



# Конечно-элементное моделирование и исследование напряженно-деформированного состояния модели макета днища реакторной установки БРЕСТ-ОД-300

Направление: 151600 - Прикладная механика

Выполнил

студент гр.43602/2 Омельчук И.В.

Руководитель

ассистент каф. Модестов В.С.

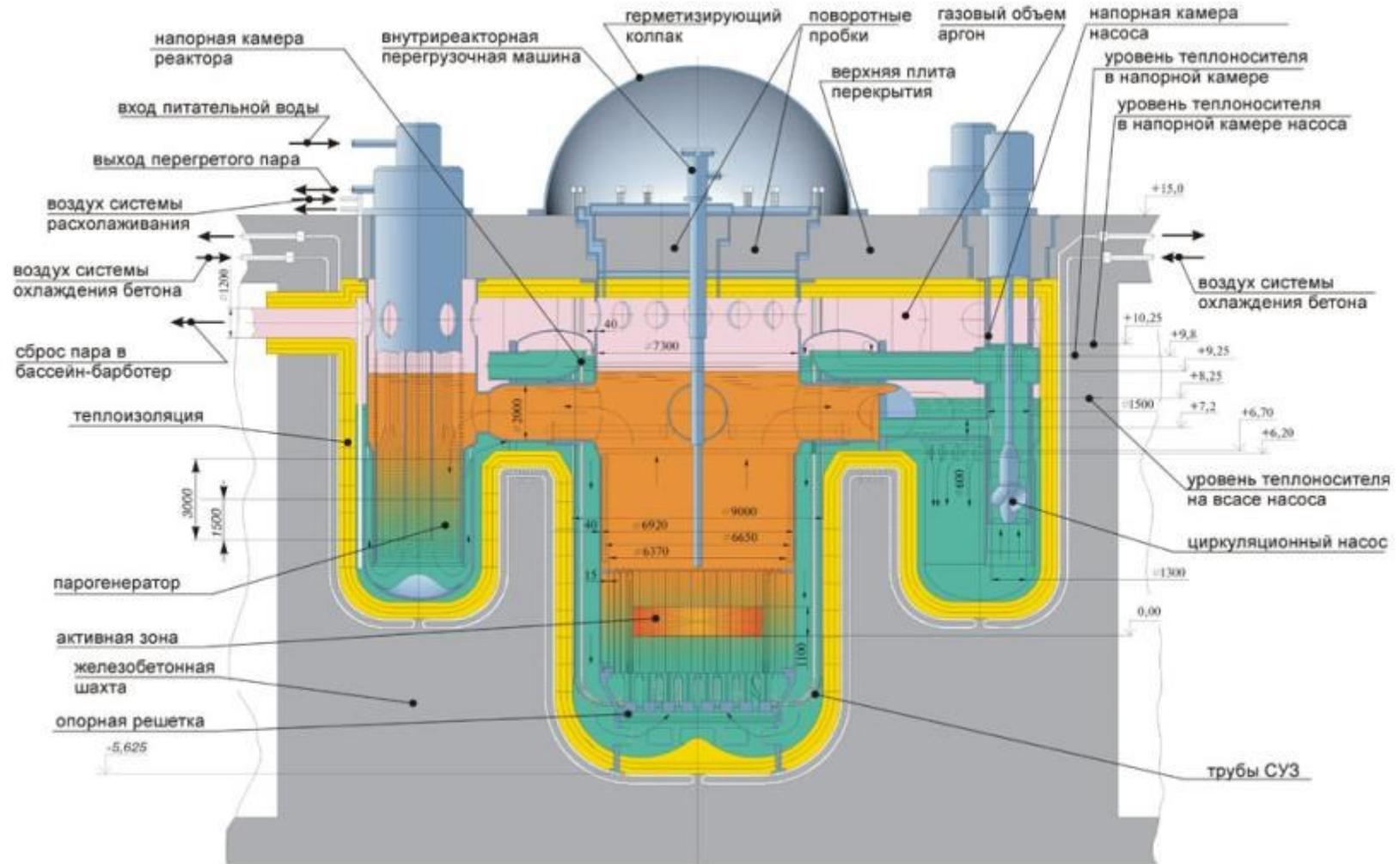


# Содержание работы

- Описание испытаний макета днища корпуса БР СМ-Э355
- Модельные задачи
- Описание объекта исследования
- Исследование напряженно-деформированного состояния макета днища реакторной установки
- Выводы по проделанной работе



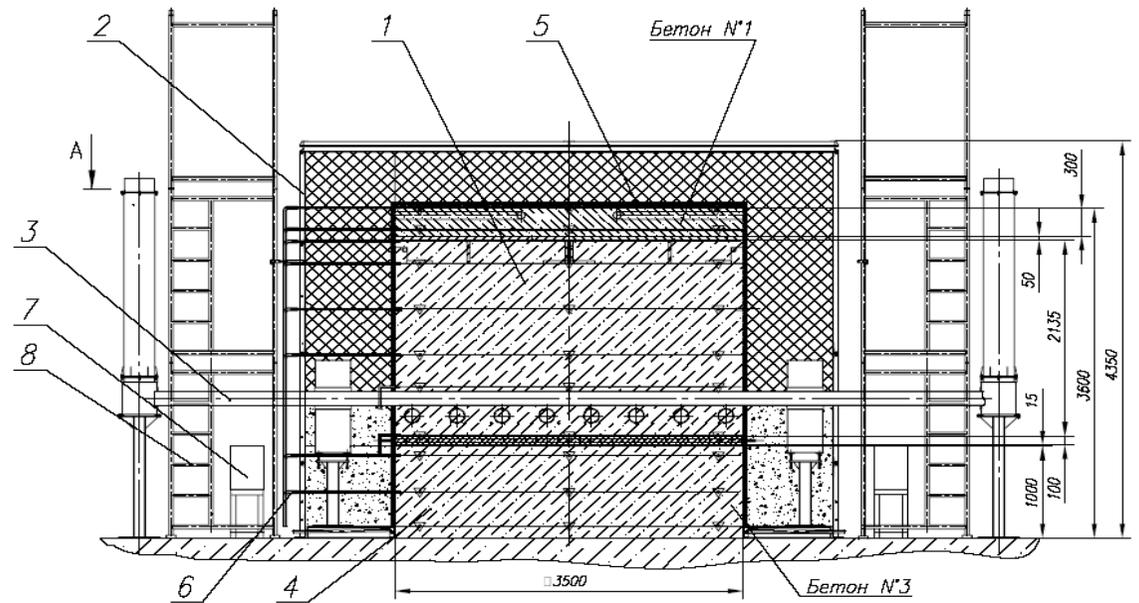
# Быстрый реактор со свинцовым теплоносителем





# Описание испытаний макета днища корпуса БР СМ-Э355

## Конструкция макета



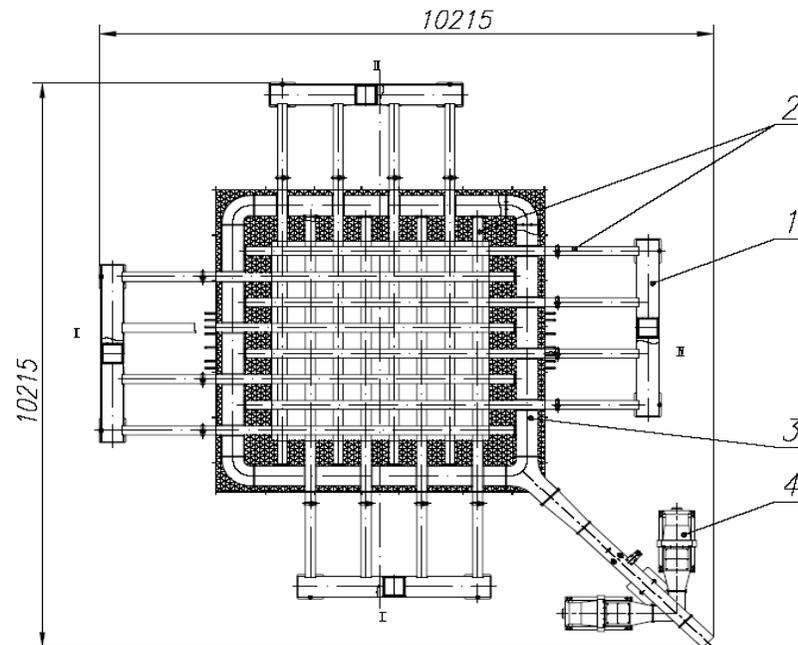
- 1 – фрагмент центральной части днища корпуса БР РУ; 2 – ограждающая конструкция со съёмным верхним перекрытием и теплоизоляцией;  
3 – система охлаждения; 4 – фундамент; 5 – система разогрева; 6 – система парогазоотведения; 7 – система измерения;  
8 – средства обслуживания

Макет днища корпуса БР РУ (СМ-Э355.С600)



# Описание испытаний макета днища корпуса БР СМ-Э355

## Система охлаждения



1 – воздухоотвод; 2 – труба; 3 – кольцевой коллектор; 4 – электрокалориферная установка;

Схема системы охлаждения

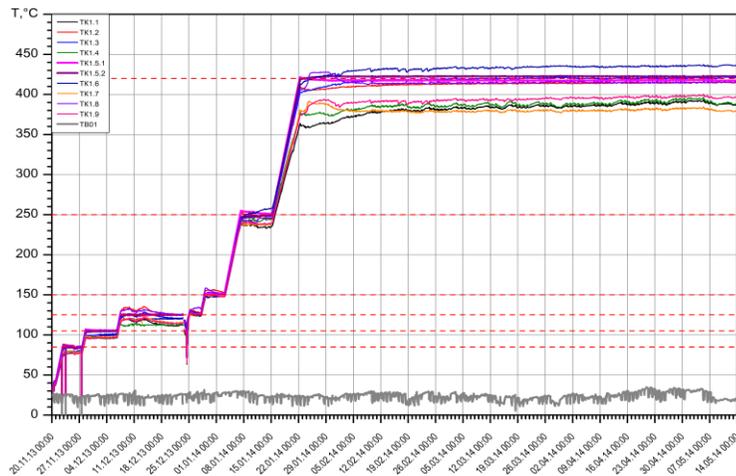


Трубы системы охлаждения с кольцевым коллектором



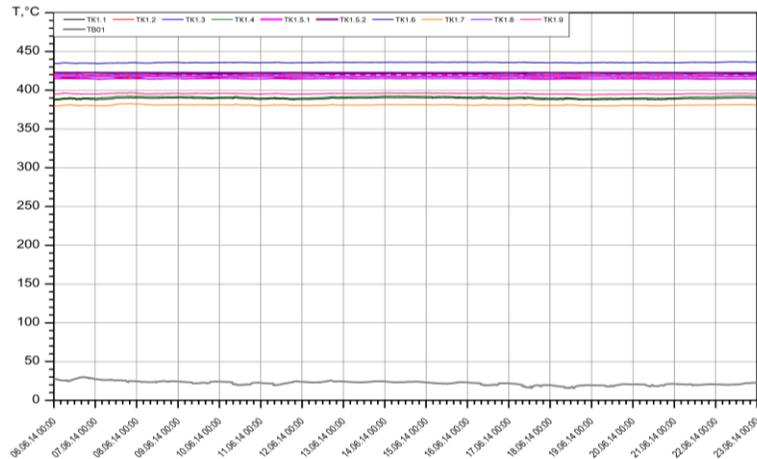
# Описание испытаний макета днища корпуса БР СМ-Э355

## Проведение испытаний

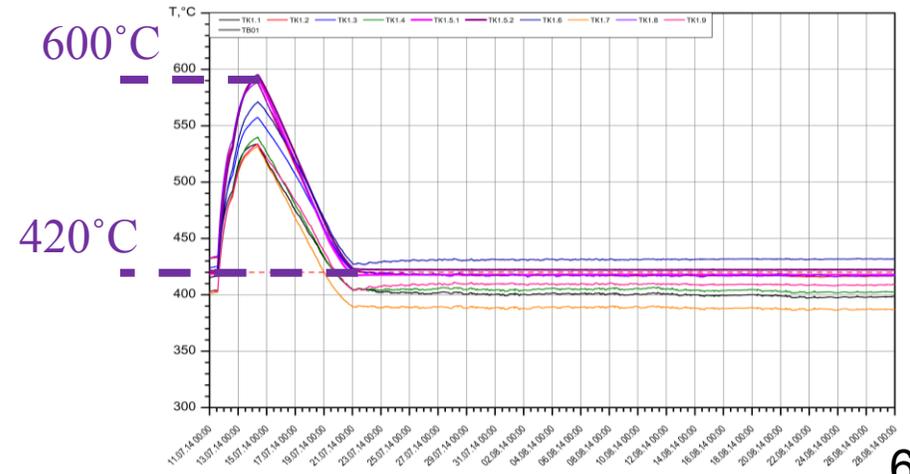


$420^\circ\text{C}$

Графики изменения температур первого измерительного уровня на различных этапах эксперимента



$420^\circ\text{C}$



$600^\circ\text{C}$

$420^\circ\text{C}$

# Описание испытаний макета днища корпуса БР СМ-Э355

## Деформация в бетонном массиве



Вид на фрагмент днища со стороны III

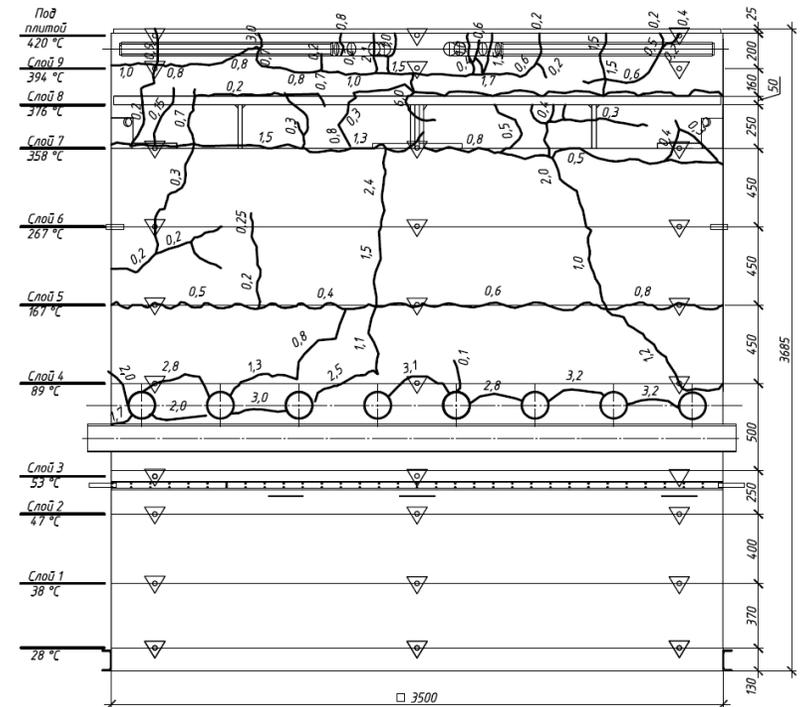


Схема расположения трещин в бетонном массиве фрагмента днища со стороны III



# Concrete Damaged Plasticity

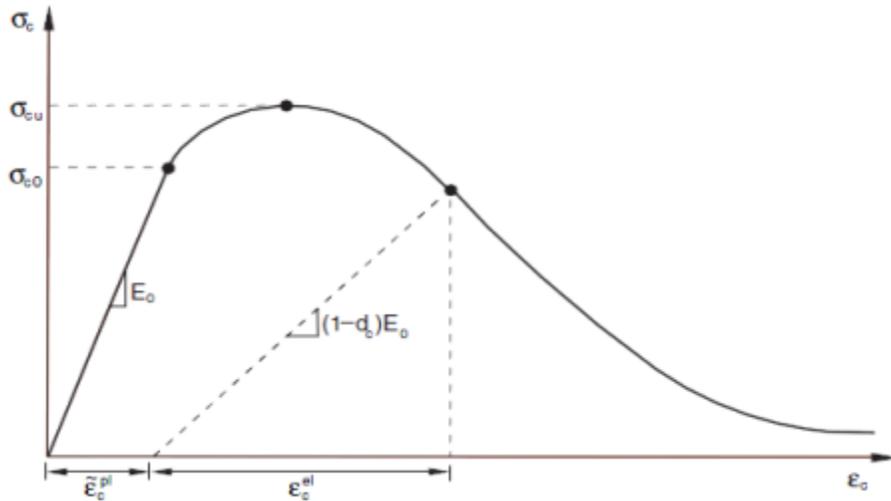


Диаграмма деформирования бетона при одноосном сжатии

$$\sigma_t = \sigma_t(\tilde{\varepsilon}_t^{pl}, \dot{\tilde{\varepsilon}}_t^{pl}, \theta, f_i);$$

$$\sigma_c = \sigma_c(\tilde{\varepsilon}_c^{pl}, \dot{\tilde{\varepsilon}}_c^{pl}, \theta, f_i),$$

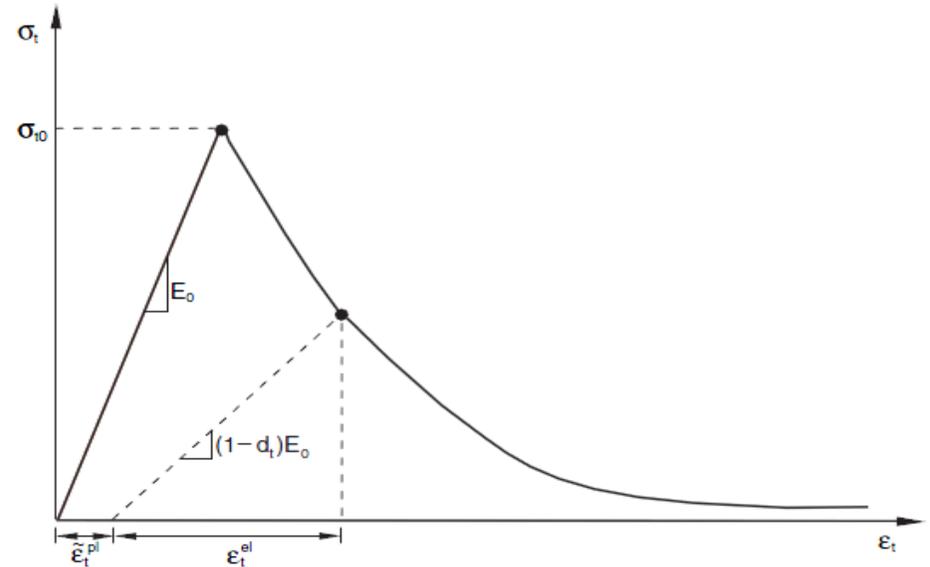


Диаграмма деформирования бетона при одноосном растяжении

$$d_t = d_t(\tilde{\varepsilon}_t^{pl}, \theta, f_i); 0 \leq d_t \leq 1,$$

$$d_c = d_c(\tilde{\varepsilon}_c^{pl}, \theta, f_i); 0 \leq d_c \leq 1.$$

## Модельные задачи о распределении температуры и напряженно-деформированном состоянии бетонного массива с трубами

Дано:

$a, b, c, r, R;$

$T_1=76^\circ\text{C};$

$T_2=40^\circ\text{C};$

Уравнение теплопроводности:

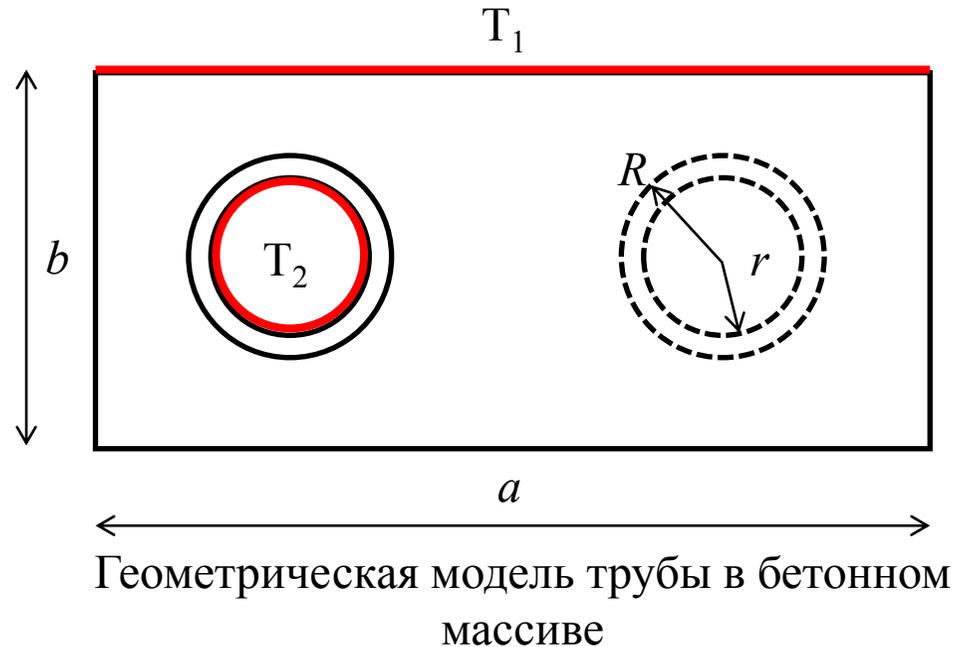
$$\Delta T - \frac{c\rho}{k} \frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{Q}{k}.$$

Тепловая деформация:

$$\begin{cases} \varepsilon'_x = \varepsilon'_y = \varepsilon'_z = \alpha T \\ \gamma'_{xy} = \gamma'_{yz} = \gamma'_{zx} = 0 \end{cases}$$

Тепловые напряжения:

$$\begin{cases} \sigma_x = 2G \left( \varepsilon_x + \frac{\nu}{1-2\nu} \vartheta - \frac{1+\nu}{1-2\nu} \alpha T \right), \tau_{xy} = G\gamma_{xy} \\ \sigma_y = 2G \left( \varepsilon_y + \frac{\nu}{1-2\nu} \vartheta - \frac{1+\nu}{1-2\nu} \alpha T \right), \tau_{yz} = G\gamma_{yz} \\ \sigma_z = 2G \left( \varepsilon_z + \frac{\nu}{1-2\nu} \vartheta - \frac{1+\nu}{1-2\nu} \alpha T \right), \tau_{zx} = G\gamma_{zx} \end{cases}$$

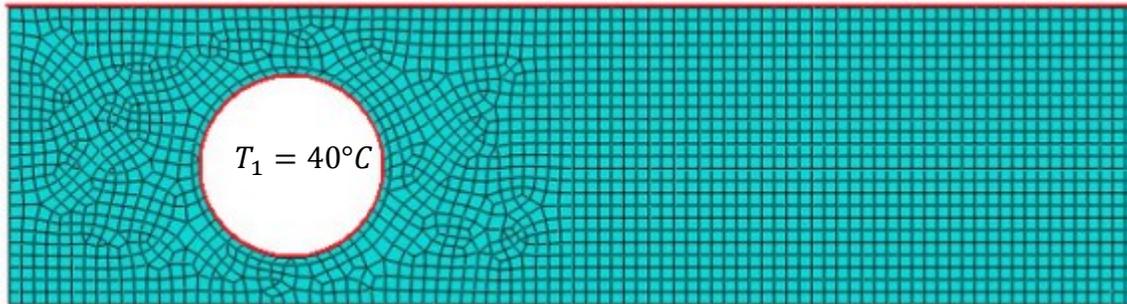




## Модельные задачи о распределении температуры и напряженно-деформированном состоянии бетонного массива с трубами

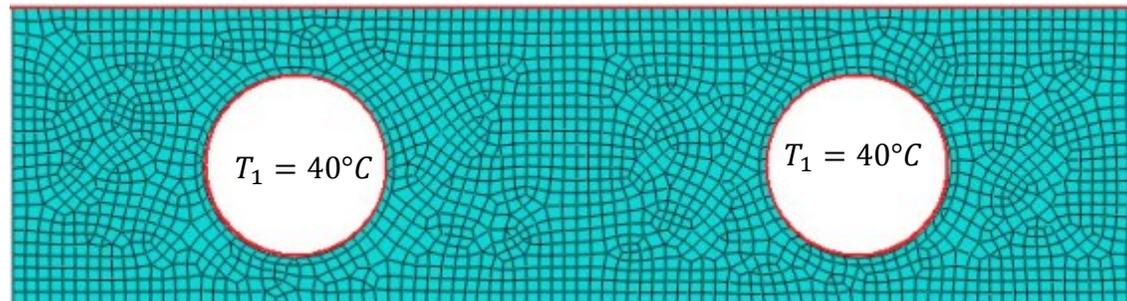
### Конечно-элементная модель

$$T_2 = 76^{\circ}\text{C}$$



Количество элементов – 2100;  
Количество узлов – 2224

$$T_2 = 76^{\circ}\text{C}$$

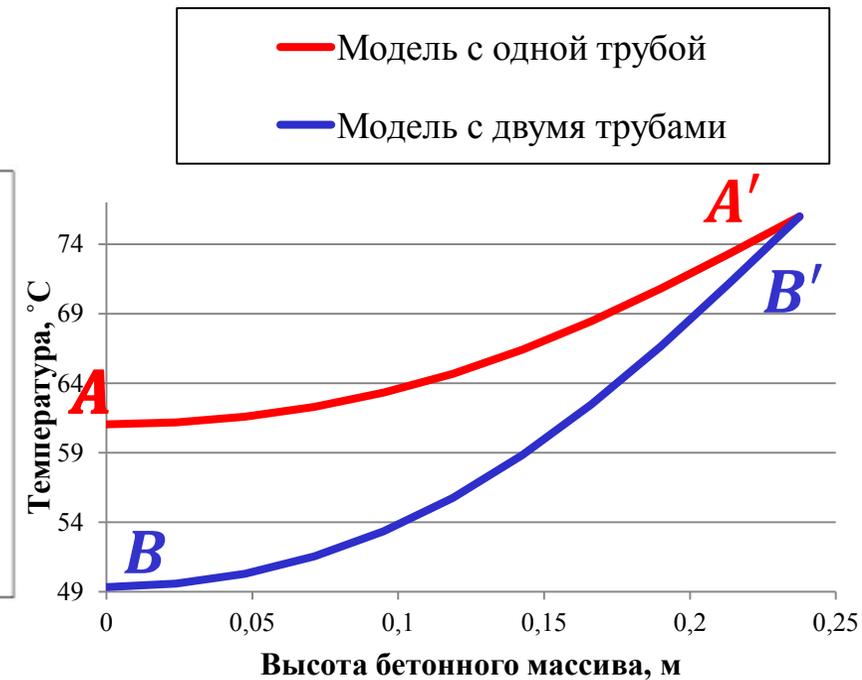
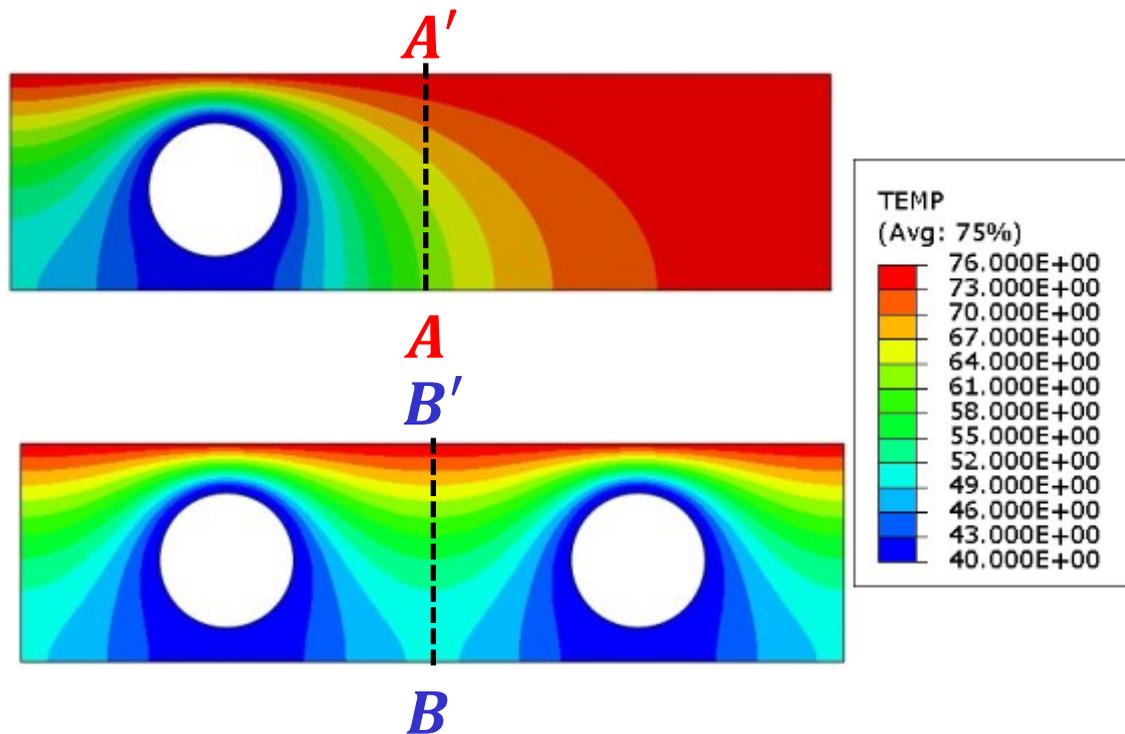


Количество элементов – 2055  
Количество узлов – 2188



## Модельные задачи о распределении температуры и напряженно-деформированном состоянии бетонного массива с трубами

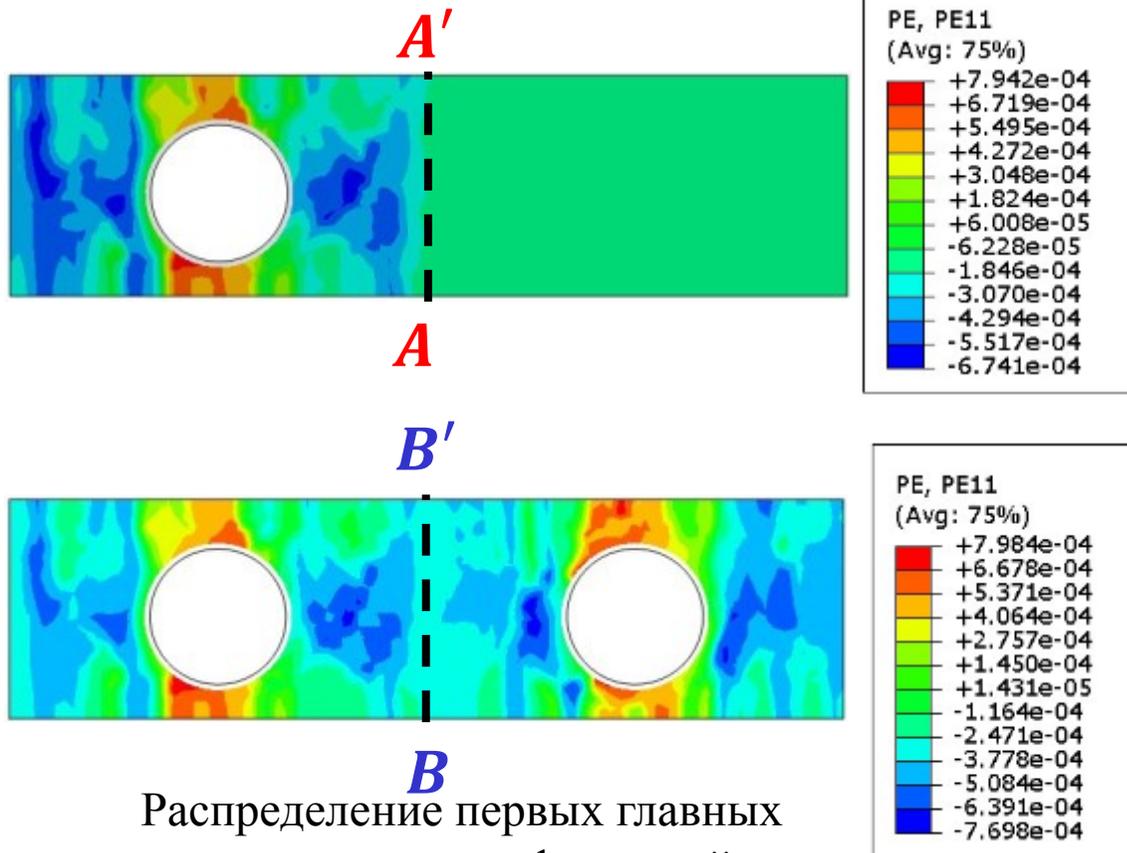
### Результаты задачи теплопроводности



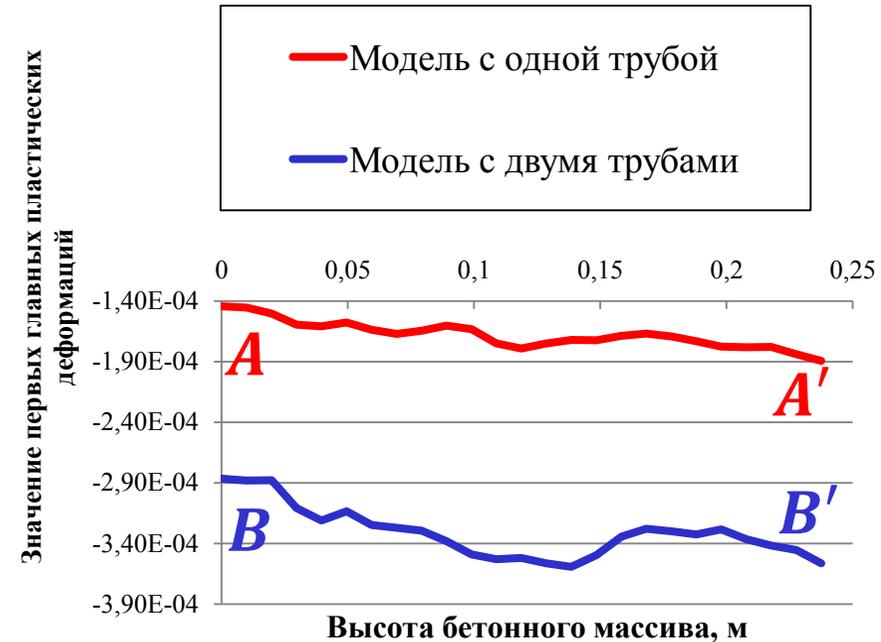
Распределение температуры

## Модельные задачи о распределении температуры и напряженно-деформированном состоянии бетонного массива с трубами

### Напряженно-деформированное состояние



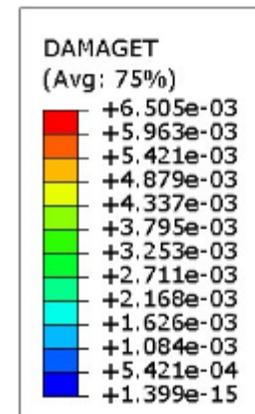
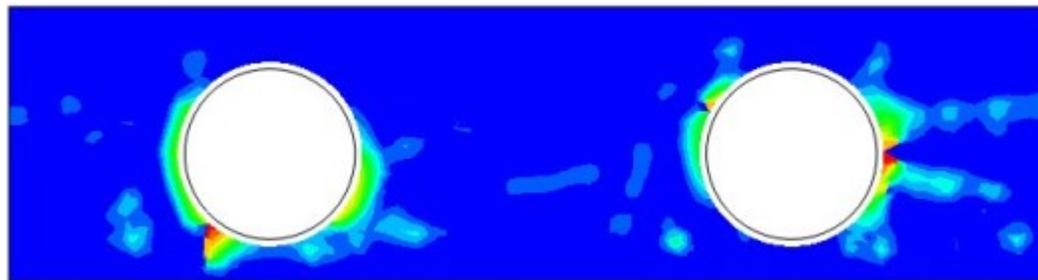
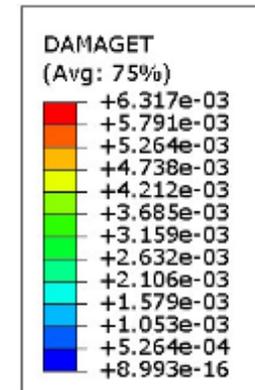
Распределение первых главных пластических деформаций





## Модельные задачи о распределении температуры и напряженно-деформированном состоянии бетонного массива с трубами

### Напряженно-деформированное состояние



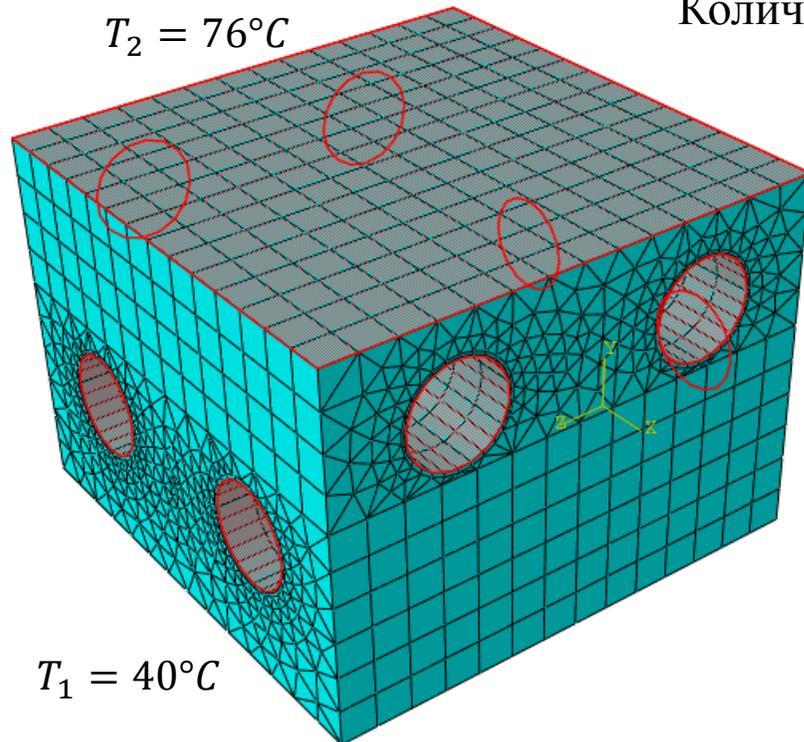
Распределение параметра  
повреждаемости



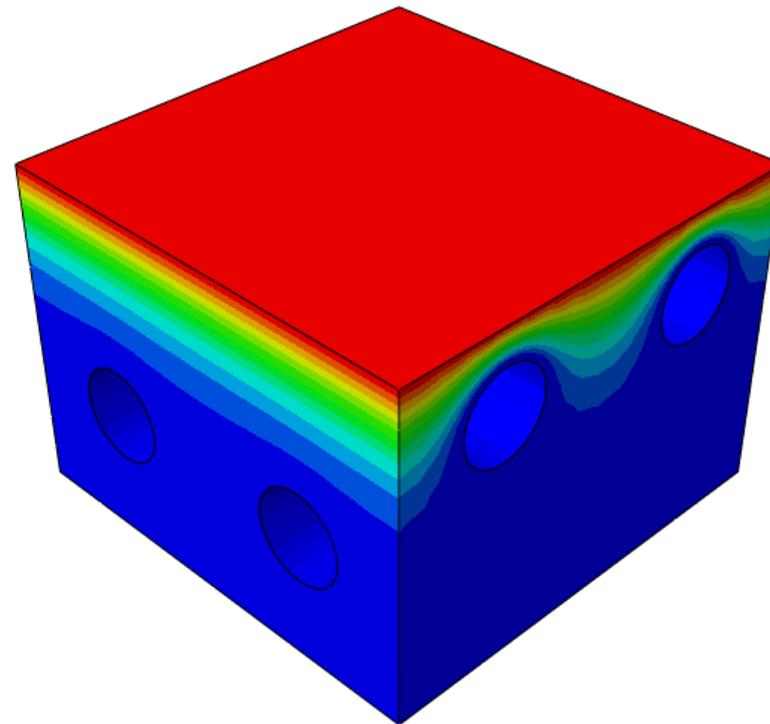
## Модельные задачи о распределении температуры и напряженно-деформированном состоянии бетонного массива с трубами

Количество узлов 12572

Количество элементов 7740



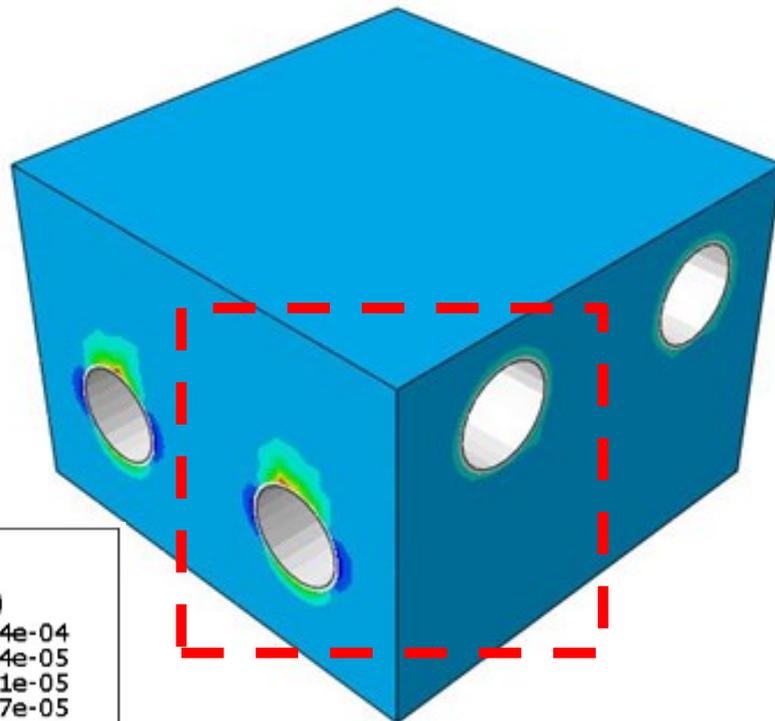
Конечно-элементная модель



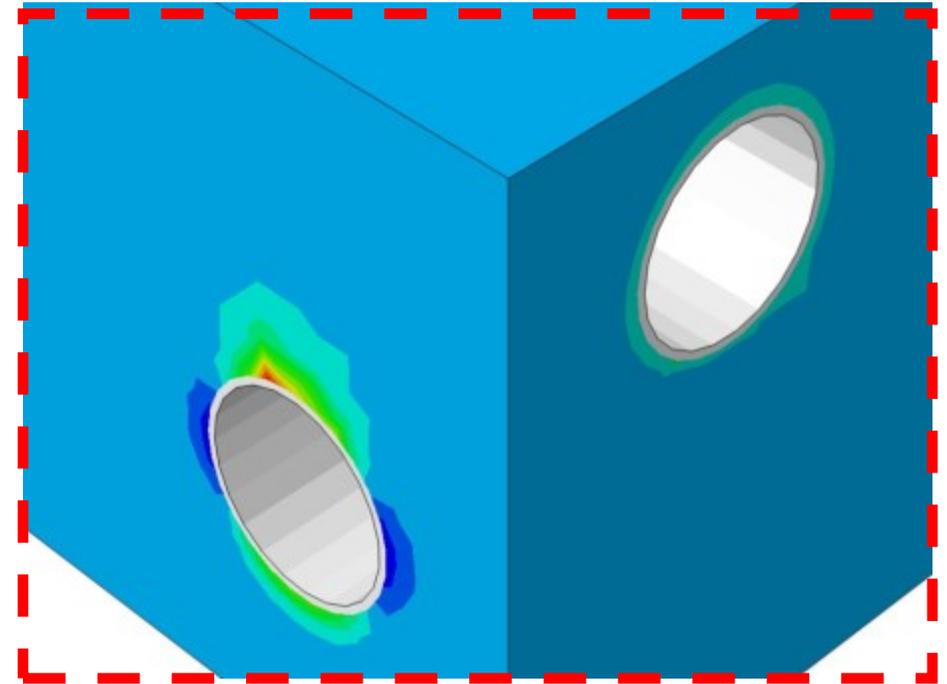
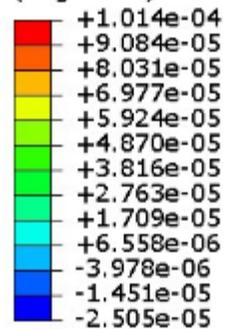
Распределение температуры



## Модельные задачи о распределении температуры и напряженно-деформированном состоянии бетонного массива с трубами



PE, PE11  
(Avg: 75%)

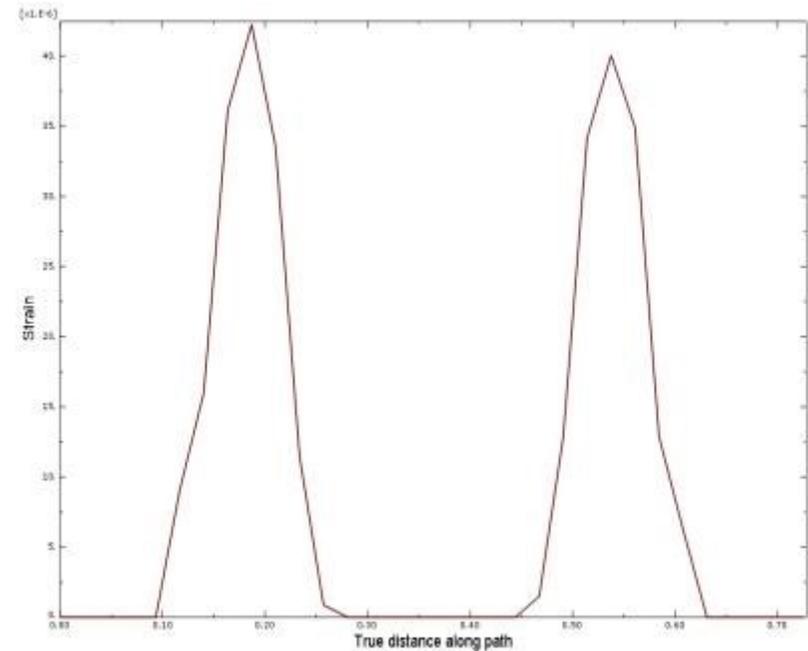
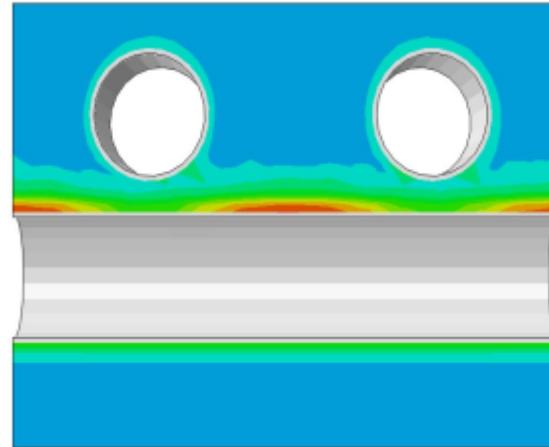
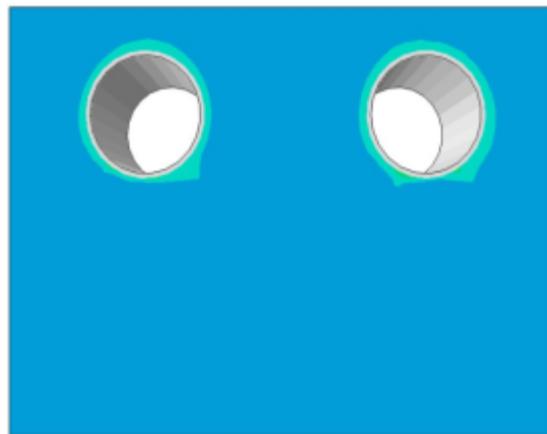


Распределение первых главных  
пластических деформаций

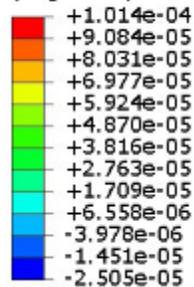


## Модельные задачи о распределении температуры и напряженно-деформированном состоянии бетонного массива с трубами

### Напряженно-деформированное состояние



PE, PE11  
(Avg: 75%)

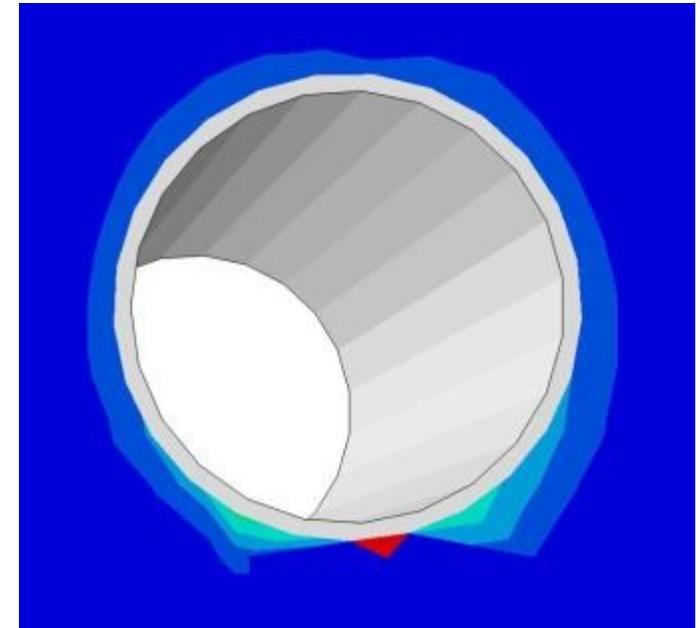
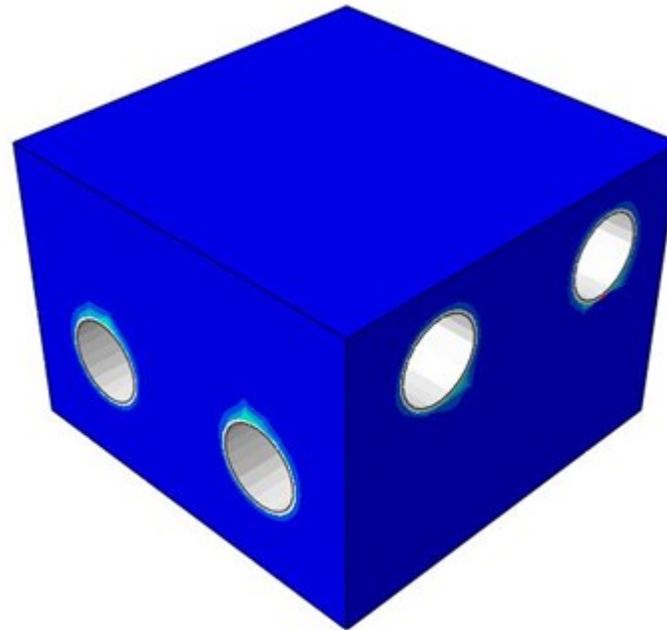
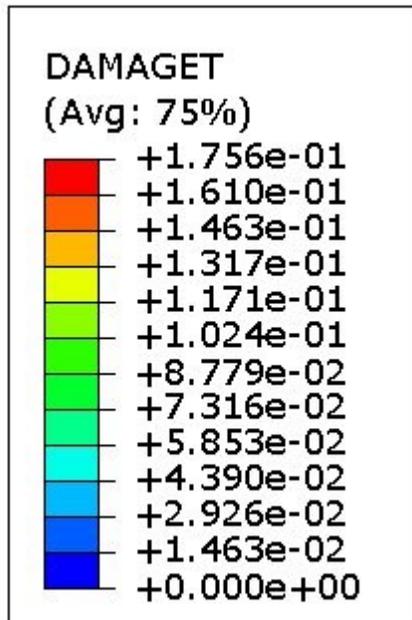


Распределение первых главных  
пластических деформаций



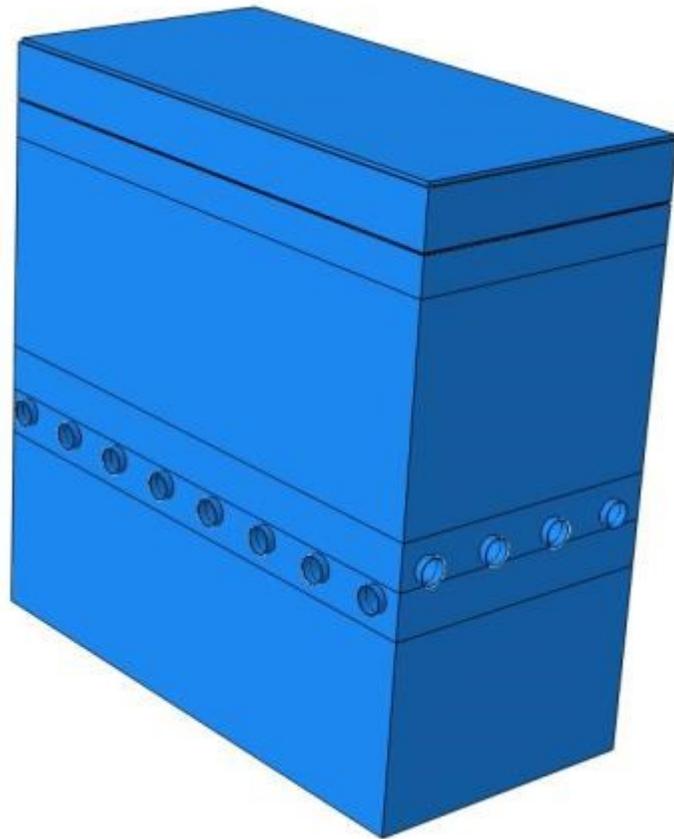
## Модельные задачи о распределении температуры и напряженно-деформированном состоянии бетонного массива с трубами

### Распределение параметра повреждаемости





## Описание объекта исследования



Пространственная геометрическая модель макета  
днища реакторной установки

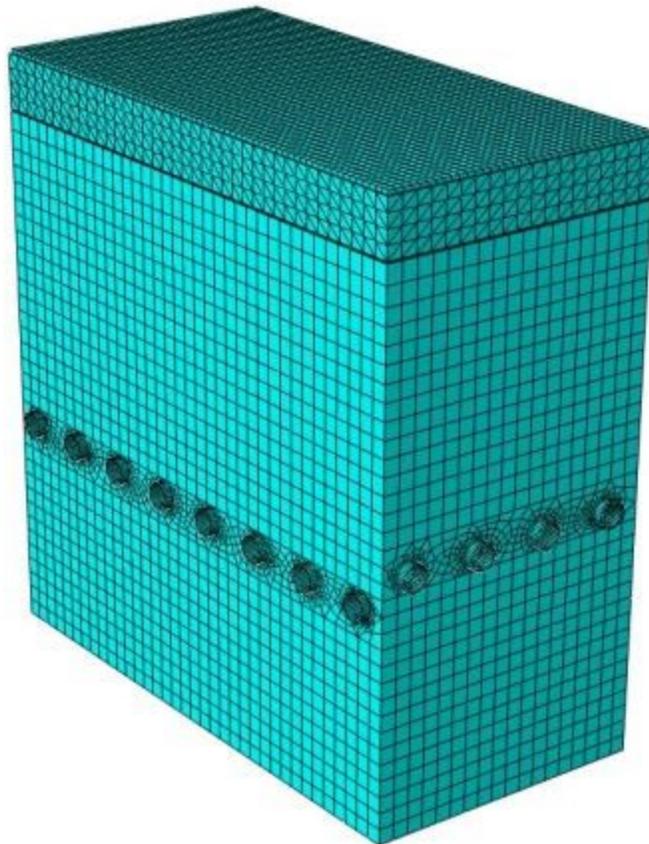
### Характеристики материалов

Характеристики	Бетон	Сталь
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1500	7900
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	0.5	16
Удельная теплоемкость, Дж/(кг·К)	840	462
Модуль упругости, МПа	$9.1 \cdot 10^3$	$1.96 \cdot 10^5$
Коэффициент Пуассона	0.2	0.28
Коэффициент линейной температурной деформации, град <sup>-1</sup>	$2.5 \cdot 10^{-6}$	$16.1 \cdot 10^{-6}$



# Исследование напряженно-деформированного состояния макета днища реакторной установки

## Конечно-элементная постановка задачи



Конечно-элементная модель

Количество узлов 417968

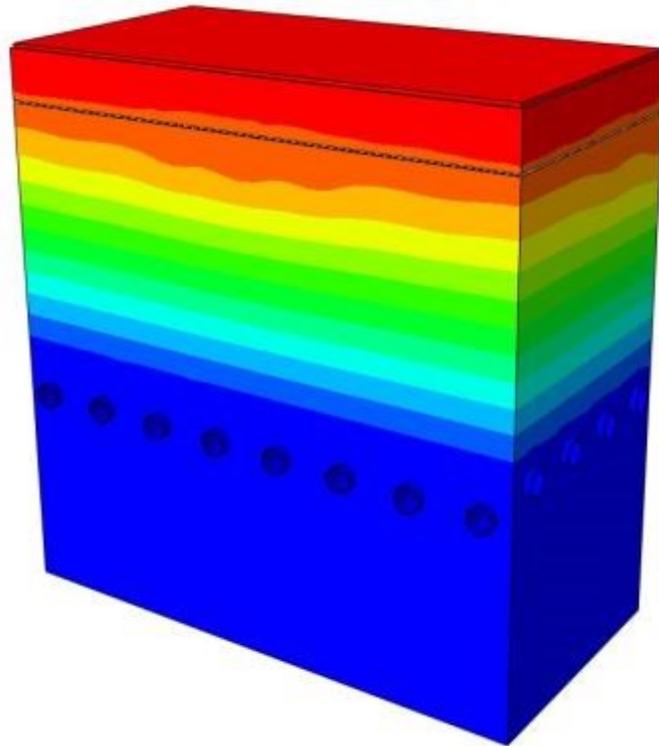
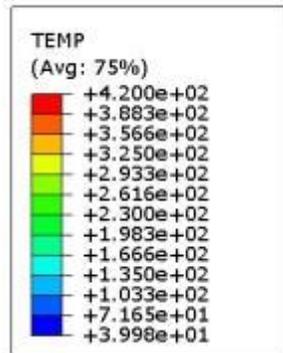
Количество элементов 191428

Граничные условия:

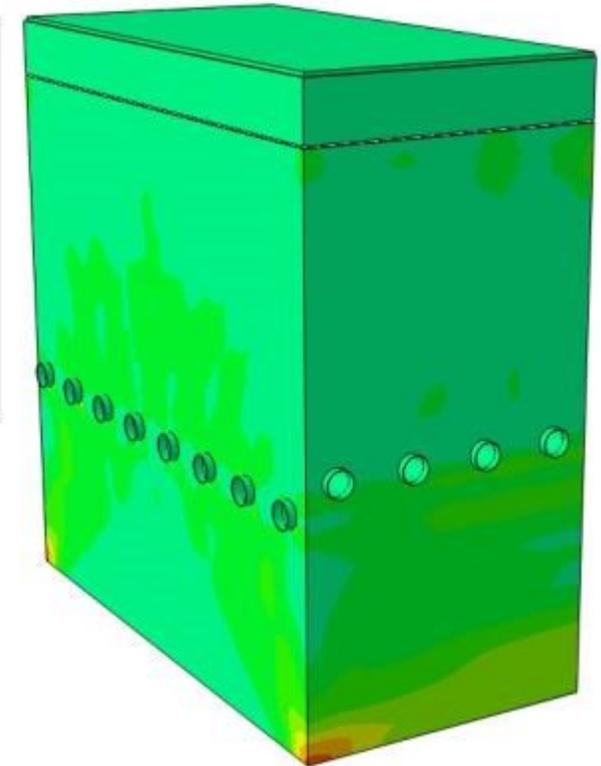
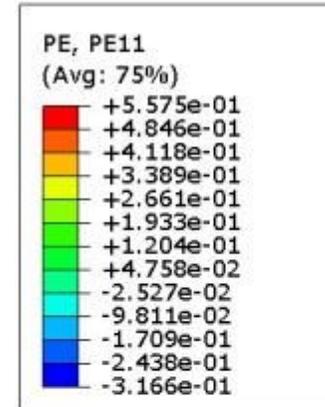
- 1) Температура нагревателей сверху:  $420^{\circ}\text{C}$ ;
- 2) Температура внутри труб:  $40^{\circ}\text{C}$ ;
- 3) Используя симметрию модели, рассматривалась только половина макета;
- 4) Запрет перемещений нижней грани.



# Исследование напряженно-деформированного состояния макета днища реакторной установки



Распределение температуры

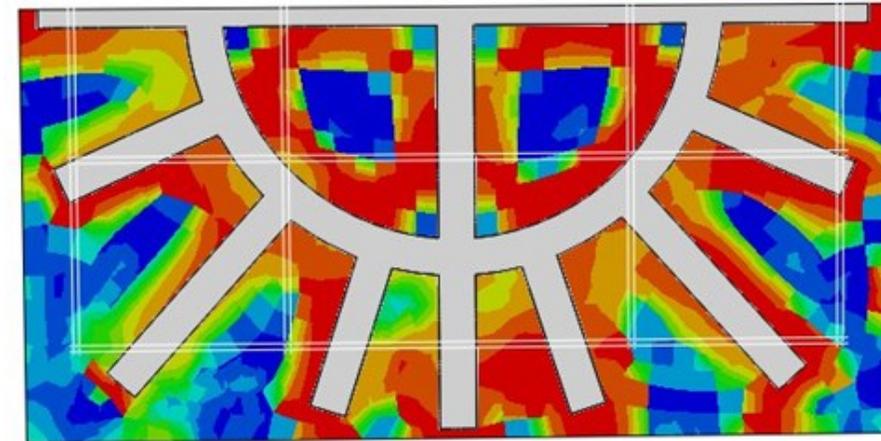
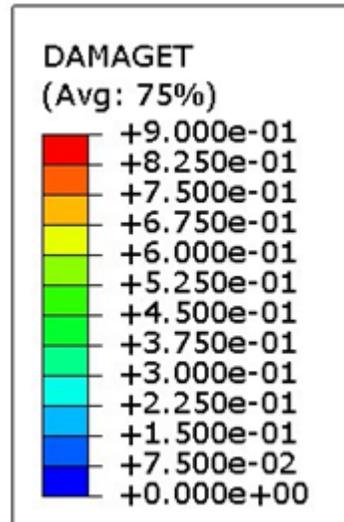
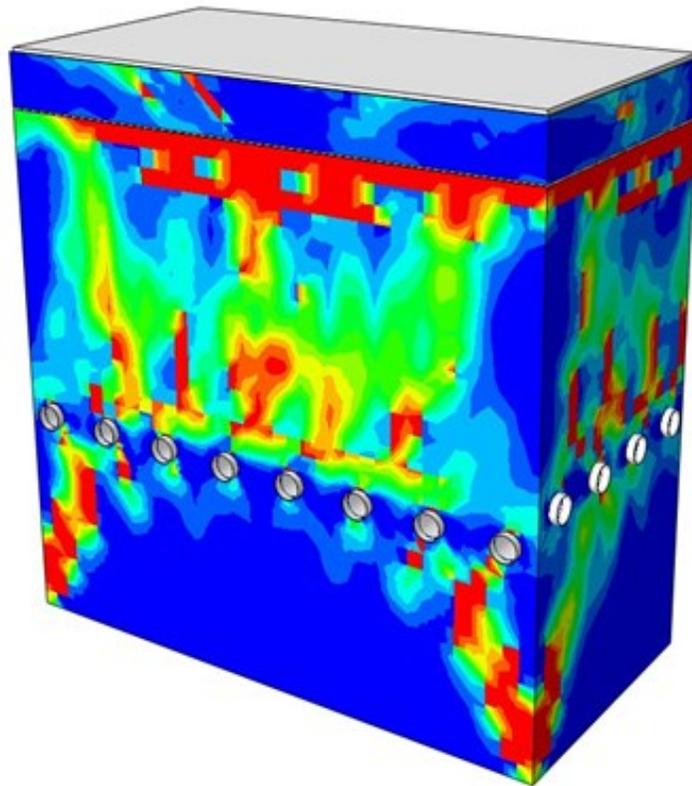


Распределение первых главных  
пластических деформаций



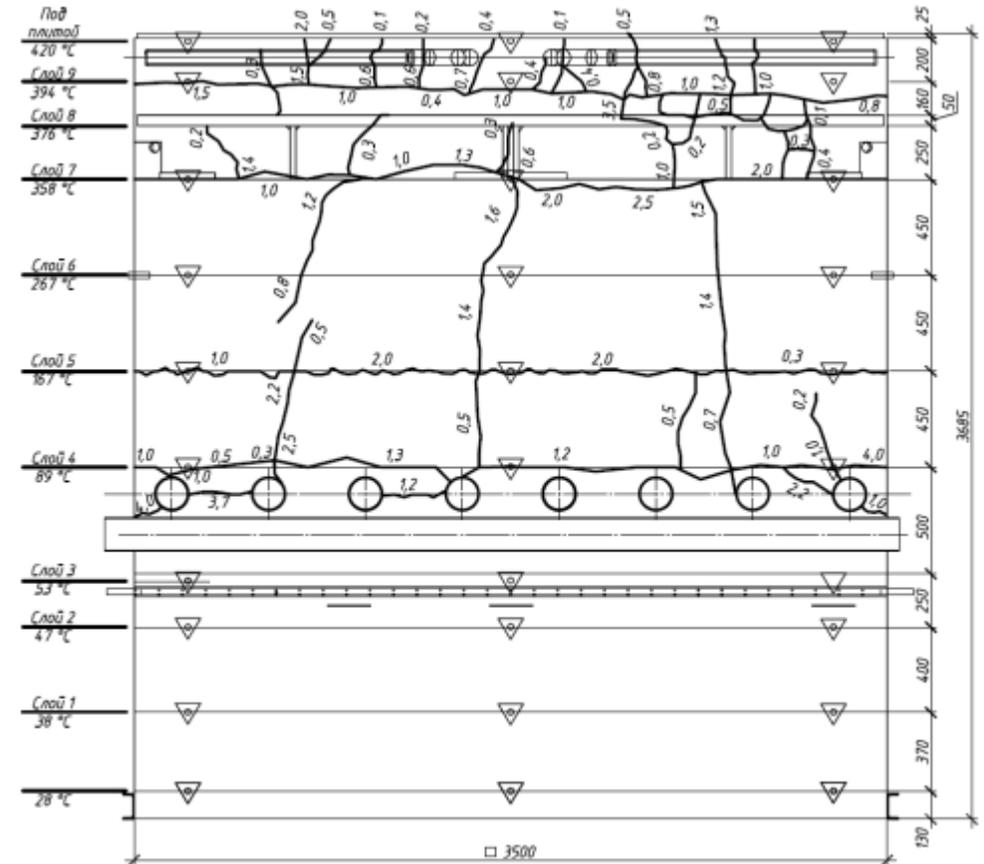
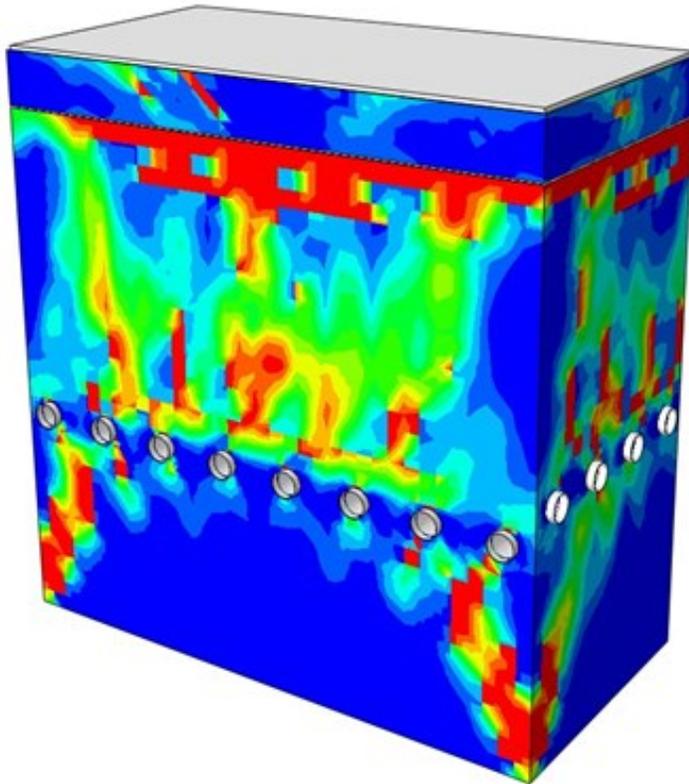
# Исследование напряженно-деформированного состояния макета днища реакторной установки

## Распределение параметра повреждаемости





# Анализ результатов





# Заключение

- В работе были описаны испытания натурального макета днища корпуса блока реакторной установки «БРЕСТ-ОД-300»;
- Была решена пара модельных задач: проведено обоснование их необходимости, постановка, решение;
- Проведено исследование напряженно-деформированного состояния модели макета днища реакторной установки «БРЕСТ-ОД-300»;
- По итогам расчетов сделаны выводы.



Благодарю за внимание!