



РОСАТОМ



**ЦИФРОВОЙ
ИНЖИНИРИНГ**
ПИШ СПбПУ

Отчет о решении задачи финального практического тура ВОММ-2024

ФИО: Асылгужин Артур Ринатович

ТРЕК: Прочность

10.10.2024

В настоящее время в инженерной практике широко применяются CAE (Computer-aided engineering) системы для проведения инженерных расчетов. Большинство из них построены на основе метода конечных элементов. К ним же относится и модуль пакета численного моделирования ЛОГОС Прочность.

Метод конечных элементов является численным методом решения систем дифференциальных уравнений в частных производных, а также интегральных уравнений. Суть метода состоит в разбиении расчетной области на конечное количество подобластей (элементов) простой формы, внутри которых искомая величина аппроксимируется заданными функциями (функциями) формы. В дальнейшем производится поиск значений искомой величины в заданных точках (узлах) этих элементов.

Expressing the problem in matrix form

$$\mathbf{K} \mathbf{a} = \mathbf{f} \quad (3.20)$$

where

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \cdots & K_{1N} \\ K_{21} & K_{22} & \cdots & K_{2N} \\ \vdots & & & \vdots \\ K_{N1} & K_{N2} & \cdots & K_{NN} \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad \mathbf{f} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_N \end{Bmatrix}$$

The formal solution to the problem is now given by

$$\mathbf{a} = \mathbf{K}^{-1} \mathbf{f} \quad (3.21)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} + \mathbf{f} = 0; \\ \mathbf{u}|_{\Omega_1} = \mathbf{u}_0, \quad \boldsymbol{\sigma} \cdot \mathbf{n}|_{\Omega_2} = \mathbf{t}_0, \\ \boldsymbol{\sigma} = \mathbf{C} : \boldsymbol{\varepsilon}, \\ \boldsymbol{\varepsilon} = \frac{1}{2}(\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T) = (\nabla \mathbf{u})^s \end{array} \right.$$

Процесс построения геометрии

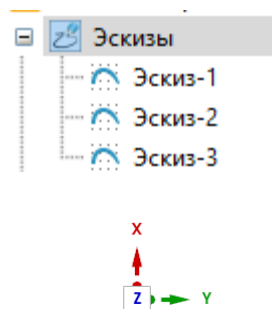
Шпилька



3 цилиндра + операция
объединения тел

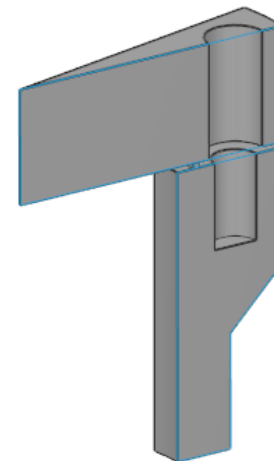
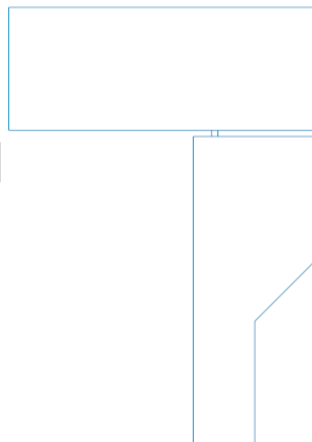


ЛОГОС



Гайка получена с помощью
команды цилиндр и
вычитания геометрии
шпильки

Фланец, крышка, прокладка

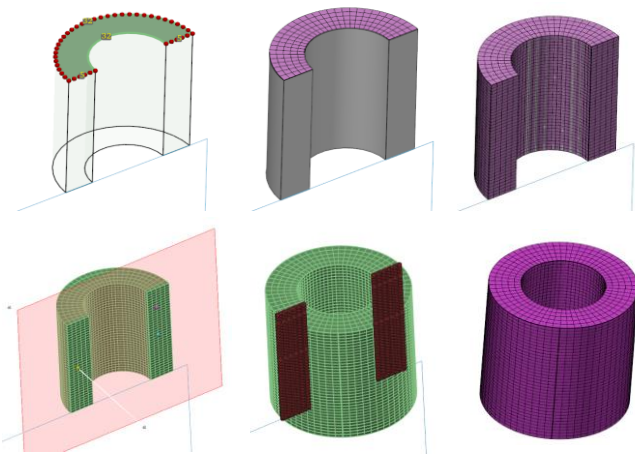


Эскиз + вращение тел +
вычитание шпильки

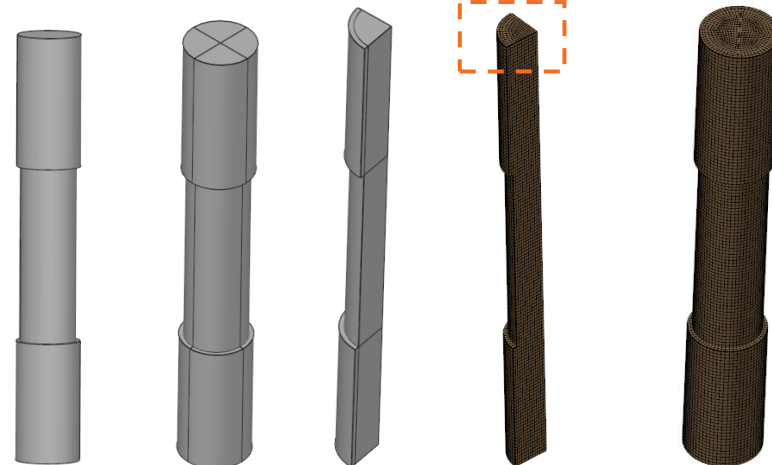
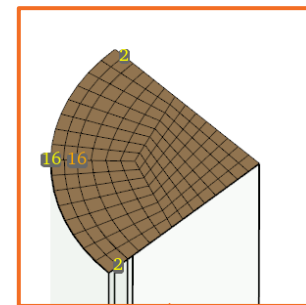


Процесс построения сетки

Гайка



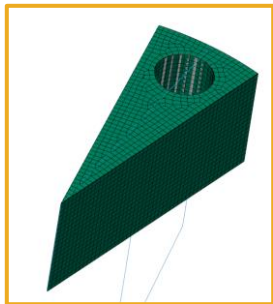
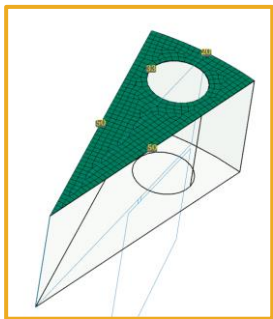
Шпилька



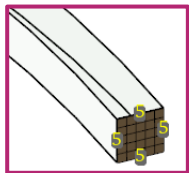
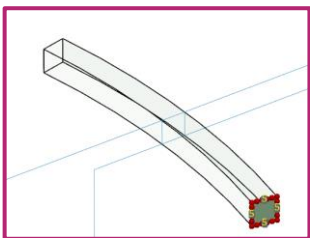
- Построение поверхностной сетки
- Построение объемной с помощью протягивания
- Отвязка сетки от геометрии и удаление поверхностной сетки
- Отражение трехмерной сетки с помощью плоскости
- Связывание узлов двух половинок

Процесс построения сетки

Сектор крышки

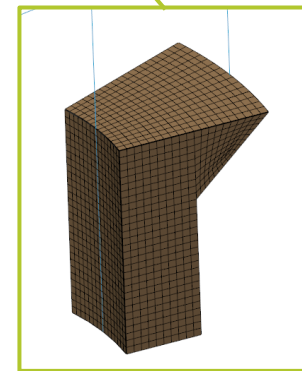
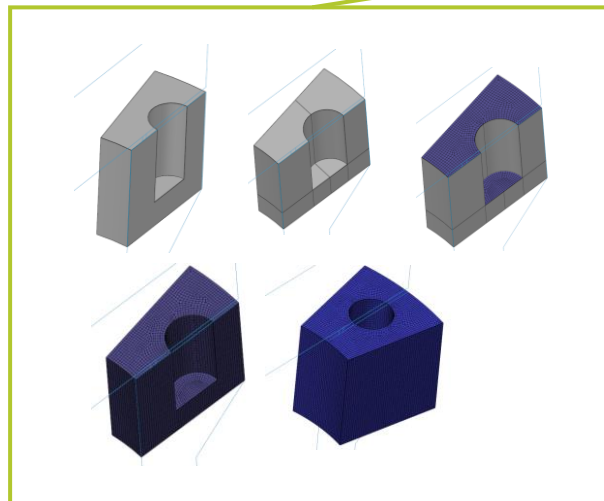


Сектор прокладки



Сектор фланца

Для построения гексаэдральной сетки фланец был разделен на два элемента, которые будут скреплены с помощью контакта типа «склейка»



Процесс настройки модели

Компоненты (6)

- Bolt
- Flange_1
- Gasket
- Flange_2
- Lid
- Nut

Подобласти (6)

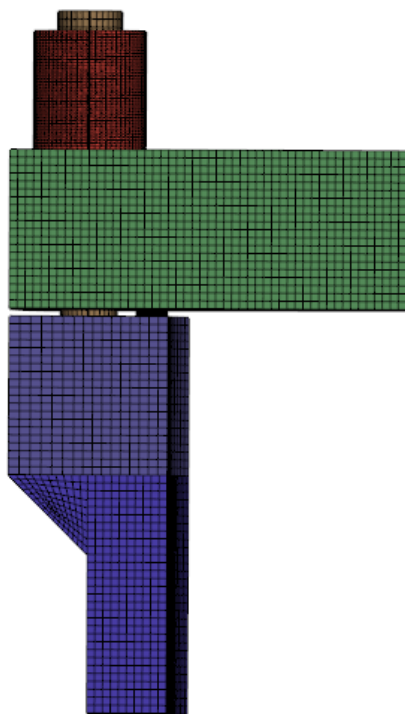
- 1 Bolt_mesh
- 2 Flange_1_mesh
- 3 Gasket_mesh
- 4 Flange_2_mesh
- 5 Lid_mesh
- 6 Nut_mesh

Материалы (1)

- 1 Steel

Код	Значение	Комментарий
RO	8000	Начальная плотность

Код	Значение	Комментарий
E	2e+11	Модуль Юнга
PR	0,3	Коэффициент Пуассона



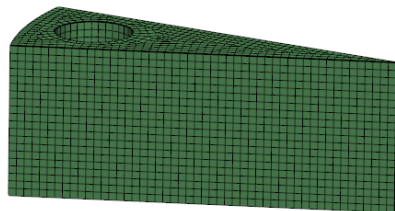
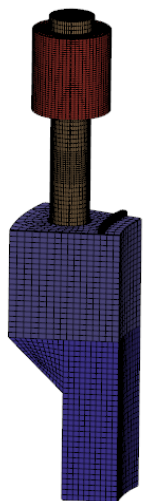
Наборы узлов (10)

- Set_Nodes_BC (501)
- Set_Nodes_CycleSym_Flange_2_1 (1285)
- Set_Nodes_CycleSym_Flange_2_2 (1285)
- Set_Nodes_CycleSym_Flange_1_1 (1033)
- Set_Nodes_CycleSym_Flange_1_2 (1033)
- Set_Nodes_CycleSym_Gasket_1 (96)
- Set_Nodes_CycleSym_Gasket_2 (96)
- Set_Nodes_CycleSym_Lid_1 (3100)
- Set_Nodes_CycleSym_Lid_2 (3100)
- Set_BC_Lid (41)

Наборы граней (16)

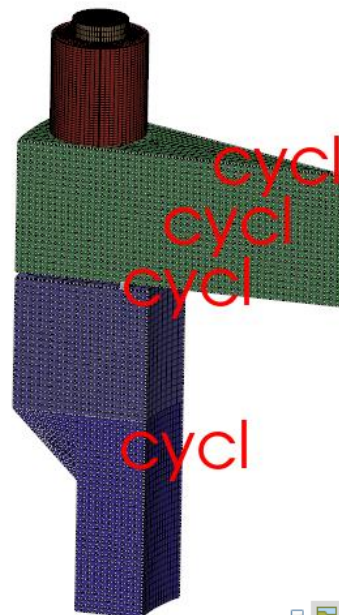
- Cont_Flange_1_to_Flange_2_M (300)
- Cont_Flange_1_to_Flange_2_S (226)
- Cont_Gasket_to_Flange_1_M (166)
- Cont_Gasket_to_Flange_1_S (165)
- Cont_Lid_to_Gasket_S (165)
- Cont_Lid_to_Gasket_M (417)
- Cont_Nut_to_Lid_S (417)
- Cont_Nut_to_Lid_M (320)
- Cont_Bolt_to_Nut_M (2368)
- Cont_Bolt_to_Flange_1_M (360)
- Cont_Bolt_to_Nut_S (1344)
- Cont_Bolt_to_Flange_1_S (1216)
- Set_Face_Pressure_1 (610)
- Set_Face_Pressure_2 (182)
- SplittedSet15 (512)
- SplittedSet16 (512)

Процесс настройки модели, свойства подобластей, циклическая симметрия



Параметр	Значение
Идентификатор	2
Название набора	Набор
Материал	
Тип	Стандартный
Экземпляр	Steel
Конечный элемент	
Тип элемента	Объемный элемент
Аппроксимация	Гексадр смеш. 20 узл.

Параметр	Значение
Идентификатор	1
Название набора	Набор
Материал	
Тип	Стандартный
Экземпляр	Steel
Конечный элемент	
Тип элемента	Объемный элемент
Аппроксимация	Гексадр, 20 узл.



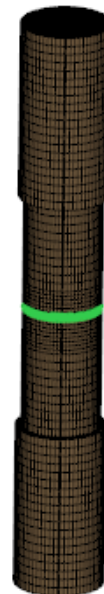
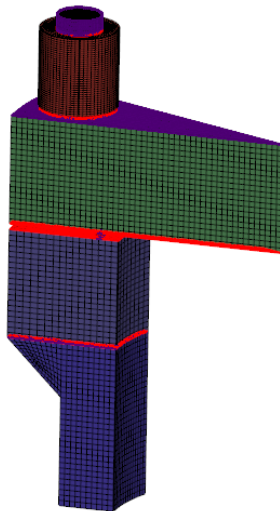
- Циклическая симметрия (4)
- CycleSym_Lid
- CycleSym_Gasket
- CycleSym_Flange_1
- CycleSym_Flange_2

Процесс настройки модели, соединения

Контакты

- Контактное взаимодействие (6)
 - 1 {Склейка: Cont_Flange_1_to_Flange_2_S - Cont_Flange_1_to_Flange_2_M}
 - 2 {Склейка: Cont_Gasket_to_Flange_1_S - Cont_Gasket_to_Flange_1_M}
 - 3 {Склейка: Cont_Lid_to_Gasket_S - Cont_Lid_to_Gasket_M}
 - 4 {Склейка: Cont_Nut_to_Lid_S - Cont_Nut_to_Lid_M}
 - 5 {Склейка: Cont_Bolt_to_Nut_S - Cont_Bolt_to_Nut_M}
 - 6 {Склейка: Cont_Bolt_to_Flange_1_S - Cont_Bolt_to_Flange_1_M}

Параметр	Значение
Основные параметры	
Тип контакта	Склейка
Контактный метод	Исключение переменных
Контактирующие ...	
Тип главной	Набор граней
Тип подчиненной	Набор граней
Главная	Cont_Flange_1_to_Flange_2_M
Подчиненная	Cont_Flange_1_to_Flange_2_S

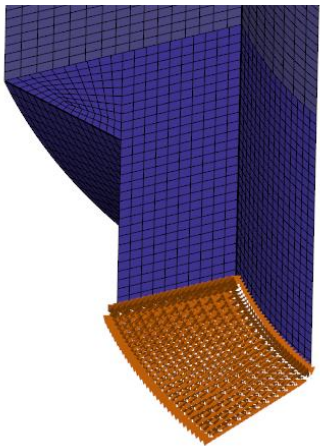


Преднатяжение

Зоны преднатяжения	
Параметр	Значение
Название	
Определяющий узел	328664
Определение зоны преднатяжения	Режим автоматического разби
Вектор приложения нагрузки	
X	1
Y	0
Z	0
Тип	Сила
Значение	800000
Применить на шаге нагружения	1
Заблокировать на шаге нагружения	3

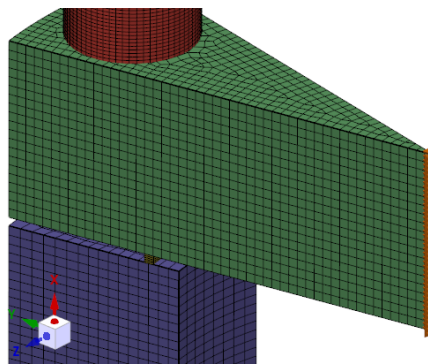
Процесс настройки модели, граничные условия

Закрепление



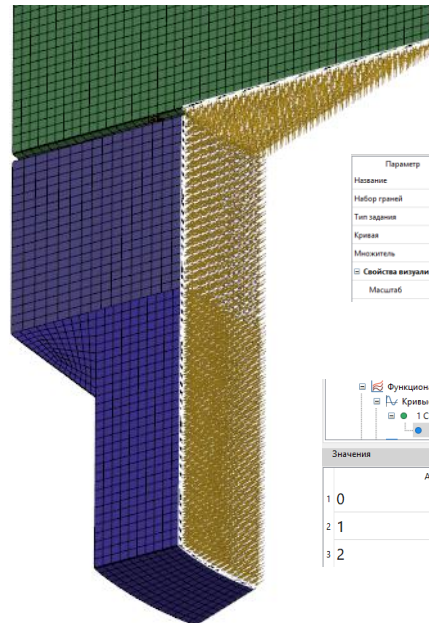
Параметр	Значение
Название	BC
Набор узлов	Set_Nodes_BC
Система координат	0
По X	<input checked="" type="checkbox"/>
По Y	<input checked="" type="checkbox"/>
По Z	<input checked="" type="checkbox"/>
По RX	<input type="checkbox"/>
По RY	<input type="checkbox"/>
По RZ	<input type="checkbox"/>
Масштаб	1,0000000000

Граничное условие на крайние узлы сектора крышки



Параметр	Значение
Название	BC_Lid
Набор узлов	Set_BC_Lid
Система координат	0
По X	<input type="checkbox"/>
По Y	<input checked="" type="checkbox"/>
По Z	<input checked="" type="checkbox"/>
По RX	<input type="checkbox"/>
По RY	<input type="checkbox"/>
По RZ	<input type="checkbox"/>
Масштаб	1,0000000000

Давление



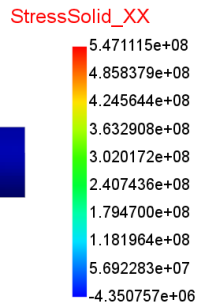
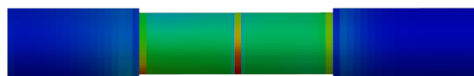
Параметр	Значение
Таблица счета	
Записи для ...	
Шаг	<input checked="" type="checkbox"/>
Значение шага	1
Подшаг	<input checked="" type="checkbox"/>
Значение подшага	1
Окончание счета	
Шаг	<input checked="" type="checkbox"/>
Значение шага	2

Параметр	Значение
Свойства визуализации	
Набор граней	
Тип задания	Кривая
Кривая	1
Множитель	1
Масштаб	1,0000000000

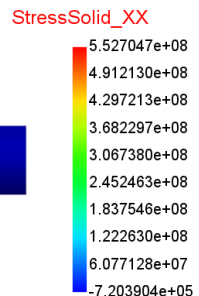
Значения		
	Абсцисса	Ордината
1	0	0
2	1	0
3	2	1e+07

Напряжения в направлении оси X (Па)

1 шаг нагружения

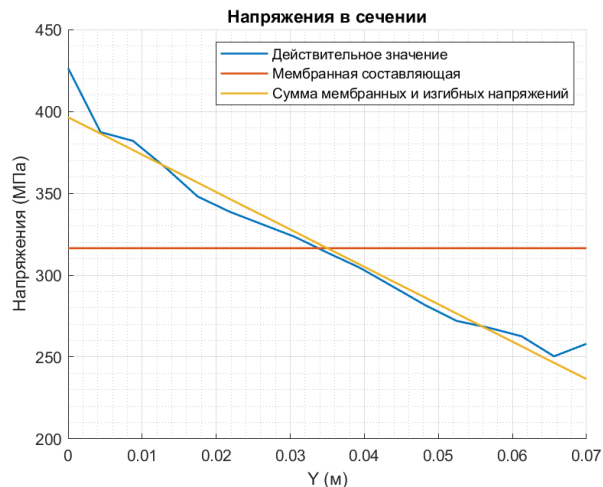
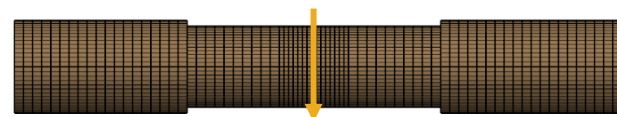


2 шаг нагружения



Линеаризация напряжений в срединном сечении

Путь линеаризации

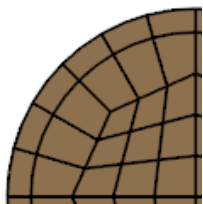


$$\sigma_{ij,m} = \frac{1}{t} \int_0^t \sigma_{ij} ds$$

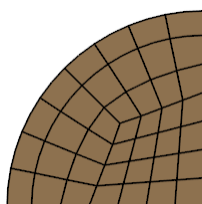
$$\sigma_{ij,b} = \frac{6}{t^2} \int_0^t \sigma_{ij} \left(\frac{t}{2} - s \right) ds$$

Результаты, Исследование сходимости

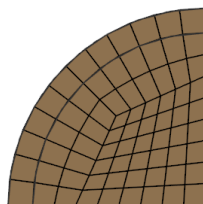
1 вариант



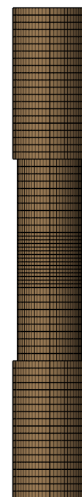
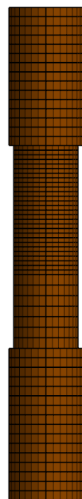
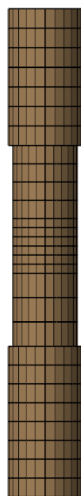
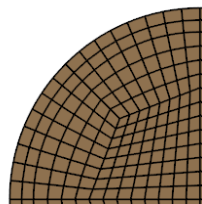
2 вариант



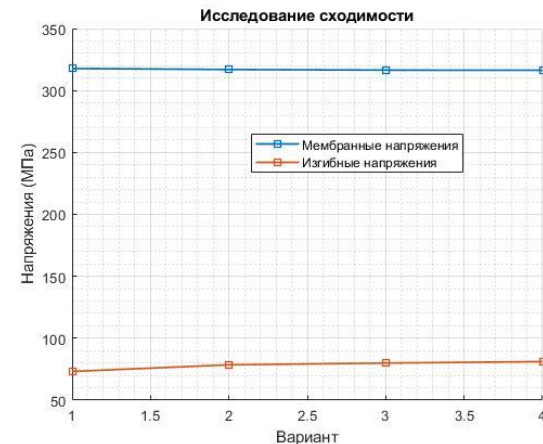
3 вариант



4 вариант



	Количество узлов на шпильке	Мембранные напряжения (МПа)	Изгибные напряжения (МПа)
V1	9573	317.7	73.1
V2	41669	316.9	78.5
V3	67750	316.4	79.9
V4	185400	316.3	80.1



Альтернативная оценка растягивающих напряжений на шпильках

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО НАДЗОРУ ЗА БЕЗОПАСНЫМ ВЕДЕНИЕМ РАБОТ
В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ
(ГОСАТОМЭНЕРГОНАДЗОР СССР)

ПРАВИЛА И НОРМЫ В АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Утверждены
Государственным комитетом СССР по
использованию атомной энергии

Утверждены
Государственным комитетом СССР по
надзору за безопасным ведением
работ в атомной энергетике

НОРМЫ РАСЧЕТА
НА ПРОЧНОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ
И ТРУБОПРОВОДОВ АТОМНЫХ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК
ПНАЭ Г-7-002-86

Обязательны для всех министерств, ведомств, организаций и предприятий, проектирующих, конструирующих, изготавливающих и эксплуатирующих атомные электростанции, теплоцентрали, опытные и исследовательские ядерные реакторы и установки, подконтрольные Госатомэнергонадзору СССР

Введены в действие 01.07.87 г. с изменениями

3.9. РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ В ШПИЛЬКАХ

3.9.1.3. Напряжение растяжения

$$\sigma_{mw} = \frac{F_w}{A_w z},$$

где $A_w = 0,785d_1^2$.

3.9.1.4. Напряжение кручения

$$\tau_{sw} = \frac{M_k}{W_k},$$

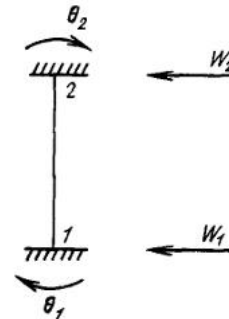
где $W_k = 0,196d_1^3$.

3.9.1.5. Напряжение изгиба

$$\sigma_{bw} = \frac{M}{W},$$

где $W = 0,1d_1^3$.

$$\sigma_{mw} = 208 \text{ МПа}$$

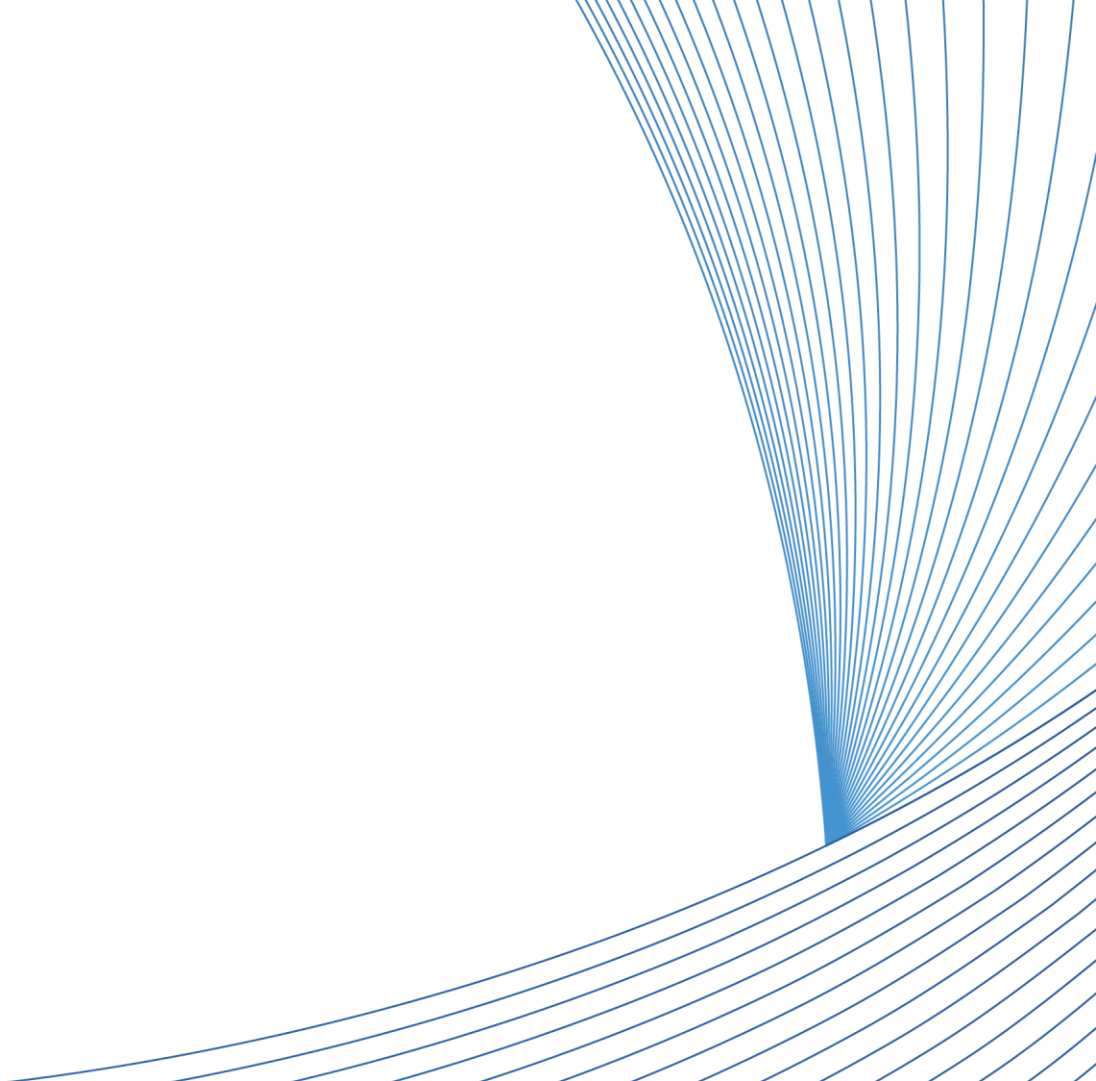


410

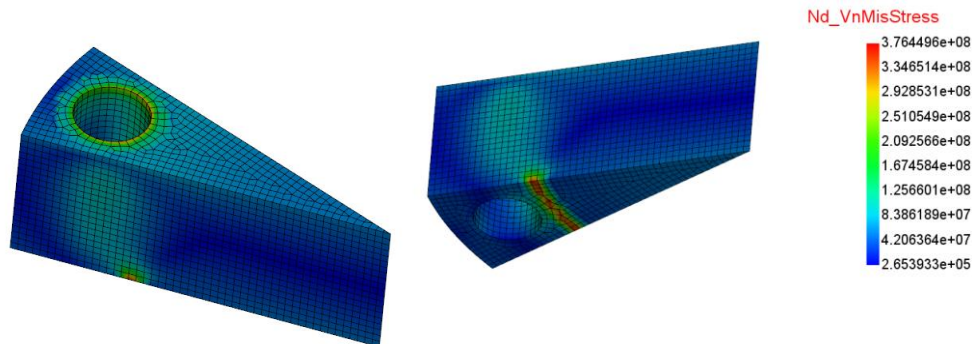
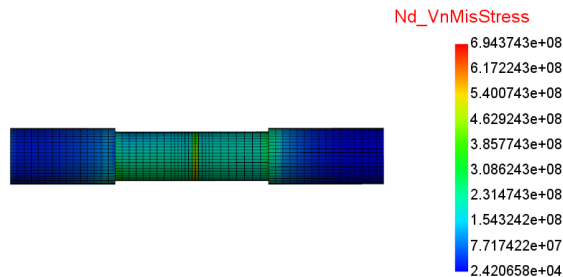
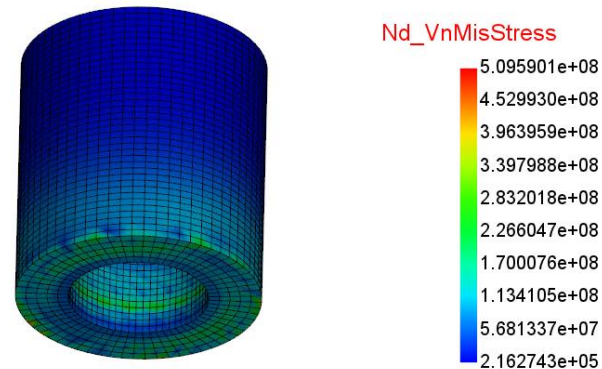
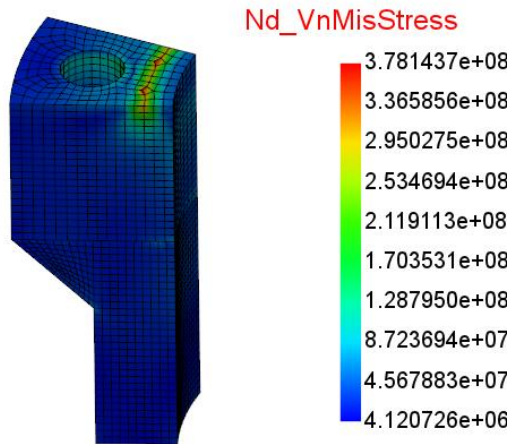
Рис. П17 Положительные направления перемещений и узлов поворота шпильки

Асылгужин Артур
Студент 2 курса магистратуры

10.10.2024



Результаты, Поля напряжений, 1 шаг



Результаты, Поля напряжений, 2 шаг

