



# Моделирование электромагнитных катушек в ELCUT



**Ольга Карасёва,**  
Заместитель коммерческого директора,  
Группа поддержки пользователей ELCUT



**Александр Любимцев,**  
Инженер группы поддержки пользователей  
Группа поддержки пользователей ELCUT



# ELCUT - программа для инженерного моделирования электромагнитных, тепловых и механических задач методом конечных элементов

## Где используется:

- НИИ, инновационные компании, разработчики и исследователи
- промышленные предприятия, КБ, отраслевые научные центры;
- ВУЗы;
- Экспериментально применяется в школах

→ [http://elcut.ru/cust\\_r.htm](http://elcut.ru/cust_r.htm)

→ [http://elcut.ru/vuz\\_r.htm](http://elcut.ru/vuz_r.htm)

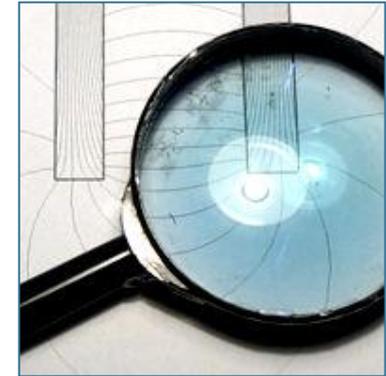
→ [http://elcut.ru/story\\_r.htm](http://elcut.ru/story_r.htm)





## Для чего используется, основные области:

- высоковольтные системы,
- громкоговорители, датчики,
- изоляция,
- исполнительные механизмы,
- кабели, конденсаторы,
- линии электропередач,
- магнитопроводы,
- механические системы,
- сверхпроводники,
- тепловые системы,
- электрические машины, трансформаторы,
- установки индукционного нагрева,
- электромагнитная совместимость,
- электронная оптика



→ [http://elcut.ru/free\\_ex\\_r.htm](http://elcut.ru/free_ex_r.htm)

→ [http://elcut.ru/appl\\_r.htm](http://elcut.ru/appl_r.htm)

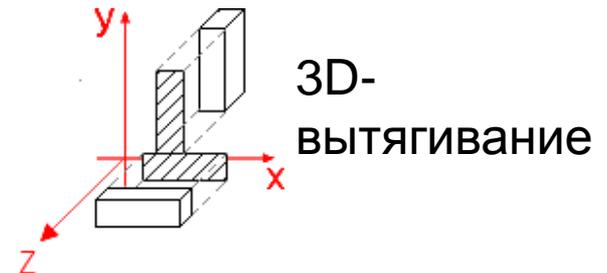
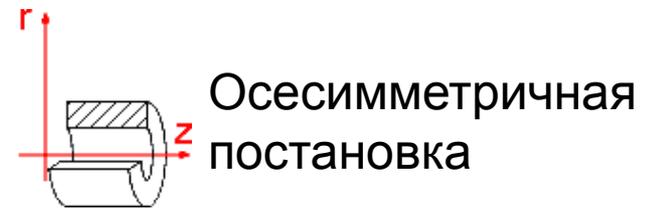
→ [http://elcut.ru/publications/publications\\_index.php](http://elcut.ru/publications/publications_index.php)



# ELCUT 6.0.

## Типы анализа и геометрические постановки

<b>Магнитное поле</b>	
Магнитные задачи	2D Магнитостатика
	2D Магнитное поле переменных токов
	2D Нестационарное магнитное поле
<b>Электрическое поле</b>	
Электрические задачи	2D Электростатика и 2D Электрическое поле постоянных токов +3D Электростатика
	2D Электрическое поле переменных токов
	2D Нестационарное электрическое поле
<b>Тепловые поля и механические напряжения</b>	
Тепловые и механические задачи	2D Стационарная теплопередача
	2D Нестационарная теплопередача
	2D Анализ упругих деформаций





# Возможности ELCUT

## Магнитные задачи

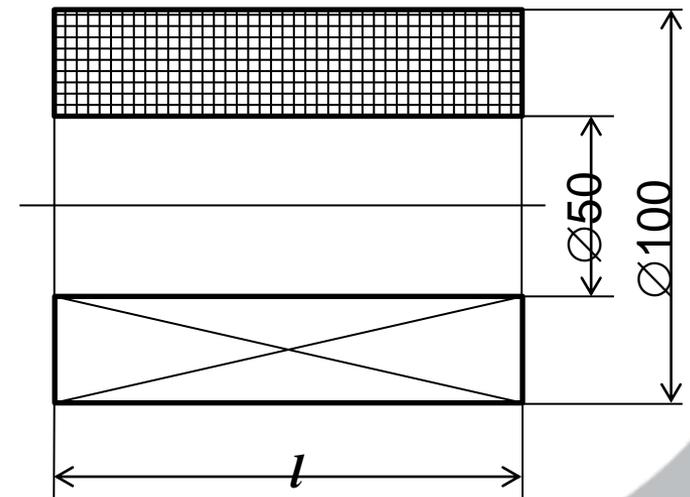
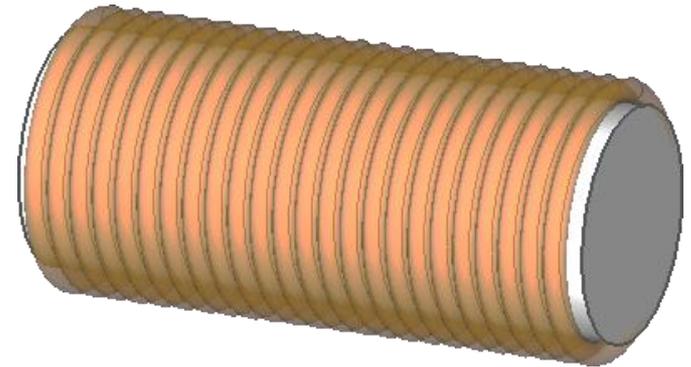
- Магнитное поле переменных токов
- Нестационарное магнитное поле
- Магнитостатика

## Электрические задачи

- Электрическое поле переменных токов
- Электрическое поле постоянных токов
- Нестационарное электрическое поле
- Электростатика

## Тепловые и механические задачи

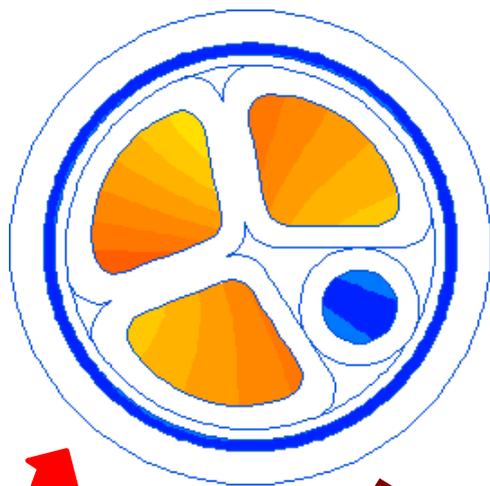
- Упругие напряжения и деформации
- Нестационарная теплопередача
- Стационарная теплопередача





# Мультифизика

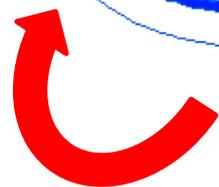
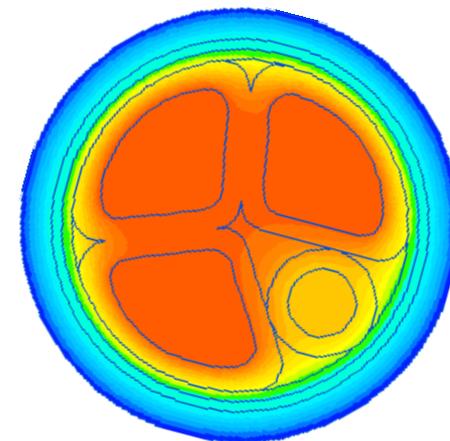
Электромагнитные  
поля



Джоулево  
тепло

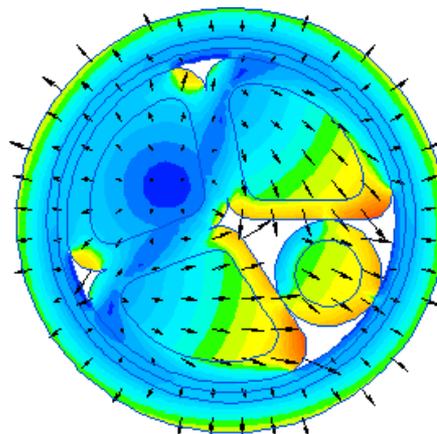


Температурные  
поля



Импорт  
магнитного  
состояния

Силы

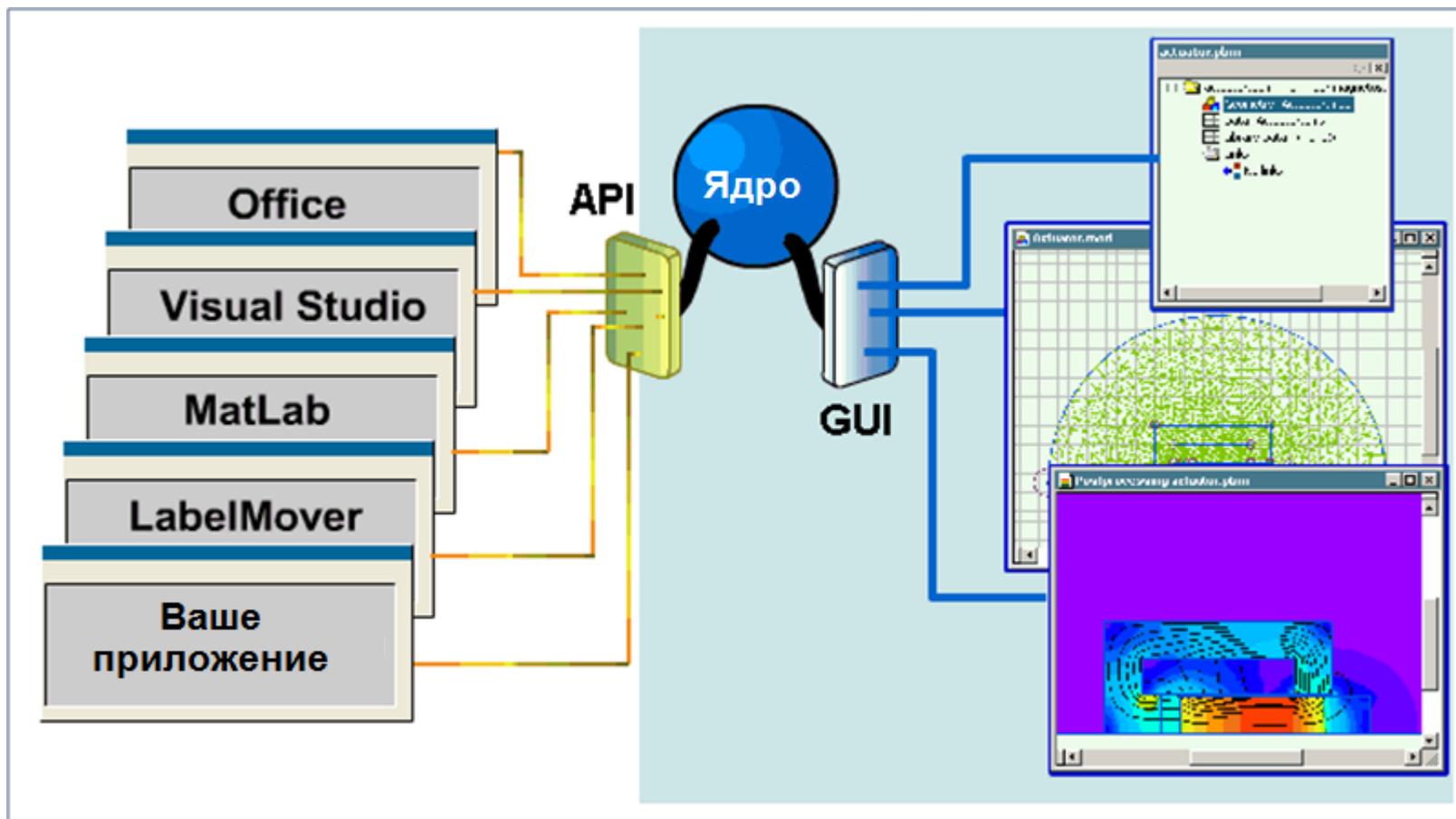


Напряжения и  
деформации

Термические  
напряжения



# Открытый объектный интерфейс





# Моделирование электромагнитных катушек в ELCUT



**Ольга Карасёва,**  
Заместитель коммерческого директора,  
Группа поддержки пользователей ELCUT



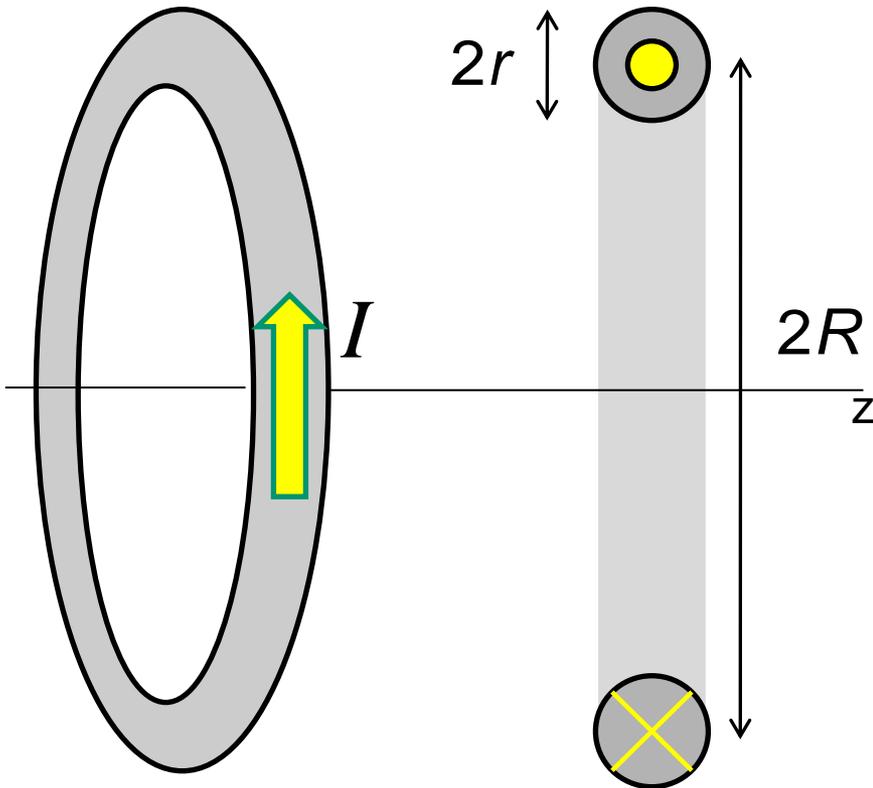
**Александр Любимцев,**  
Инженер группы поддержки пользователей  
Группа поддержки пользователей ELCUT



# Моделирование электромагнитных катушек в ELCUT

1. Одновитковая катушка
2. Многовитковая катушка
3. Специальные катушки:  
Гельмгольца, Максвелла, Брукса
4. Катушка в электрической цепи
5. Нагрев катушки
6. Механические напряжения в катушке
7. Модель с внешним кодом

# Одновитковая катушка



## Дано:

Ток  $I = 1$  А

Радиус кольца  $R = 100$  мм

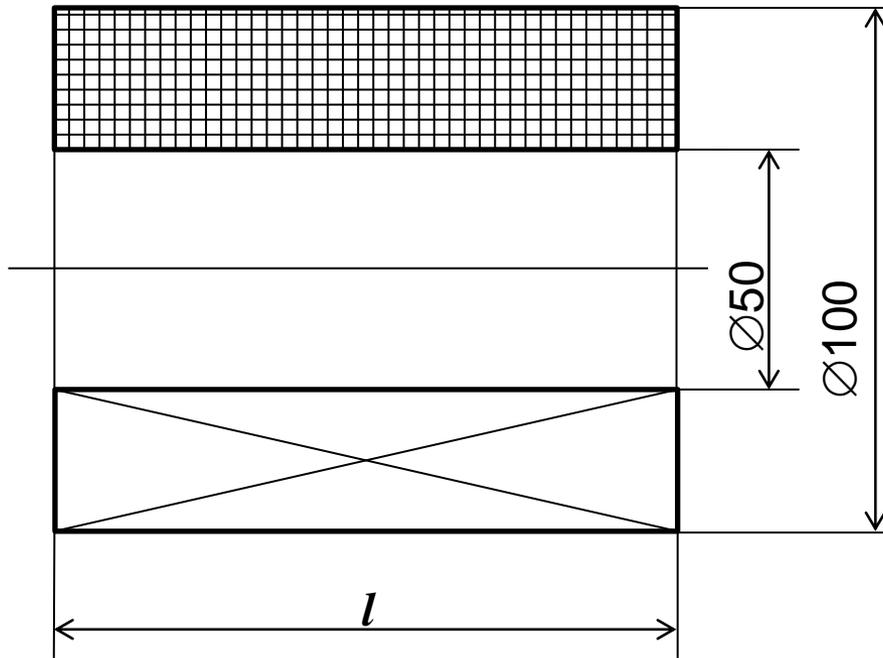
Радиус провода  $r = 2$  мм

Магнитная индукция на оси ( $r \ll R$ )

$$B(z) = \mu_0 / 4\pi * I * 2\pi R^2 / (z^2 + R^2)^{3/2}$$



# Многовитковая катушка (соленоид)



## Дано:

Число витков

$$N = 7500$$

Длина соленоида

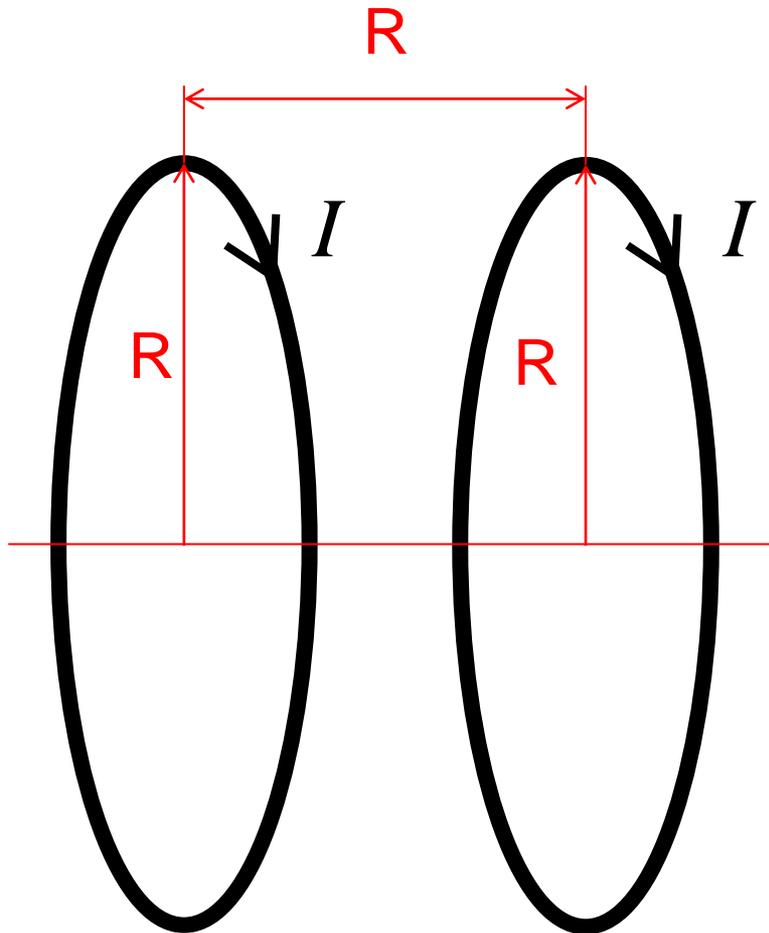
$$l = 300 \text{ мм}$$

Магнитная индукция внутри соленоида:

$$B = \mu_0 * I * N / l$$



# Катушка Гельмгольца



**Дано:**

Ток  $I = 1$  А,

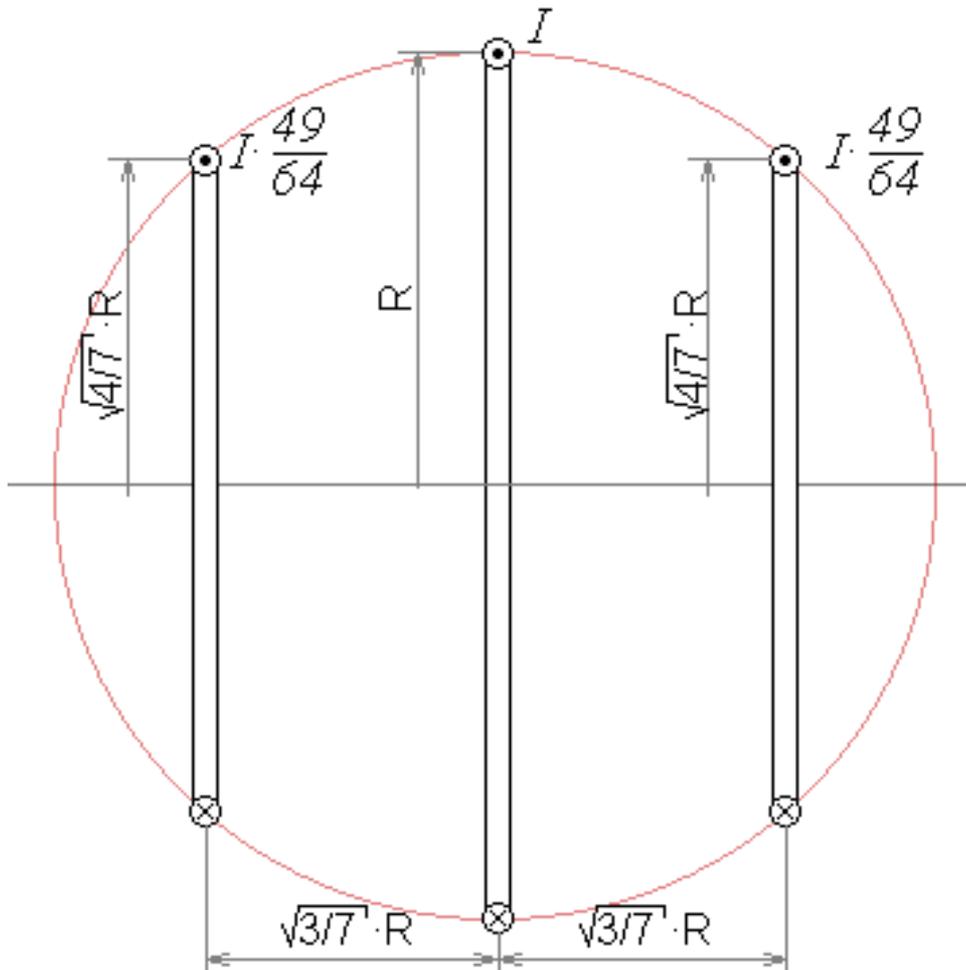
Радиус кольца  $R = 1$  м

Магнитная индукция  
в центре:

$$B = (0.8)^{3/2} * \mu_0 * I / R$$



# Катушка Максвелла



**Дано:**

Ток  $I = 1$  А,

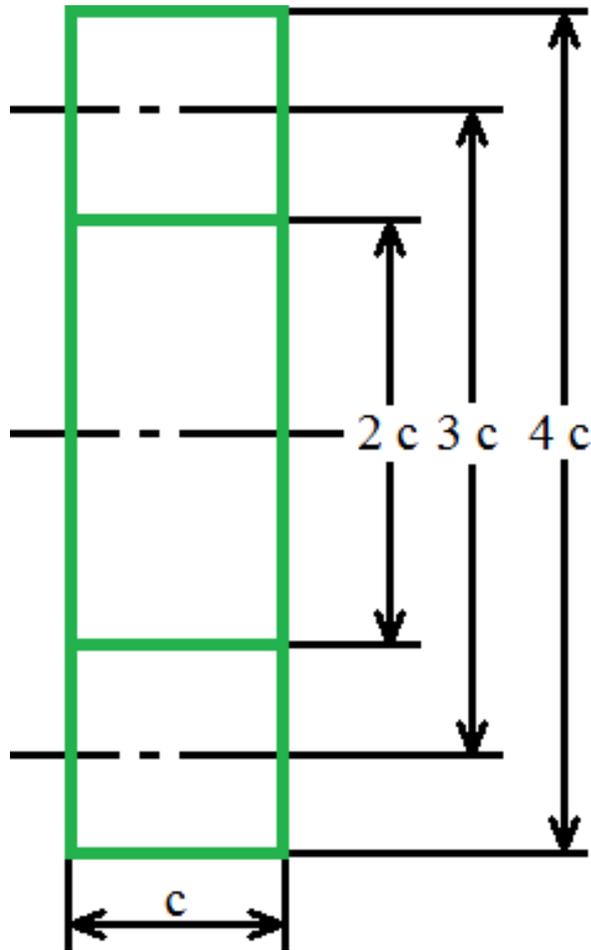
Радиус катушки  $R = 1$  м,

Магнитная индукция  
в центре:

$$B = (15/16) \cdot \mu_0 \cdot I / R$$



# Катушка Брукса



**Дано:**

Ток  $I = 1$  А,

Число витков  $N = 200$ ,

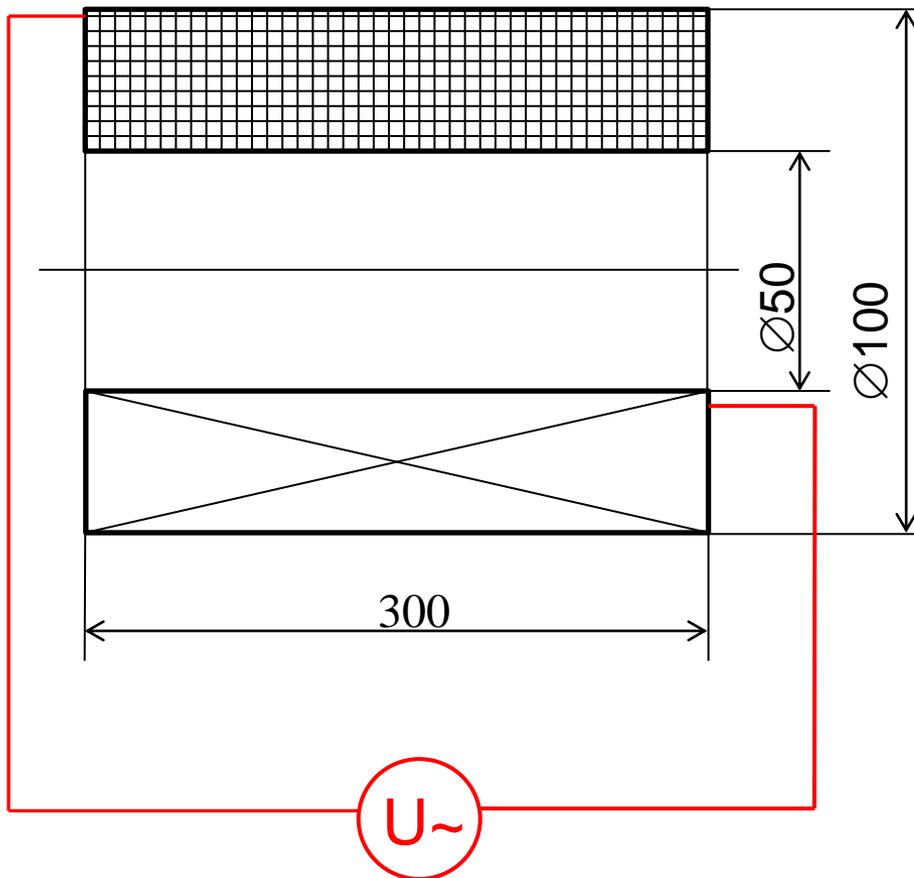
$c = 20$  мм.

**Индуктивность**

$$L = 1.6994 \cdot 10^{-6} \cdot (3/2 \cdot c) \cdot N^2$$



# Катушка в электрической цепи



## Дано:

Напряжение  $U = 220$  В,

Частота  $f = 50$  Гц.

Проводимость  $g = 56 \cdot 10^6$  См/м

Число витков  $N = 7500$

Ток катушки

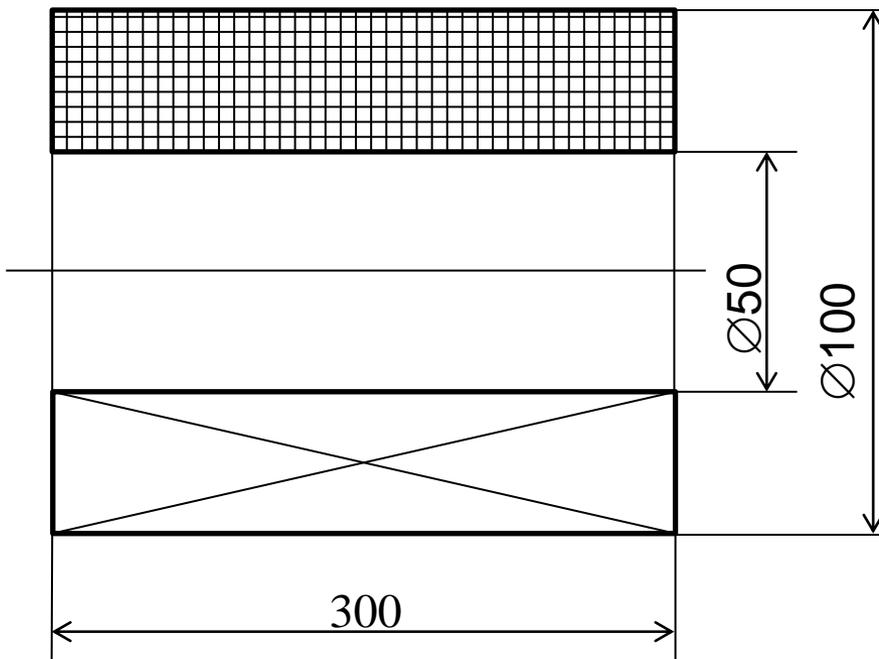
$$I = U / (r + j \cdot 2\pi f^* L)$$

Полная мощность

$$S = U \cdot I^*$$



# Нагрев катушки



## Дано:

Температура  
окружающей среды:

$$T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Коэффициент конвекции:

$$\alpha = 10 \text{ Вт/К}\cdot\text{м}^2$$

Объемная мощность

Тепловыделения:

$$W = \text{Мощность} / \text{Объем}$$



# Механические напряжения в катушке

## Дано:

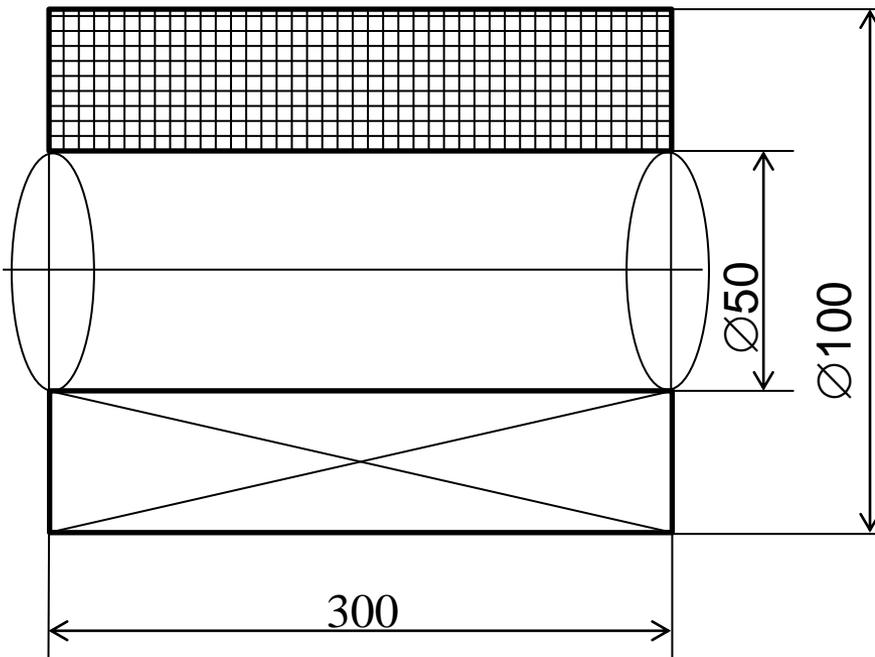
Модуль Юнга:

$$E = 17 \text{ МПа}$$

Коэффициент термического расширения:

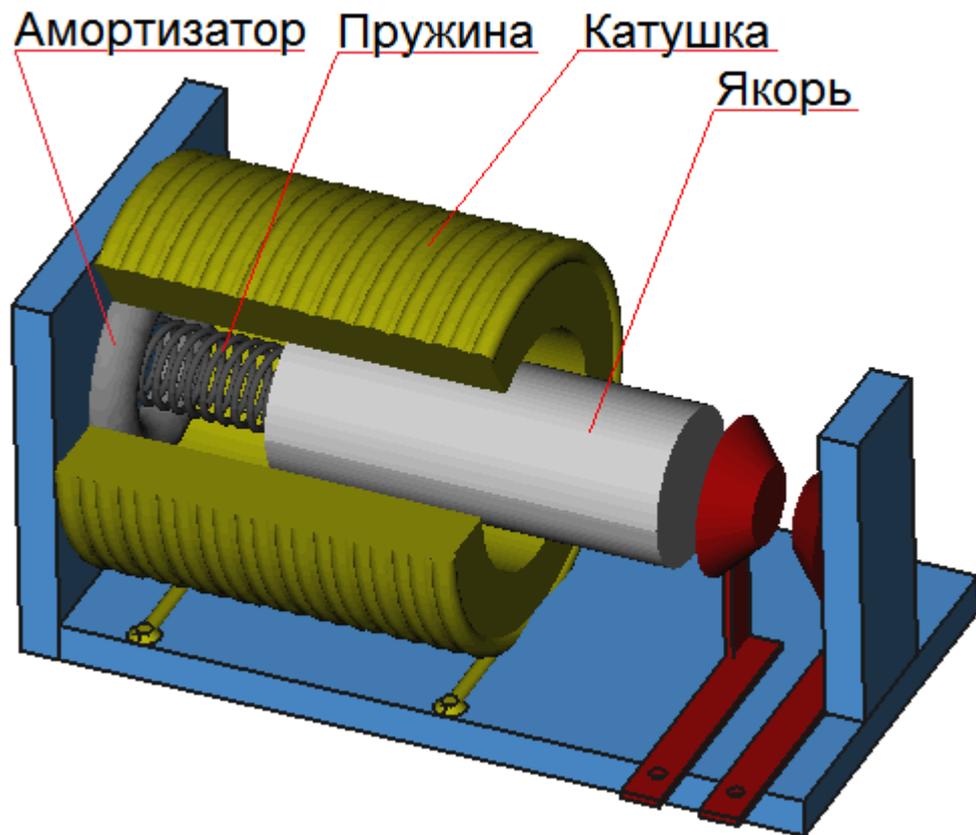
$$\alpha = 16.6 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$$

Напряжения в катушке вызваны электромагнитной силой и нагревом катушки





# Модель с внешним кодом



## Дано:

Ток  $I = 0.2$  А.

Число витков  $N=2000$

Рассчитать движение якоря  $x(t)$



**Спасибо за внимание!**

**До новых встреч!**

**Наш сайт [www.elcut.ru](http://www.elcut.ru)**  
**Наш адрес [info@elcut.ru](mailto:info@elcut.ru)**