



Конечно-элементное моделирование и расчеты на прочность опорных узлов колонных аппаратов

Н. Е. Плешаков, выпуск 2013 года

Научные руководители:

к.ф.-м.н., зам. зав. каф. ТМ В.А. Кузькин, вед. инж. ЗАО «НЕФТЕХИМПРОЕКТ» Е.Е. Гилёв

Опорный узел — элемент колонны, представляющий собой металлический цилиндр, либо конус с приваренными внизу опорными кольцами и ребрами жесткости, посредством которого осуществляется крепление колонны к бетонному основанию.

Необходимость проверки расчета по методике ГОСТ вызвана ростом весов и габаритов современных нефтеперерабатывающих аппаратов. А также отсутствием возможности выбора стандартного опорного узла для подобных колонн.



Проверка прочности производится для двух критических режимов:

- Режим монтажа. Колонна не заполнена рабочей жидкостью, не оборудована внутренними устройствами, огнезащитой, теплоизоляцией.
- Режим гидроиспытания. Колонна заполнена водой до максимальной отметки.

Постановка задачи.

Нагрузка (различные режимы):

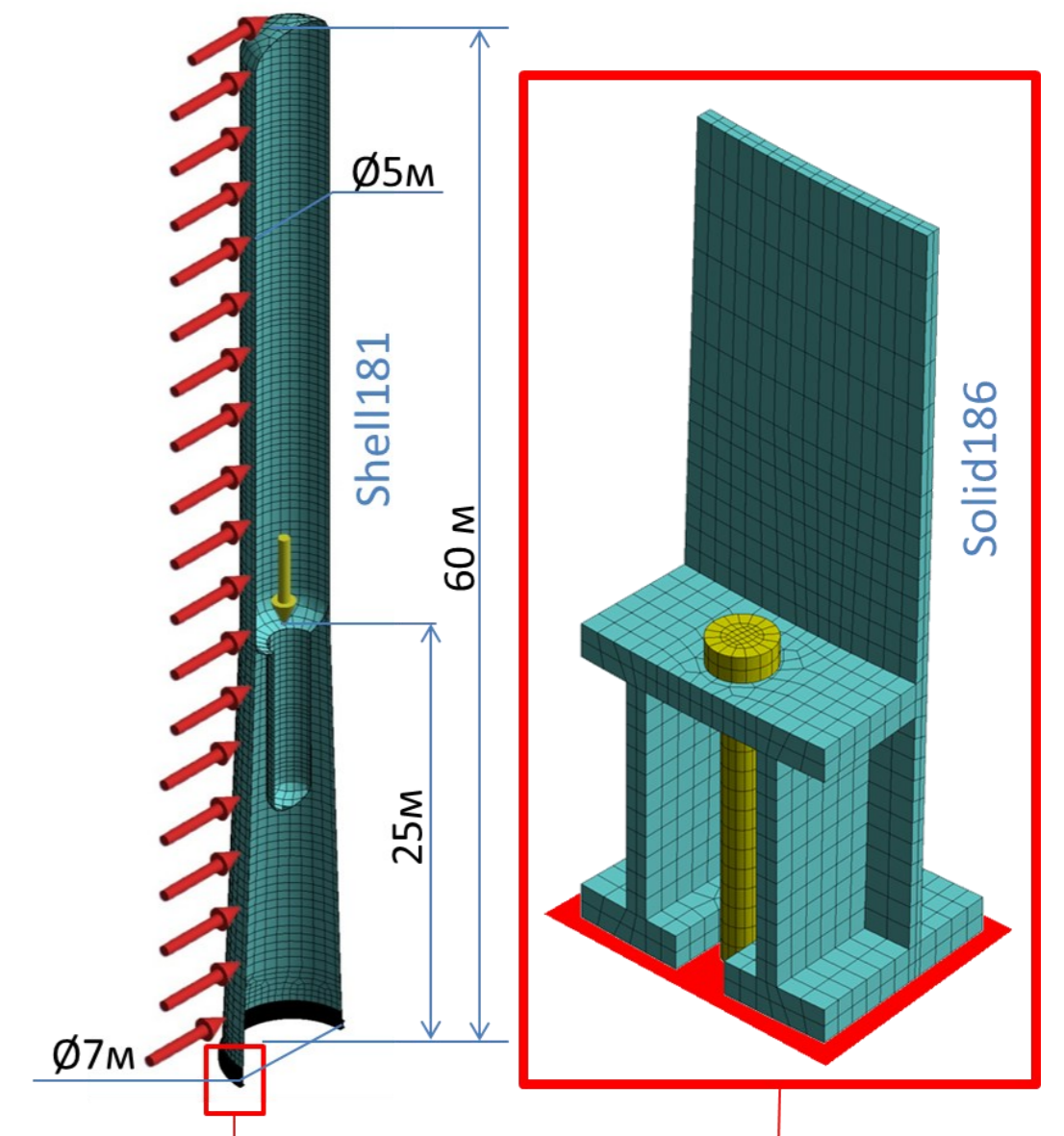
	Монтаж	Гидроиспытание
Вес	325 т	1016 т
Ветер*	100%	60%

Граничные условия:

- Жесткая заделка основания
- Жесткая заделка нижнего сечения болтов

Характеристики КЭ модели:

- Степеней свободы—1 908 009
- Узлов—636 003
- Элементов—118 554
- Объемов—992



* - нагрузка прикладывается в соответствии с ГОСТ Р 51273-99

Аналитическая оценка напряжений в болтах.

Уравнение равновесия
Закон Гука
Геометрическое соотношение

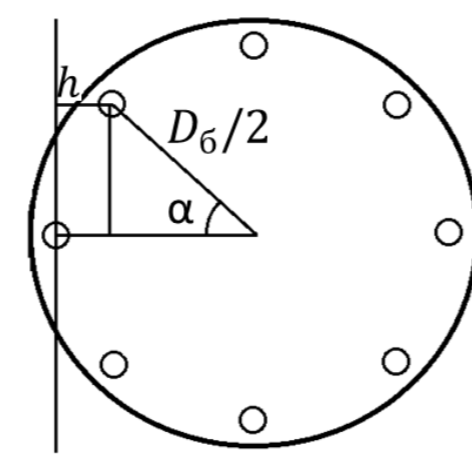
$$M - 0,5FD_6 = \sum_i F_i h_i$$

$$\sigma_i = E\varepsilon_i$$

$$\varepsilon_i = h_i \theta$$

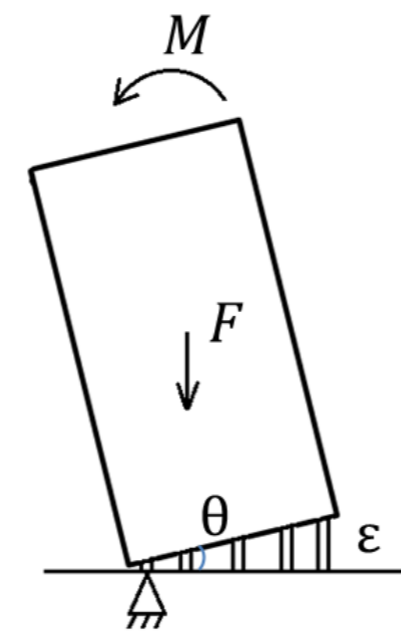
$$\sigma_i = \frac{F_i}{S} = \frac{4F_i}{\pi d_6^2}$$

$$h_i = \frac{D_6}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi i}{n}\right)$$



$$M - 0,5FD_6 = \sum_i \sigma_i S h_i = \sum_i E S \varepsilon_i h_i = \sum_i E S h_i^2 \theta$$

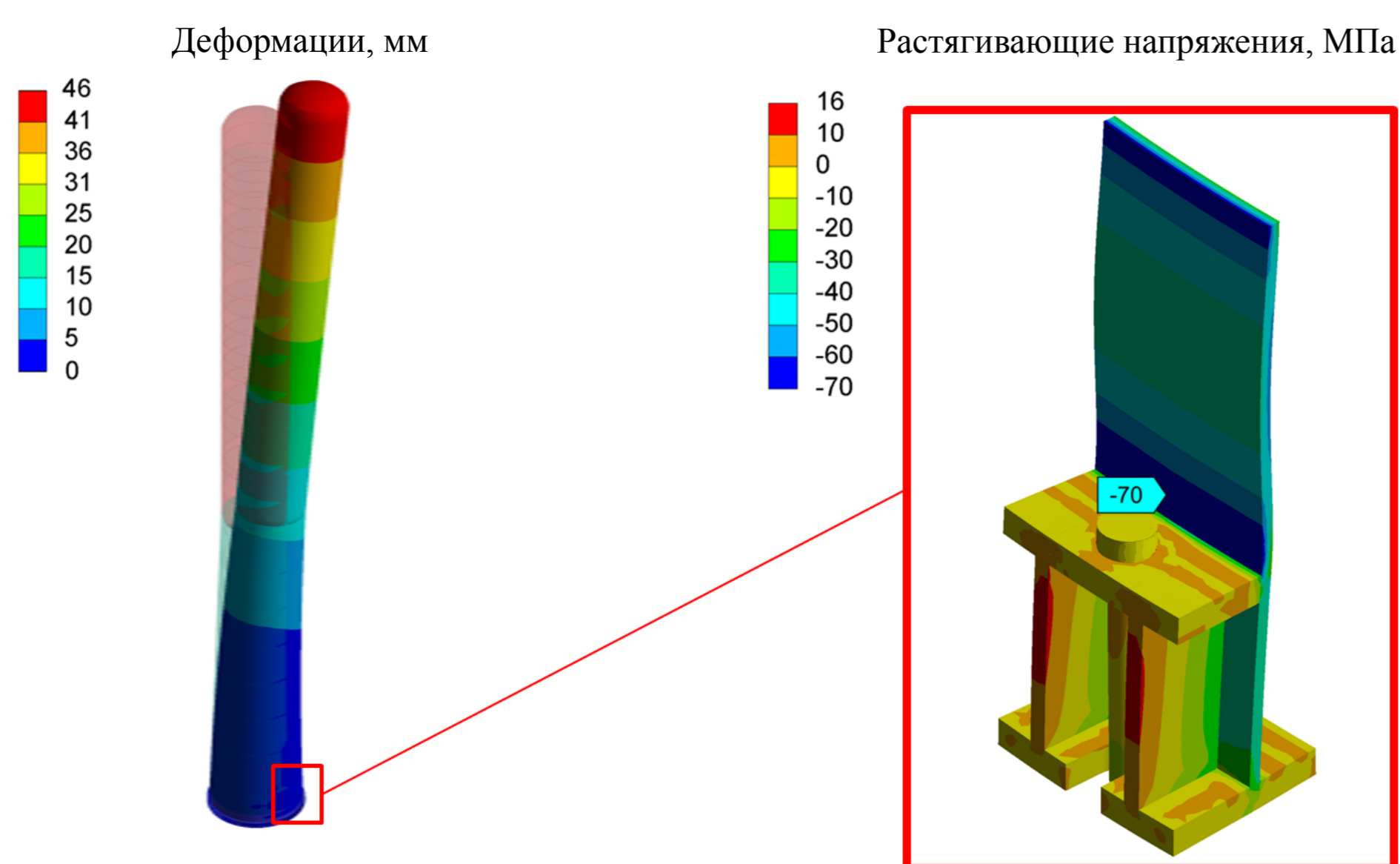
$$\theta = \frac{M - 0,5FD_6}{E S \sum_i h_i^2}$$



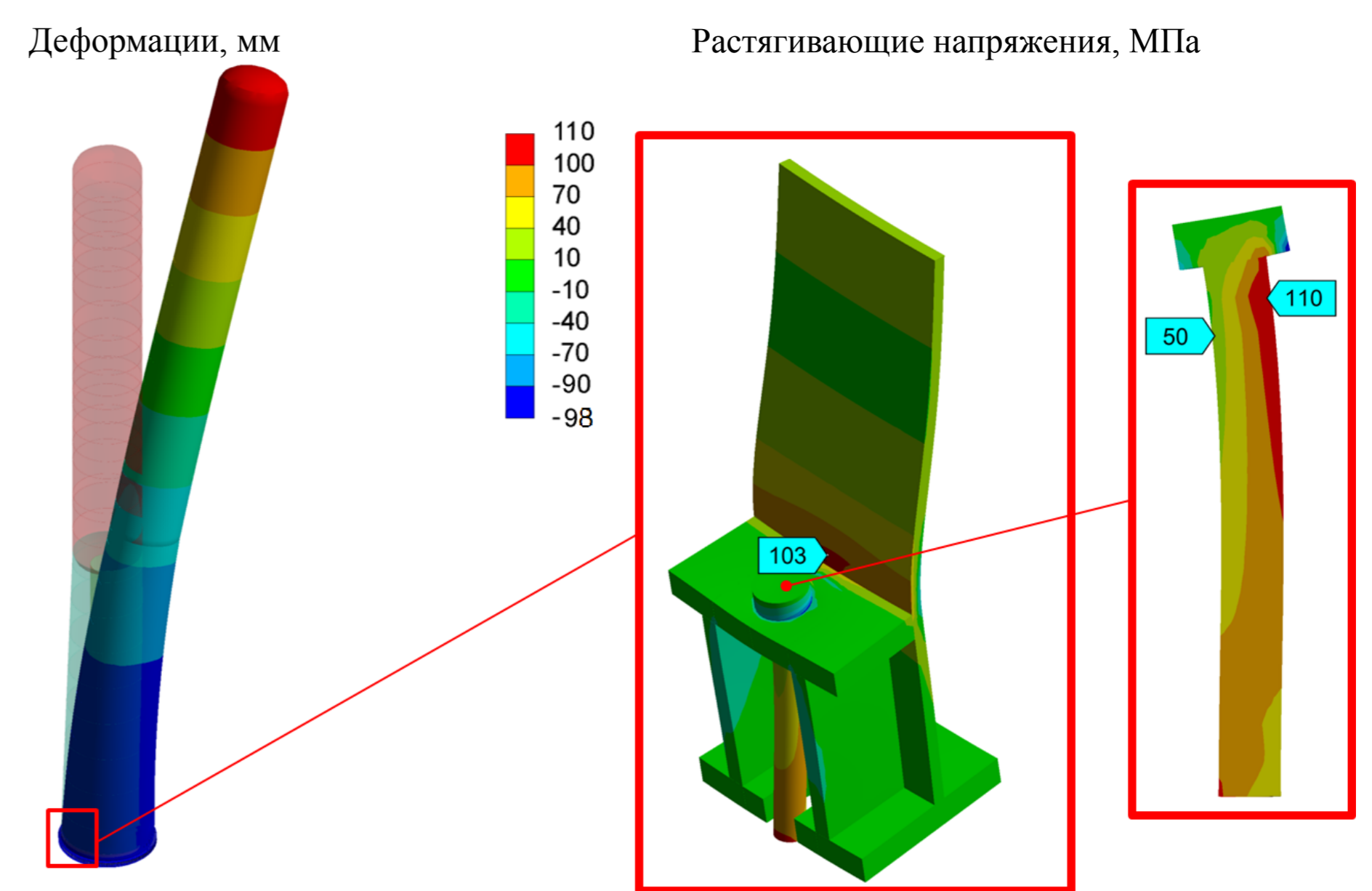
$$\sigma_{max} = E \theta h_{max} = \frac{4(M - 0,5FD_6)}{D_6 d_6^2 \pi \sum_i \sin^4 \frac{\pi i}{n}} = 57 \text{ МПа}$$

F_i — сила действующая на i-ый болт; d_6 — эффективный диаметр болта;
 S — площадь поперечного сечения болта; θ — параметр [м⁻¹]

Полученные результаты. Режим монтажа.



Полученные результаты. Режим монтажа.



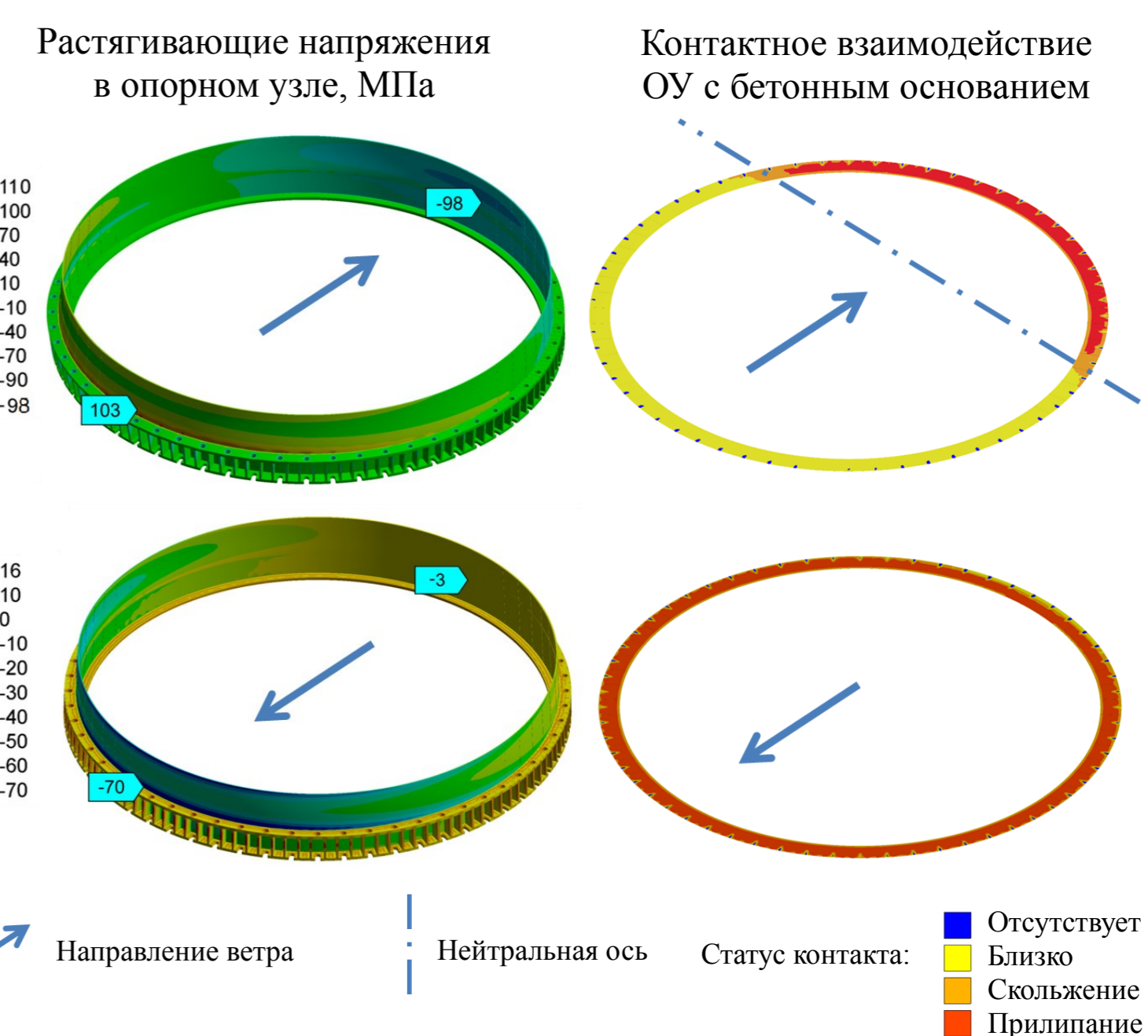
Полученные результаты

Режим монтажа

Сочетание относительно малого веса с большой поперечной нагрузкой вызывает зоны растягивающих и сжимающих напряжений. Усилия в зоне растяжения передаются на анкерные болты.

Режим гидроиспытания

Максимальные напряжения выявлены в зоне сжатия. Наиболее нагруженной является юбка опоры.



Сверка результатов КЭ моделирования с расчётами по ГОСТ

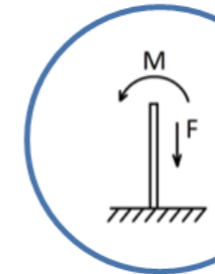
	Монтаж		$\delta, \%$	Испытание		$\delta, \%$
	ГОСТ	КЭ		ГОСТ	КЭ	
Напряжение в болтах, МПа	111	77	1	-	-	-
		min 50				
Напряжение в верхнем кольце Max, МПа	176	103	41	176	70	60
Перемещения Max, мм	76	79	3,8	47	46	2
Осевое сжимающее усилие, МН	3,18	3,1	2,5	9,82	9,89	0,01
Момент на изгиб основания, МН·м	26,6	25	6	16,1	15,1	5,6
Период колебаний колонны, с	0,94	0,79	15	1,8	1,6	11



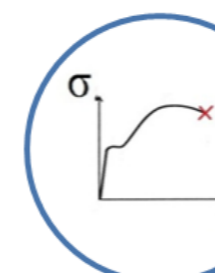
Создана **КЭ модель** колонны для расчета нестандартных **опорных узлов**. Произведен расчет НДС нестандартного опорного узла колонны.



Произведено **сравнение** НДС КЭ модели с расчетом напряжений по методике ГОСТ. Выявлено значительное **несоответствие** напряжений в зоне верхнего опорного кольца, значения по методике ГОСТ **завышены на 41 и 60 %** для режима монтажа и гидроиспытания соответственно.



Получена **аналитическая модель** для расчета напряжений в болтах. Определен минимальный диаметр болтов согласно полученной модели, **различие** с методикой ГОСТ составило **20%**.



Дана **оценка** наиболее **опасных участков** в опорном узле колонны. Наименьший коэффициент запаса обнаружен в анкерных болтах.