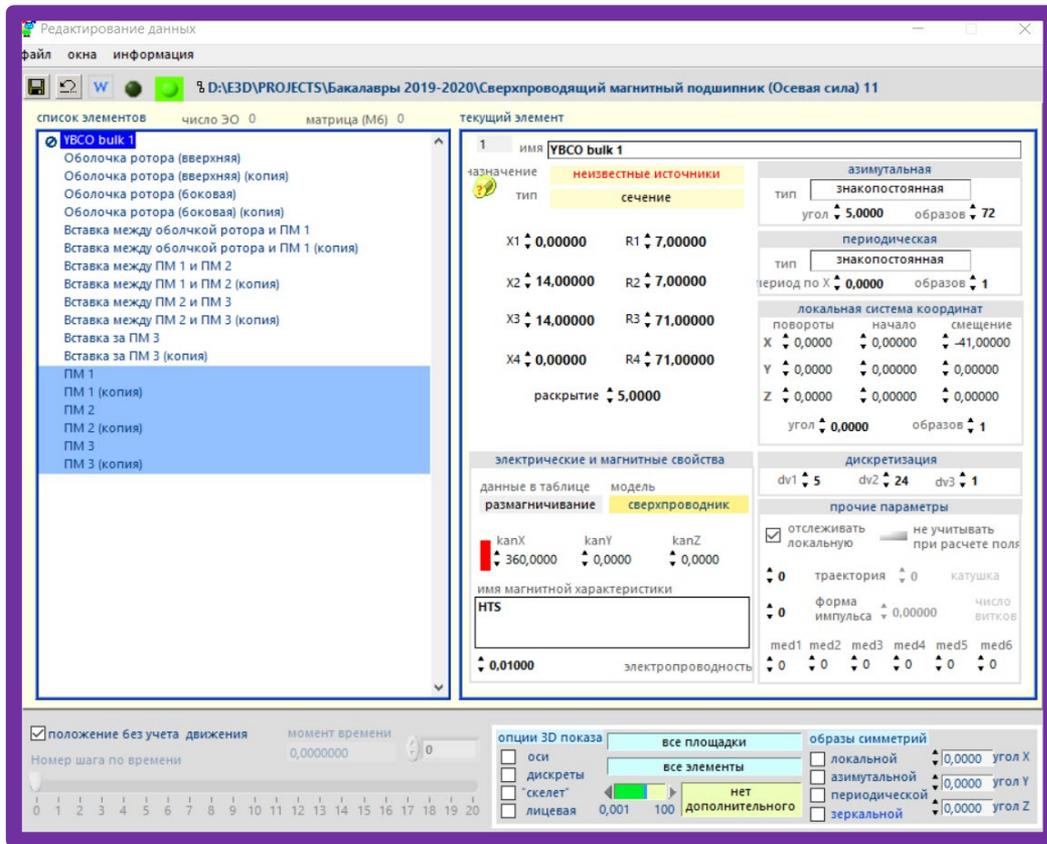




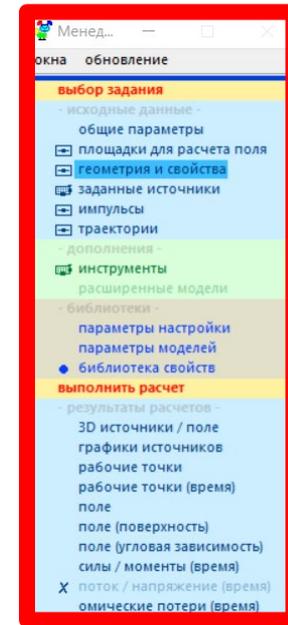
Анализ электромагнитных полей в программе **EasyMAG3D**

EasyMag3D

ОСНОВНЫЕ ОКНА



Редактирование данных

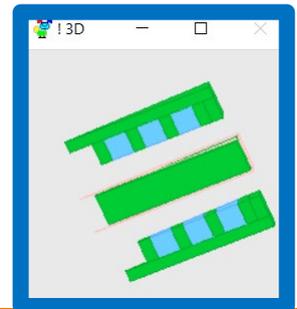


Менеджер

- Переключение окон

3D

- Отображение геометрии



EasyMag3D

ОСНОВНЫЕ ОКНА

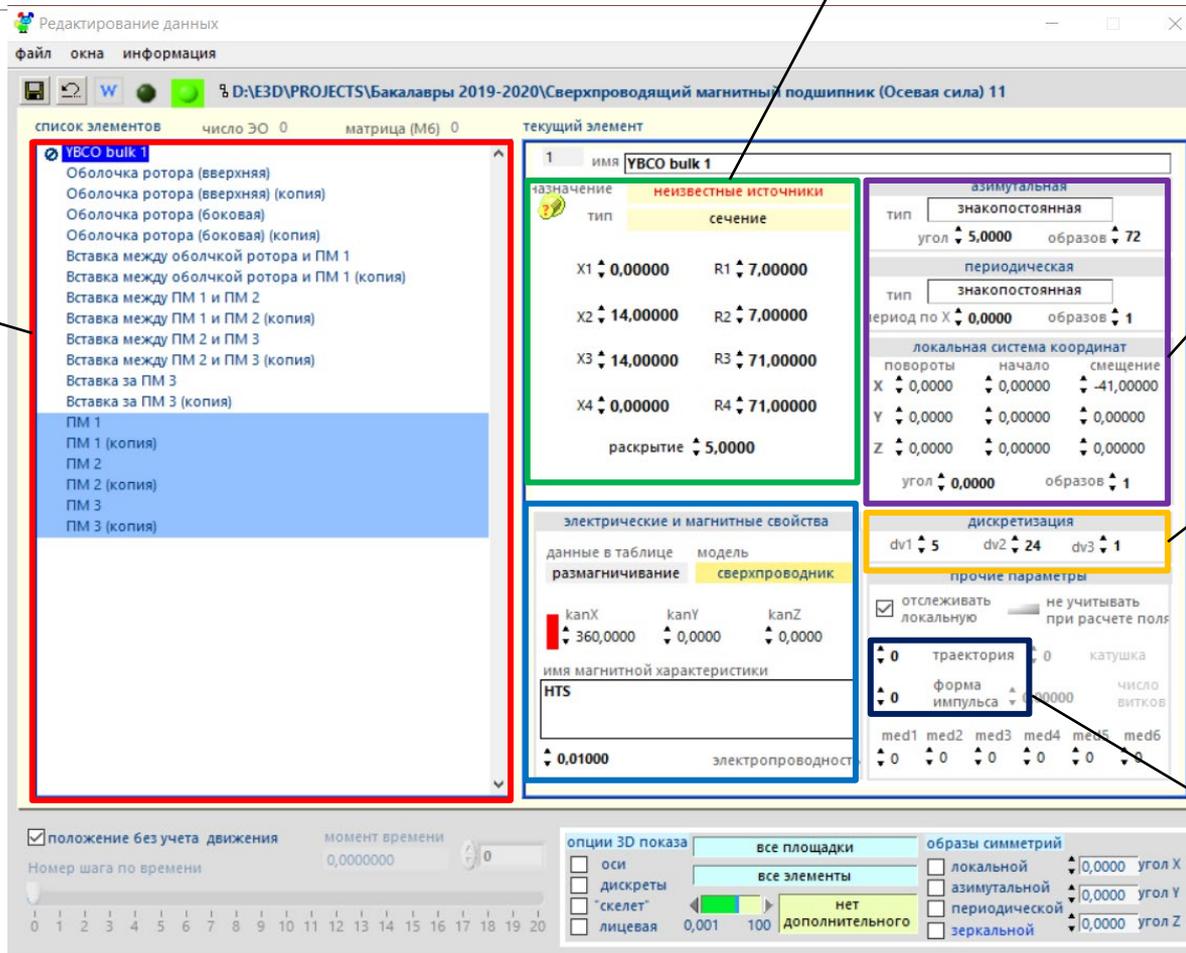
Заданные
элементы
геометрии

Задание
геометрии

Симметрия и
локальная
система
координат

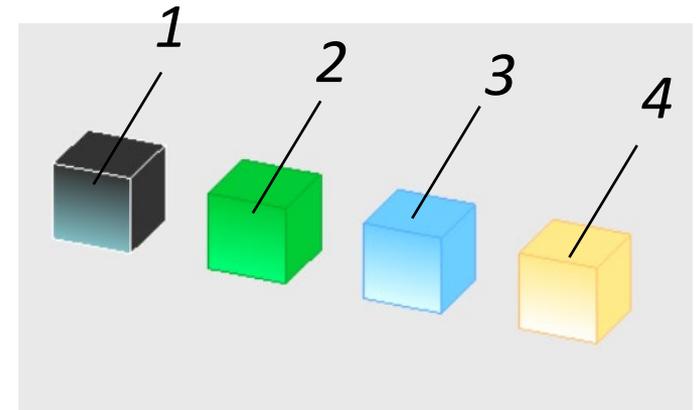
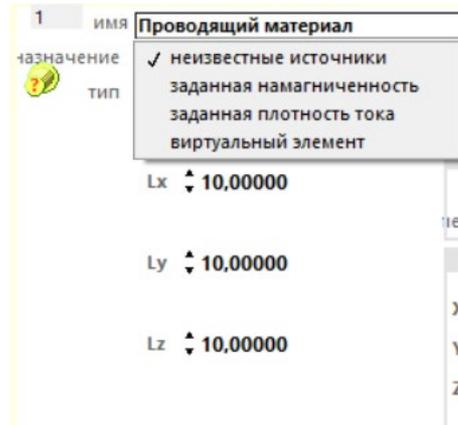
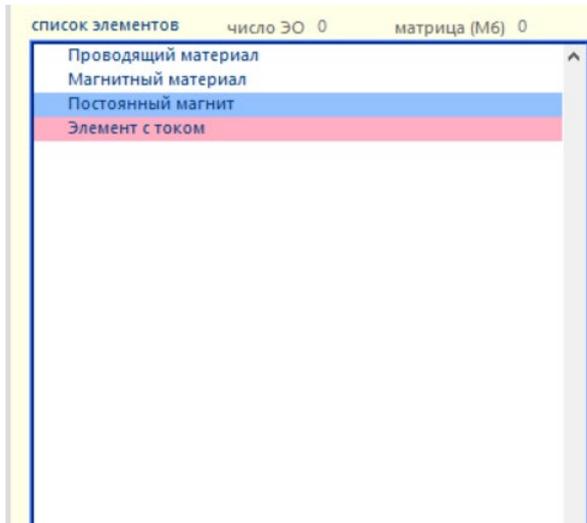
Дискретизация
– разбиение на
элементарные
объемы (ЭО)

Присвоение
траектории и
импульса



EasyMag3D

ТИПЫ ЭЛЕМЕНТОВ



№	Тип элемента	Части конструкции
1	Неизвестные источники	Проводящий материал
2		Магнитный материал
3	Заданная намагниченность	Постоянный магнит
4	Заданная плотность тока	Обмотки, катушки, шины с током

EasyMag3D

заданные источники

Список элементов

№	Тип элемента	Чем задается
1	Заданная намагниченность	Намагниченность M , кА/м
2	Заданная плотность тока	Плотность тока J , А/мм ²

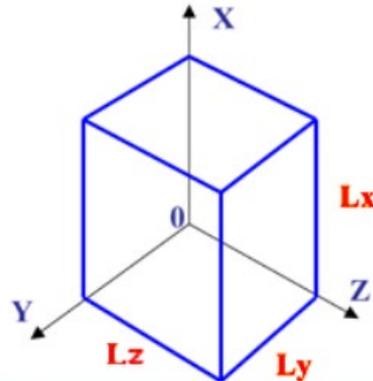
источники в элементарных объемах

##	№ эо	ШГ	D1	D2	D3	LAS	ASV	PSV	Mx'	My'	Mz'
1	3	3	1	1	1	1	1	1	10000	0,000000	0,000000
2	4	4	1	1	1	1	1	1	2	0,000000	0,000000

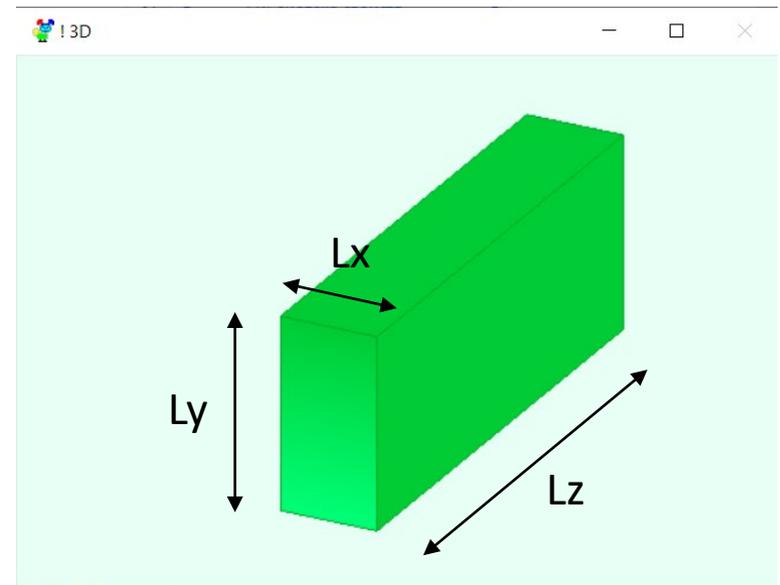
EasyMag3D

ВИДЫ ГЕОМЕТРИИ - ПРИЗМА

З	имя	призма
назначение	неизвестные источники	
тип	прямая призма	
Lx	↕ 10,00000	
Ly	↕ 20,00000	
Lz	↕ 50,00000	



Для прямой призмы достаточно задать размеры сторон Lx, Ly, Lz. Каждая из сторон должна быть невырождена.



EasyMag3D

ВИДЫ ГЕОМЕТРИИ - ШЕСТИГРАННИК

назначение

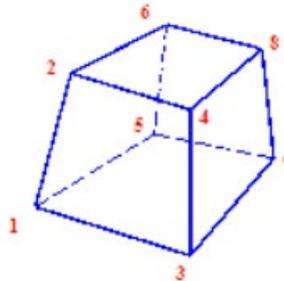
неизвестные источники



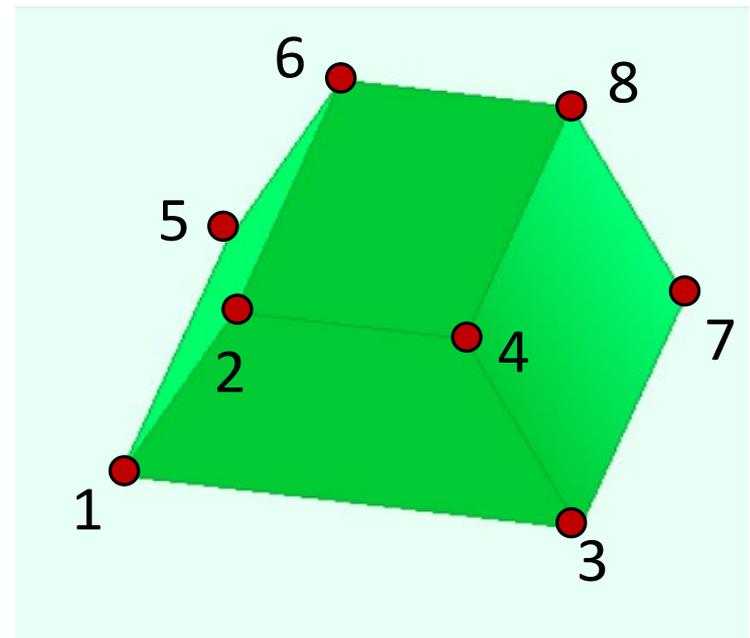
тип

вершины шестигранника

	X	Y	Z
#1	▲ -10,00000	▲ -5,00000	▲ 20,00000
#2	▲ -5,00000	▲ 5,00000	▲ 20,00000
#3	▲ 10,00000	▲ -5,00000	▲ 20,00000
#4	▲ 5,00000	▲ 5,00000	▲ 20,00000
#5	▲ -10,00000	▲ -5,00000	▲ 0,00000
#6	▲ -5,00000	▲ 5,00000	▲ 0,00000
#7	▲ 10,00000	▲ -5,00000	▲ 0,00000
#8	▲ 5,00000	▲ 5,00000	▲ 0,00000



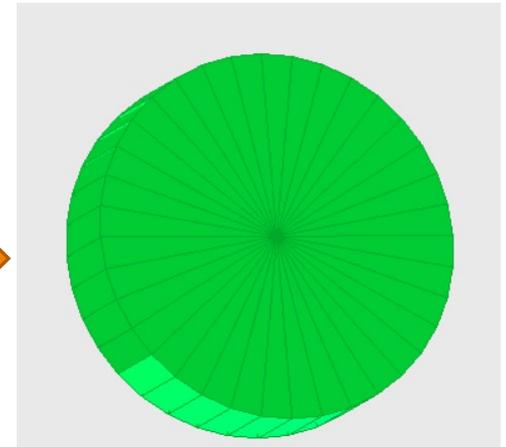
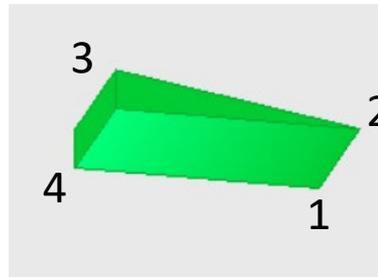
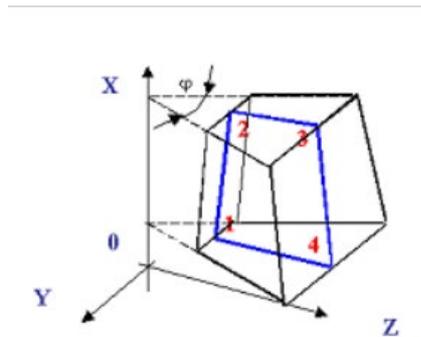
- Должна соблюдаться параллельность следующих пар сторон: 13 - 24, 15 - 26, 15 - 37, 15 - 48, 75 - 68.
- Стороны 13 и 15 не могут быть вырождены в точку.



EasyMag3D

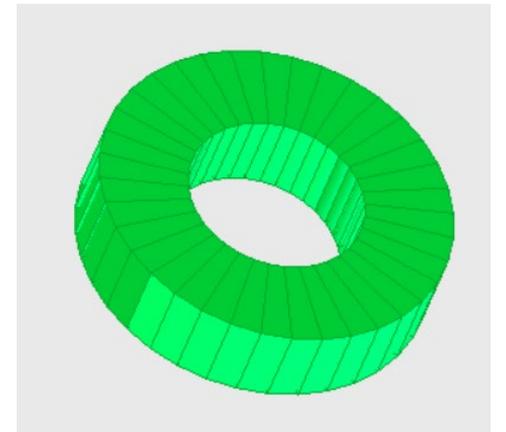
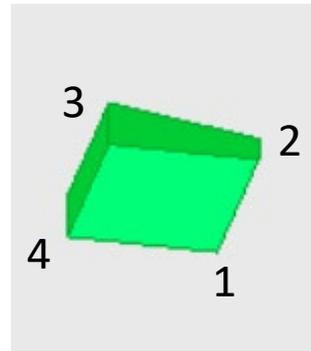
ВИДЫ ГЕОМЕТРИИ - сечение

значение	неизвестные источники		
тип	сечение		
X1	0,00000	R1	0,00000
X2	10,00000	R2	0,00000
X3	10,00000	R3	20,00000
X4	0,00000	R4	20,00000
раскрытие		10,0000	



значение	неизвестные источники		
тип	сечение		
X1	0,00000	R1	10,00000
X2	10,00000	R2	10,00000
X3	10,00000	R3	20,00000
X4	0,00000	R4	20,00000
раскрытие		10,0000	

Должна соблюдаться параллельность:
 - либо сторон сечения 14 и 23,
 - либо сторон сечения 12 и 34.



EasyMag3D

азимутальная симметрия

назначение **неизвестные источники**

тип	сечение
X1 ↕ 0,00000	R1 ↕ 0,00000
X2 ↕ 10,00000	R2 ↕ 0,00000
X3 ↕ 10,00000	R3 ↕ 20,00000
X4 ↕ 0,00000	R4 ↕ 20,00000

раскрытие ↕ 10,0000

азимутальная

тип **знакопостоянная**

угол ↕ 20,0000 образов ↕ 18

периодическая

тип **знакопостоянная**

период по X ↕ 0,0000 образов ↕ 1

локальная система координат

повороты	начало	смещение
X ↕ 0,0000	↕ 0,00000	↕ 20,00000
Y ↕ 0,0000	↕ 0,00000	↕ 0,00000
Z ↕ 0,0000	↕ 0,00000	↕ 0,00000

угол ↕ 0,0000 образов ↕ 1

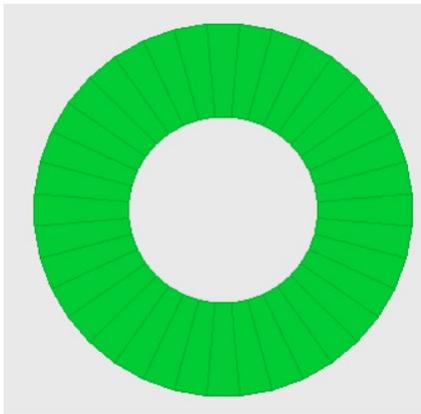
$$360^\circ = \alpha * N \text{ или } L = \alpha * N$$

N – число образов

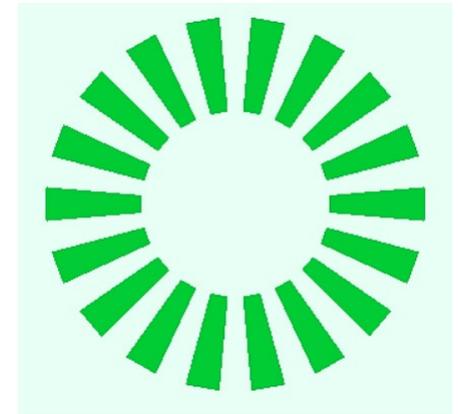
L – длина дуги (в градусах)

угол раскрытия <

угол азимутальной симметрии

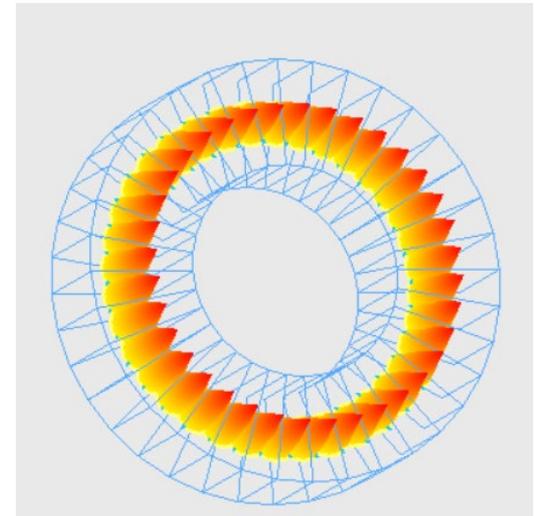
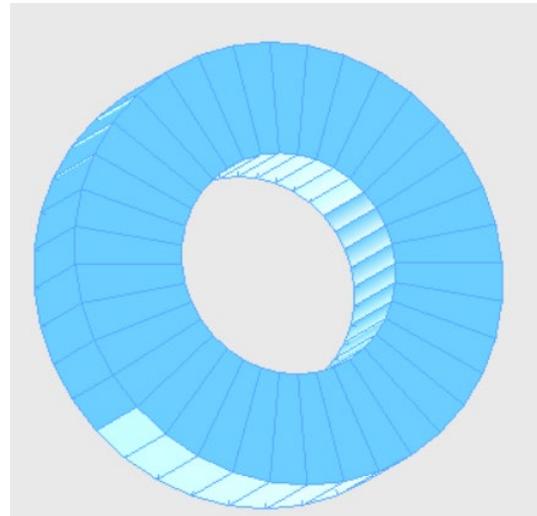
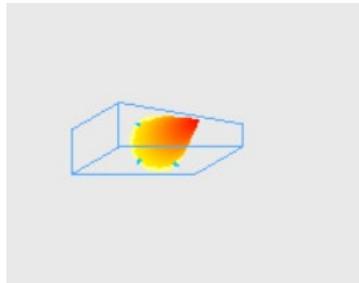
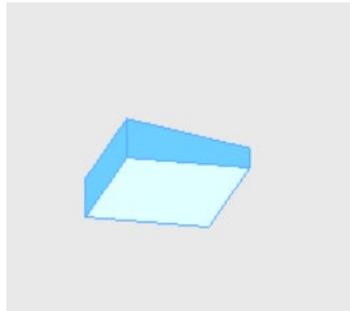


угол раскрытия =
угол азимутальной симметрии

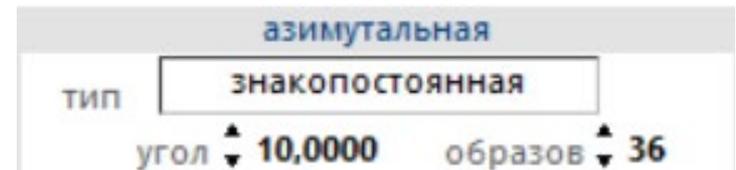


EasyMag3D

Азимутальная симметрия

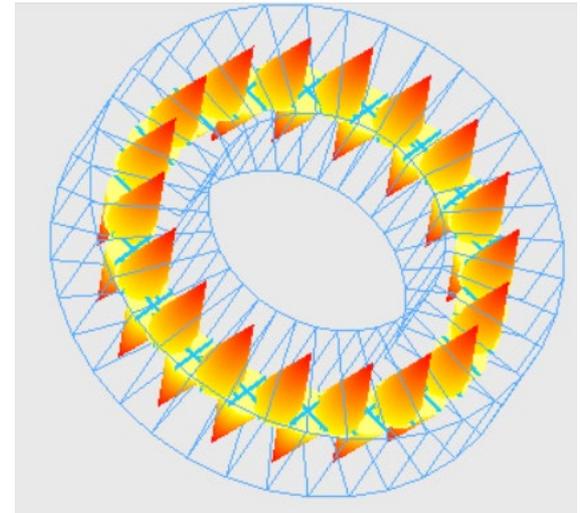
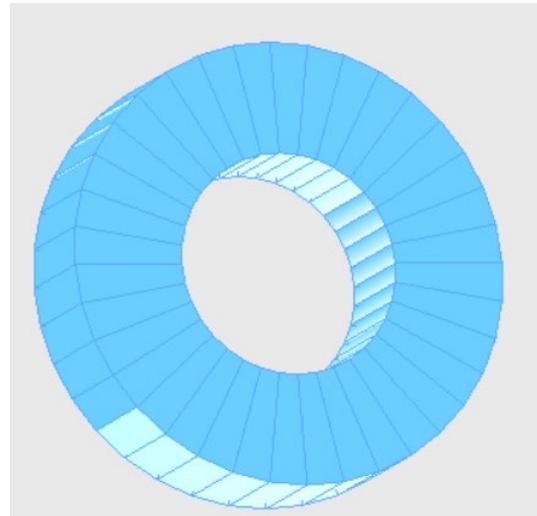
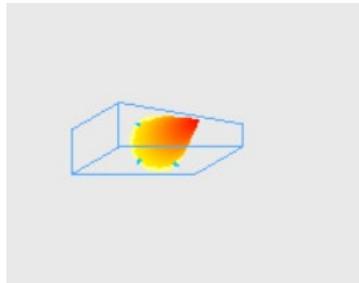
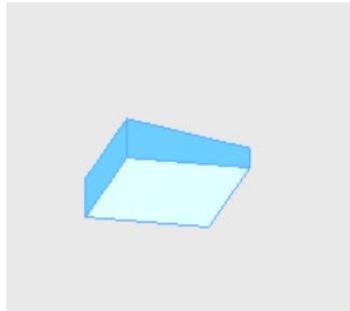


Знакопостоянная – направление источников в образах одинаково

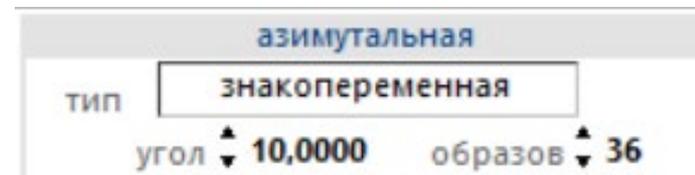


EasyMag3D

Азимутальная симметрия

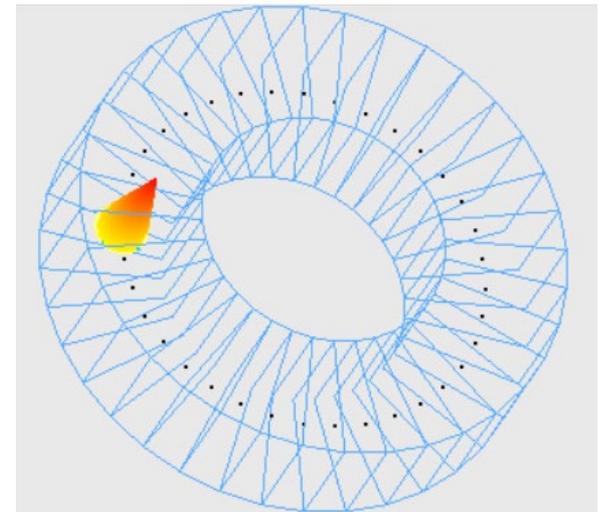
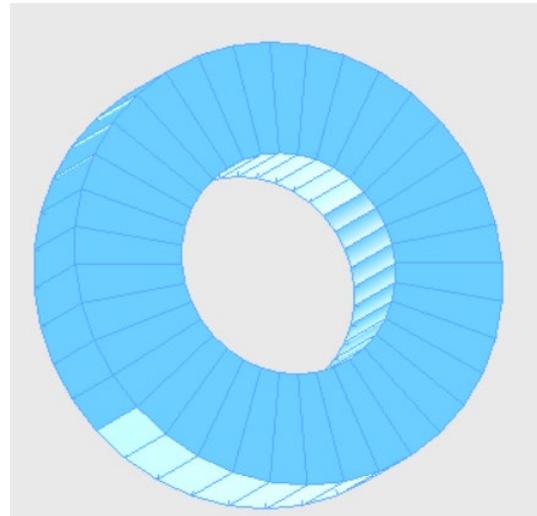
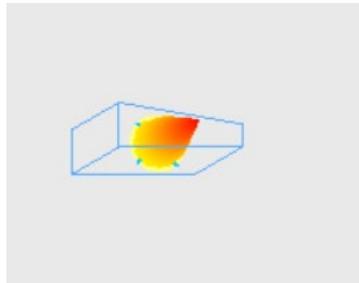
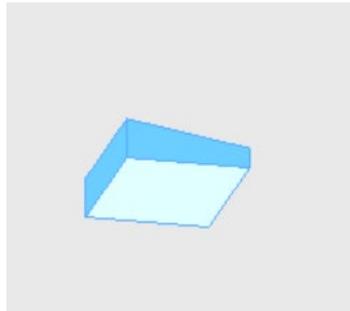


Знакопеременная – направление источников в образах чередуется

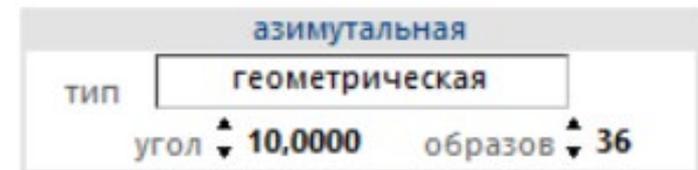


EasyMag3D

Азимутальная симметрия

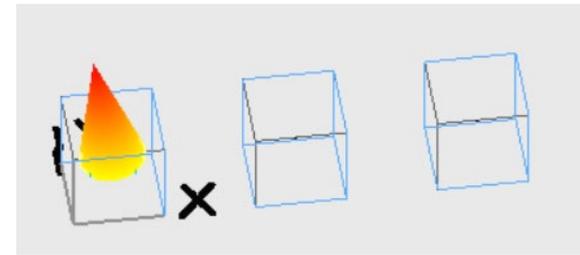
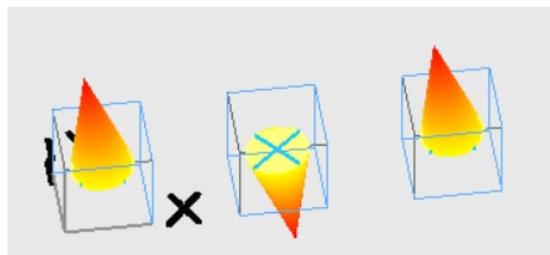
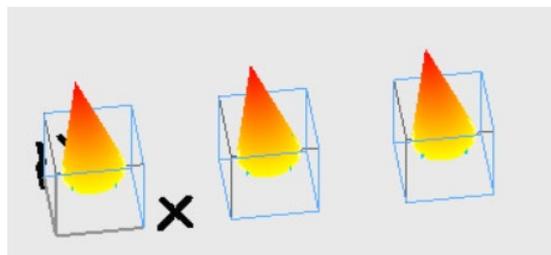
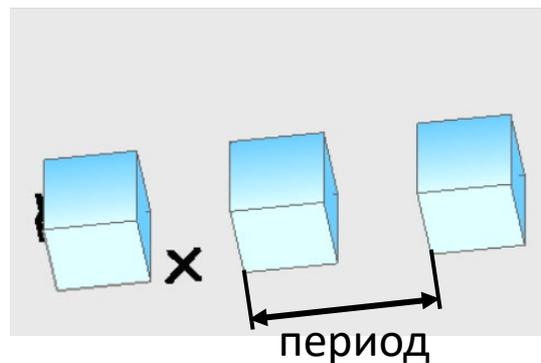
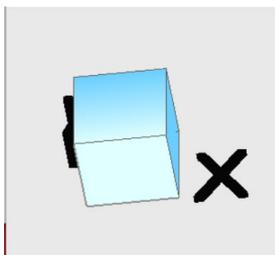


Геометрическая – источники задаются в каждом образе отдельно



EasyMag3D

периодическая симметрия



периодическая

тип

период по X \updownarrow 20,000 образов \updownarrow 3

периодическая

тип

период по X \updownarrow 20,000 образов \updownarrow 3

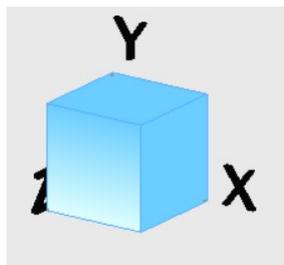
периодическая

тип

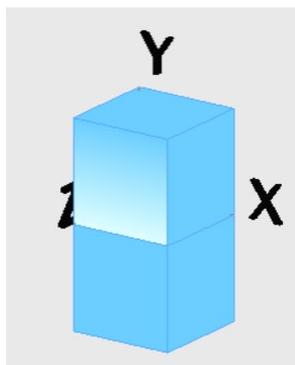
период по X \updownarrow 20,000 образов \updownarrow 3

EasyMag3D

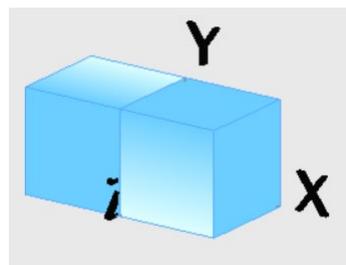
Зеркальная симметрия



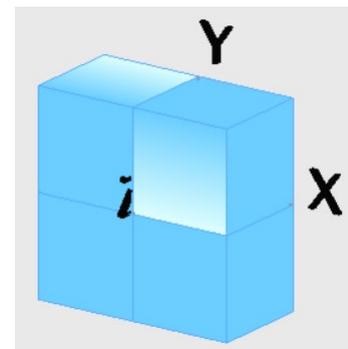
Нет симметрии



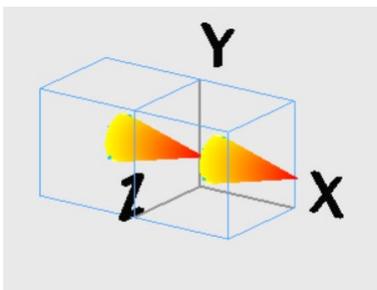
Относительно
 ZoX



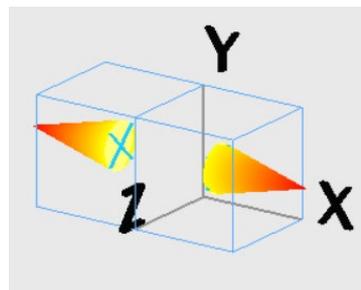
Относительно
 ZoY



Относительно
 ZoX и ZoY



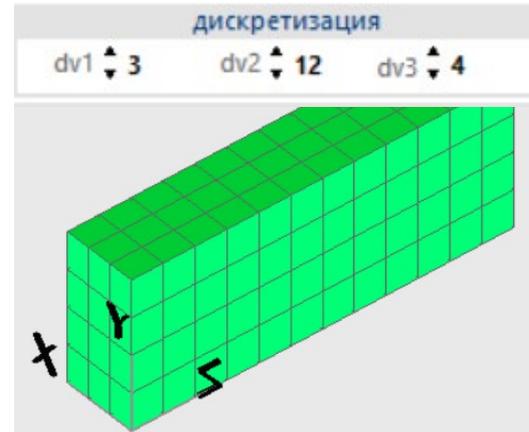
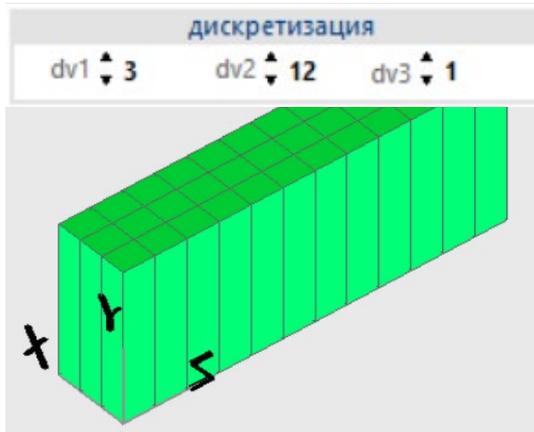
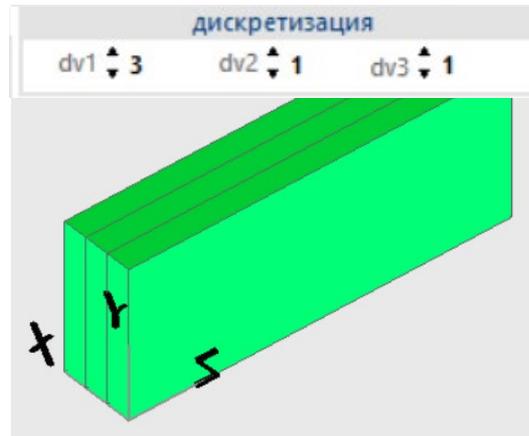
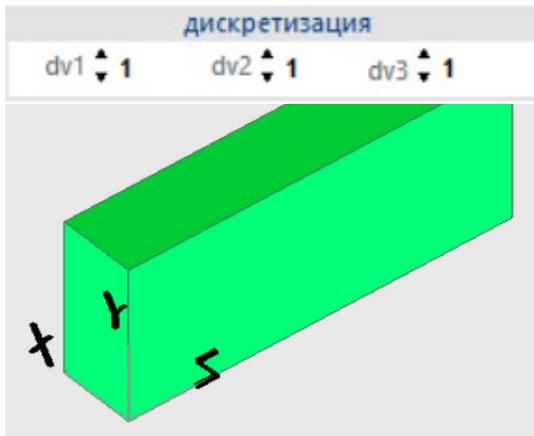
Негативная:
плоскость
отображение -
эквипотенциаль



Позитивная:
плоскость
отображение -
силовая плоскость

EasyMag3D

дискретизация



На дискреты разбиваются:

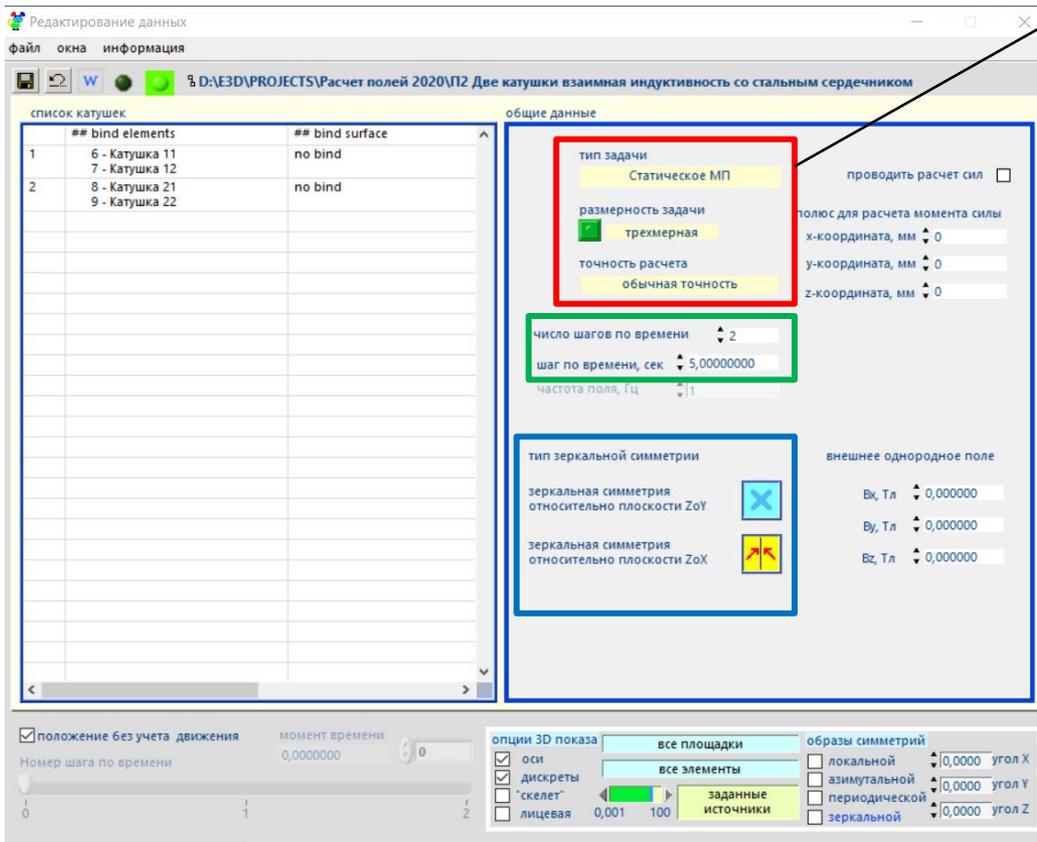
- Элементы с неизвестными источниками;
- Площадки для расчета поля;
- Виртуальные элементы

На дискреты **НЕ** разбиваются:

- Элементы заданной намагниченностью;
- Элементы с заданной плотностью тока

EasyMag3D

общие параметры



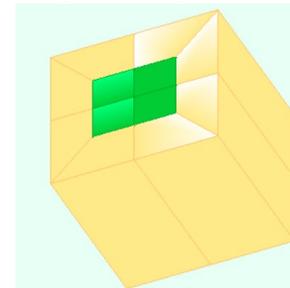
Настройка задачи

Тип задачи:

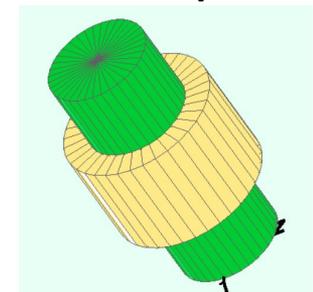
- **Статическое МП** (статическое либо стационарное поле – установившийся режим)
- **Импульсное ЭМП** (квазистационарное поле – есть индуцированные токи)
- **Гармоническое** (синусоидальное поле – расчет через комплексные числа)

Размерность задачи:

Трехмерная



Осесимметричная

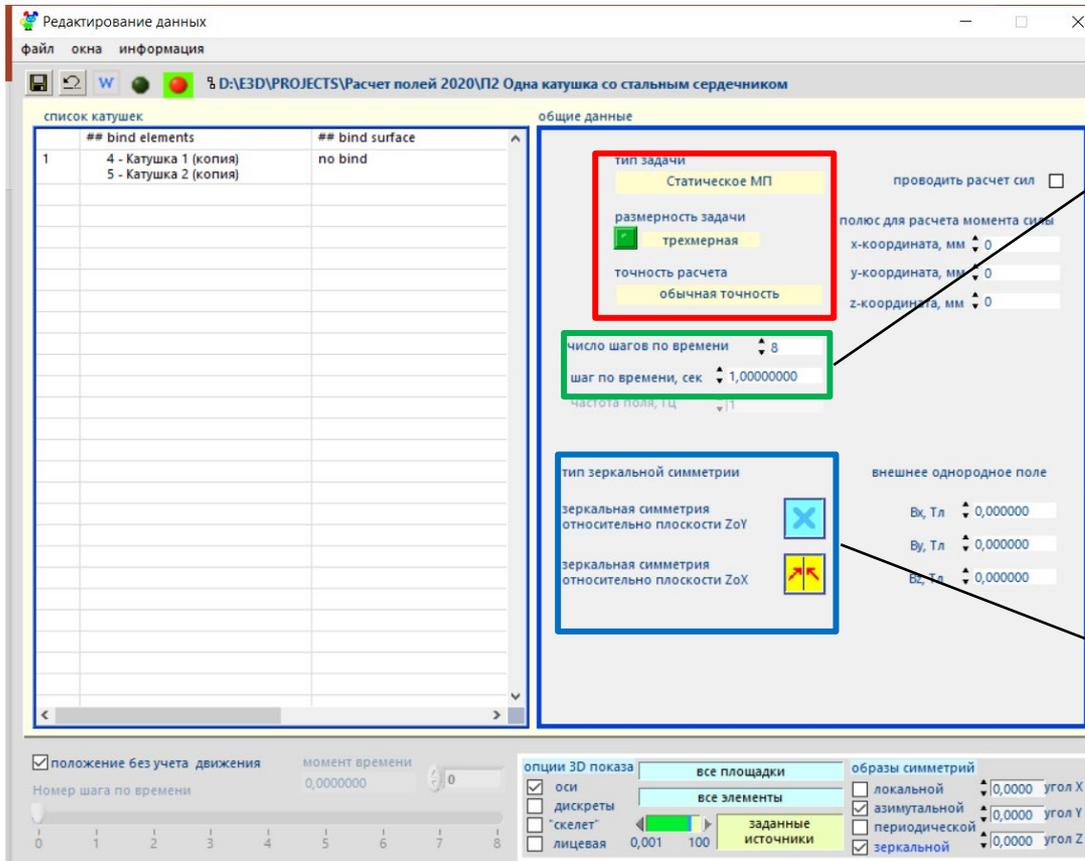


Зеркальная симметрия

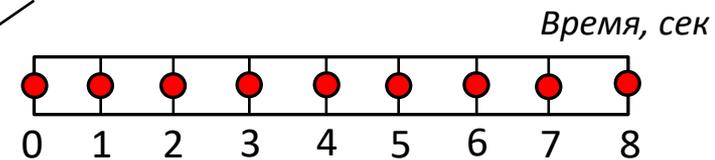
Точки расчета по времени

EasyMag3D

общие параметры



Точки расчета по времени



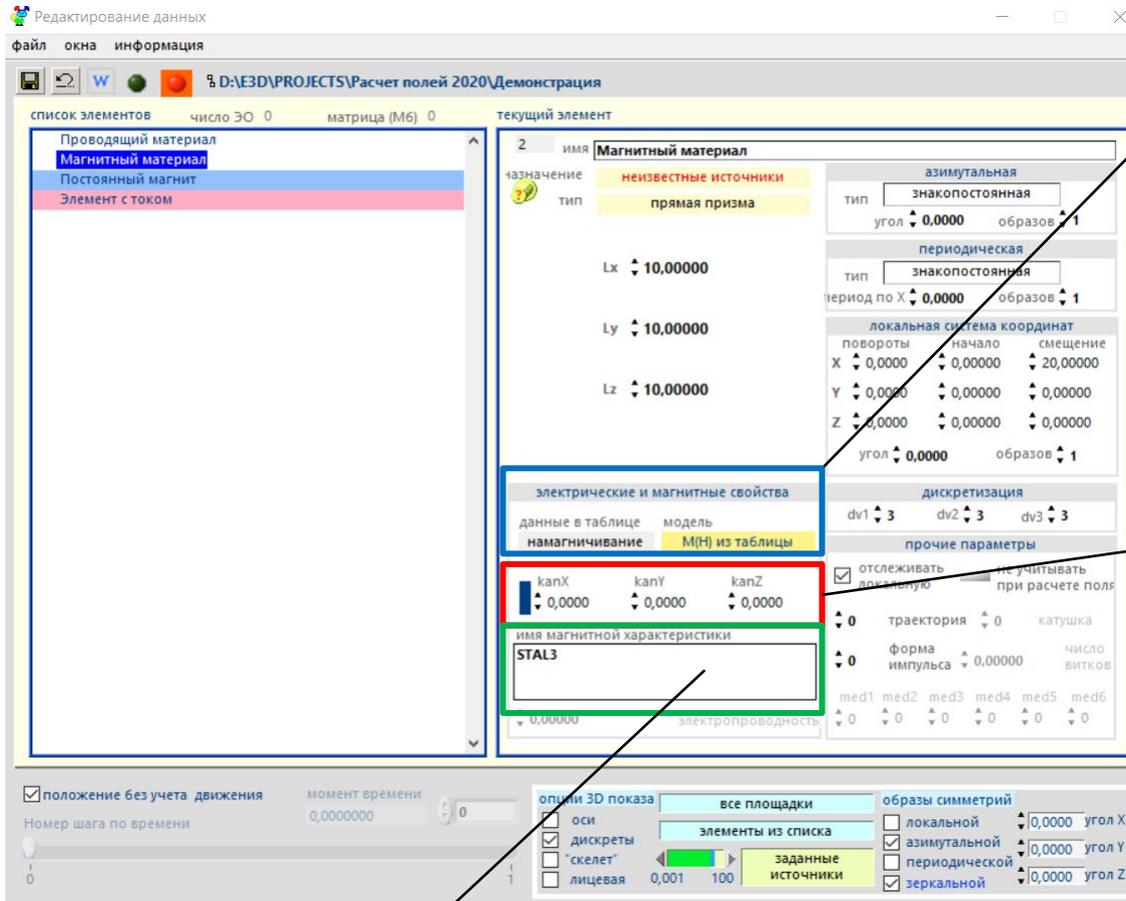
Число шагов * шаг по времени = время расчета

$$8 * 1 \text{ сек} = 8 \text{ сек}$$

Зеркальная симметрия

EasyMag3D

задание магнитных свойств



Выбор магнитной характеристики

Выбор свойств

- **M(H)** – магнитный материал – задается кривой намагничивания либо значением μ

- **Сверхпроводник** – сверхпроводящий материал – задается параметрами модели нелинейного сопротивления

Направление оси анизотропии



Ось легкого намагничивания для магнитотвердых материалов

EasyMag3D

задание магнитных свойств

Библиотека характеристик

Привязка характеристик к элементам геометрии

The screenshot shows the 'Выбор характеристики' (Characteristic Selection) dialog box in the EasyMag3D software. The window title is 'Выбор характеристики' and the file path is 'D:\E3D\PROJECTS\Расчет полей 2020\Демонстрация'. The interface is divided into three main sections:

- Библиотека характеристик (Library of characteristics):** A list of material characteristics, with 'UN14DK24' selected. The list includes: 18BA300, 17TC, 28CA250, FERR8B, UN14DK24, 3UNDK24, UNDK35T5, UNDK35BA, UNDK35AA, KC37, 2MPKC25, 3MPKC25, FENDB, FeNeB начальная, EA, 49K2F, 79HM, 79HM1, 50H, 27KX, FERRIT, FERPLAST, KC37H, 1513, 12ЮВИ, 21HKMT, FERR28CA, STAL3, UNKTAZ, MMM спеченый, KMM2, and 18M20.
- Имя вставляемой характеристики (Name of the characteristic to be inserted):** A dropdown menu showing 'UN14DK24'.
- Список элементов для вставки (List of elements for insertion):** A table with two columns: 'хар' (characteristic) and 'element'. The table contains:

хар	element
UN14DK24	Проводящий мат.
UN14DK24	Магнитный мат.
	Постоянный магн.
	Элемент с током
- Критерии выборки характеристик (Criteria for characteristic selection):** A section with search criteria, including checkboxes for 'И', 'MMM', 'MTM', 'полумягкие MM', and 'значения Hc', 'значения Ms'.
- Визуализация (Visualization):** A graph showing the magnetic induction B (кА/м) versus the magnetic field strength H (кА/м). The curve shows a typical hysteresis loop for a magnetic material, with a sharp increase in B as H increases from 0 to approximately 100 кА/м, followed by a gradual increase.

Визуализация

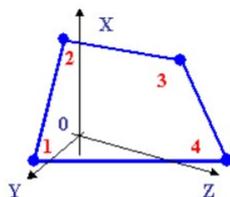
EasyMag3D

площадки для расчета поля

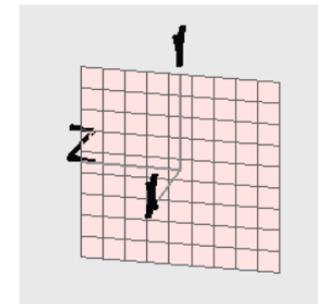
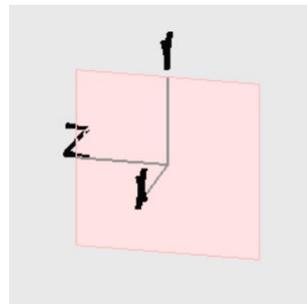
1 тип **четыреугольная площадка** ?

↑ 0,00000	x1	↓ -10,00000	y1	↓ -10,00000	z1
↑ 0,00000	x2	↓ -10,00000	y2	↑ 10,00000	z2
↑ 0,00000	x3	↑ 10,00000	y3	↑ 10,00000	z3
↑ 0,00000	x4	↑ 10,00000	y4	↓ -10,00000	z4

↑ 10 n41
 ↑ 10 n21
 ↓ 0 траектория
 ↓ 0 катушка
 ↓ 0,000 плотность
 ↓ 0,000 намотки



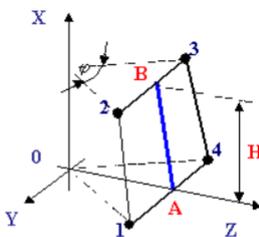
Площадка, заданная непосредственно своими координатами



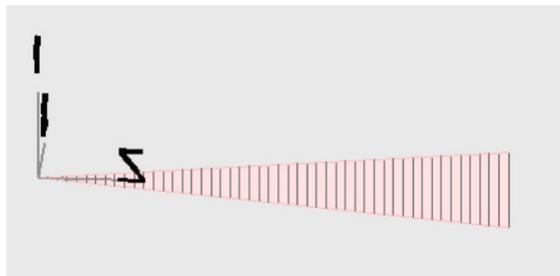
1 тип **сектор** ?

нижний радиус	↑ 0,00000	верхний радиус	↑ 50,00000
проекция на X	↓ 0,00000	раскрытие	↓ 10,0000

↑ 1 n41
 ↑ 50 n21
 ↓ 0 траектория
 ↓ 0 катушка
 ↓ 0,000 плотность
 ↓ 0,000 намотки



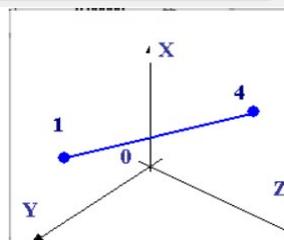
Площадка, заданная радиусами RA, RB, отмеренными на оси Z, проекцией H средней линии на ось X и углом раскрытия V. Проекция H может быть отрицательной.



1 тип **отрезок** ?

↑ 0,00000	x1	↑ 0,00000	x2
↑ 50,00000	y1	↑ 0,00000	y2
↑ 10,00000	z1	↑ 0,00000	z2

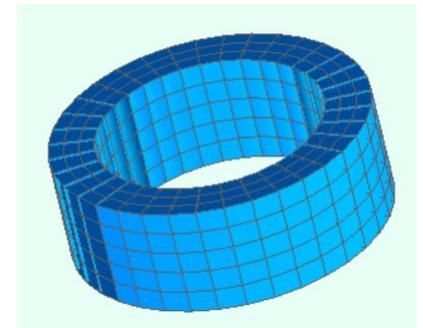
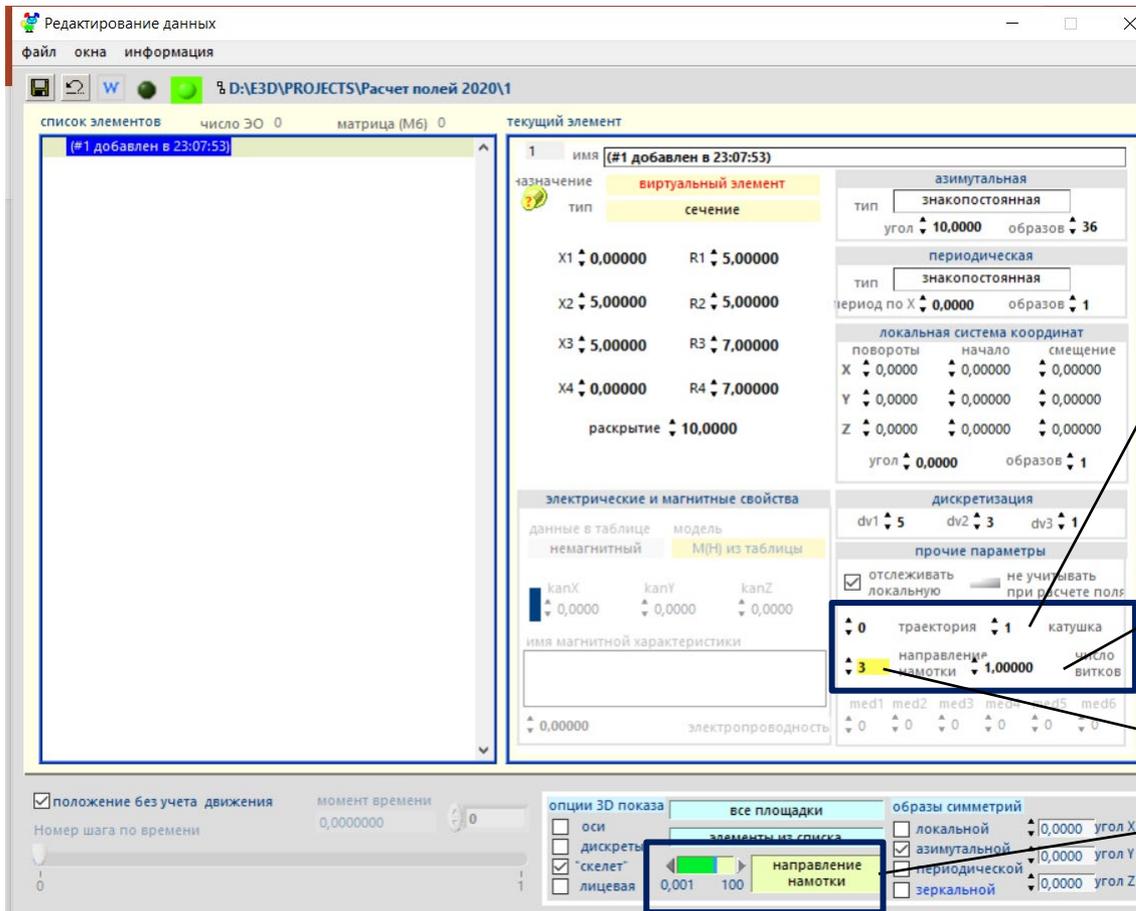
↑ 1 n41
 ↑ 50 n21
 ↓ 0 траектория
 ↓ 0 катушка
 ↓ 0,000 плотность
 ↓ 0,000 намотки



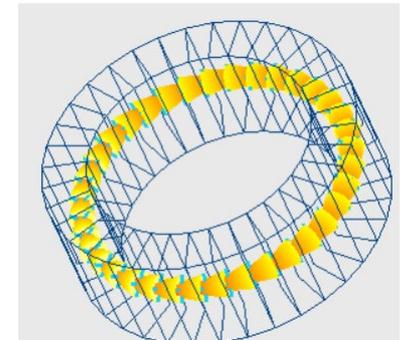
Площадка, вырожденная в отрезок. При этом число точек на отрезке задается параметром N14. Параметр N12 должен быть равен 1

EasyMag3D

виртуальные элементы



Виртуальный элемент



Направление намотки – должна совпадать с направлением тока

Порядковый номер катушки

Число витков в катушке

EasyMag3D

задание траектории

Список заданных траекторий

Список точек траектории

The screenshot shows the 'Редактирование данных' (Data Editing) window. On the left, the 'список траекторий' (Trajectory List) table is highlighted with a green border. It contains one entry with ID 1, 0 nodes, and 'no bind' status. On the right, the 'текущая траектория' (Current Trajectory) table is highlighted with a blue border. It shows a table of trajectory points with columns for time, rotation angles, and displacement. A red dashed box highlights the first three rows of this table.

время, с	углы поворота вокруг осей			перемещение вдоль осей		
	X	Y	Z	X	Y	Z
0,0000E+0	0,0000	0,0000	0,0000	0,00000	0,00000	0,00000
1,0000E+0	0,0000	0,0000	0,0000	2,00000	0,00000	0,00000
2,0000E+0	0,0000	0,0000	0,0000	3,00000	0,00000	0,00000
5,0000E+0	0,0000	0,0000	0,0000	5,00000	0,00000	0,00000



The 'прочие параметры' (Other Parameters) dialog box shows a list of parameters. The first item, '1 траектория', is circled in red. Other parameters include 'форма импульса' (pulse shape) and 'число витков' (number of turns).

Номер траектории присваивается элементу при задании геометрии

EasyMag3D

результаты – поле

Распределения напряженности магнитного поля от координаты

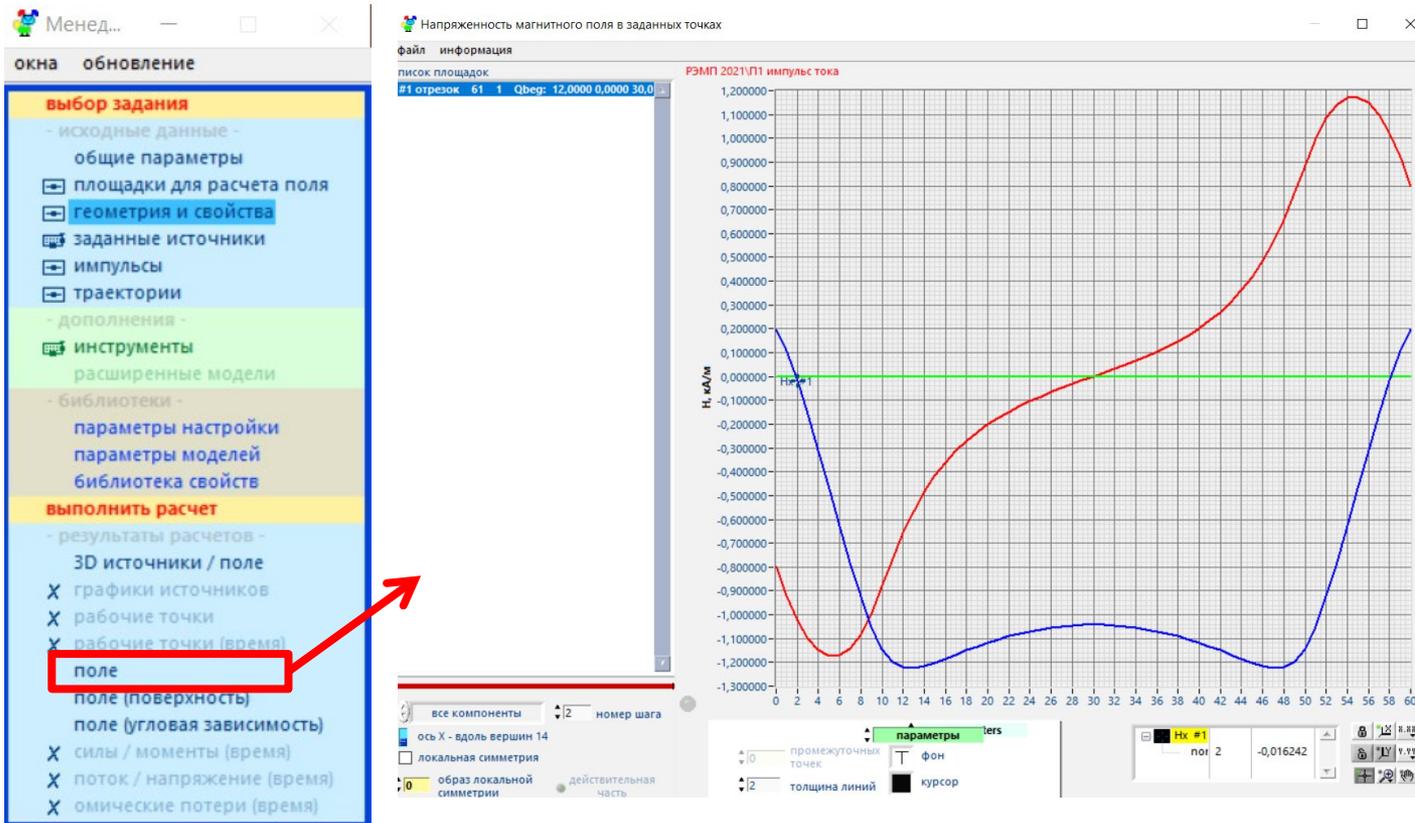
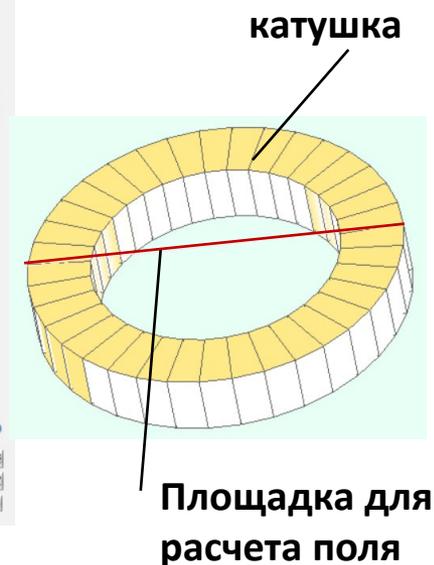
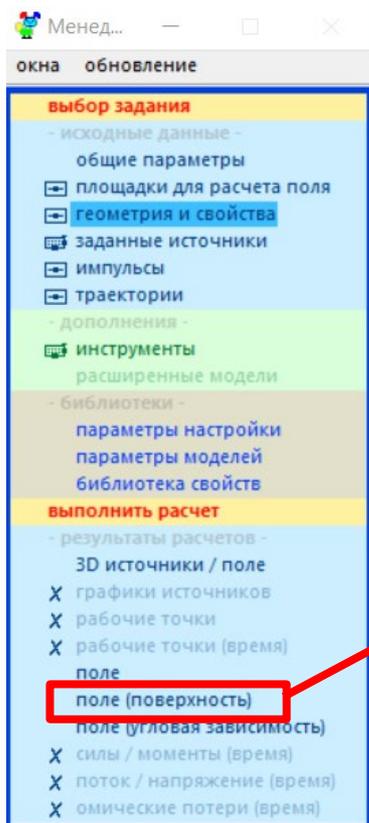


График строится для составляющих H_x , H_y , H_z

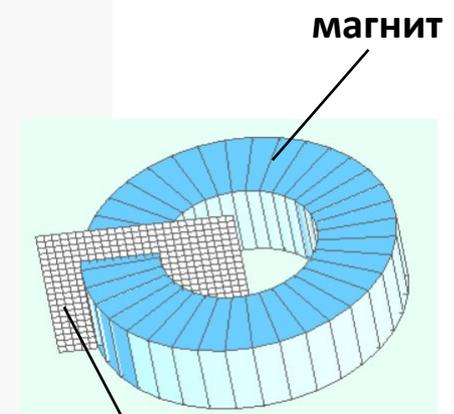
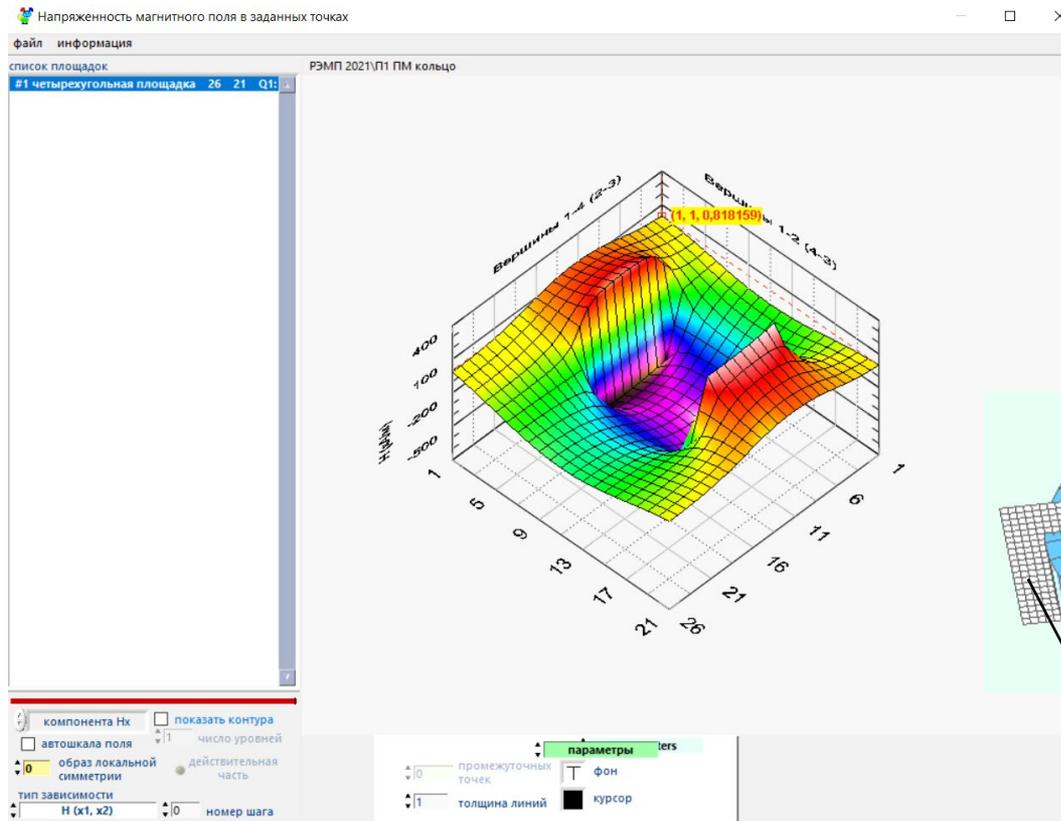


EasyMag3D

результаты – поле (поверхность)



Зависимость



Площадка для расчета поля

EasyMag3D

результаты – поле (угловая зависимость)

Распределения напряженности магнитного поля от угла

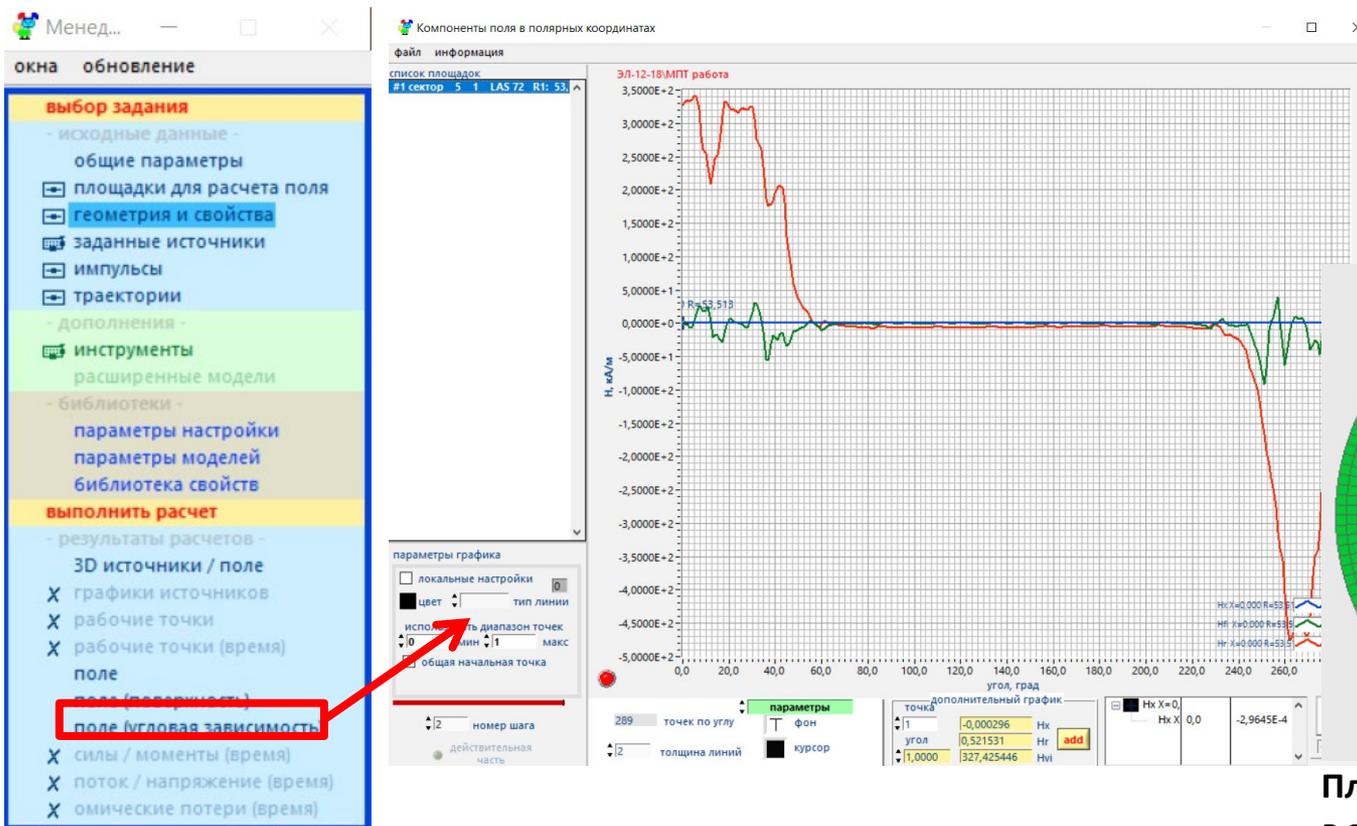
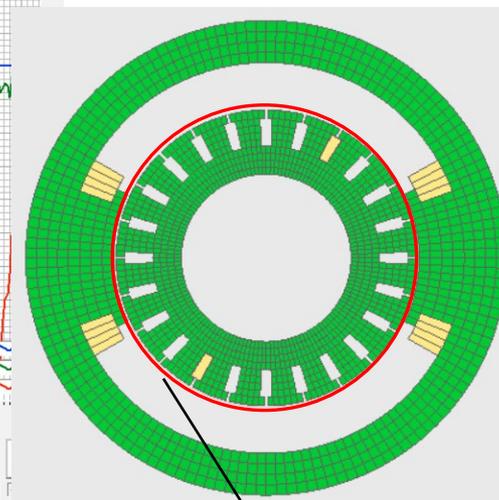


График строится для составляющих H_x , H_y , H_z



Площадка для расчета поля в зазоре электрической машины

EasyMag3D

результаты – силы/моменты

Зависимость силы/момента от времени

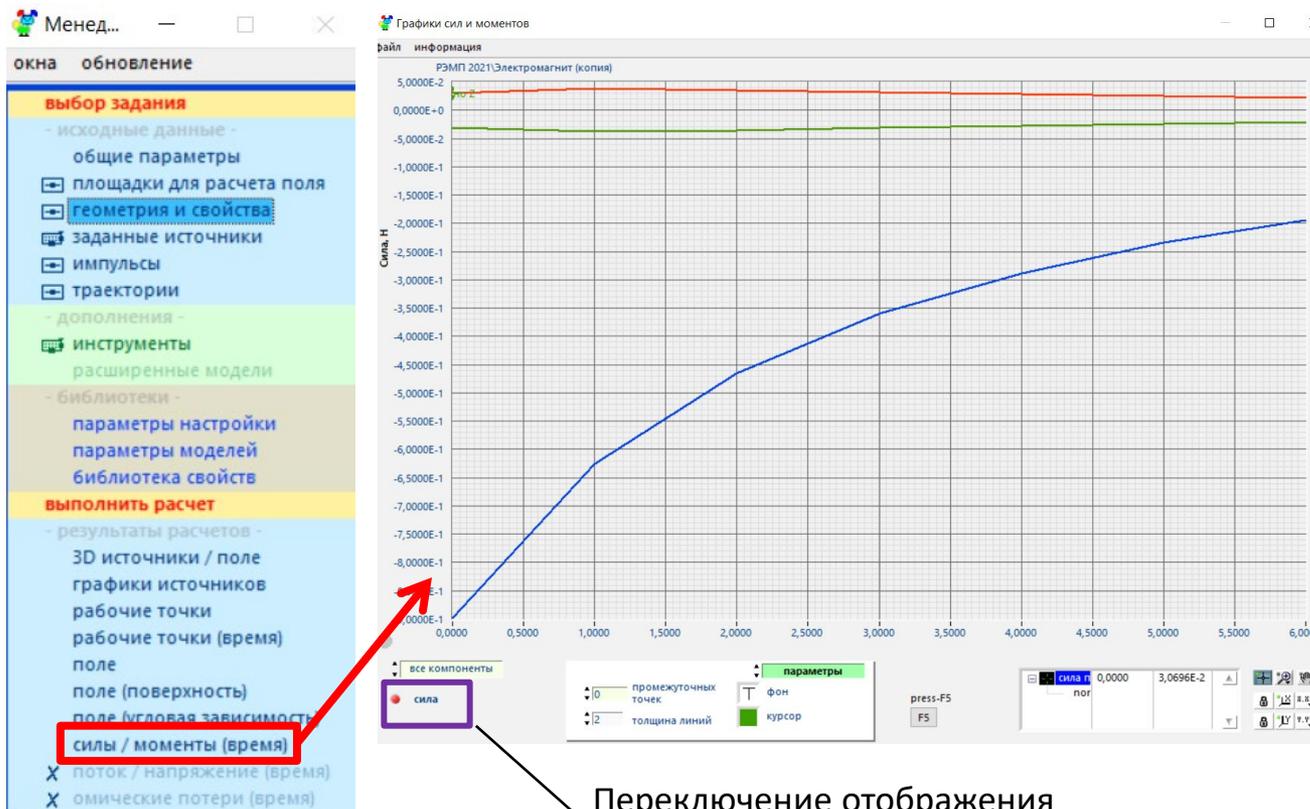
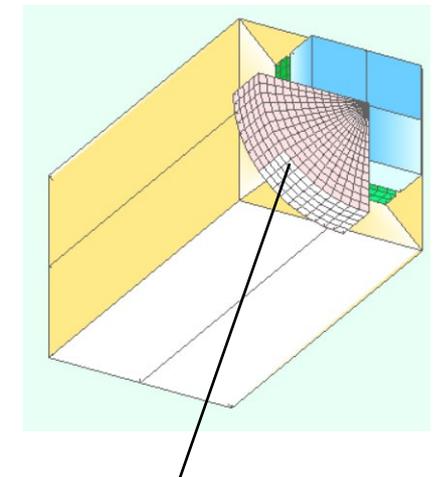


График строится для составляющих H_x , H_y , H_z



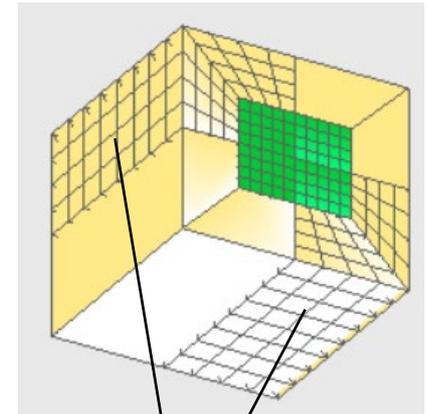
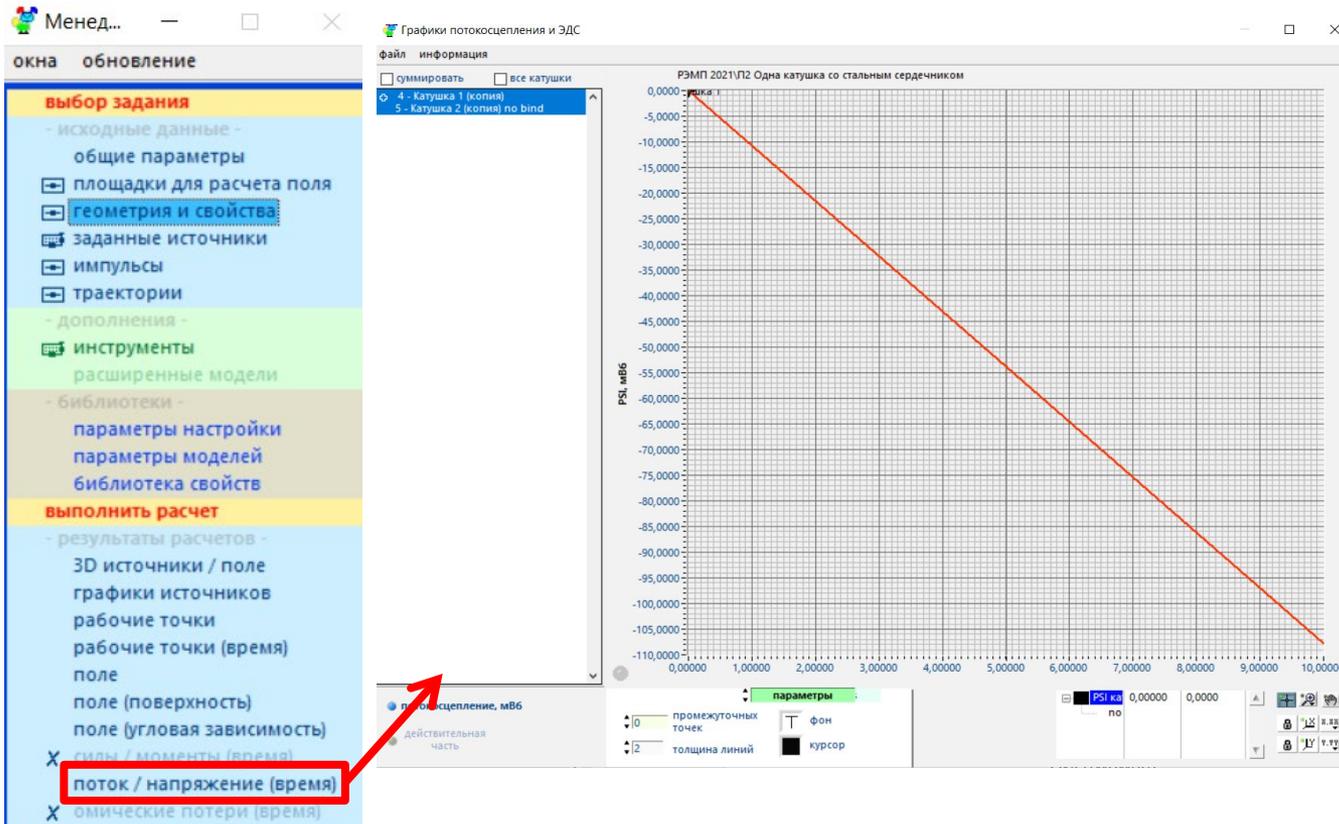
Площадка для расчета поля в зазоре электрической машины

Переключение отображения сила/момент

EasyMag3D

результаты – поток/напряжение

Зависимость потокосцепления от времени

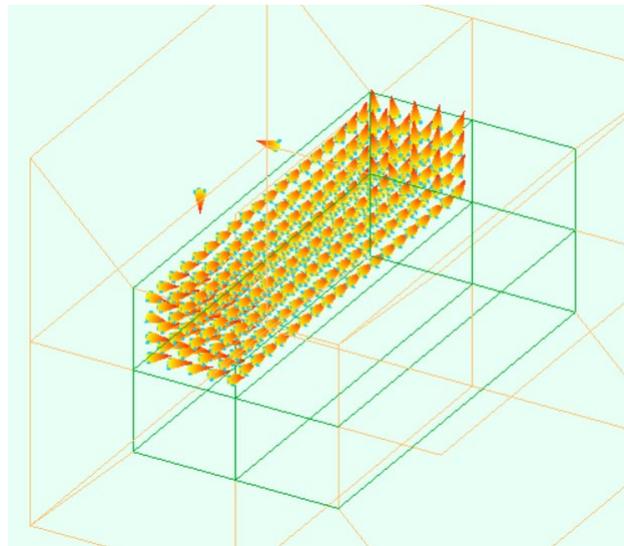
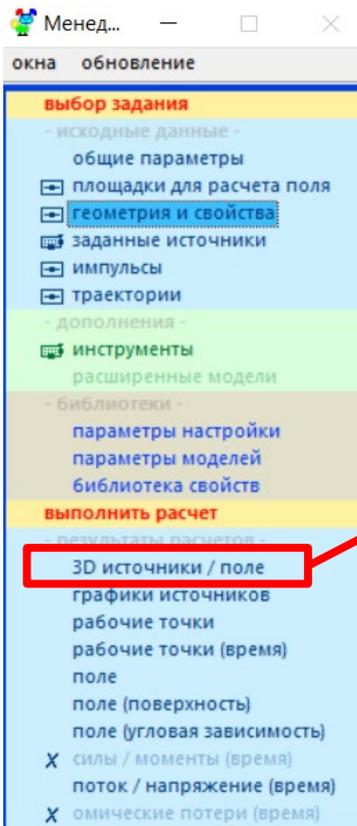


Виртуальные элементы

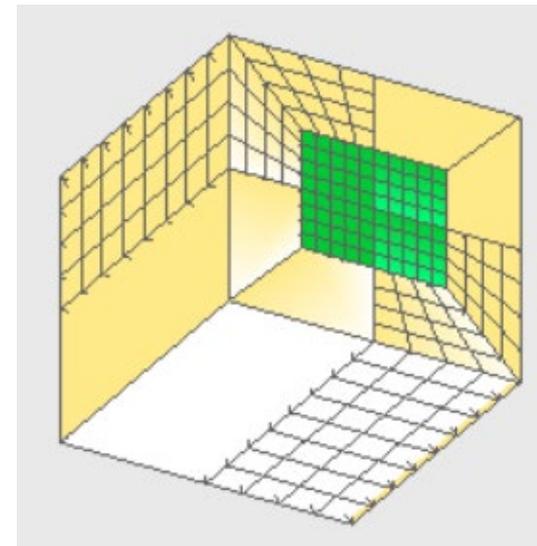
EasyMag3D

результаты – 3D источники

Отображение векторов источников: намагниченности и плотности токов



Распределение векторов M в сердечнике



Геометрия