



АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОНТОННОГО МОДУЛЯ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА

Выполнил студент группы 43602/1

А.И. Филимохина

Руководитель, д.ф.-м.н. , член-корр. РАН

И.Д Индейцев

Соруководитель, к.т.н., ген. директор АО «ЦИФРА»

Д.С. Михалюк

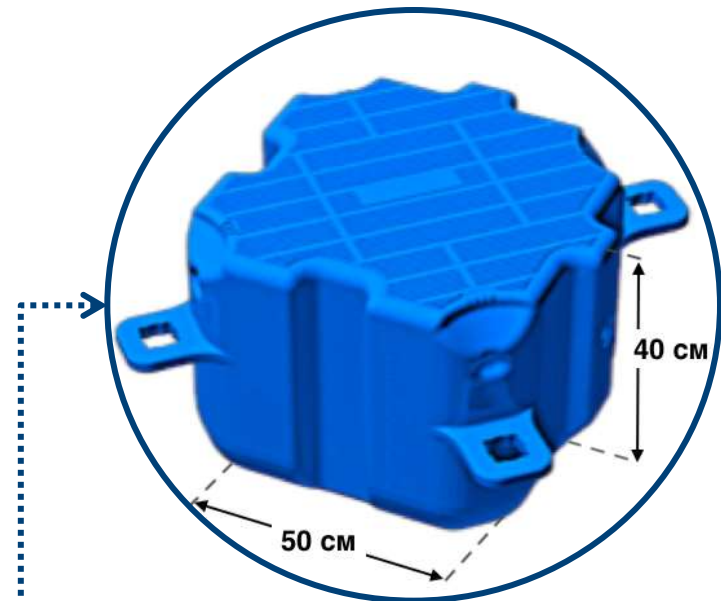
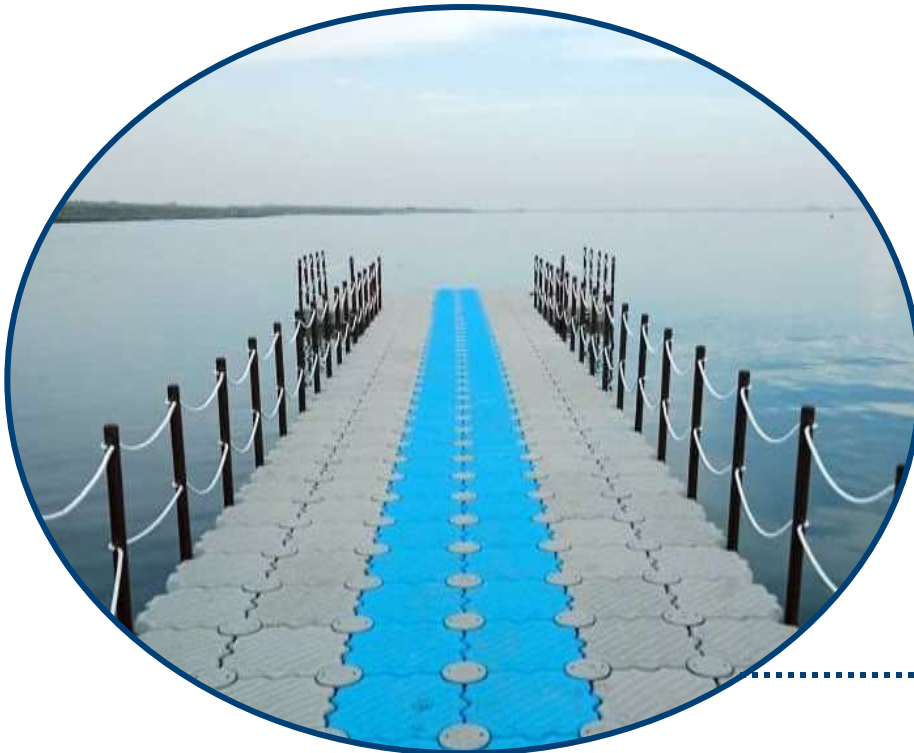
Санкт-Петербург

2019



Проблематика и актуальность проекта

- **Актуальность:** строительство легких плавучих быстровозводимых конструкций
- **Практическое применение:** морские переправы, плавучие площадки и более сложные сооружения на воде
- **Проблематика:** испытательные установки имеют ограниченные габариты рабочего пространства





Цель

Разработать конечно-элементную модель понтонного модуля для исследования на прочность составных понтонных конструкций

Задачи

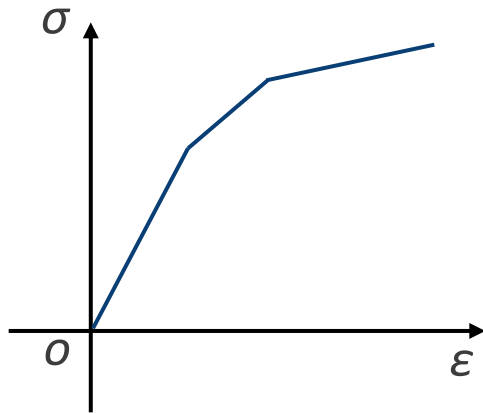




Типы нелинейностей

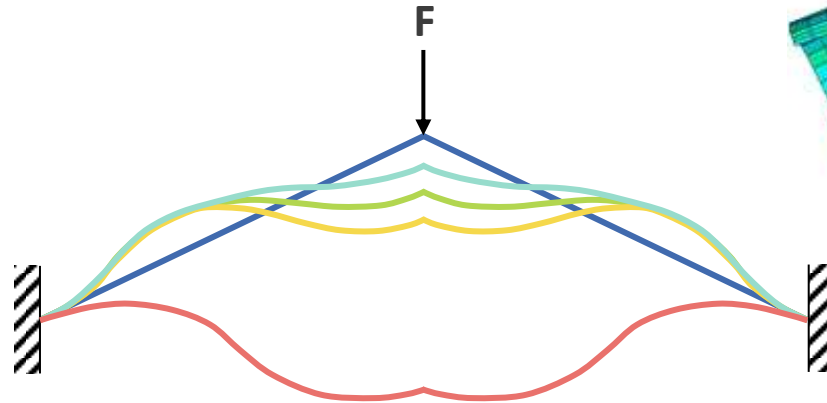
Физические

Нелинейная зависимость напряжений от деформаций



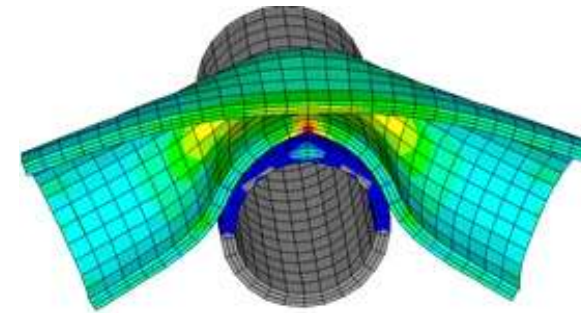
Геометрические

Значительные перемещения, соизмеримые с размерами конструкции



Конструктивные

Изменение расчетной схемы по мере деформирования конструкции





Задача Ляме для материала с кинематическим упрочнением

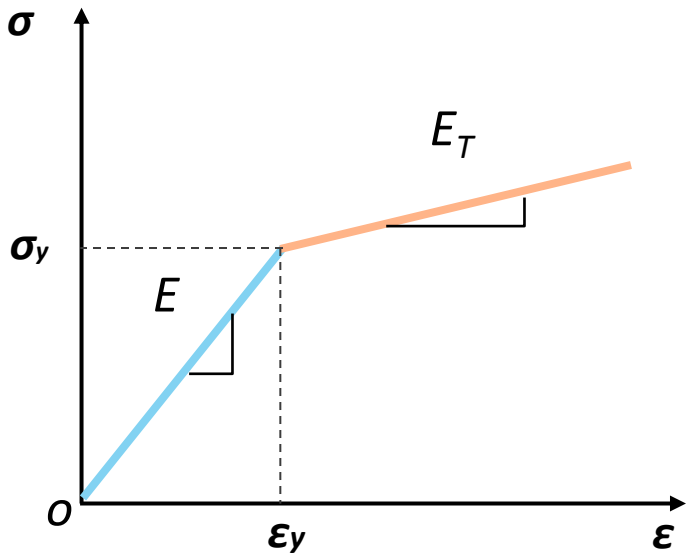
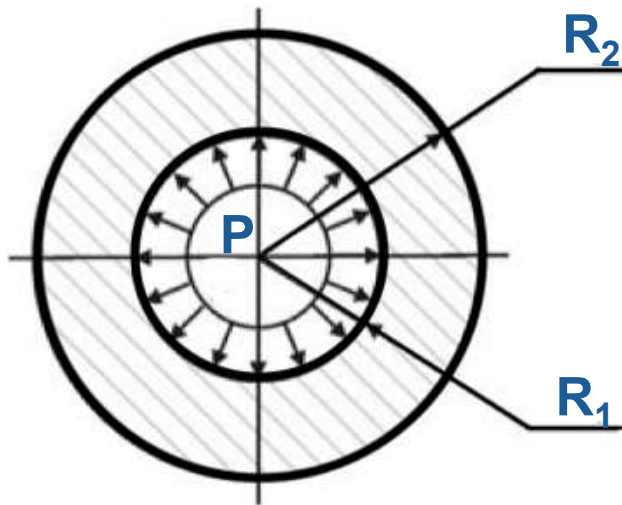
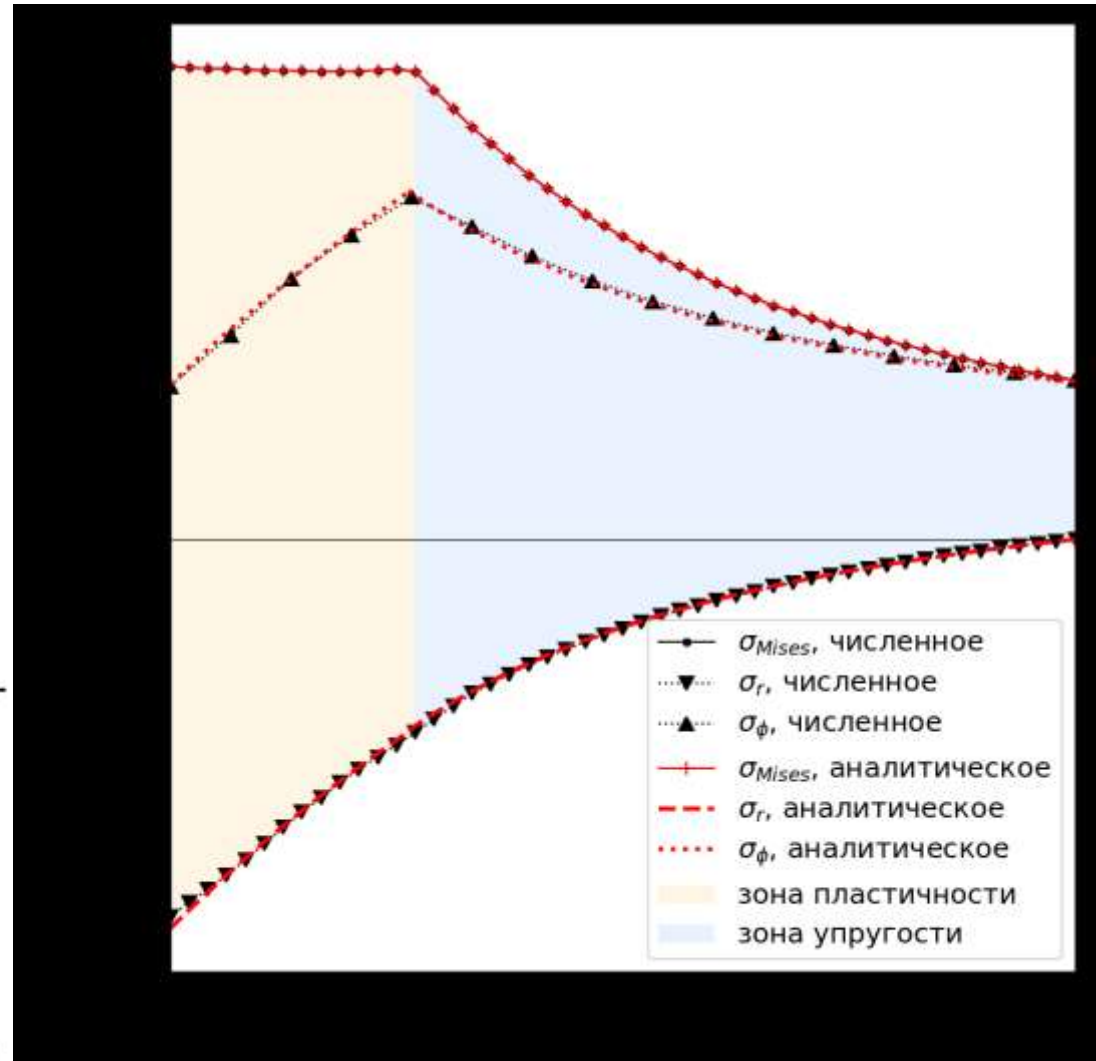


Диаграмма деформирования



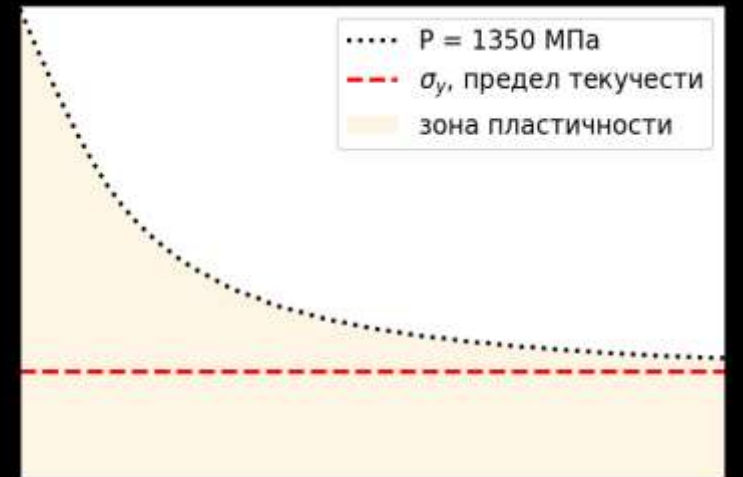
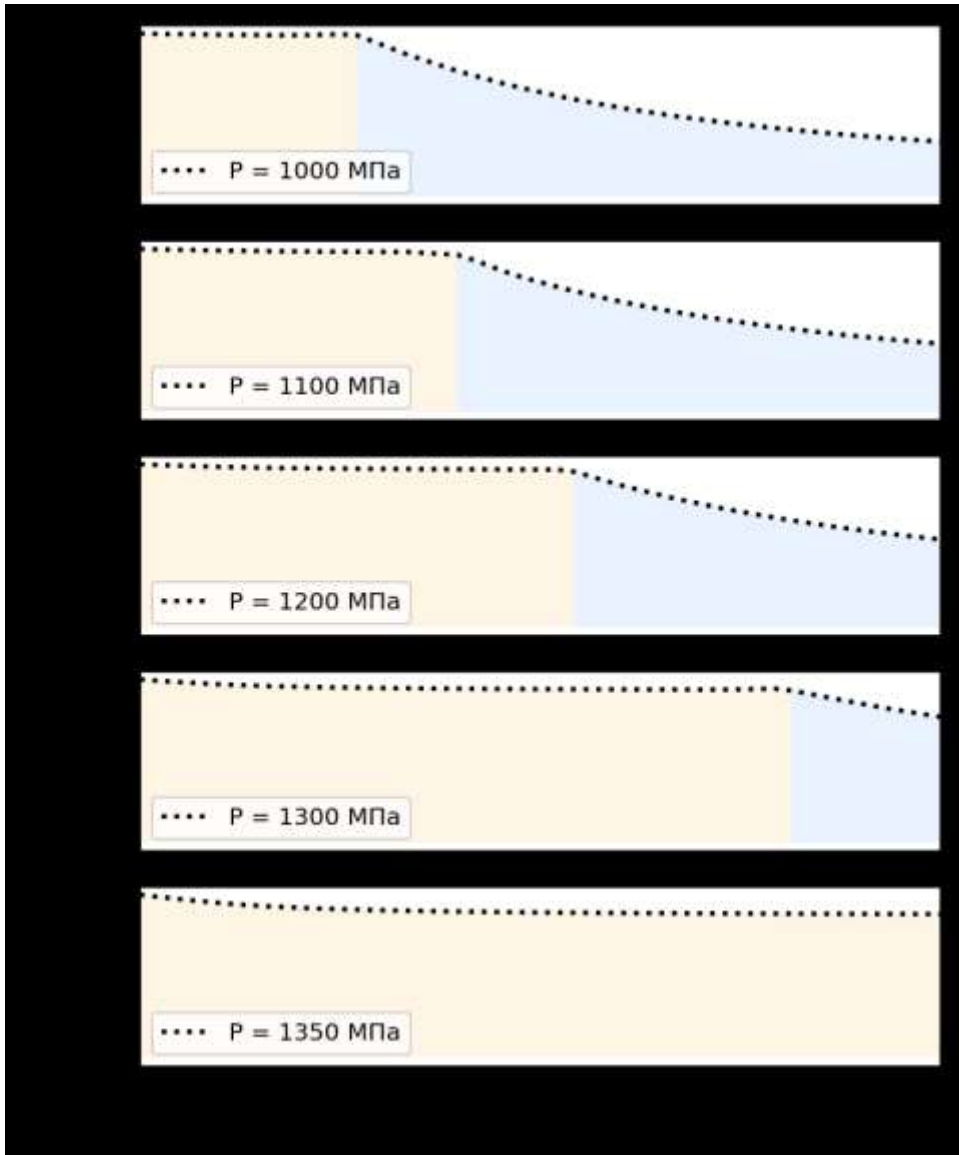
Толстостенная труба под действием
внутреннего давления



Зависимость напряжения от расстояния
до центра трубы

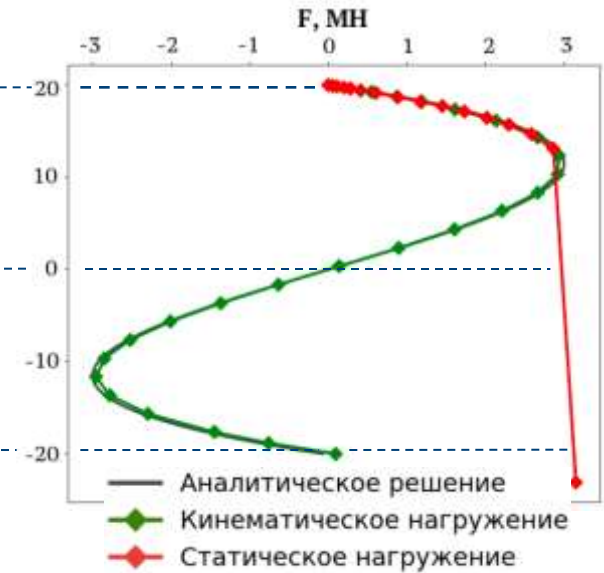
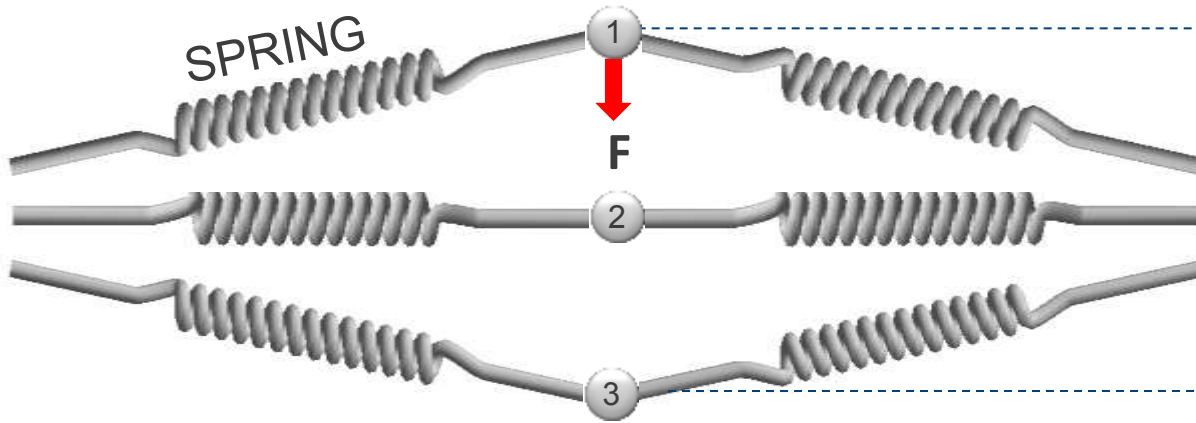


Задача Ляме для материала с кинематическим упрочнением



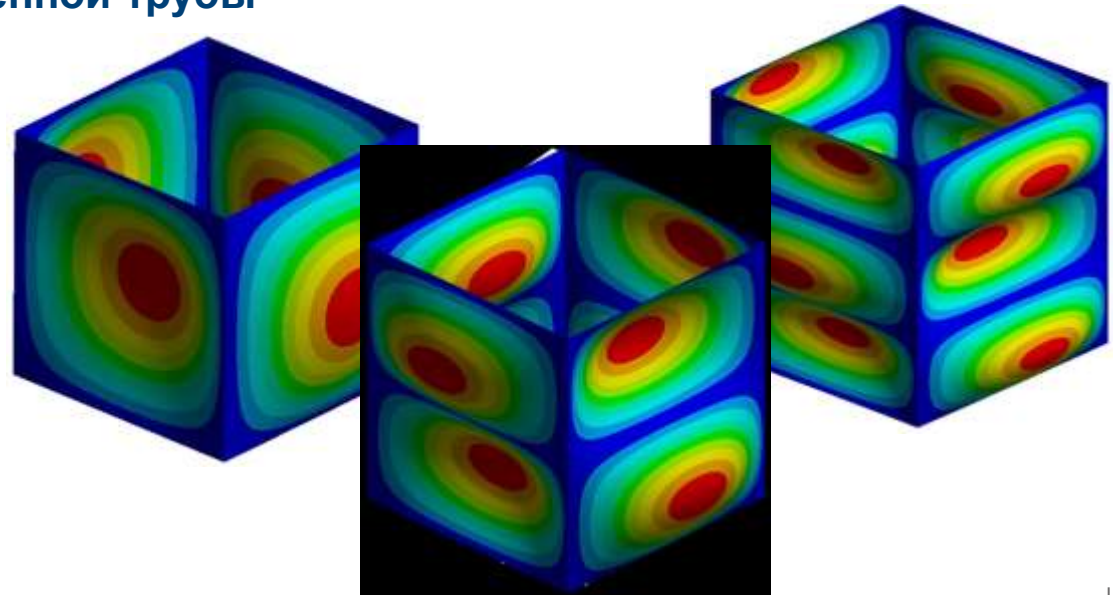
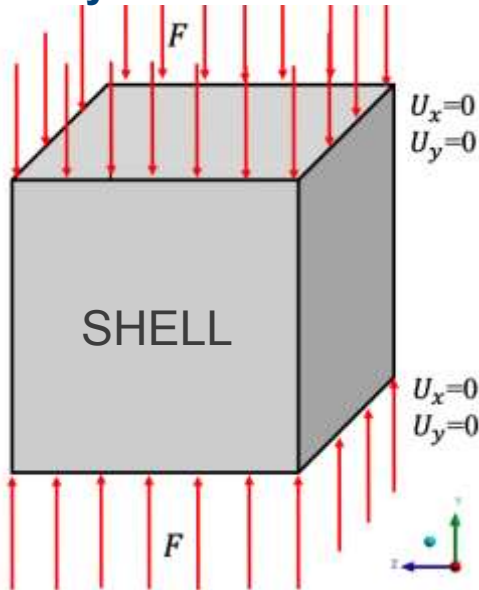


Симметричная ферма Мизеса



1 и 3 – устойчивые положения равновесия, 2 – неустойчивое

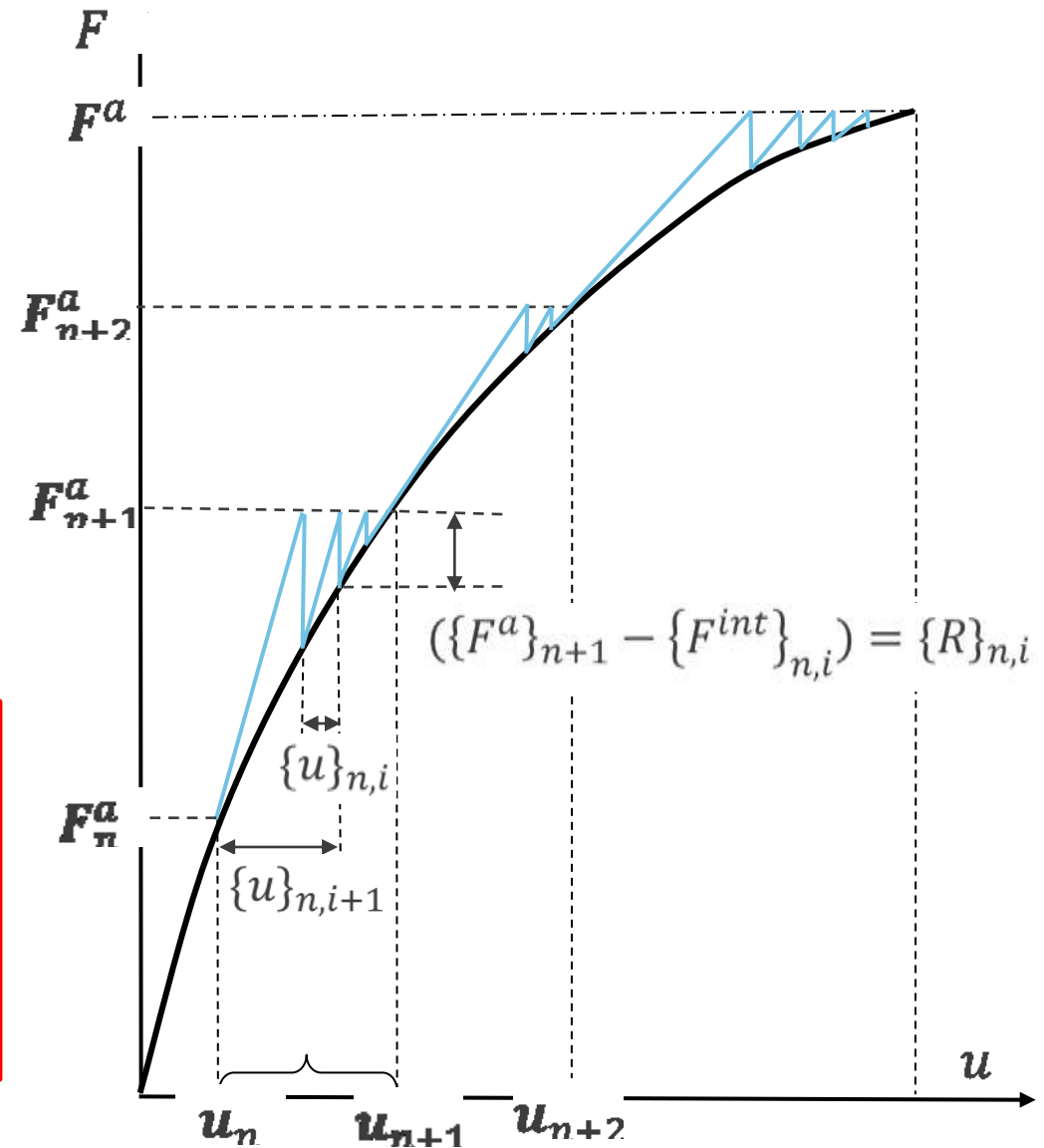
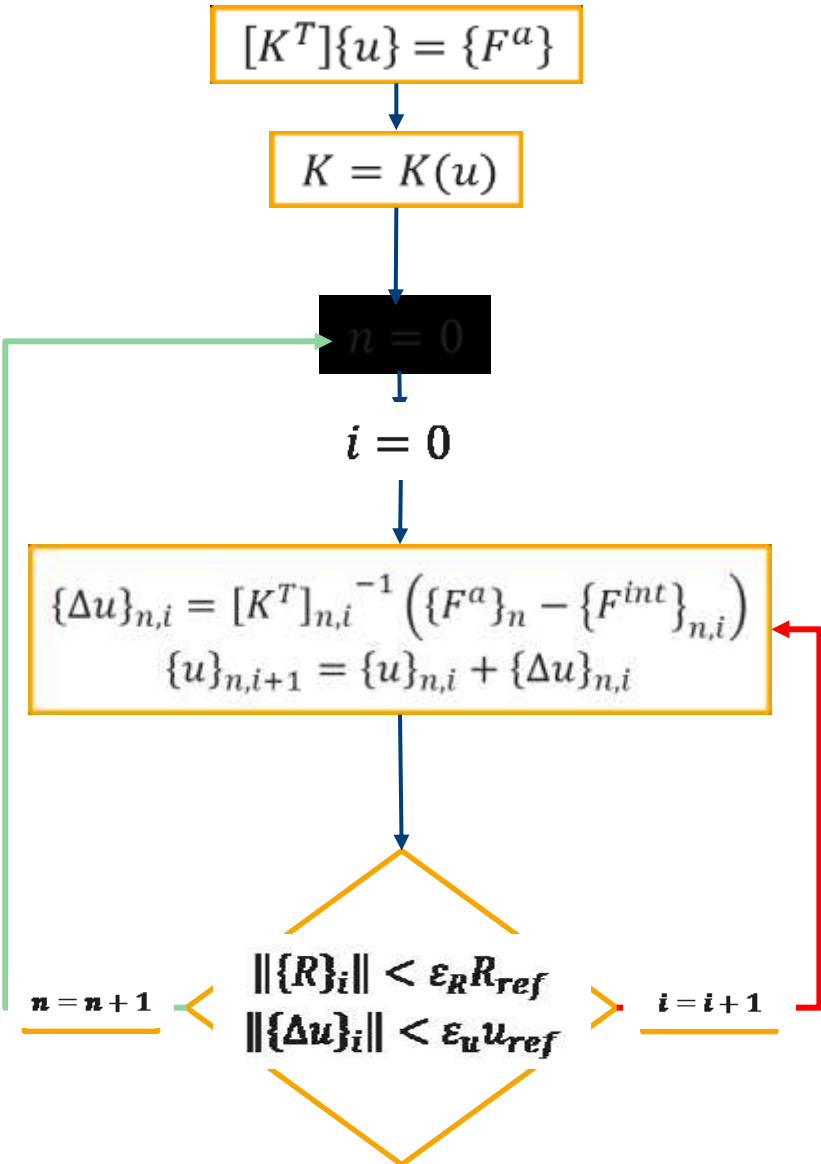
Анализ устойчивости тонкостенной трубы



1, 2, 3 - формы потери устойчивости

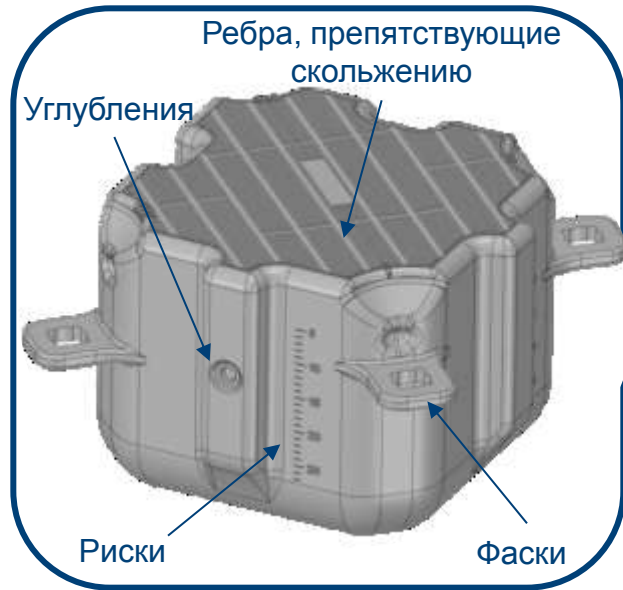


Метод Ньютона-Рафсона

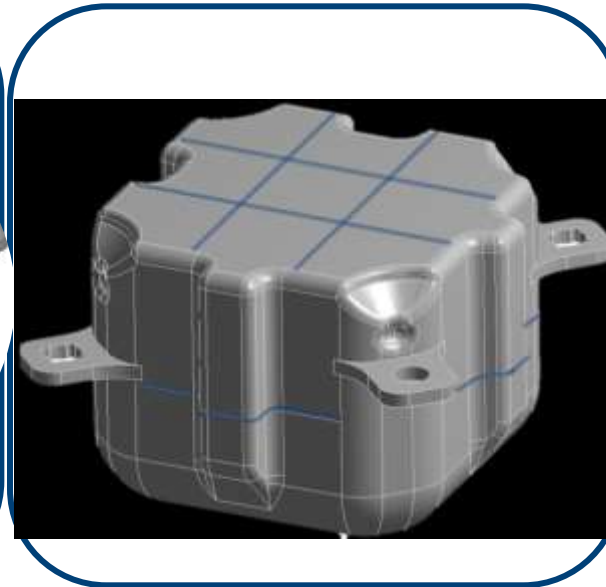




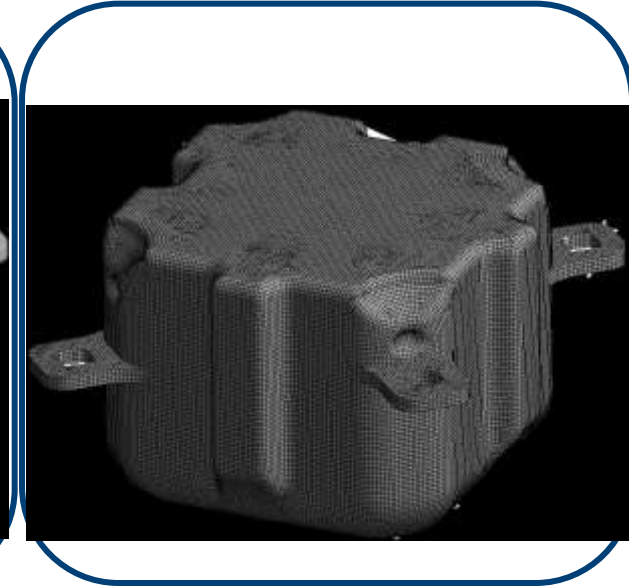
Построение сетки конечных элементов



1. Упрощение геометрии



2. Разделение модуля на сегменты для задания толщин стенок



3. Определение оптимального размера конечного элемента

Параметры сетки КЭ:

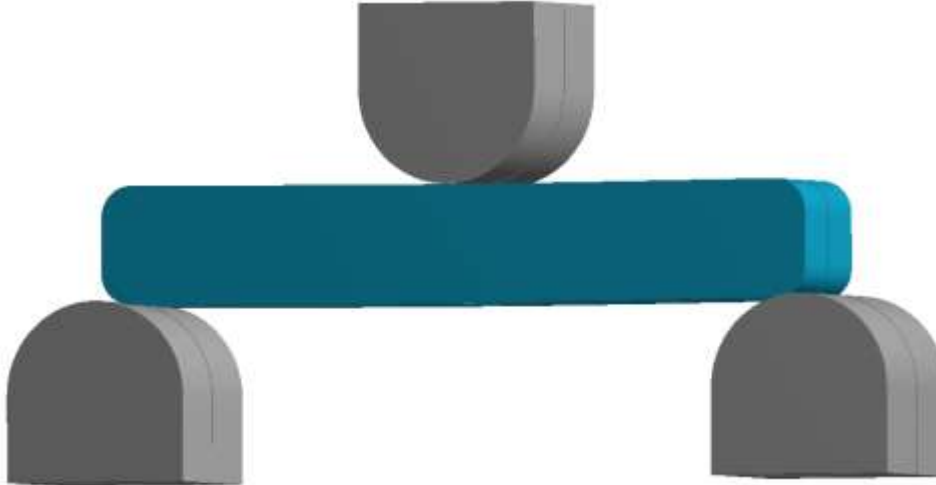
Размер элемента, мм	5
Число узлов	51364



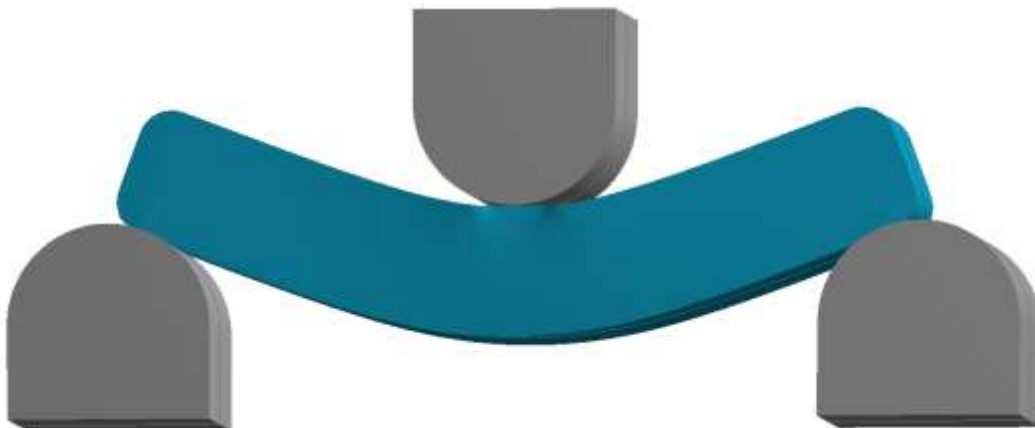
Калибровка модели материала

Моделирование опыта на трехточечный изгиб

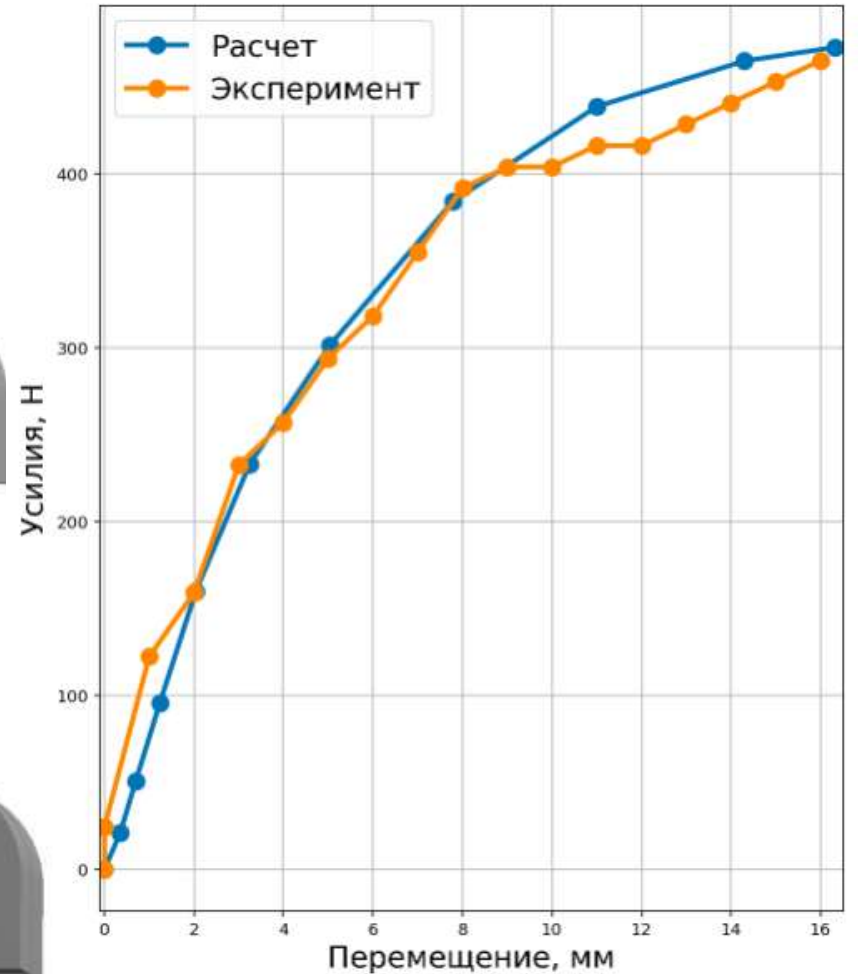
До нагружения



После нагружения

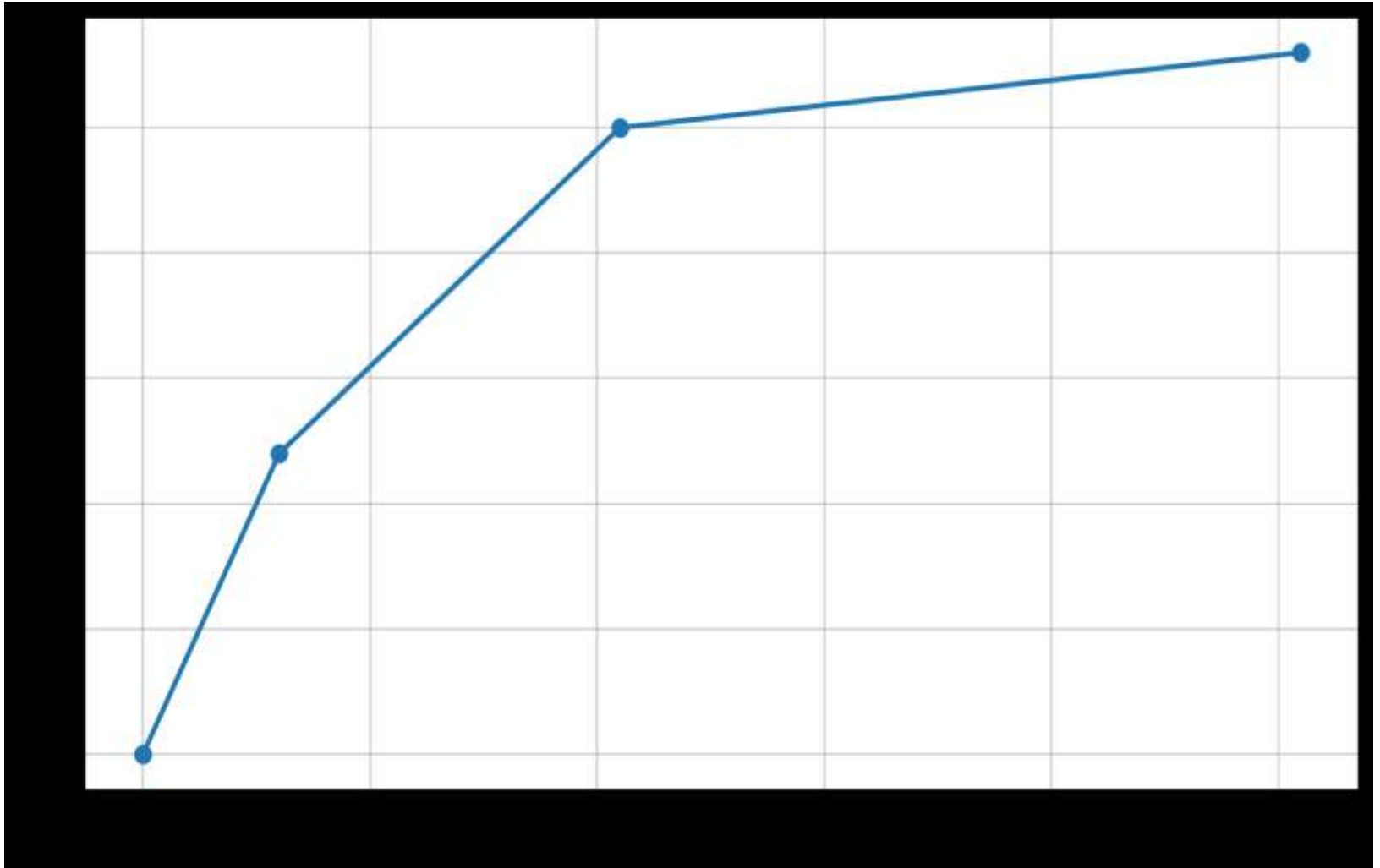


Зависимость перемещения от приложенного усилия





Мульти линейная упруго-пластическая модель материала

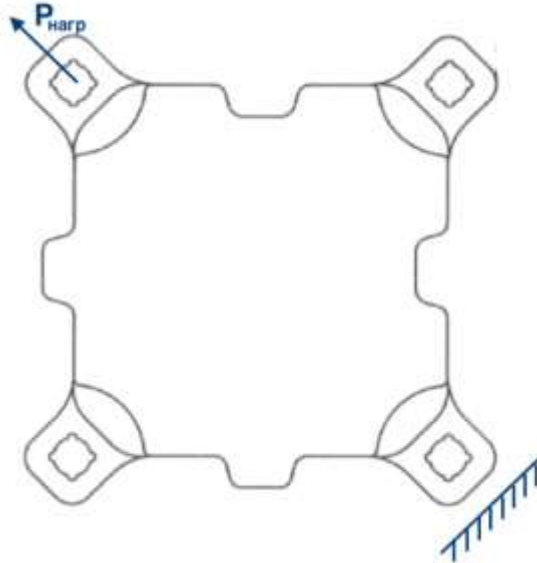




Валидация конечно-элементной модели по серии экспериментов

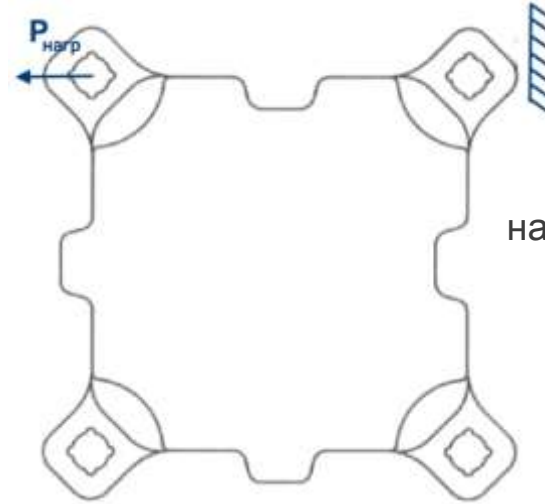
Растяжение в
медианном
направлении

1



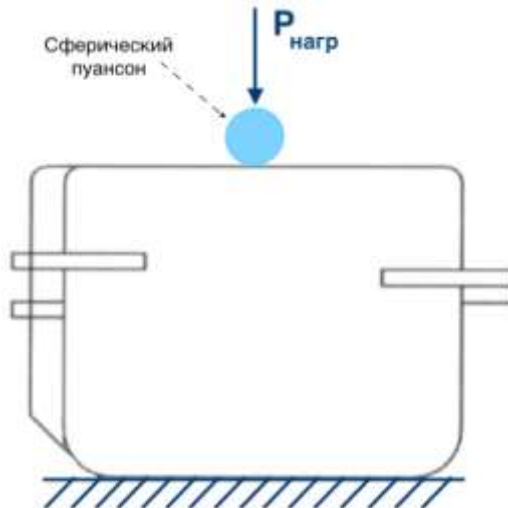
Растяжение в
направлении плоскости
одной из граней

2



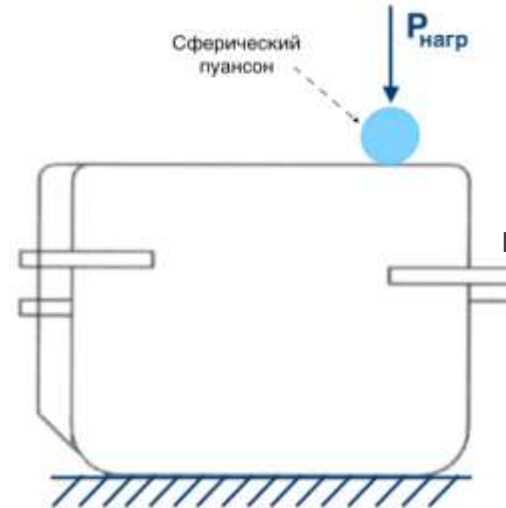
Сосредоточенная
нагрузка в центре
верхней грани

3



Сосредоточенная
нагрузка, смещенная
от центра

4



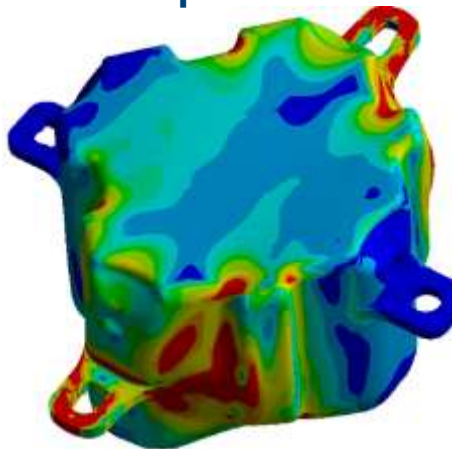


Анализ результатов расчета и данных эксперимента

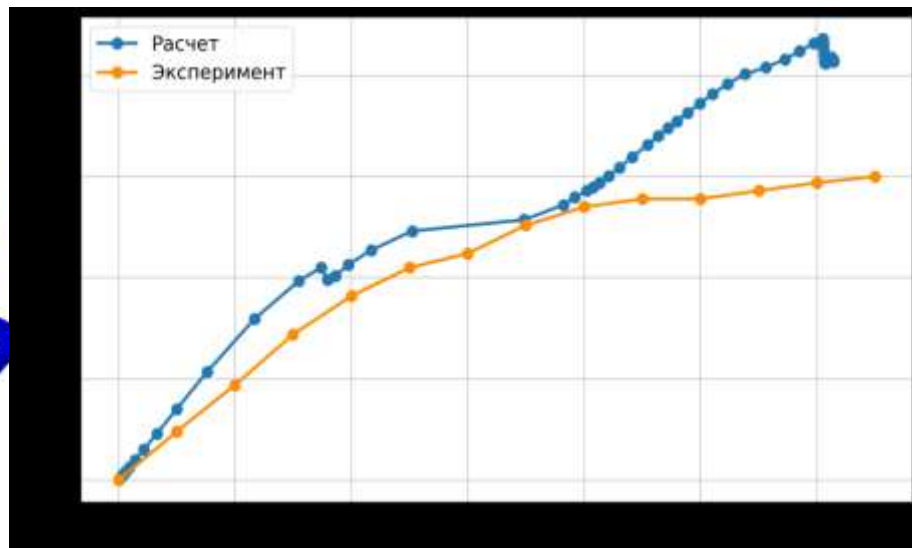
Растяжение в медианном направлении



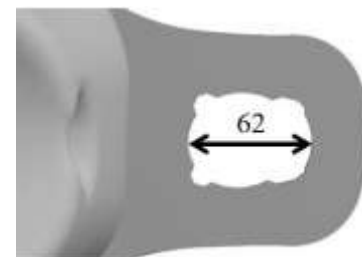
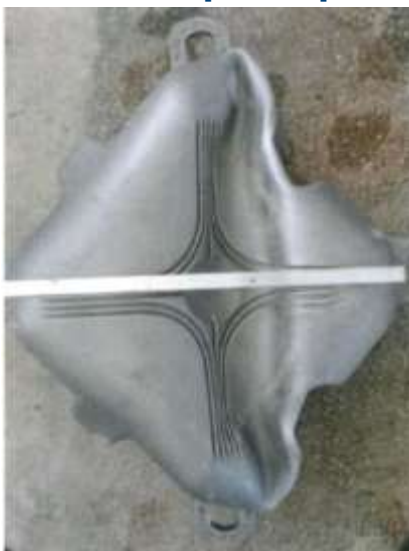
Моделирование эксперимента



Поле эквивалентных
напряжений, МПа



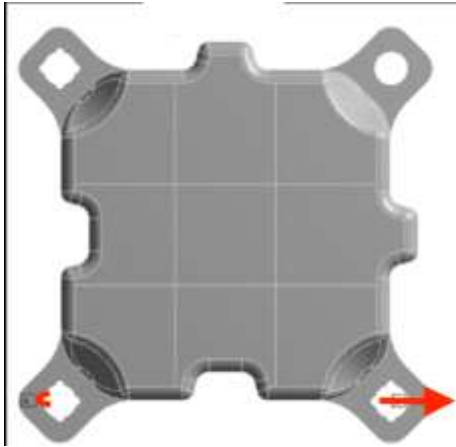
Сравнение характера деформации в эксперименте и расчете



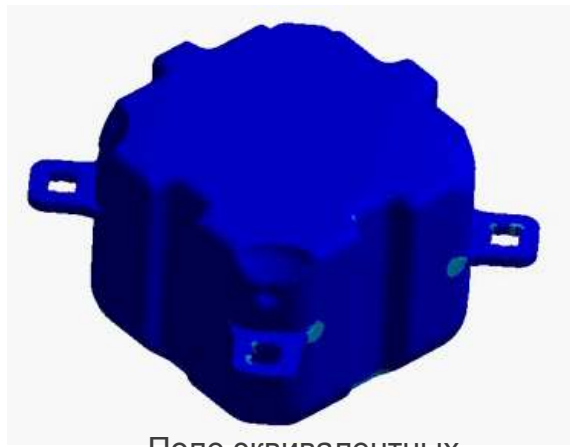


Анализ результатов расчета и данных эксперимента

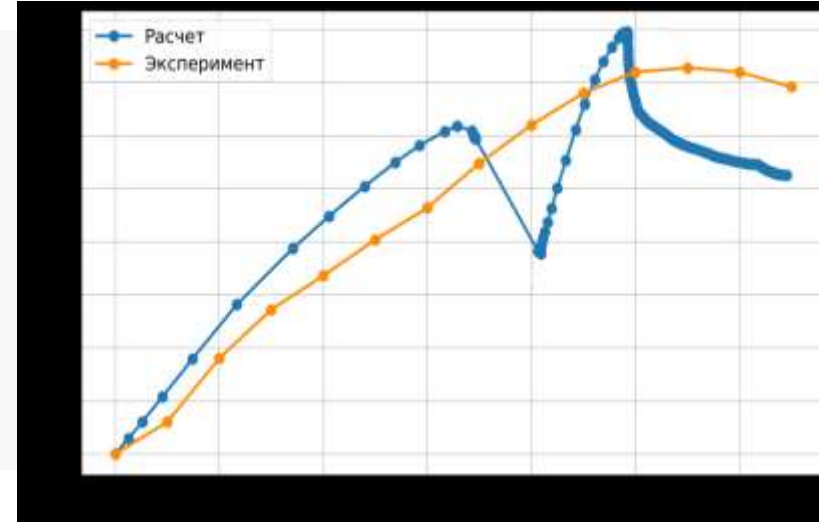
Растяжение в медианном направлении



Моделирование эксперимента



Поле эквивалентных
напряжений, МПа



Сравнение характера деформации в эксперименте и расчете



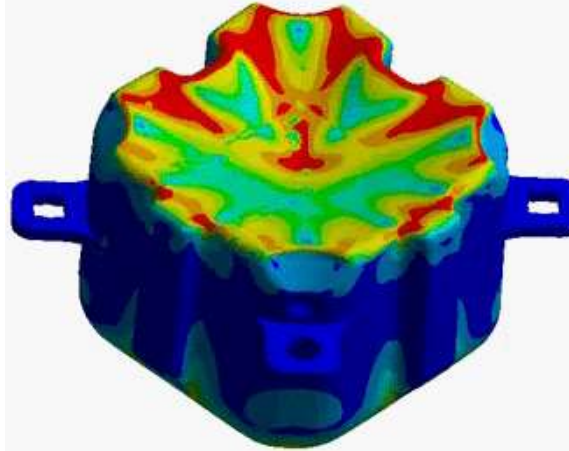


Анализ результатов расчета и данных эксперимента

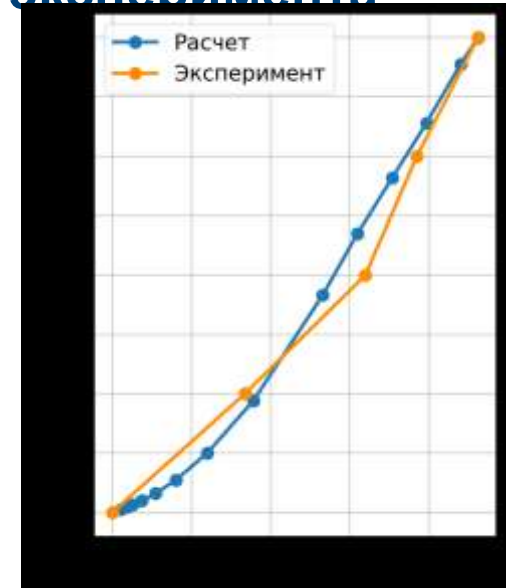
Сосредоточенная нагрузка в центре верхней грани



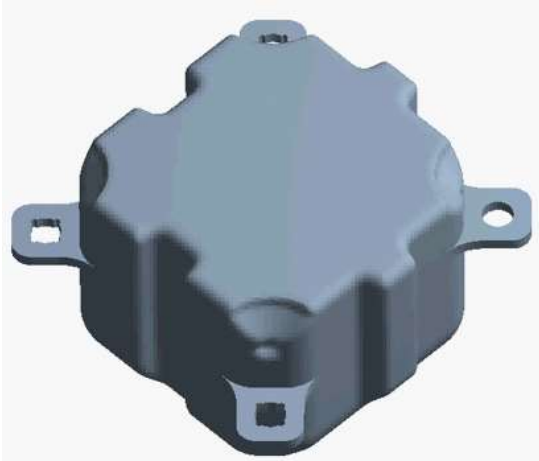
Деформация



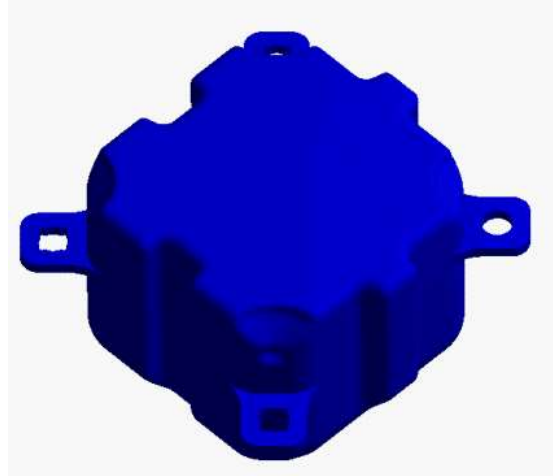
Поле эквивалентных напряжений, МПа



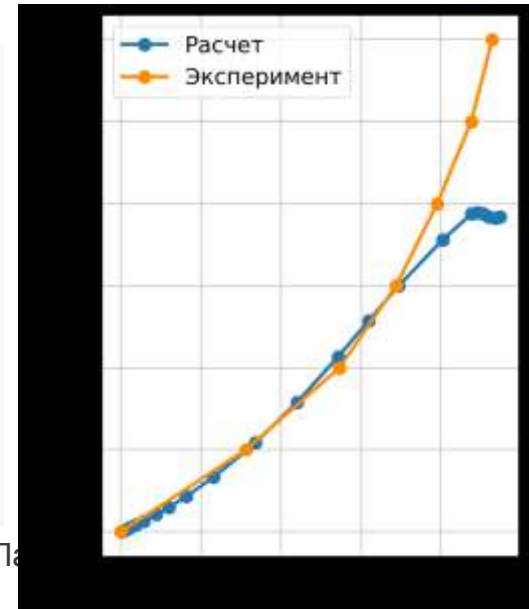
Сосредоточенная нагрузка, смещенная от центра



Деформация



Поле эквивалентных напряжений, МПа





Заключение

- По итогам работы решены поставленные задачи:
 - ✓ Построена сетка КЭ
 - ✓ Проведена калибровка модели материала
 - ✓ Проведена валидация КЭМ
 - ✓ Результаты расчетов сопоставлены с данными лабораторных испытаний
- Построенная конечно-элементная модель позволяет получить удовлетворительные результаты при моделировании серии экспериментов

