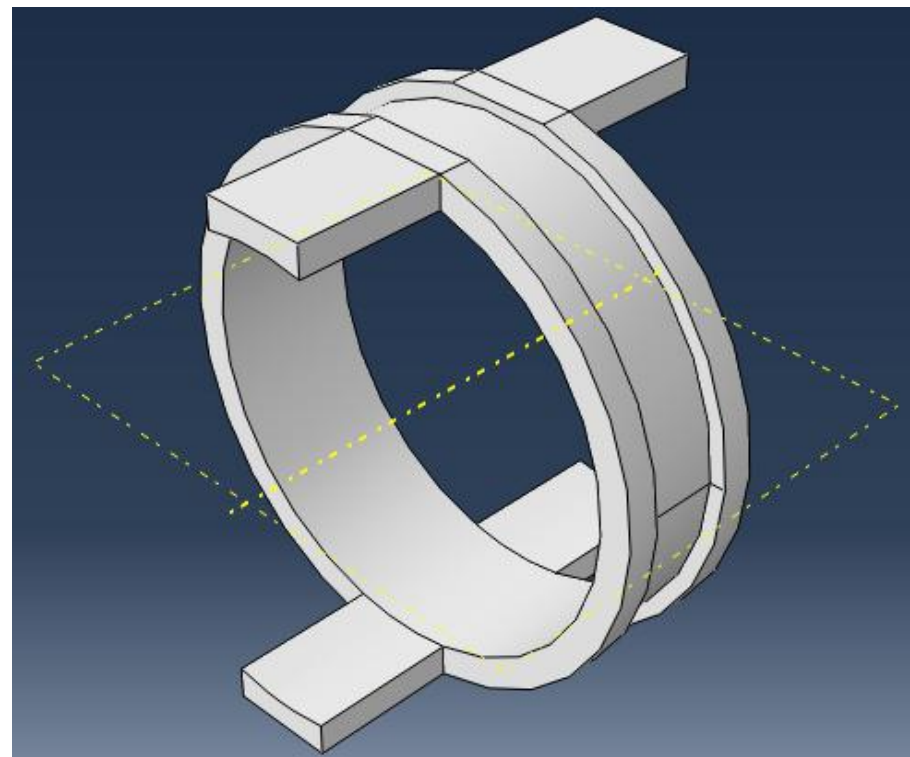
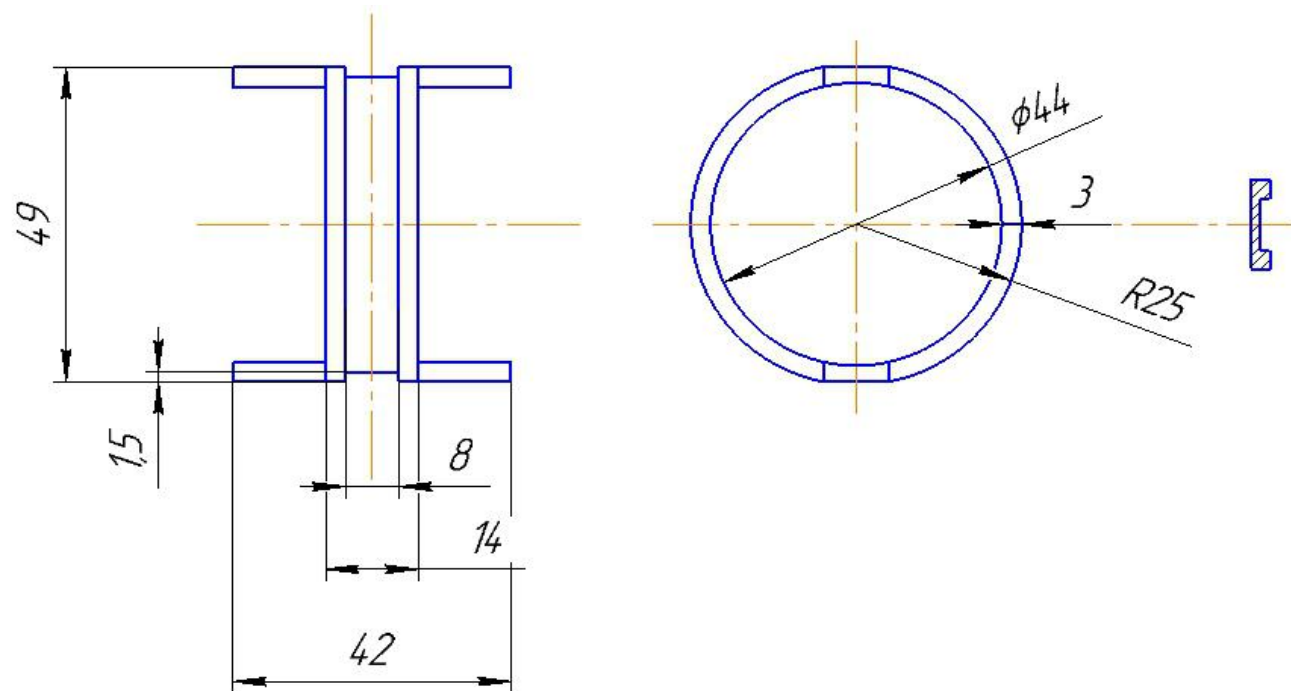


$$\Delta_i := \sqrt{\left(\frac{\sum_{j=0}^{p-1} \text{DeformedDistance}X_{i,j}}{p}\right)^2 + \left(\frac{\sum_{j=0}^{p-1} \text{DeformedDistance}Y_{i,j}}{p}\right)^2} - \sqrt{\left(\frac{\sum_{j=0}^{p-1} \text{BaseDistance}X_{i,j}}{p}\right)^2 + \left(\frac{\sum_{j=0}^{p-1} \text{BaseDistance}Y_{i,j}}{p}\right)^2}$$

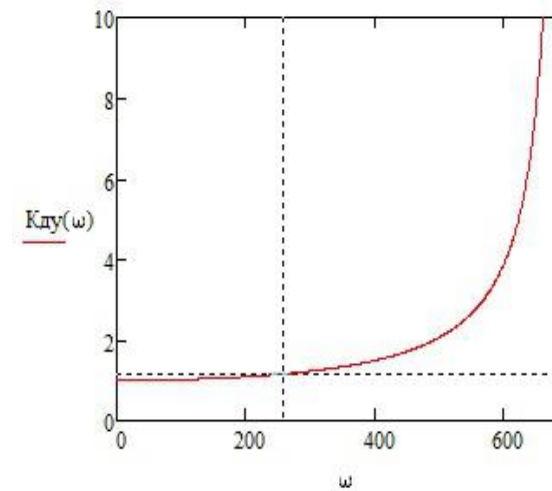
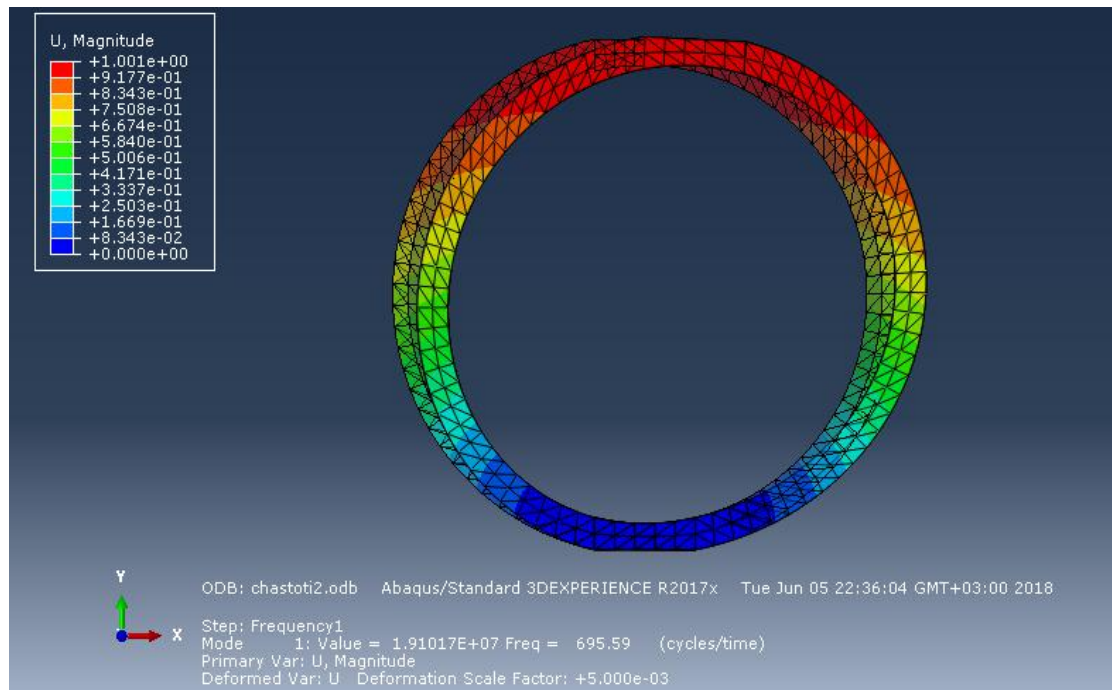
$$\epsilon_{mn} := \frac{\sum_{i=0}^{k-2} \Delta_i}{\sum_{i=0}^{k-2} \sqrt{\left(\frac{\sum_{j=0}^{p-1} \text{BaseDistance}X_{i,j}}{p}\right)^2 + \left(\frac{\sum_{j=0}^{p-1} \text{BaseDistance}Y_{i,j}}{p}\right)^2}}$$



- $\varepsilon_{11} = -2,256 \cdot 10^{-7}, \varepsilon_{12} = 2,101 \cdot 10^{-7},$
- $\Delta R_1 = \Delta R_3 = R_0 \cdot \mu \cdot \varepsilon_{11} = -R_0 \cdot 2 \cdot 2,256 \cdot 10^{-7} = -4,512 \cdot 10^{-7} R_0,$
- $\Delta R_2 = \Delta R_4 = R_0 \cdot \mu \cdot \varepsilon_{12} = R_0 \cdot 2 \cdot 2,101 \cdot 10^{-7} = 4,202 \cdot 10^{-7} R_0,$
- $\Delta U = 10 \cdot \left(\frac{1+2 \cdot 2,101 \cdot 10^{-7}}{2+2 \cdot 2,101 \cdot 10^{-7}-2 \cdot 2,256 \cdot 10^{-7}} - \frac{1-2 \cdot 2,256 \cdot 10^{-7}}{2+2 \cdot 2,101 \cdot 10^{-7}-2 \cdot 2,256 \cdot 10^{-7}} \right) = 4,357 \cdot 10^{-6} \text{ В},$
- Откуда $K_{\text{преобр}} = 4,357 \cdot 10^{-6} \text{ В/Н}, K1_{\text{чувств}}^1 = |\mu \cdot \varepsilon_{11}| = 4,512 \cdot 10^{-7},$
- $K1_{\text{чувств}}^2 = |\mu \cdot \varepsilon_{12}| = 4,202 \cdot 10^{-7}.$



$$\frac{1 \text{ Н}}{7,946 \cdot 10^5 \text{ Па}} = \frac{P_{\text{макс}}}{255 \cdot 10^6 \text{ Па}} \Rightarrow P_{\text{макс}} = 320,9 \text{ Н}$$



Трассировка графика X-Y

X-коорд: 253.4

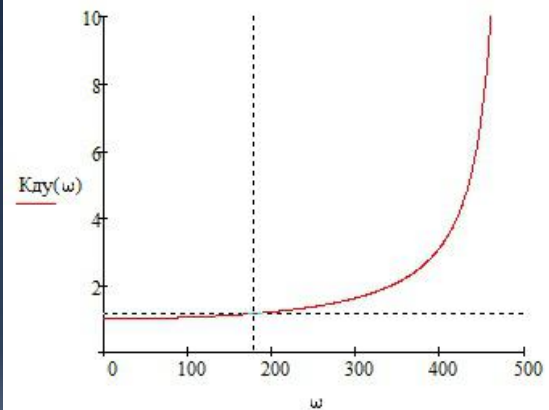
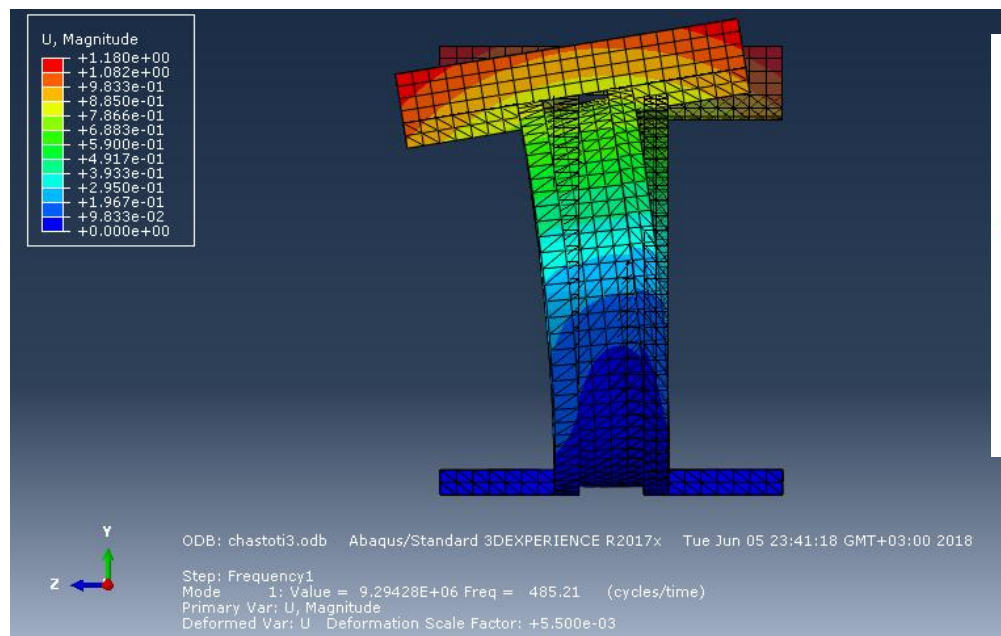
Y-коорд: 1.153

Y2-коорд:

☒ Отслеживать точки данных

E I G E N V A L U E O U T P U T

MODE NO	EIGENVALUE	FREQUENCY (RAD/TIME)	FREQUENCY (CYCLES/TIME)	GENERALIZED MASS	COMPOSITE MODAL DAMPING
1	1.91017E+07	4370.6	695.59	2.05196E-02	0.0000
2	2.55995E+07	5059.6	805.26	1.59050E-02	0.0000
3	1.43850E+08	11994.	1908.9	1.48626E-02	0.0000
4	3.09746E+08	17600.	2801.1	8.89859E-03	0.0000
5	5.78532E+08	24053.	3828.1	3.54653E-03	0.0000



Трассировка графика X-Y

X-координата: 175

Y-координата: 1.1495

Y2-координата:

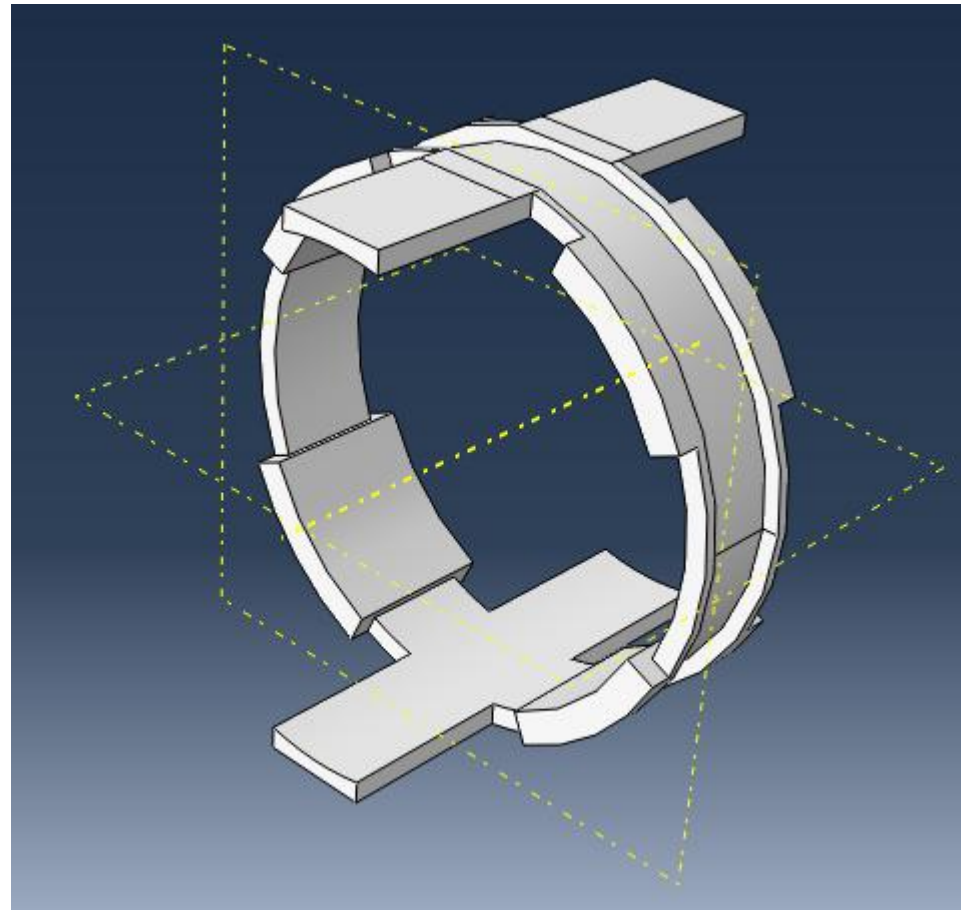
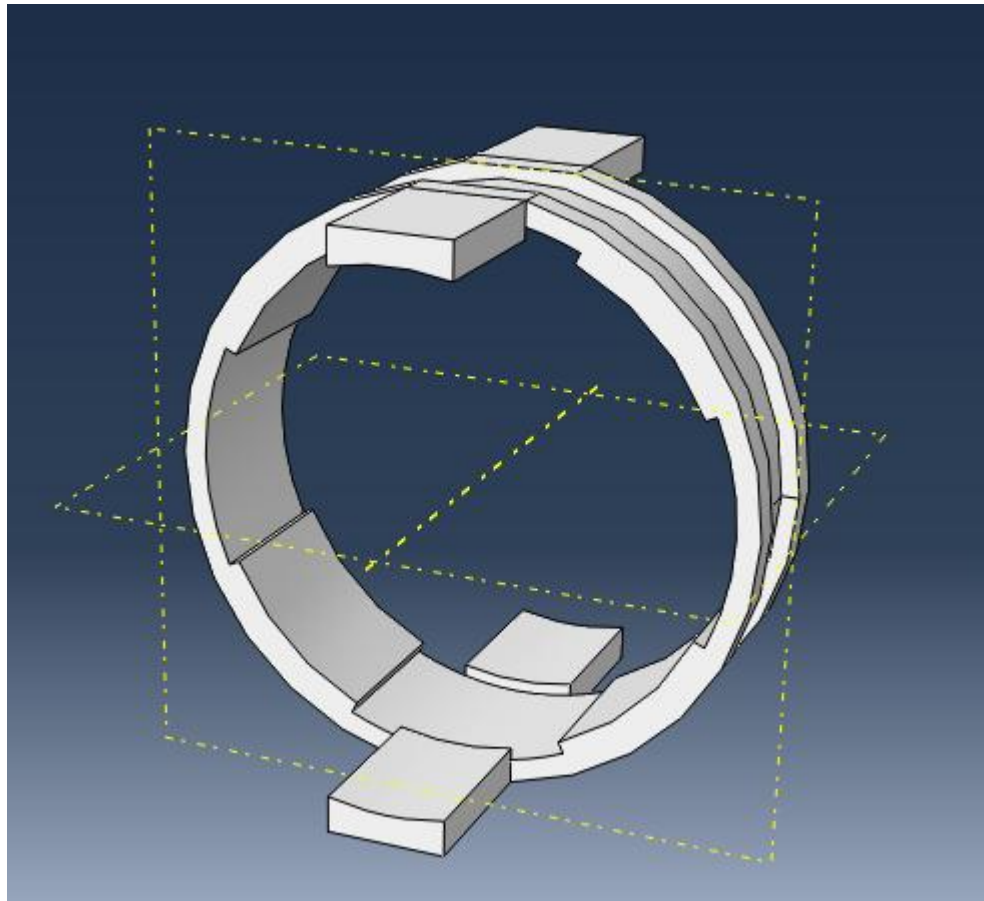
☒ Отслеживать точки данных

E I G E N V A L U E O U T P U T

MODE NO	EIGENVALUE	FREQUENCY (RAD/TIME)	FREQUENCY (CYCLES/TIME)	GENERALIZED MASS	COMPOSITE MODAL DAMPING
1	9.29428E+06	3048.7	485.21	3.01266E-02	0.0000
2	9.40583E+06	3066.9	488.11	3.73589E-02	0.0000
3	8.10197E+07	9001.1	1432.6	3.94664E-02	0.0000
4	2.46827E+08	15711.	2500.4	1.83027E-02	0.0000
5	3.50978E+08	18734.	2981.7	1.46811E-02	0.0000

- $\varepsilon_{21} = -1,669 \cdot 10^{-6}, \varepsilon_{22} = 1,528 \cdot 10^{-6},$
- $\Delta R_1 = R_3 = R_0 \cdot \mu \cdot \varepsilon_{11} = -R_0 \cdot 2 \cdot 1,669 \cdot 10^{-6} = -3,338 \cdot 10^{-6} R_0,$
- $\Delta R_2 = R_4 = R_0 \cdot \mu \cdot \varepsilon_{12} = R_0 \cdot 2 \cdot 1,528 \cdot 10^{-6} = 3,056 \cdot 10^{-6} R_0,$
- $\Delta U = 10 \cdot \left(\frac{1+2 \cdot 2,101 \cdot 10^{-7}}{2+2 \cdot 2,101 \cdot 10^{-7}-2 \cdot 2,256 \cdot 10^{-7}} - \frac{1-2 \cdot 2,256 \cdot 10^{-7}}{2+2 \cdot 2,101 \cdot 10^{-7}-2 \cdot 2,256 \cdot 10^{-7}} \right) = 4,725 \cdot 10^{-5} \text{ В},$
- Откуда $K_{\text{преобр}} = 4,725 \cdot 10^{-5} \text{ В/Н}, K2_{\text{чувств}}^1 = |\mu \cdot \varepsilon_{21}| = 3,338 \cdot 10^{-6},$
- $K2_{\text{чувств}}^2 = |\mu \cdot \varepsilon_{22}| = 6,112 \cdot 10^{-6}.$

Варианты	$R_{крит}, Н$	1-я собственная частота без массы, Гц	1-я собственная частота с массой, Гц	Д и а п а з о н рабочих частот без массы, Гц	Д и а п а з о н рабочих частот с массой, Гц	$K^1_{чувств}$	$K^2_{чувств}$	$K_{преобр}, В/Н$
1 - е исполнение	620	732,57	574,76	0-266	0-208	$4,512 \cdot 10^{-7}$	$4,202 \cdot 10^{-7}$	$4,357 \cdot 10^{-6}$
2 - е исполнение	320,9	695,59	485,21	0-253,4	0-175	$3,338 \cdot 10^{-6}$	$6,112 \cdot 10^{-6}$	$4,725 \cdot 10^{-5}$



ИТОГИ

- Проведён литературный обзор существующих форм УЭ и выбрана наиболее подходящая
- Смоделированы УЭ в программном комплексе «Abaqus»
- Определение параметры (размеры) УЭ
- Определены максимально допустимые нагрузки
- Определён диапазон рабочих частот для УЭ
- Определены чувствительности УЭ
- УЭ был усовершенствован
- Выполнено сравнение полученных данных и были даны общие рекомендации