

**Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт прикладной математики и механики
Кафедра «Механика и процессы управления»**

**Выпускная квалификационная работа бакалавра
по направлению 15.03.03 «Прикладная механика»**

**Исследование работоспособности оптических элементов диверторной
диагностики Томсоновского рассеяния при срыве плазмы**

Выполнил студент группы 43602/1

Чернаков А.П.

Руководитель, к.т.н., доцент

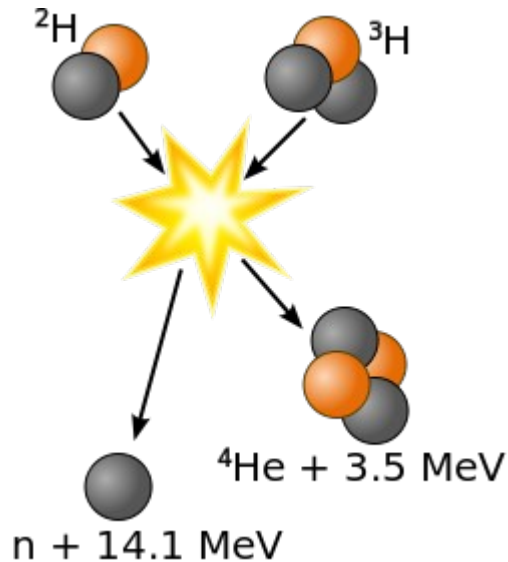
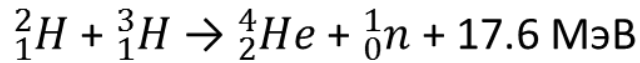
Немов А.С.

**Санкт-Петербург
2016 год**

Содержание

1. ITER, Общие сведения
2. Исследуемый объект: второе зеркало системы сбора света диверторной ДТР
3. Электромагнитный анализ
4. Статический механический анализ
5. Перспективы

Управляемый термоядерный синтез



Реакция дейтерий-тритий

Токамак – ТОроидальная КАмера с МАгнитными Катушками.

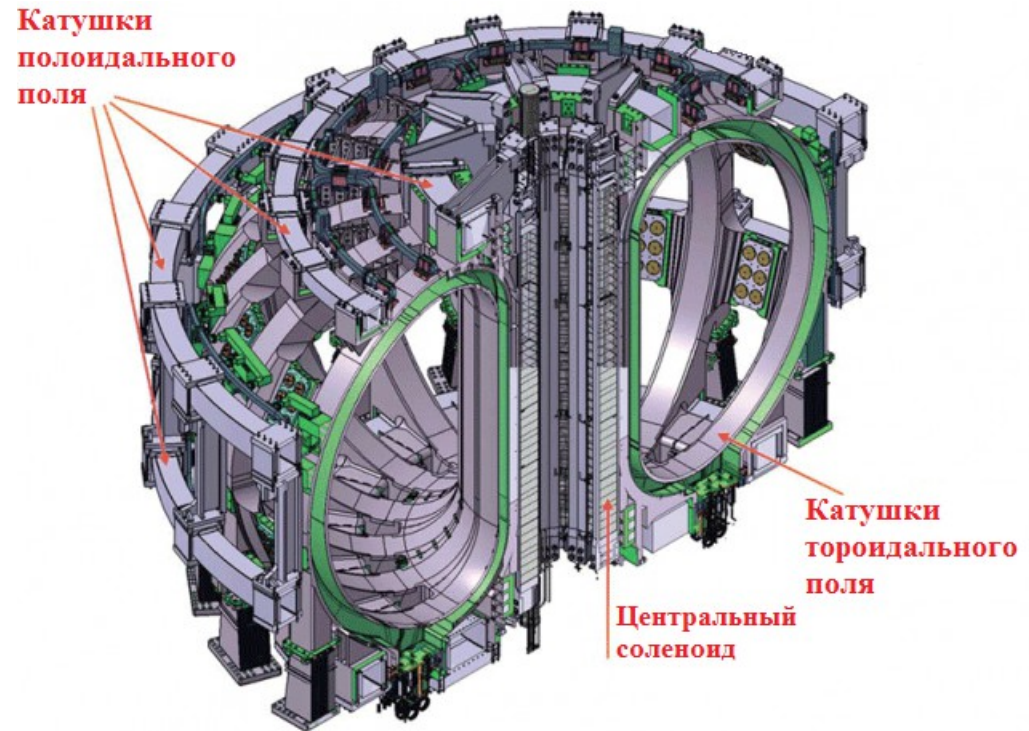
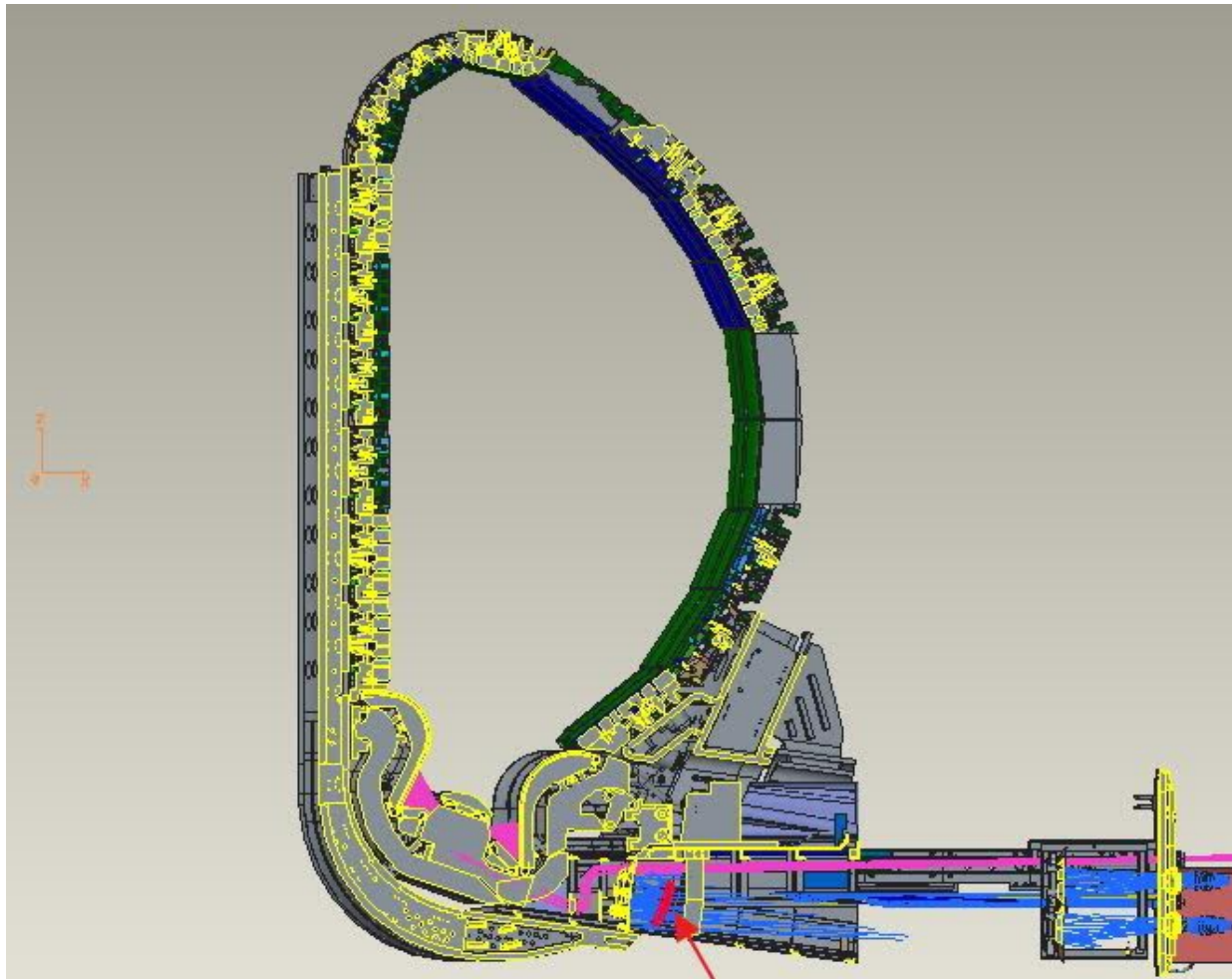


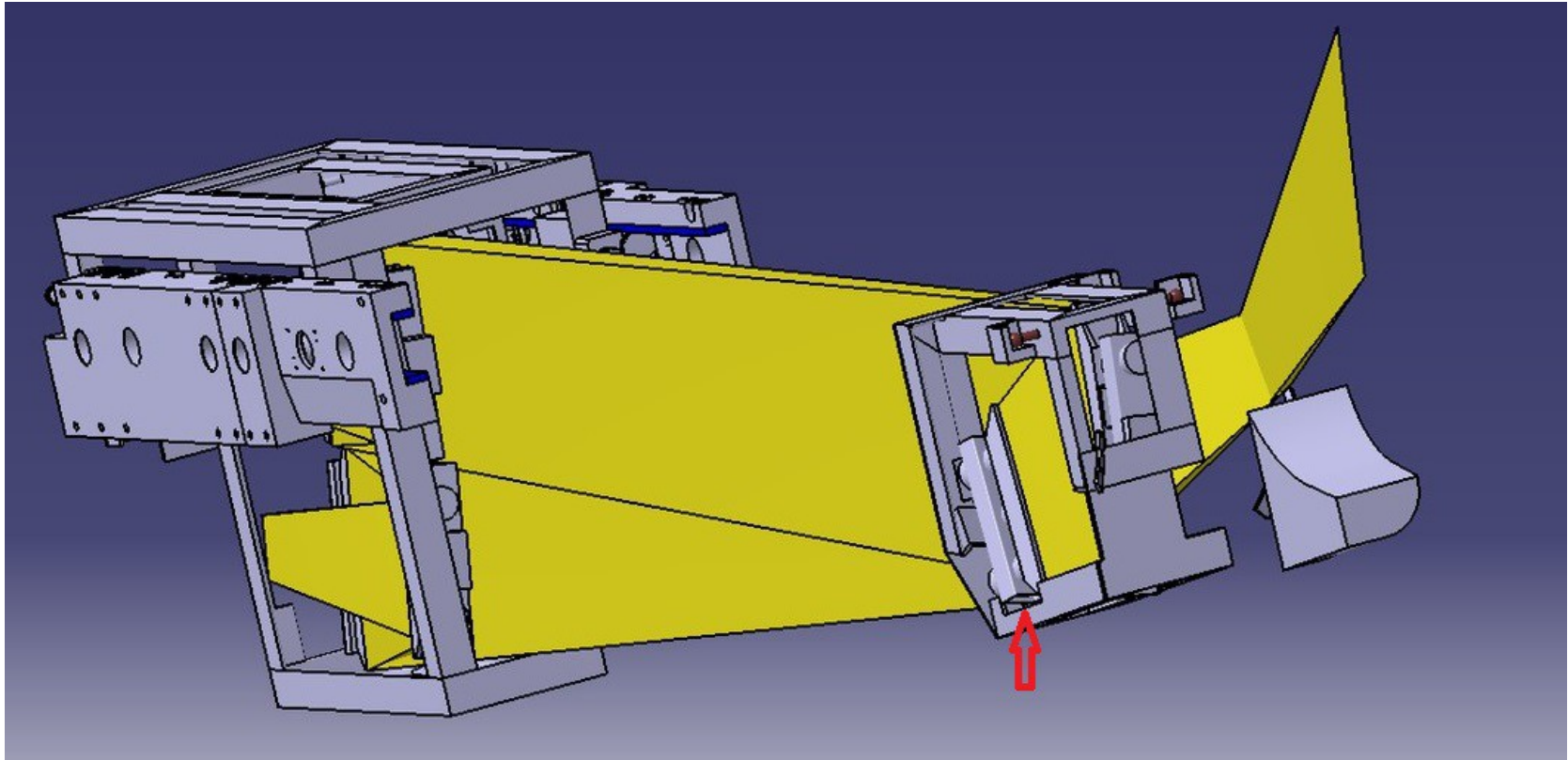
Схема магнитной системы классического токамака

Диверторная диагностика Томсоновского рассеяния ИТЭР

Сечение токамака ИТЭР с указанием
местоположения второго зеркала системы
сбора света

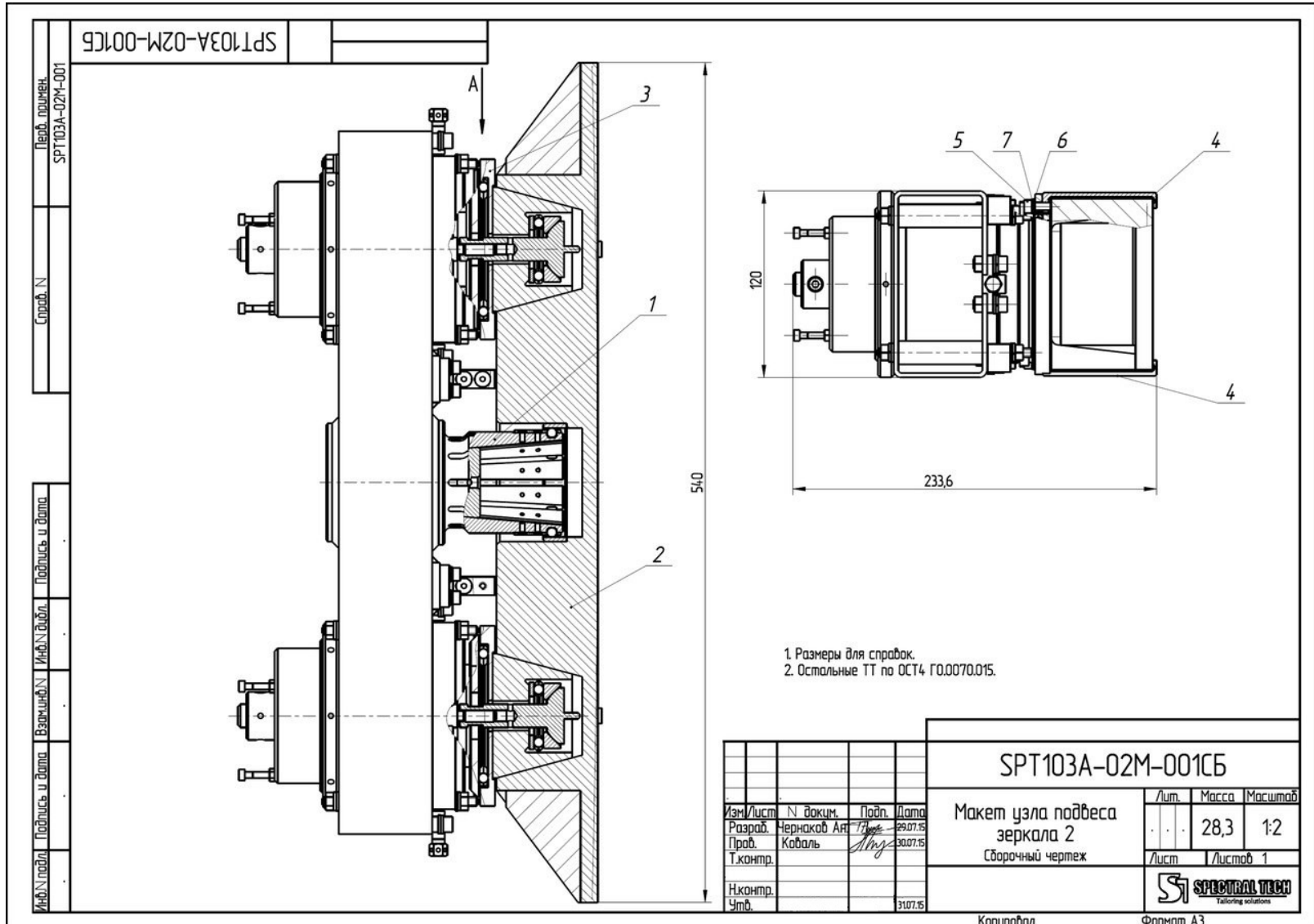


Общий вид системы сбора света диверторной ДТР

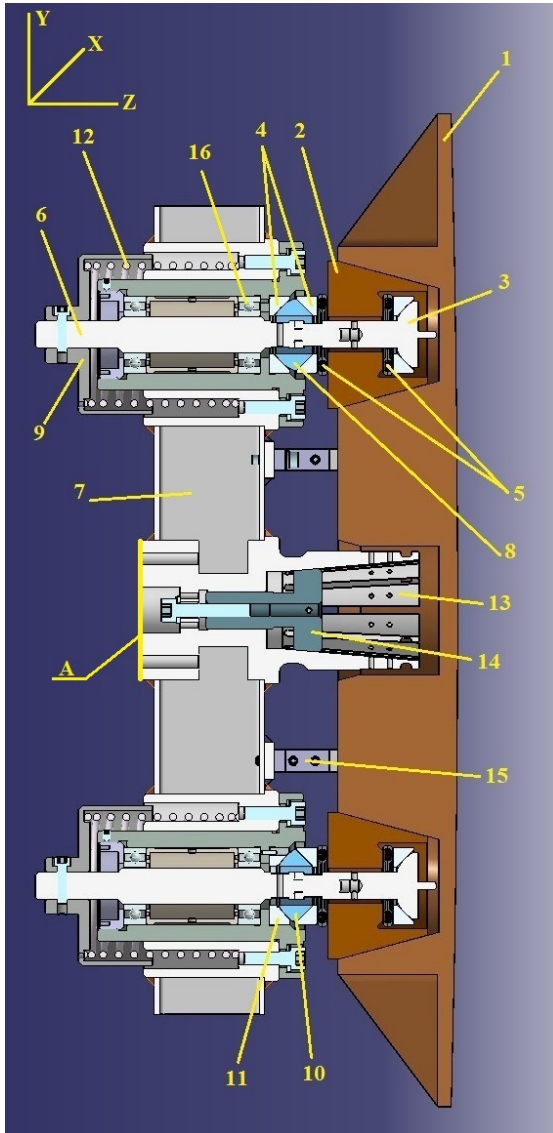




Второе зеркало системы сбора света



Детальное рассмотрение



Второе зеркало системы сбора света диверторной диагностики Томсоновского рассеяния в разрезе.

- (1) – зеркало
- (2) – втулка
- (3) – цапфа сферическая
- (4) – опора коническая
- (5) – подшипник упорный
- (6) – вал
- (7) – корпус
- (8) – втулка сфероконическая
- (9) – втулка
- (10) – втулка цилиндроконическая
- (11) – призматическая опора
- (12) – пружина
- (13) – втулка
- (14) – цапфа коническая
- (15) – упор шариковый
- (16) – подшипник

Входные данные и граничные условия для электромагнитной задачи

– Решение осуществляется при помощи системы конечно-элементного моделирования ANSYS Maxwell, решающей уравнения Максвелла в квазистационарной постановке:

$$\operatorname{rot}\left(\frac{1}{\mu}\mathbf{B}\right)=\frac{4\pi}{c}\mathbf{j}, \quad \operatorname{div}(\varepsilon\mathbf{E})=4\pi\rho,$$
$$\operatorname{rot}\mathbf{E}=-\frac{1}{c}\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t}, \quad \operatorname{div}\mathbf{B}=0.$$

– Конечно-элементный расчёт проводится в полях, создаваемых двадцатиградусным сектором токамака с заданными нестационарными токами в каждом из 157 проводников. Данные о токах получены из физической симуляции процесса срыва в DINA2010 и преобразованы для задания в ANSYS Maxwell при помощи Matlab.

– В задаче в качестве граничного условия применена осевая симметрия относительно главной оси токамака

Динамический электромагнитный анализ

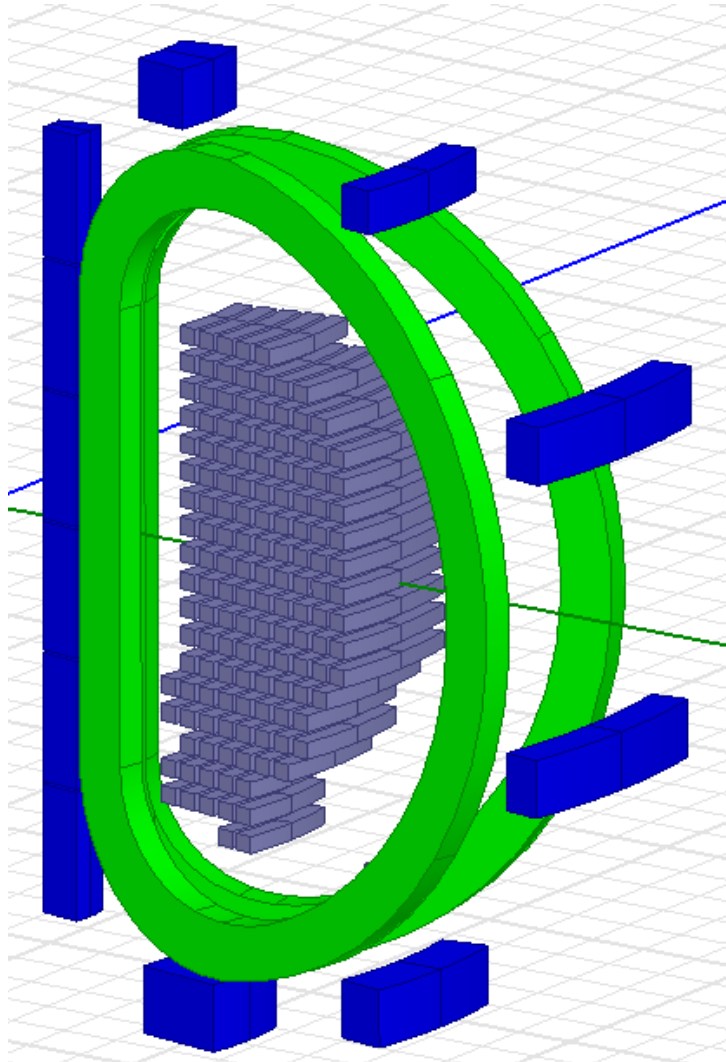
Допущения:

- Влияние электромагнитных нагрузок на керамические элементы конструкции пренебрежимо мало в силу их высокого удельного сопротивления, по этой причине из расчёта они исключены
- В модели не учитывается влияние на общую картину магнитных полей токопроводящих частей вакуумной камеры

Решённые подзадачи:

- Упрощение модели исследуемого объекта
- Построение конечно-элементной сетки
- Получение карты магнитных полей в исследуемой области
- Получение распределения вихревых токов в конструкции зеркала
- Получение поля объёмных сил в исследуемой конструкции

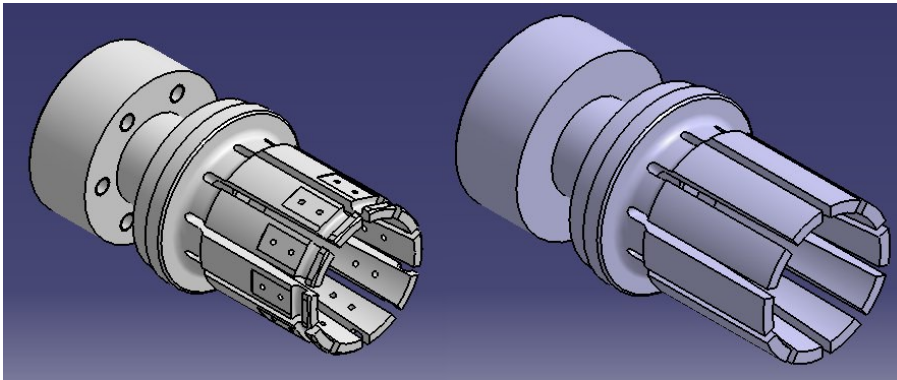
Моделирование токонесущих элементов



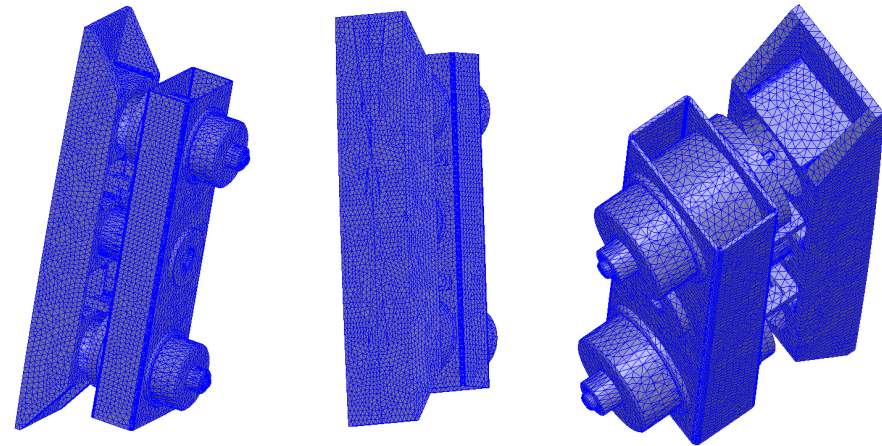
Построена модель двадцатиградусного сектора токамака в ANSYS Maxwell, в пределах которого смоделированы токонесущие элементы:

- 1) Центральный соленоид (6 проводников)
- 2) Катушки полоидального поля (6 проводников)
- 3) Катушки тороидального поля (2 проводника)
- 4) Плазменный шнур (143 проводника)

Подготовка к решению

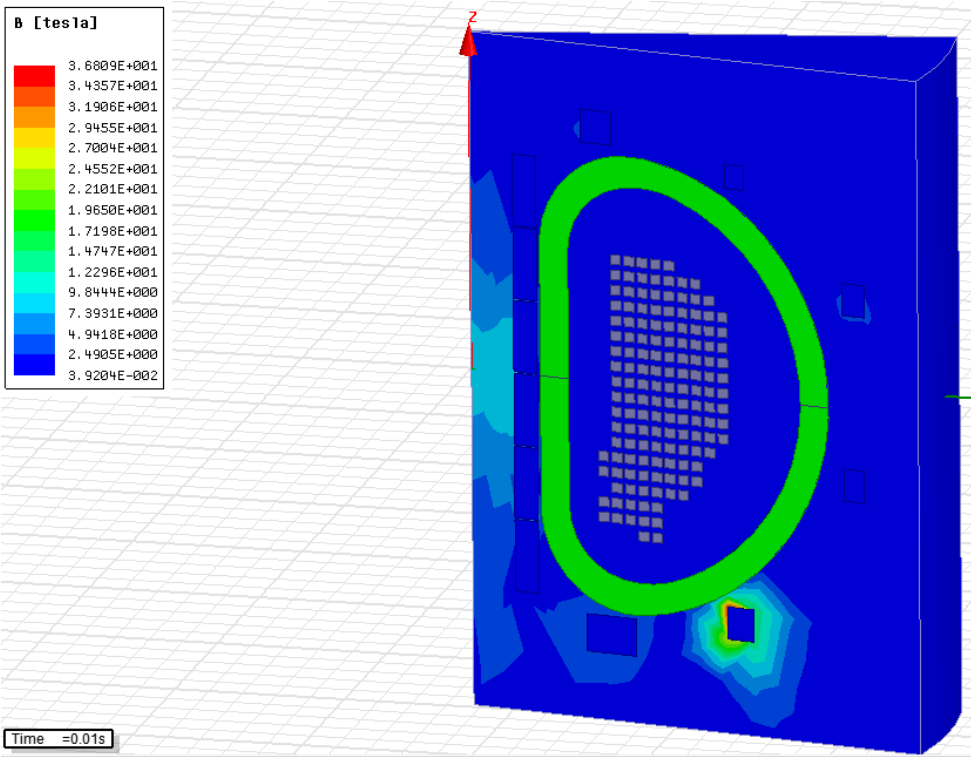


Пример упрощения геометрии

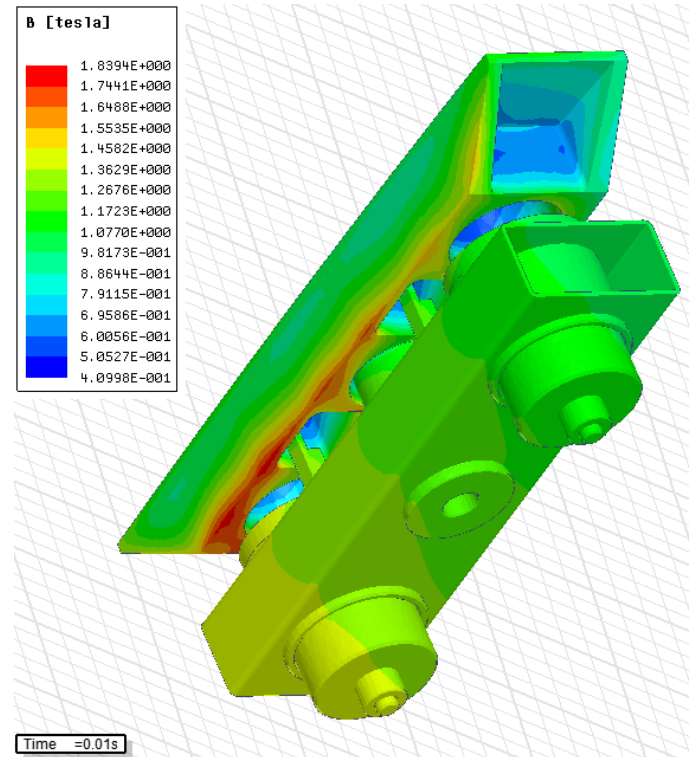


Создание конечно-элементной сетки

Результаты решения, слайд 1

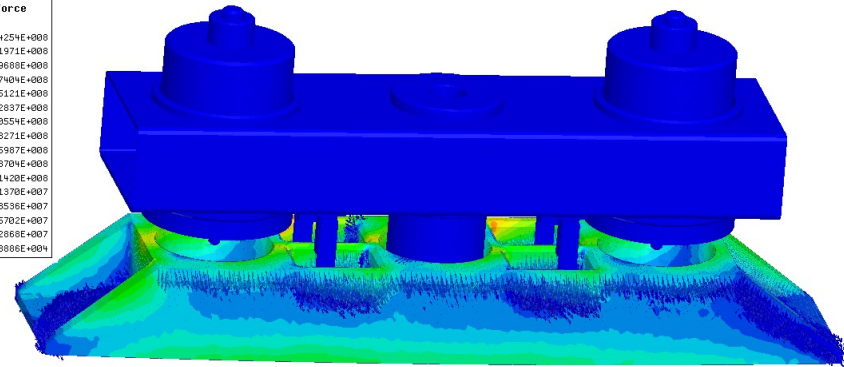
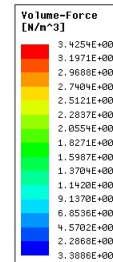
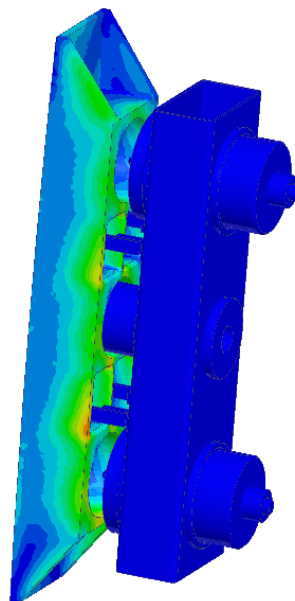
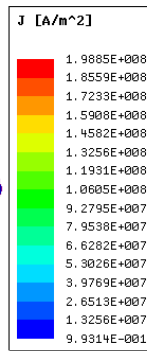
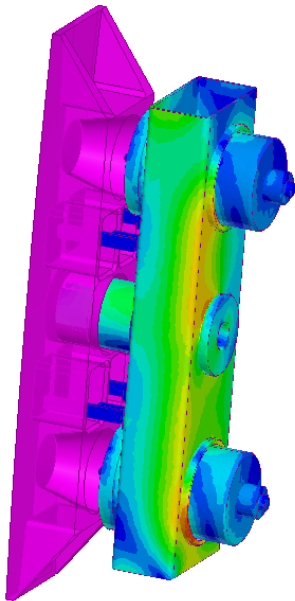
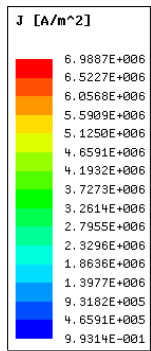


Карта магнитных полей в исследуемой области



Карта магнитных полей в конструкции зеркала

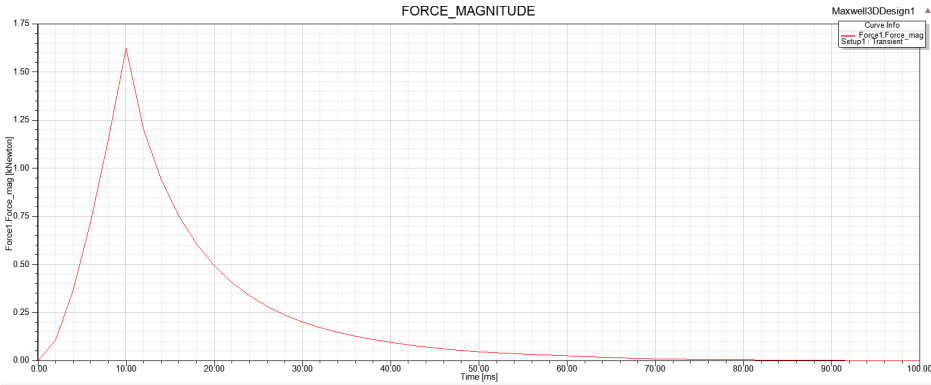
Результаты решения, слайд 2



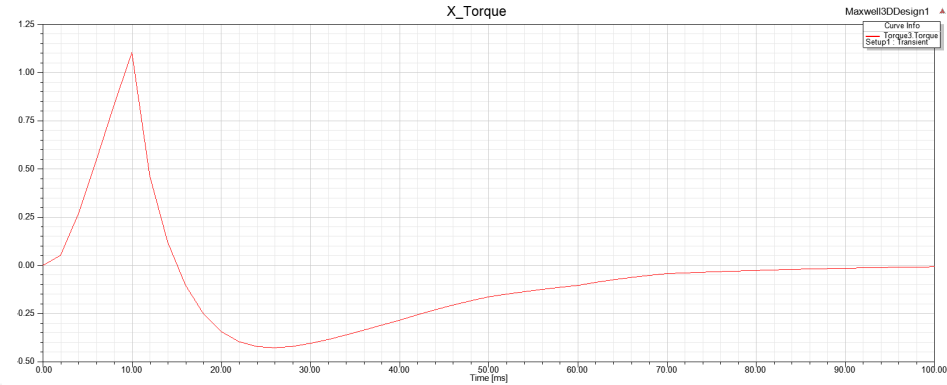
Поле сил, действующих на конструкцию

Поля вихревых токов

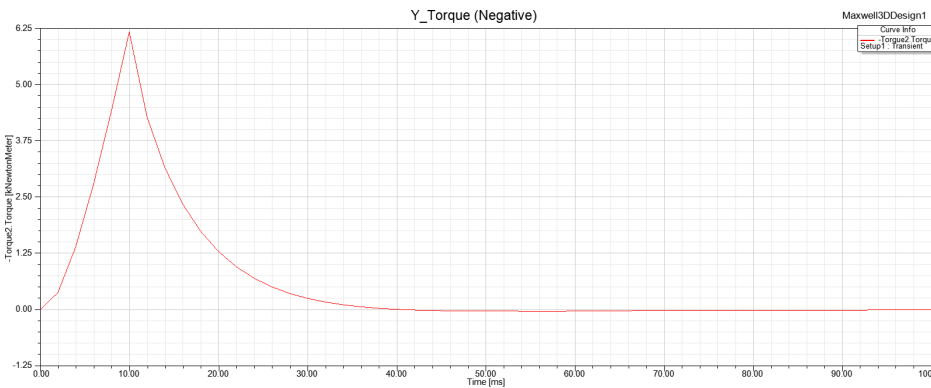
Результаты решения электромагнитной задачи



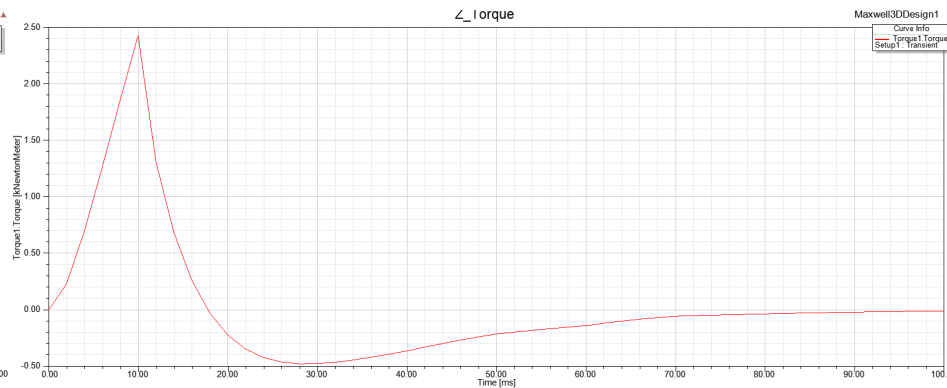
Модуль силы в зависимости от времени



Момент относительно оси X в зависимости от времени

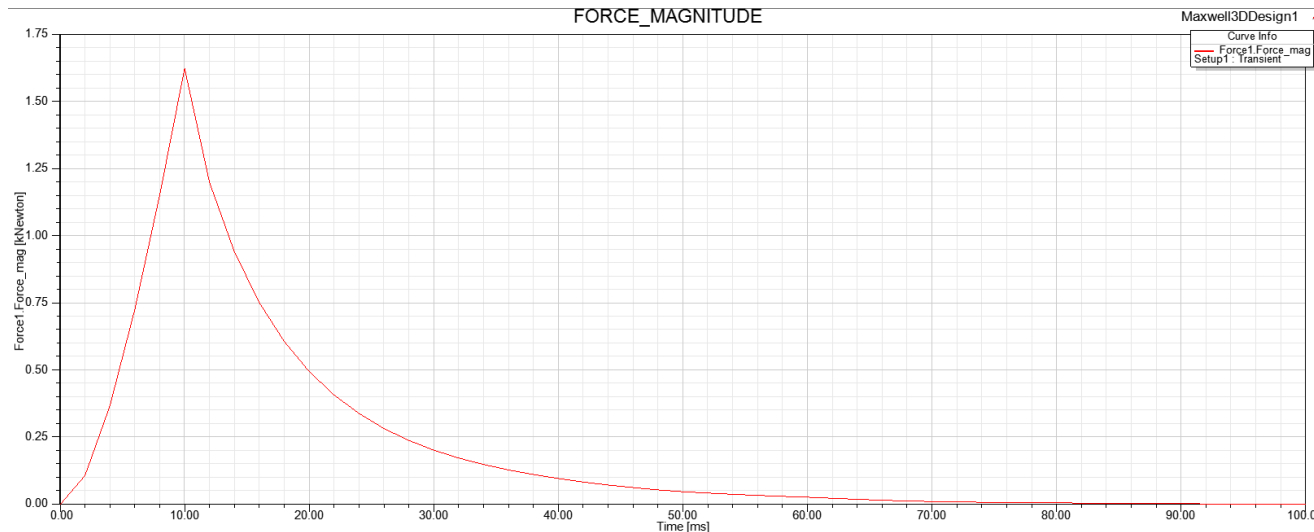


Момент относительно оси Y в зависимости от времени

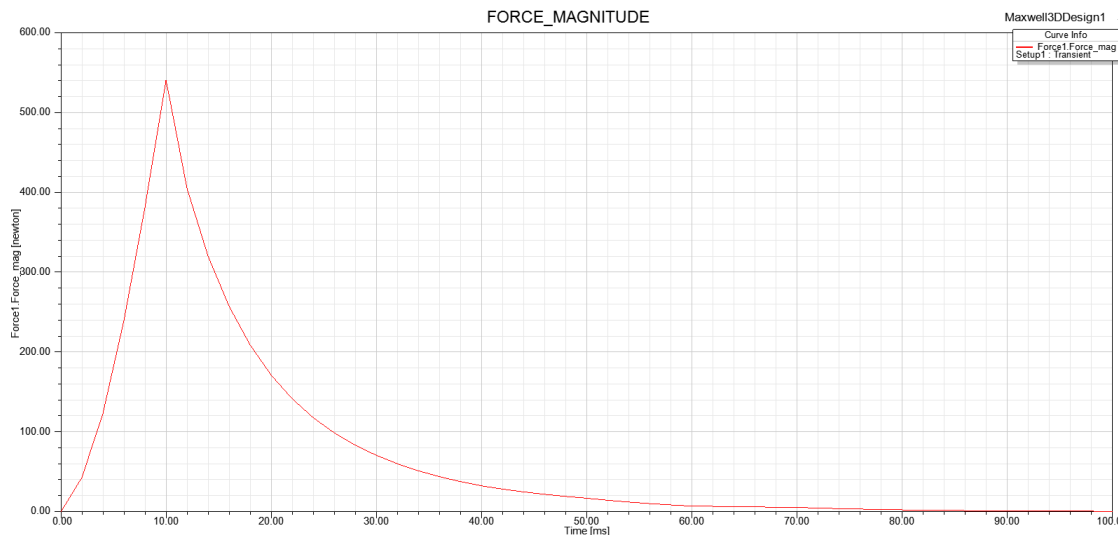


Момент относительно оси Z в зависимости от времени

Оценка вклада токонесущих элементов с затухающим током в модуль результирующих сил



Максимальное
значение
1650Н



Максимальное
значение
540Н

Входные данные и граничные условия для механической задачи

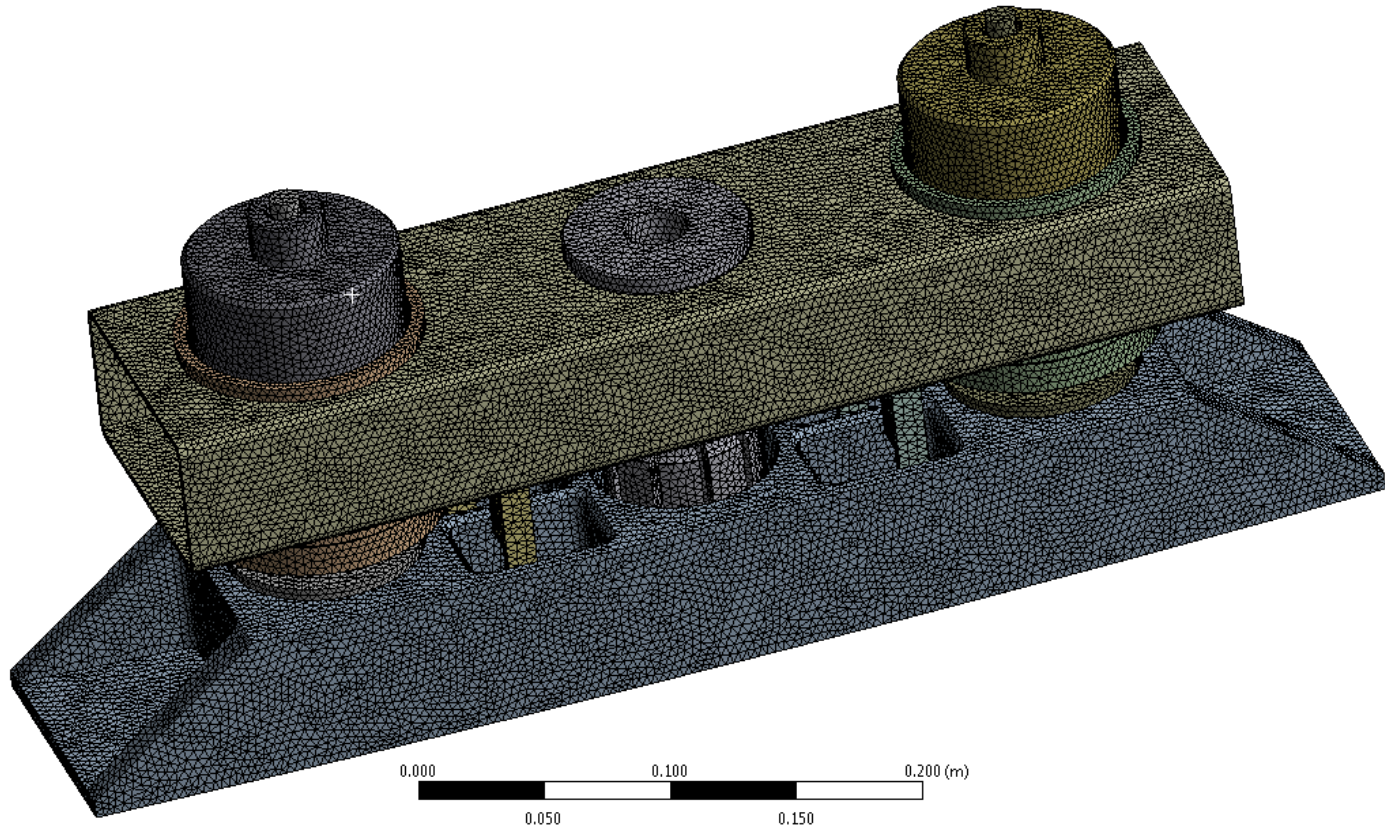
- Решение осуществляется при помощи системы конечно-элементного моделирования ANSYS Mechanical, производящей расчёт напряжённо-деформированного состояния в рамках линейной теории упругости
- В качестве входных данных взято поле сил в момент наибольшего нагружения, полученное из решения магнитной задачи
- Граничное условие – фиксация поверхности закрепления зеркала на раме

Статический механический анализ

Решённые подзадачи:

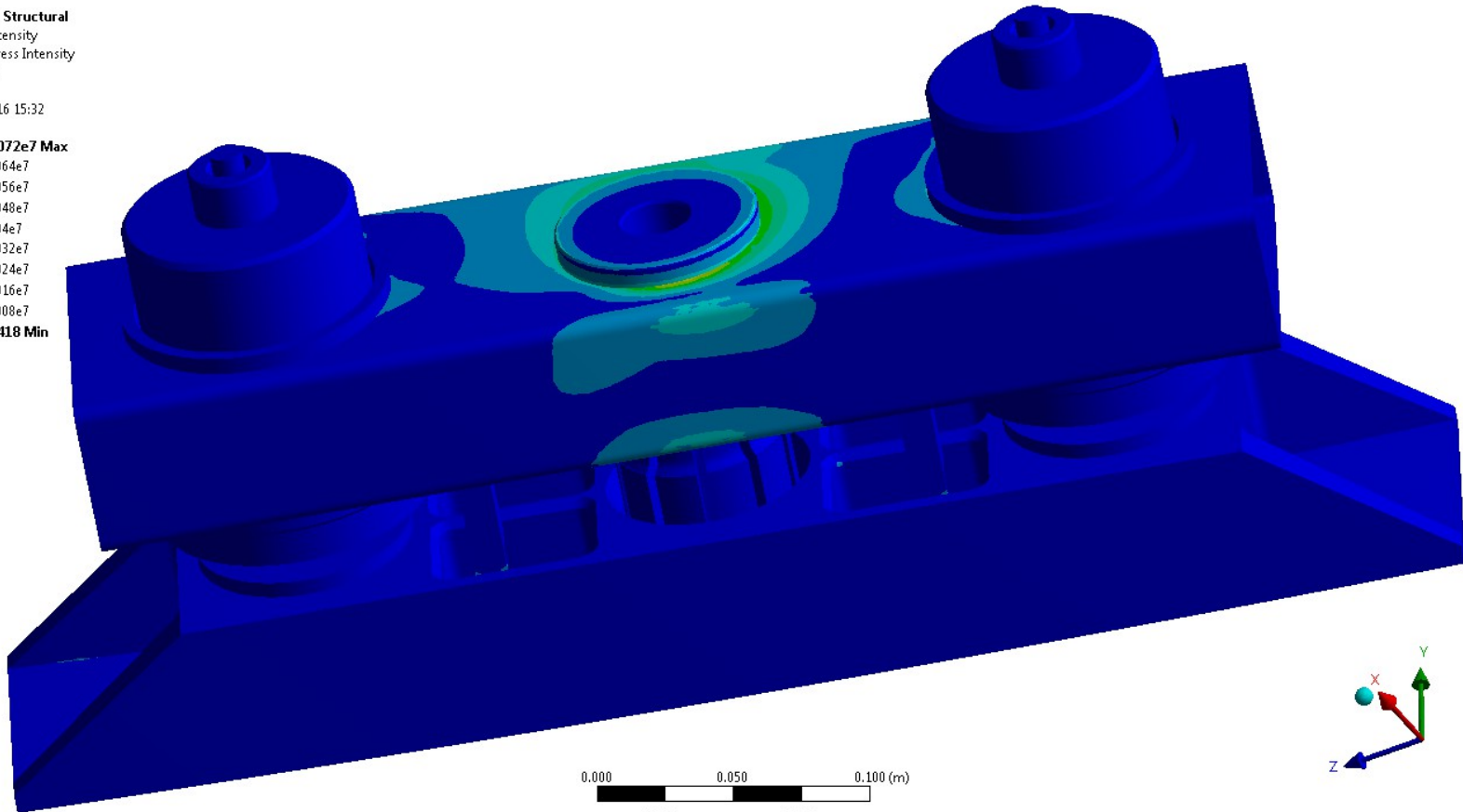
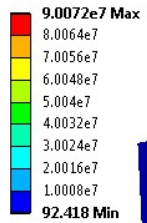
- Упрощение модели исследуемого объекта
- Построение конечно-элементной сетки
- Получение картины распределения напряжений
- Получение картины перемещений
- Выдача рекомендаций по усовершенствованию конструкций

Конечно-элементная сетка

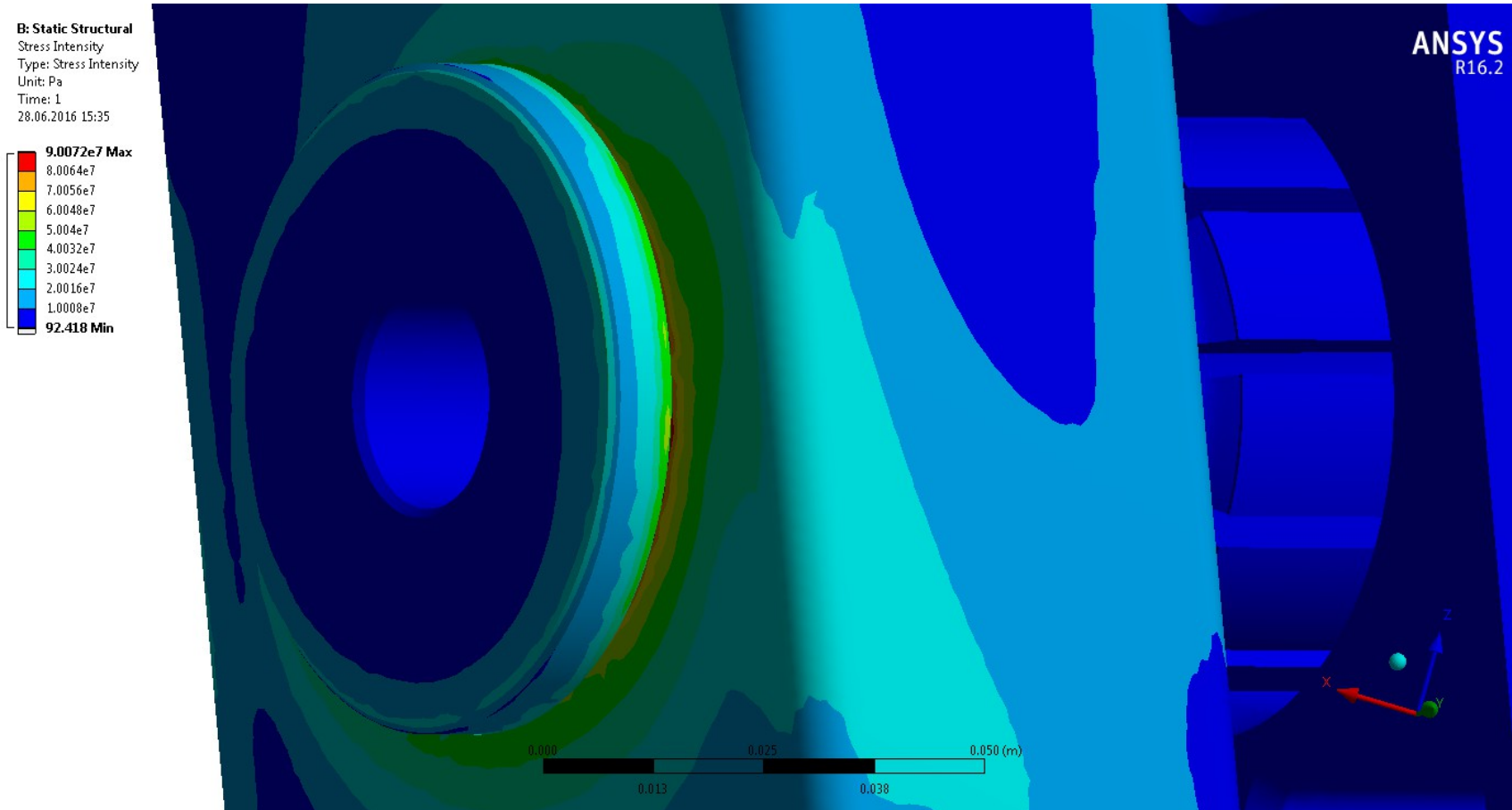


Картина распределения напряжений

B: Static Structural
Stress Intensity
Type: Stress Intensity
Unit: Pa
Time: 1
28.06.2016 15:32

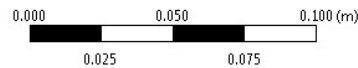
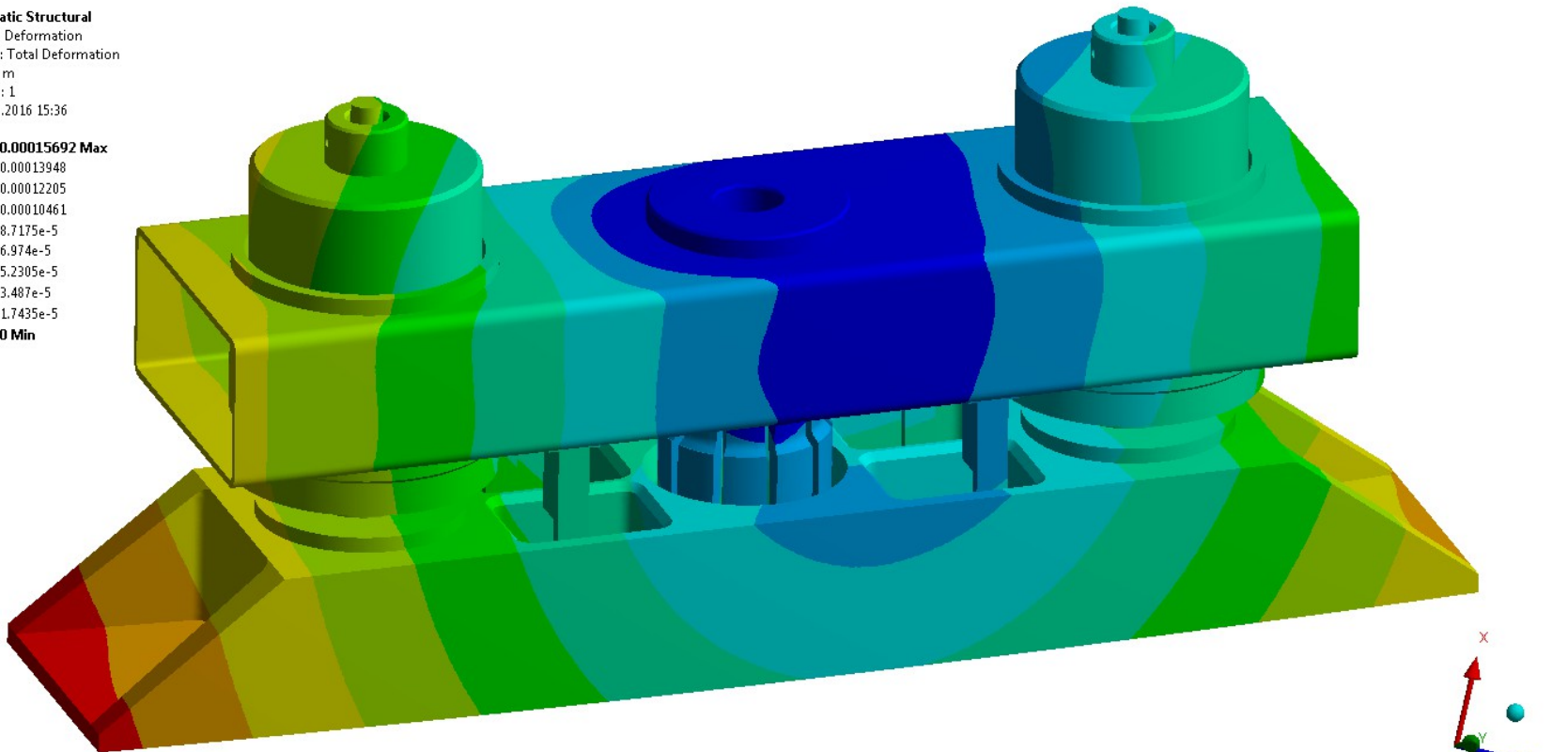
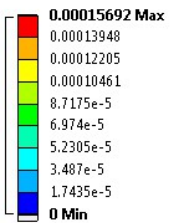


Картина распределения напряжений



Картина деформаций

B: Static Structural
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: m
Time: 1
28.06.2016 15:36



Перспективы

- 1) Уточнение модели в электромагнитной задаче: учёт стенок вакуумной камеры как проводника тока
- 2) Решение нестационарной механической задачи, получение динамической картины поведения зеркала при срыве плазмы по сценарию VDE_DW_lin_36ms
- 3) Проведение аналогичного анализа для каждого из зеркал системы сбора света диверторной ДТР
- 4) Моделирование поведения всей системы сбора света при срыве плазмы по сценарию VDE_DW_lin_36ms
- 5) Моделирование отклонений светового пучка от базового пути прохождения на всей дистанции: от поверхности выхода из щели между диверторными кассетами до приёмной поверхности диагностического оборудования во время срыва плазмы. Оценка возможности компенсации отклонений светового пучка и возможности проведения измерений во время срыва плазмы.

Спасибо за внимание!