



Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Физико-механический факультет
Кафедра Механики и процессов управления

Конечно-элементное моделирование процесса поднятия колонного аппарата. Анализ напряженно-деформированного состояния

Выполнил студент группы 6055/12

Руководитель, к.т.н., профессор

Соруководители:

ассистент

ведущий инженер

ЗАО «НЕФТЕХИМПРОЕКТ»

Калинин А.Ю.

Боровков А.И.

Немов А.С.

Гилёв Е.Е.

Цель и задачи работы

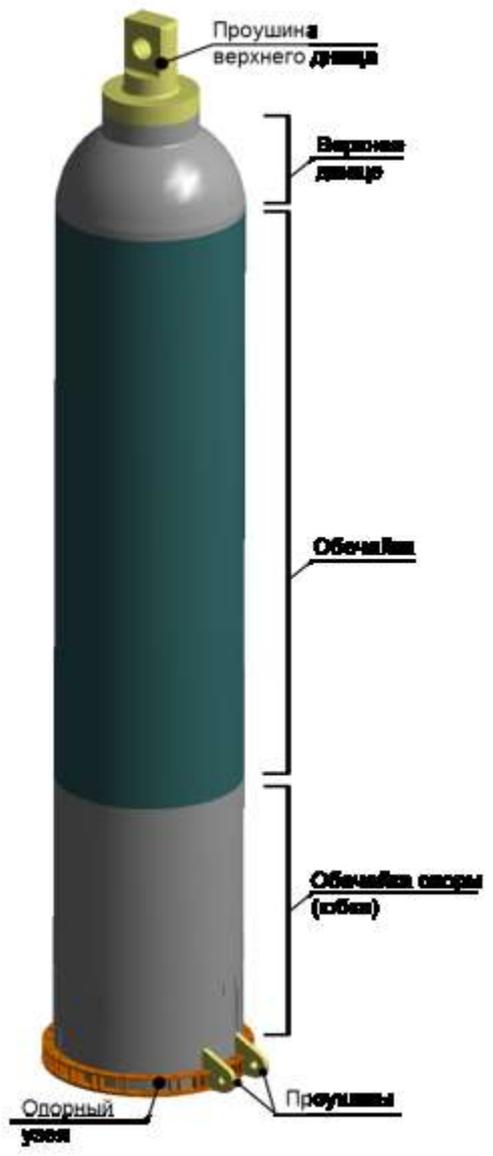
Цель: укрепление опорного узла реактора.

Задачи:

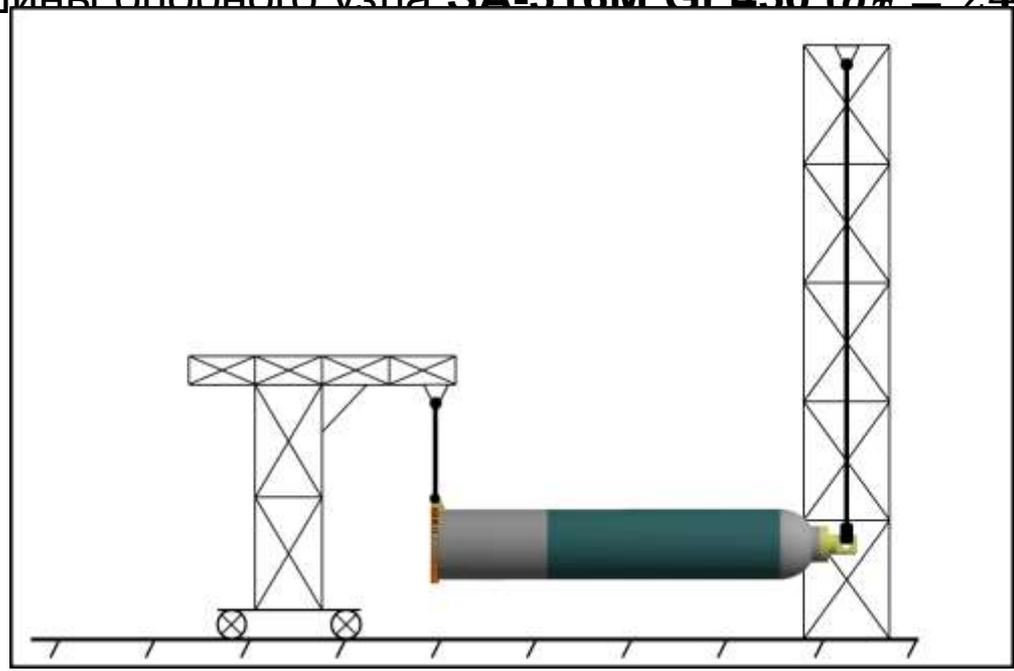
- моделирование процесса поднятия реактора;
- аналитическая оценка силы реакции, возникающей в опорном узле и проушине верхнего днища;
- анализ НДС опорного узла;
- анализ НДС в области проушины верхнего днища;
- укрепление опорного узла.



Описание объекта



масса аппарата: **311 т**
абаритный размер: **38 м**
положение Ц.М. относительно опорного узла: **19,8 м**
использованные материалы:
верхняя проушина **A350M Gr.LF2 cl.2** ($\sigma_T = 248$ МПа)
днища, обечайка **SA-542M Type D cl.4a** ($\sigma_T = 414$ МПа)
юбка **SA-387M Gr.22 cl.2** ($\sigma_T = 310$ МПа)
проушины опорного узла **SA-516M Gr 450** ($\sigma_T = 241$ МПа)

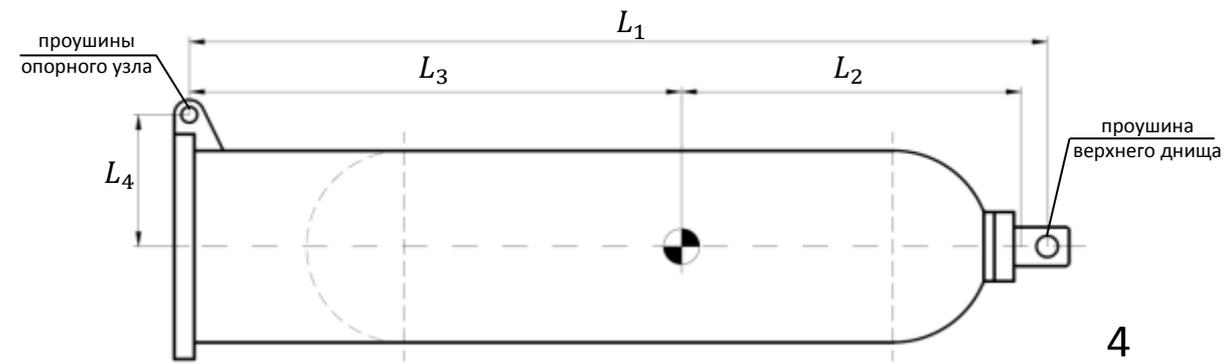
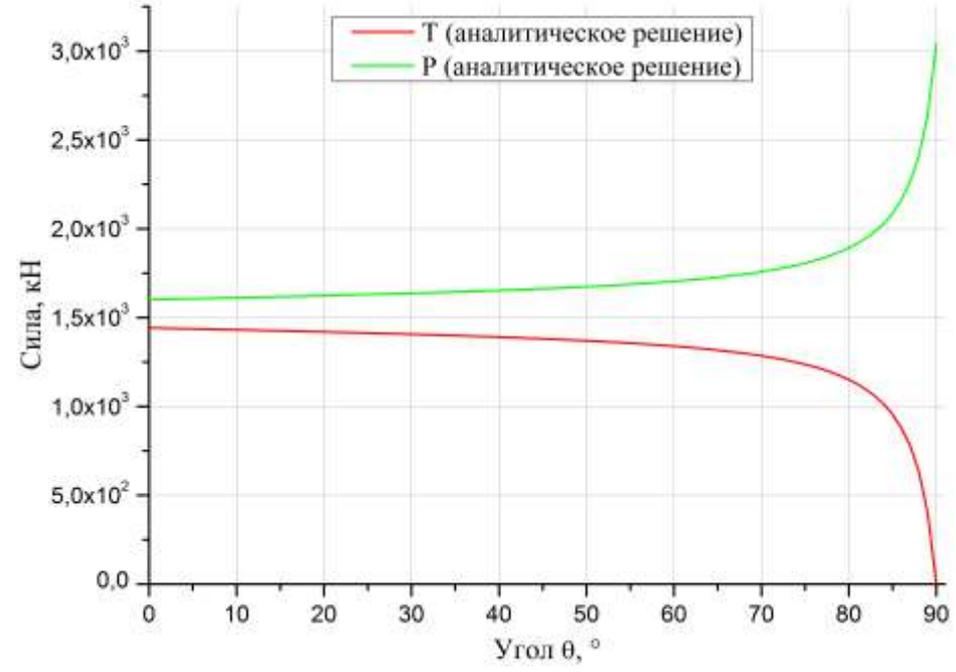
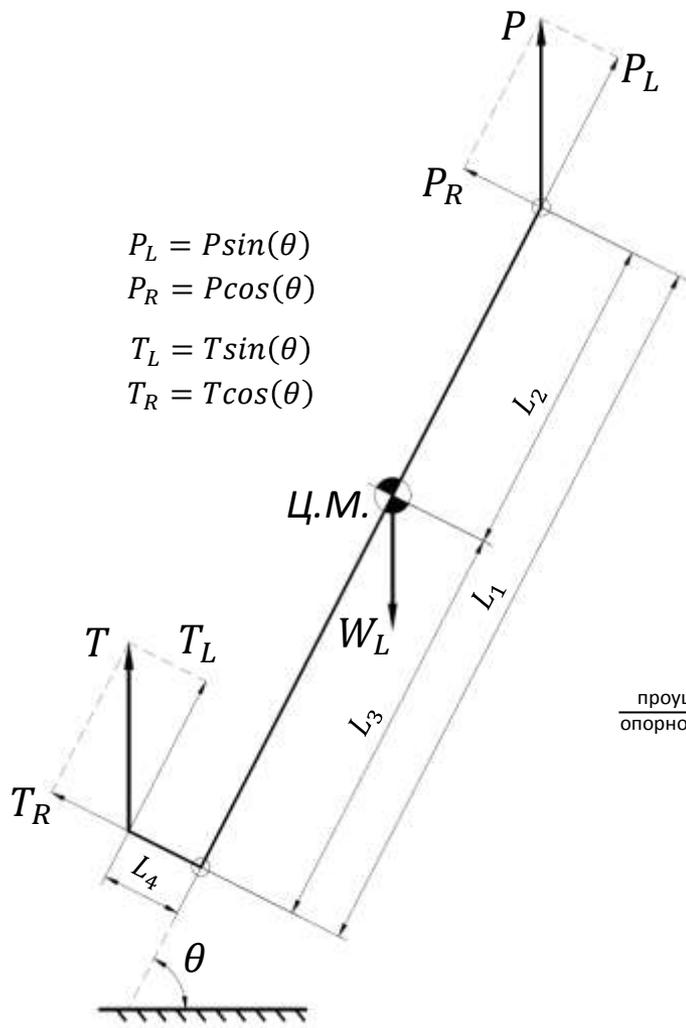


Аналитическая оценка силы реакции

$W_L = 310,6 \text{ тс (3044 кН)}$

$L_1 = 37,6 \text{ м}; L_2 = 17,8 \text{ м}; L_4 = 1,7 \text{ м};$

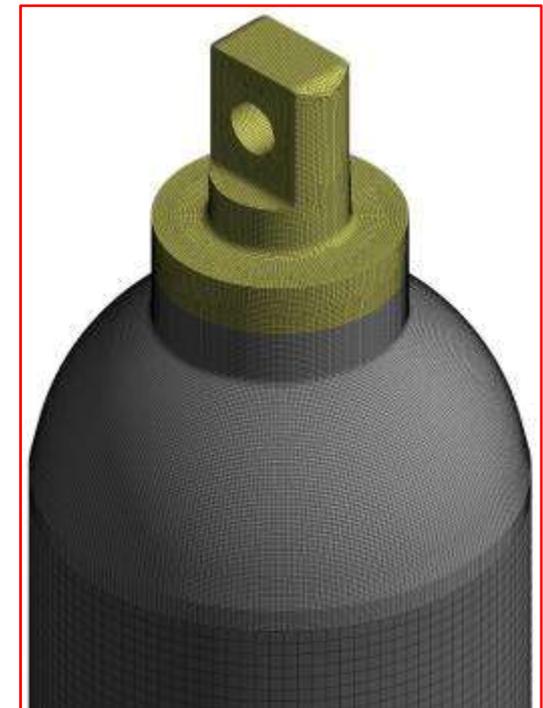
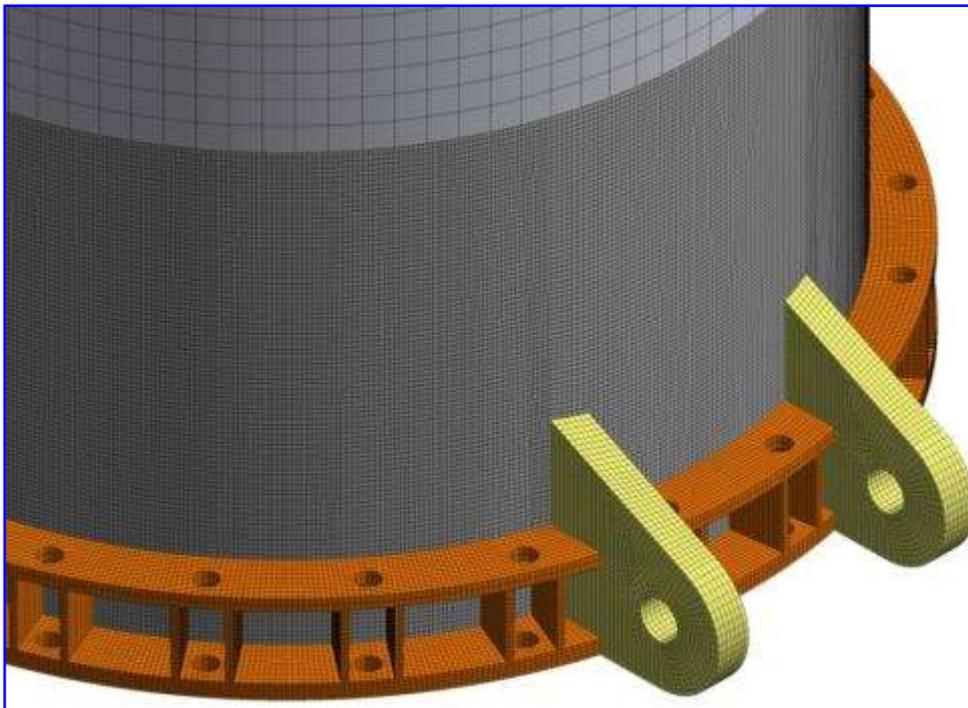
$$T = \frac{W_L L_2 \cos \theta}{\cos \theta L_1 + \sin \theta L_4}, \quad P = W_L - T$$



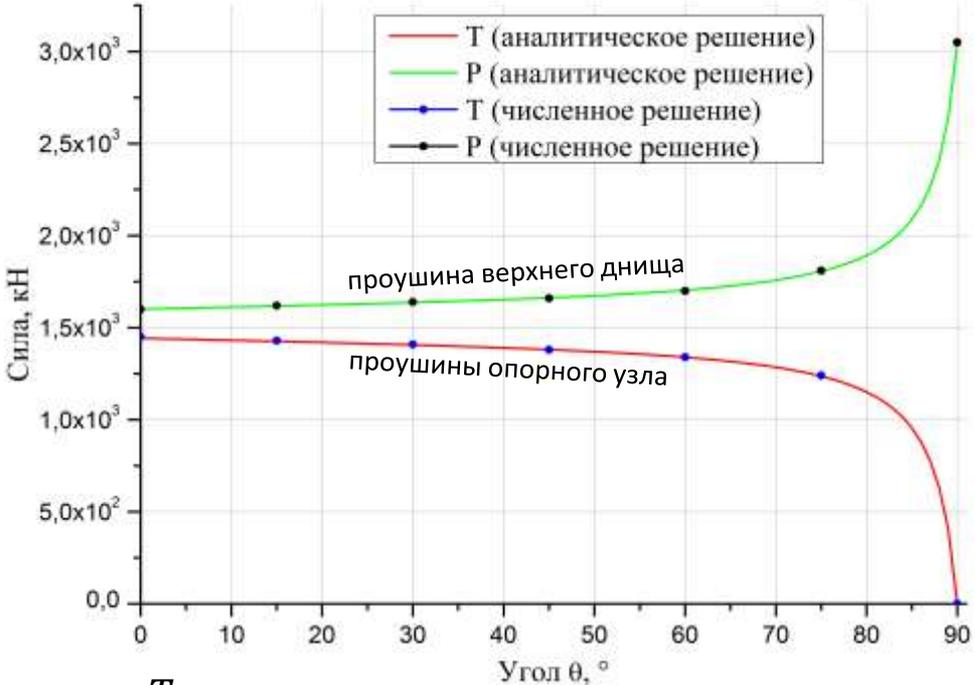
Конечно-элементная постановка задачи



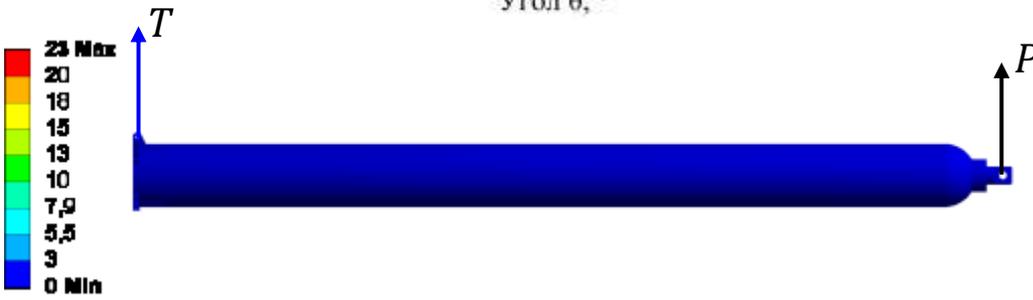
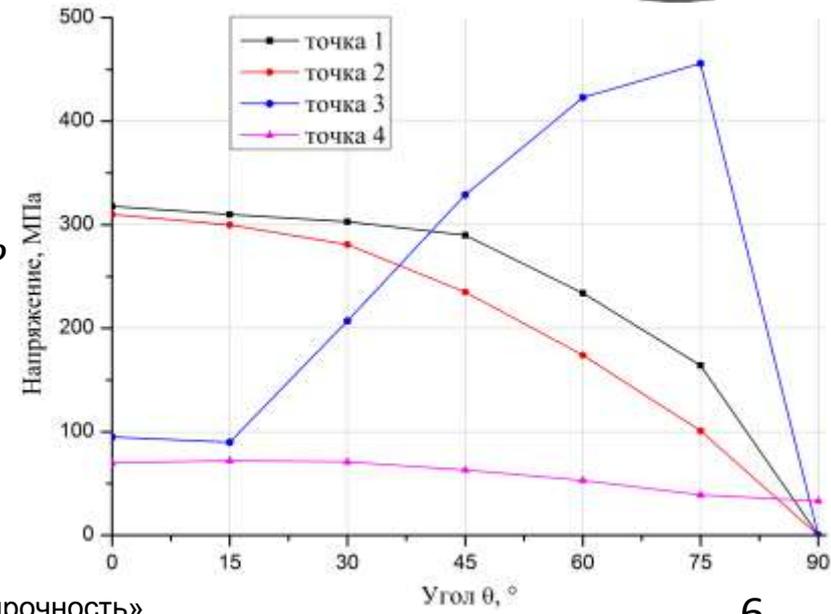
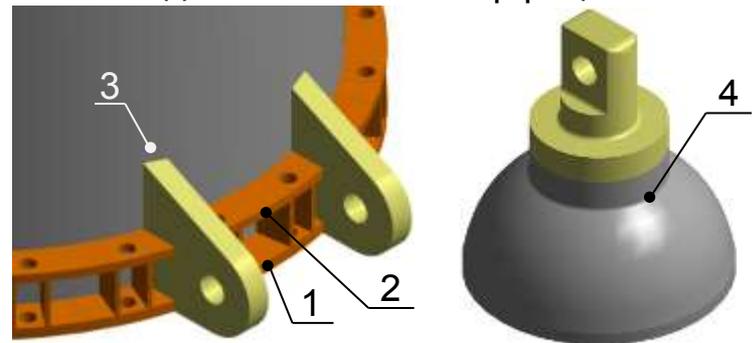
Общее число элементов: 657 654
Общее число узлов: 759 106
SHELL181: SOLID185:
NN – 48 560 NN – 710 546
NE – 48 504 NE – 609 150
NDF – 291 360 NDF – 2 131 638



Определение наиболее опасного угла поднятия. Распределение модуля вектора перемещений



В модель введены:
 $n_T = 1.1$ * – коэффициент запаса прочности;
 $K_d = 1.5$ ** – динамический коэффициент.

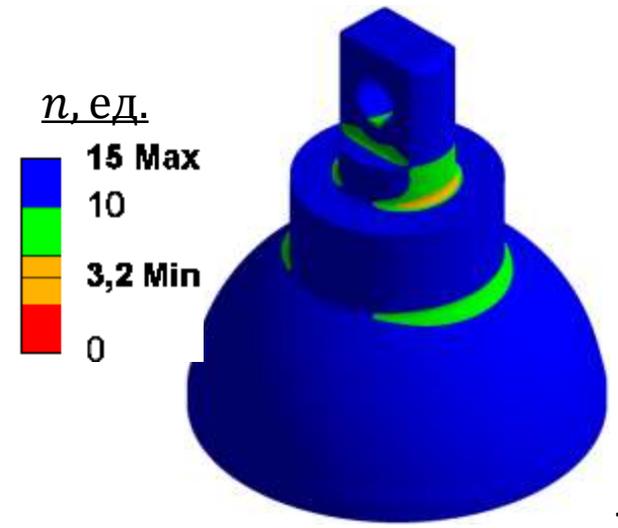
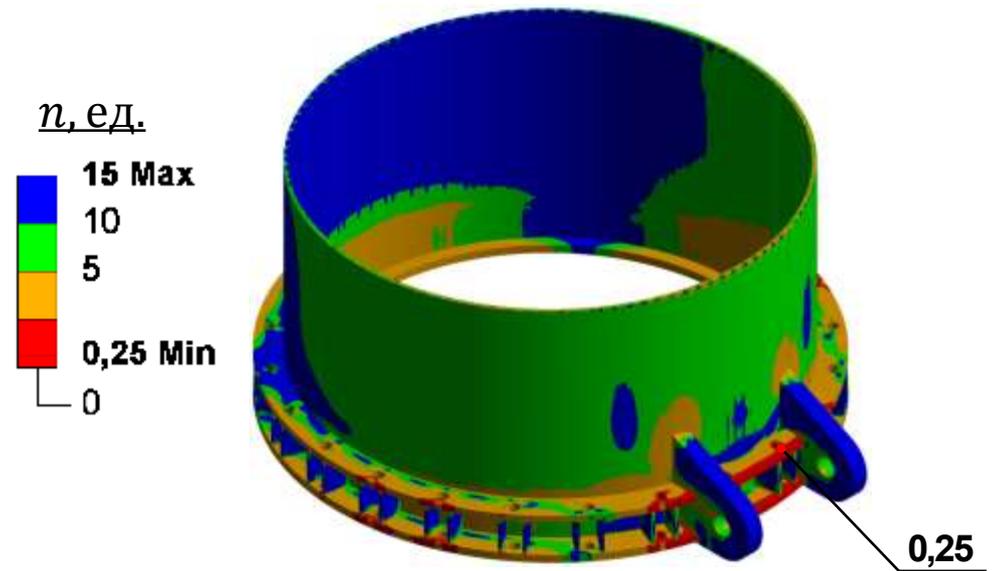
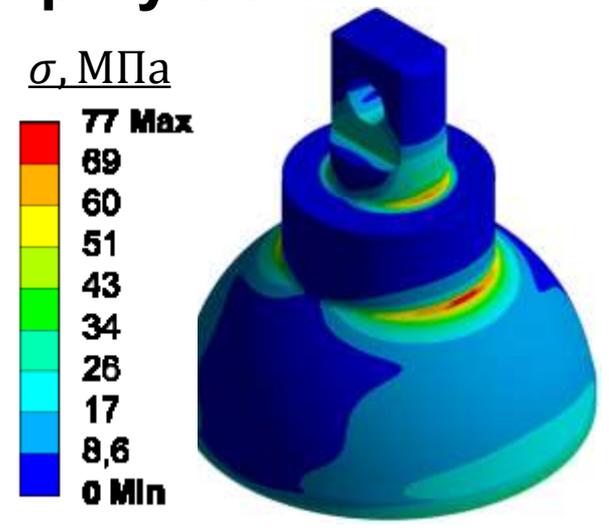
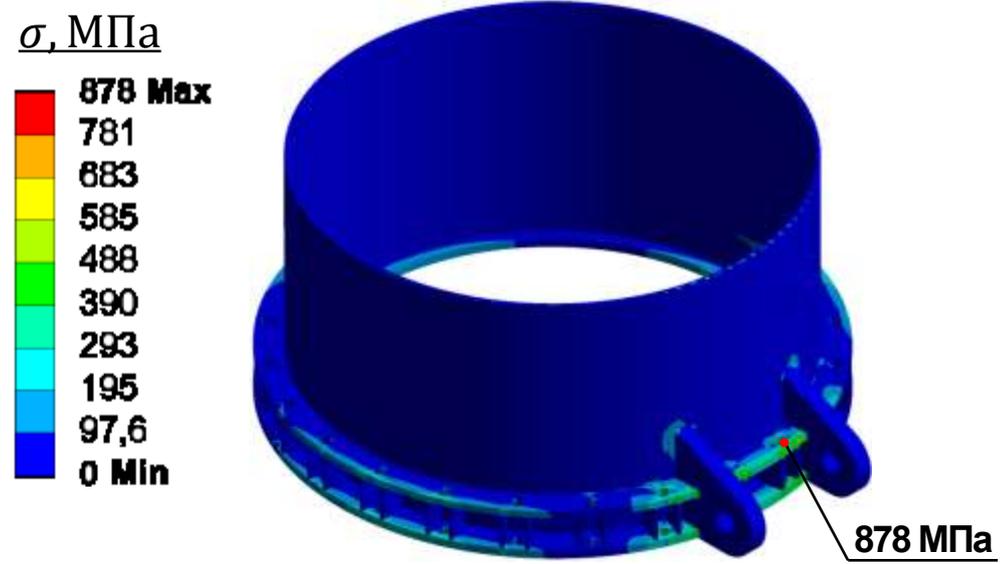


Перемещения при угле $\theta = 0^\circ$, мм

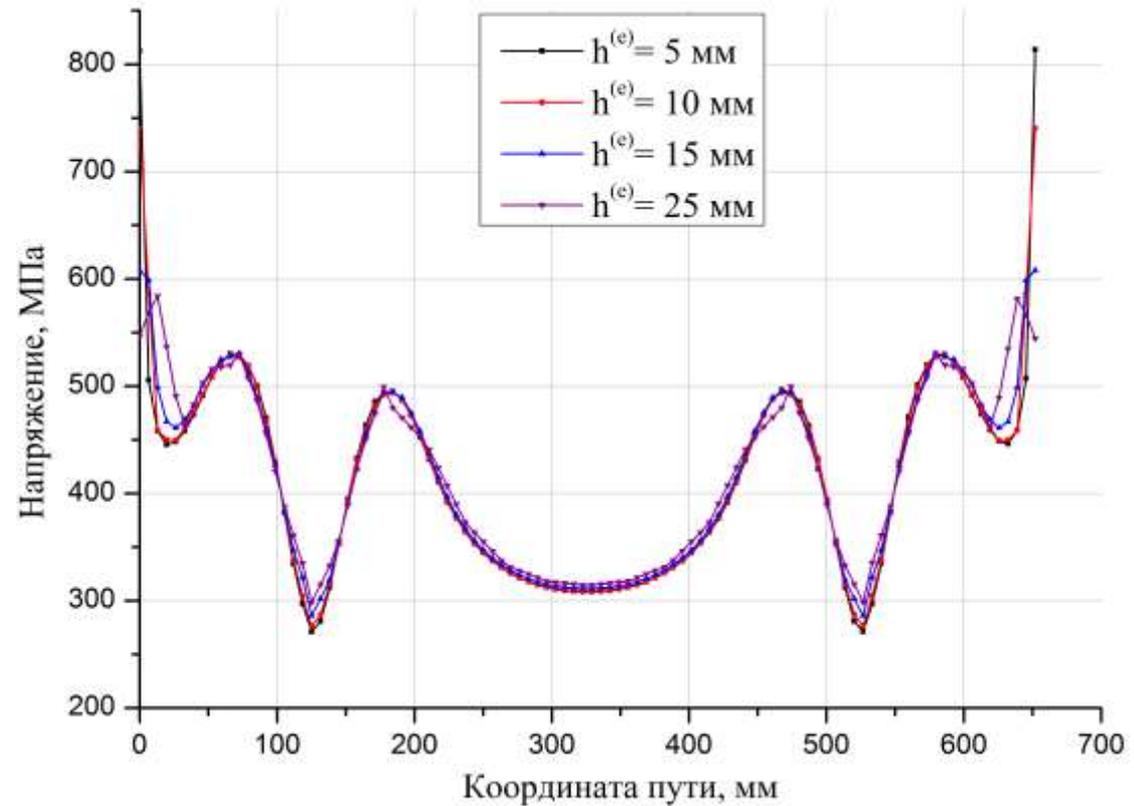
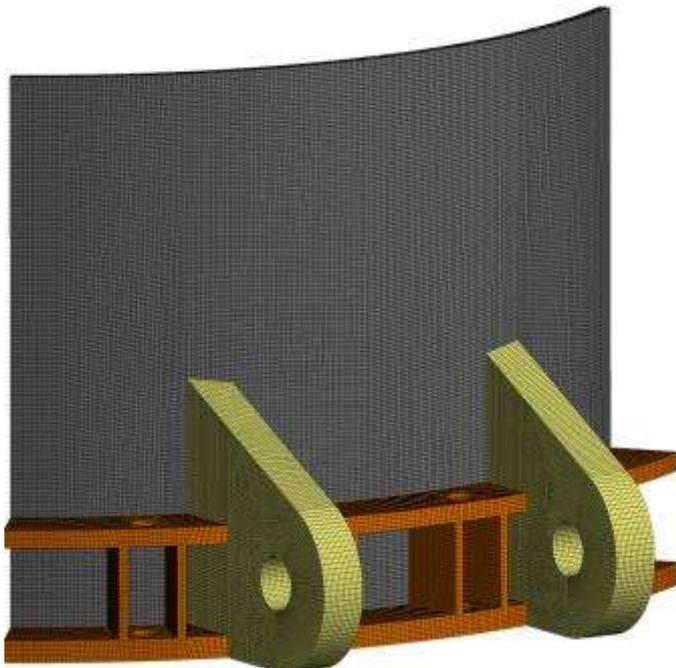
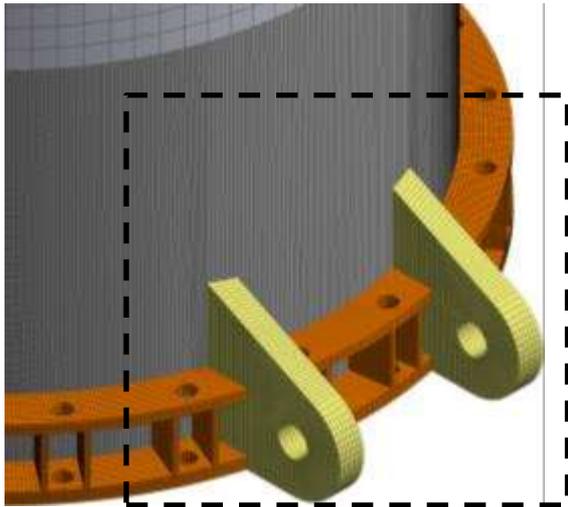
* ГОСТ Р 52857.1-2007 «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчёта на прочность»

** A. Keith Escoe Pressure vessel and stacks field repair manual

Распределение эквивалентных напряжений (МПа) и запаса прочности в модели при угле $\theta = 0^\circ$

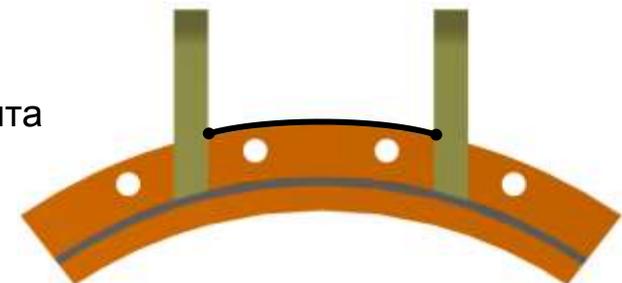


Уточнение решения методом субмоделирования



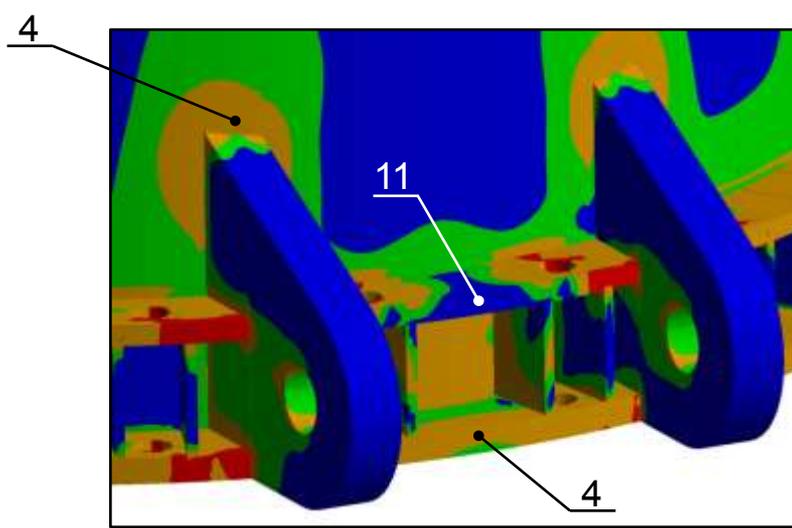
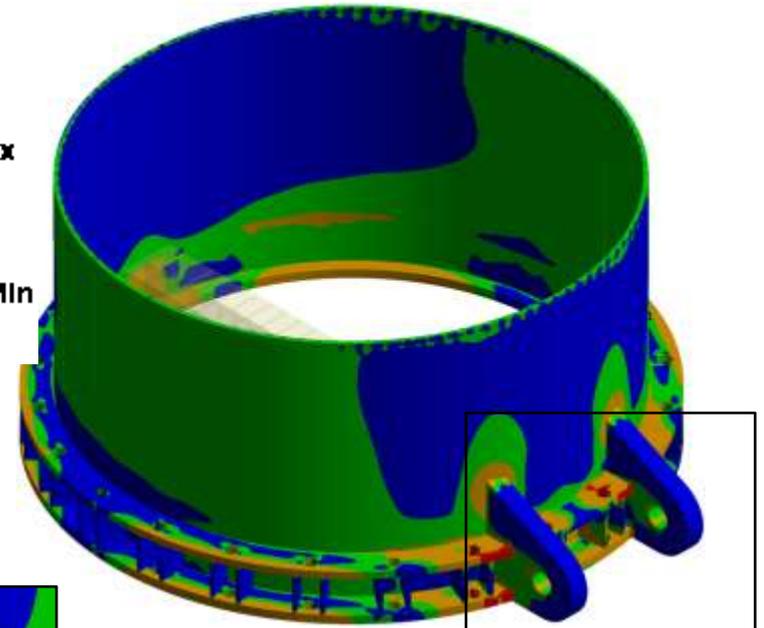
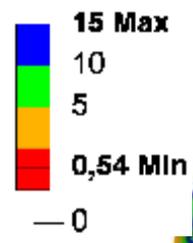
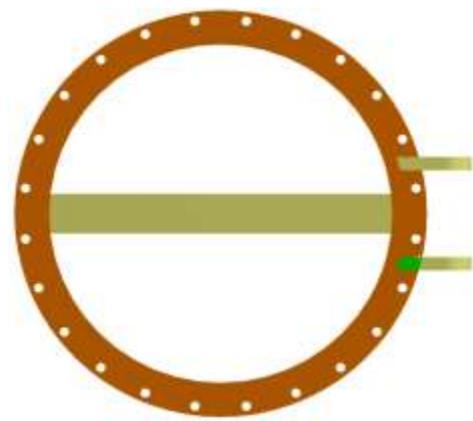
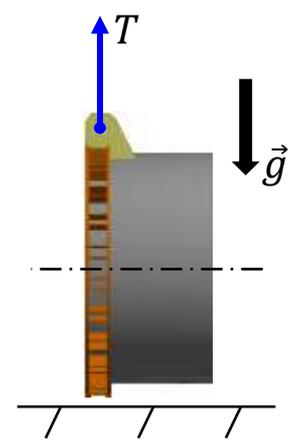
Субмодель:
Тип элемента SOLID185
Характерный размер элемента
 $h^{(e)} = 5\text{ мм}$

NN – 372 944
NE – 312 196
NDF – 1 118 832



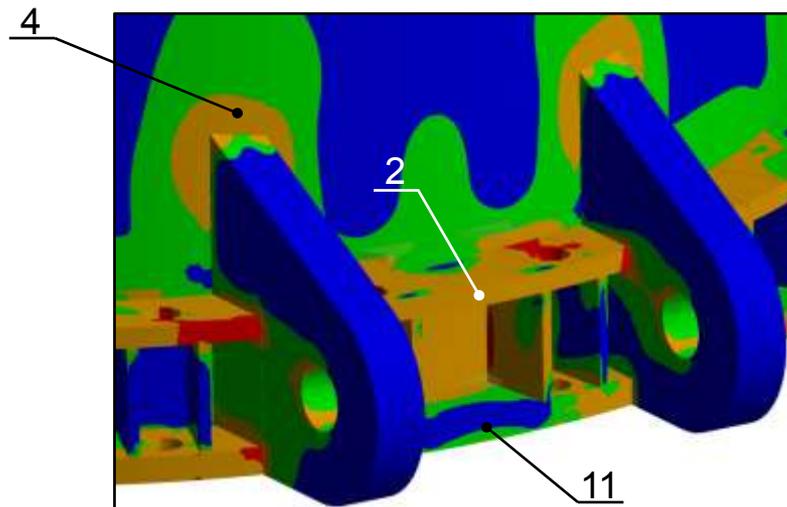
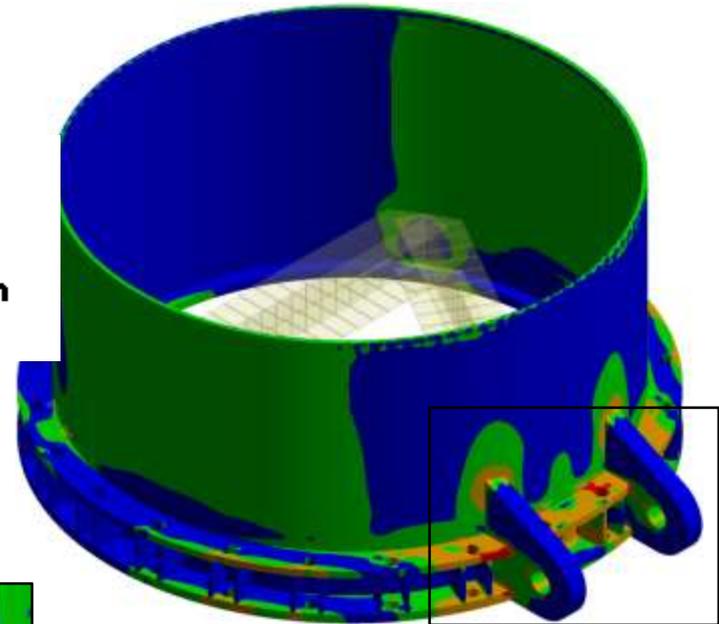
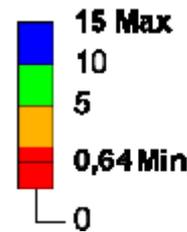
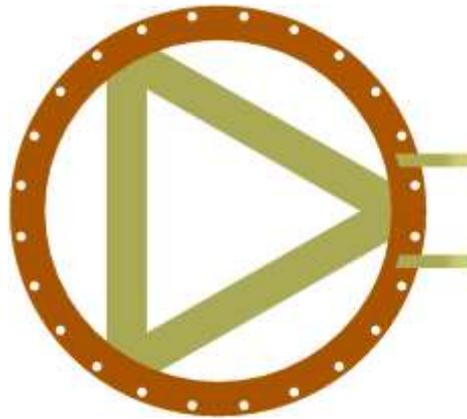
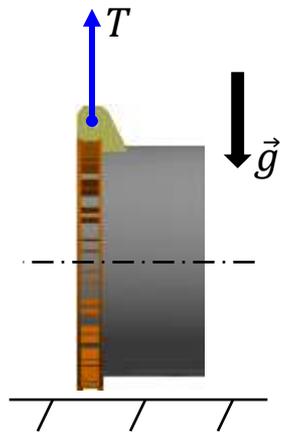
Типовые варианты укреплений опорного узла и распределение запаса прочности при угле $\theta = 0^\circ$

- 1 поперечная балка (BEAM188)



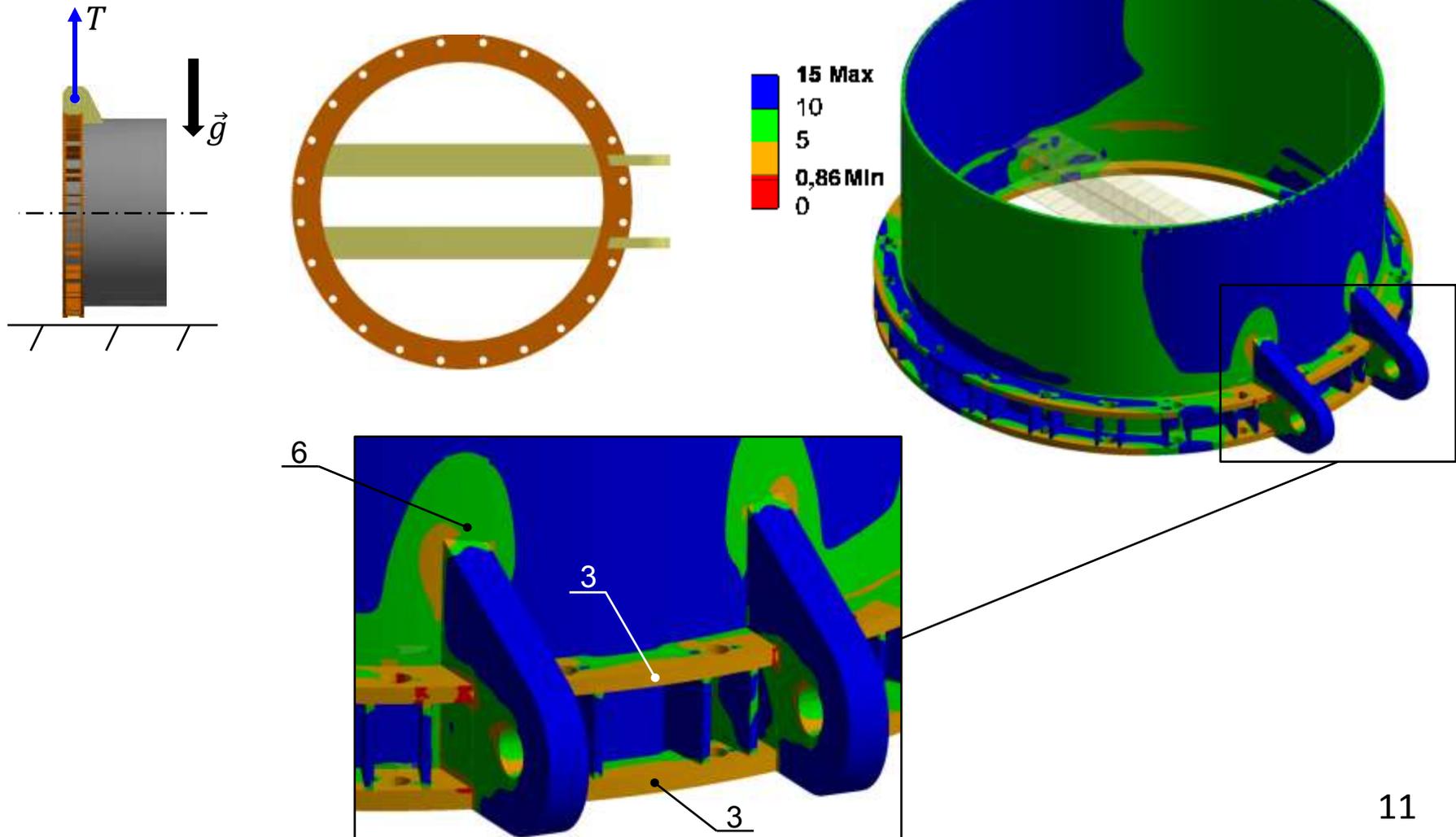
Типовые варианты укреплений опорного узла и распределение запаса прочности $\theta = 0^\circ$

- 3 поперечные балки, образующие равносторонний треугольник (BEAM188)

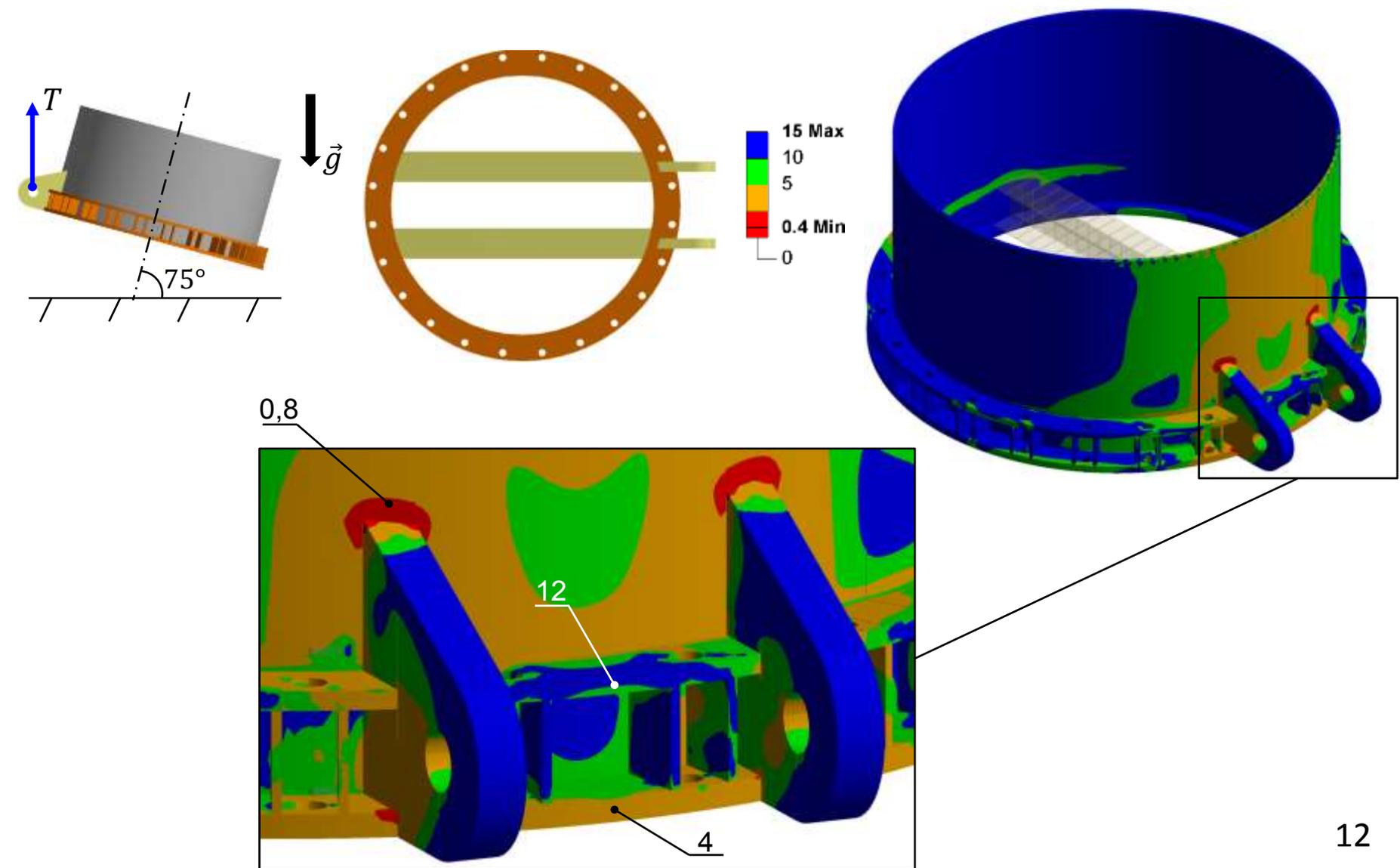


Типовые варианты укреплений опорного узла и распределение запаса прочности $\theta = 0^\circ$

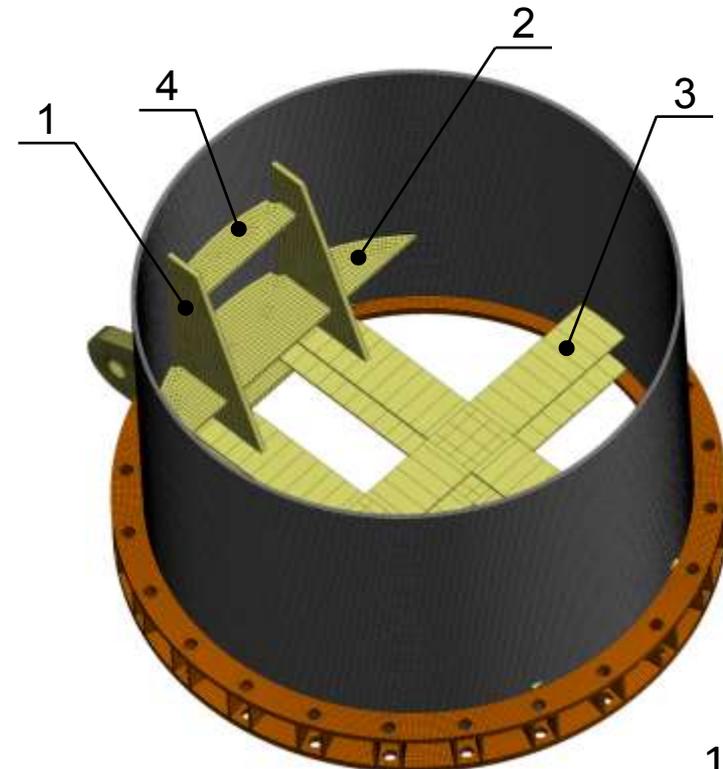
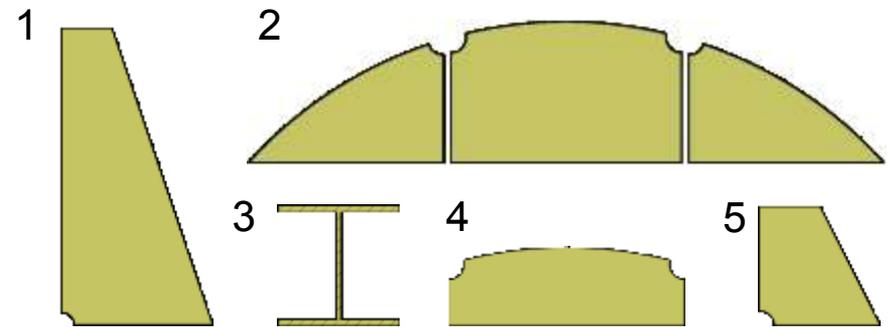
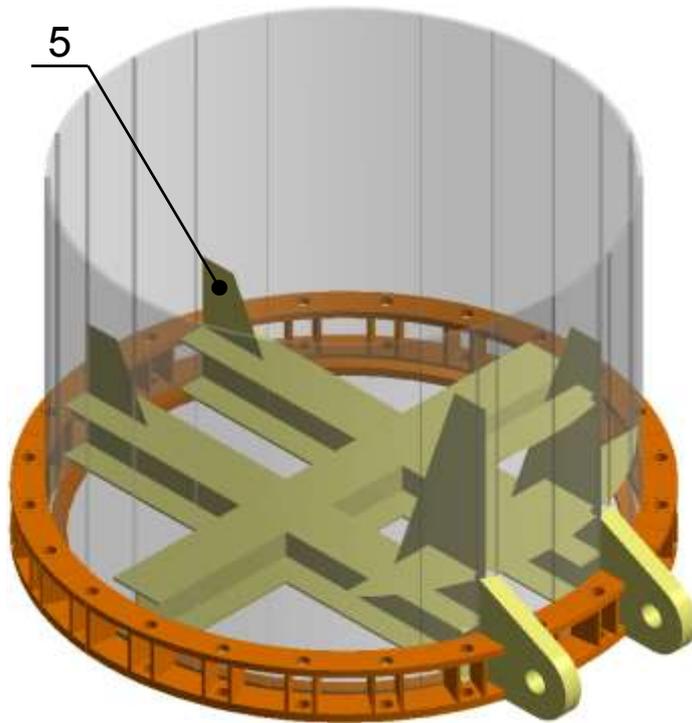
- 2 поперечные балки (BEAM188)



Оценка прочности опорного узла при угле $\theta = 75^\circ$



Нестандартный дизайн укрепления опорного узла

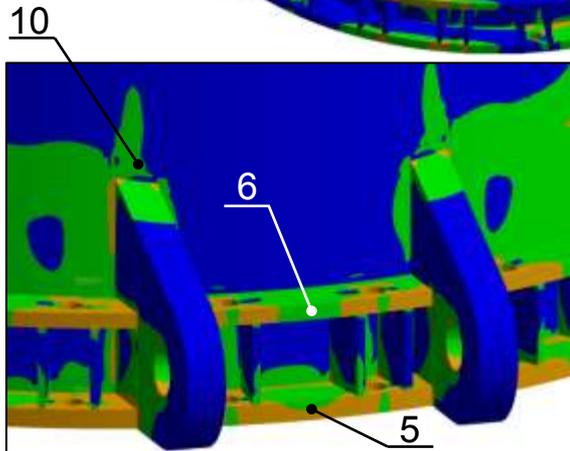
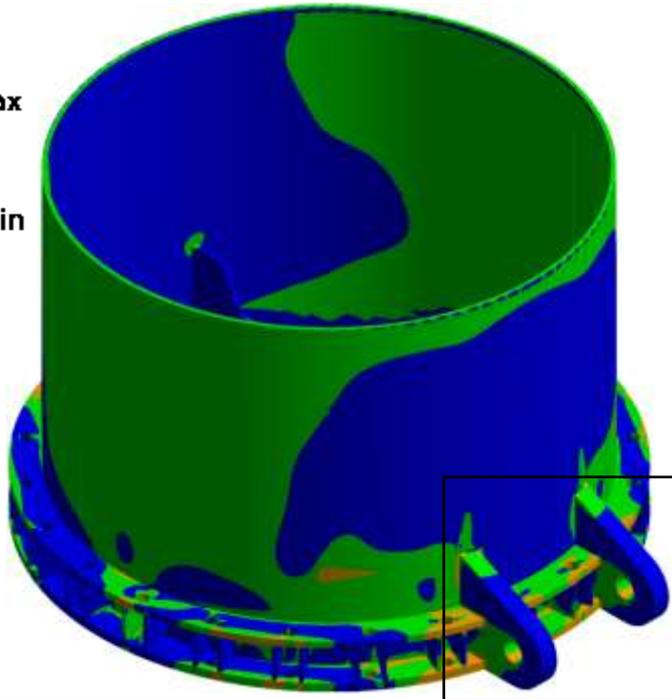
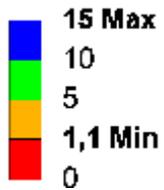


При моделировании геометрии укрепления использовались элементы SHELL181 и BEAM188.

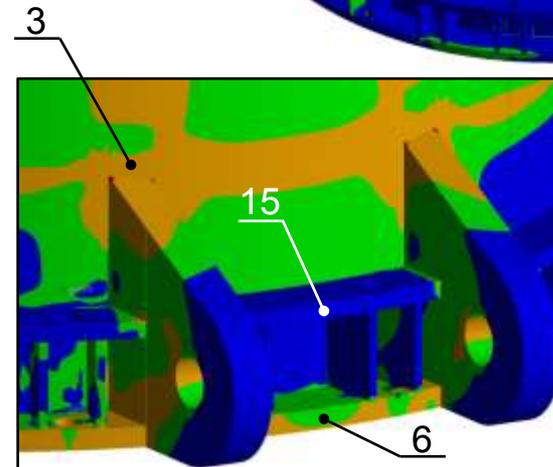
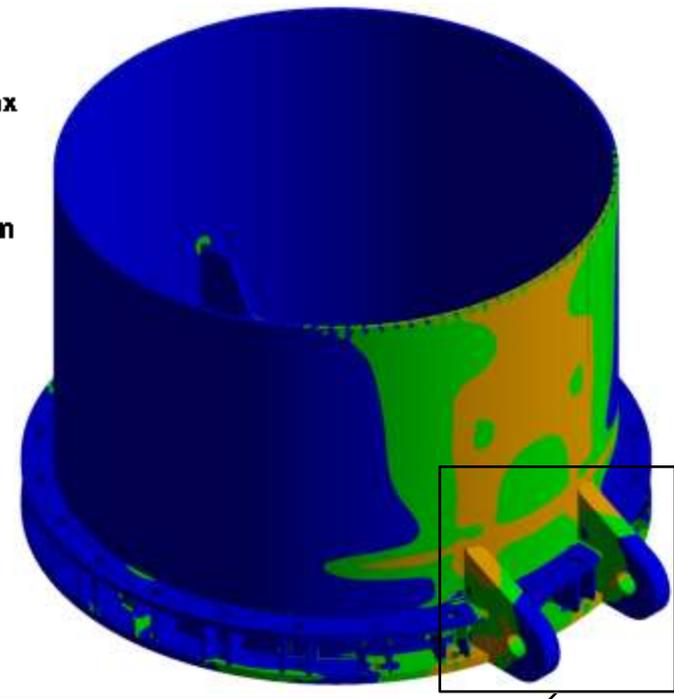
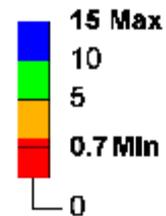
SHELL181:	BEAM188:
NN – 8 432	NN – 169
NE – 7 984	NE – 84
NDF – 50 592	NDF – 1 014

Распределение запаса прочности в модели с укрепленным опорным узлом

$\theta = 0^\circ$



$\theta = 75^\circ$





Анализ полученных результатов

- предложена аналитическая модель, описывающая процесс поднятия колонного аппарата;
- по результатам сравнения сил реакции в проушинах, полученных аналитически и численно, сделаны выводы о корректности КЭ модели;
- выявлены наиболее опасные углы поднятия с точки зрения минимального запаса прочности;
- продемонстрирована недостаточность типовых вариантов укреплений;
- рассмотрен нестандартный дизайн укрепления опорного узла.