

**Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Институт прикладной математики и механики
Кафедра «Механика и процессы управления»**

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ

**Выполнил студент группы 63603/2
Руководитель, ассистент
Со-руководитель, к.т.н., профессор**

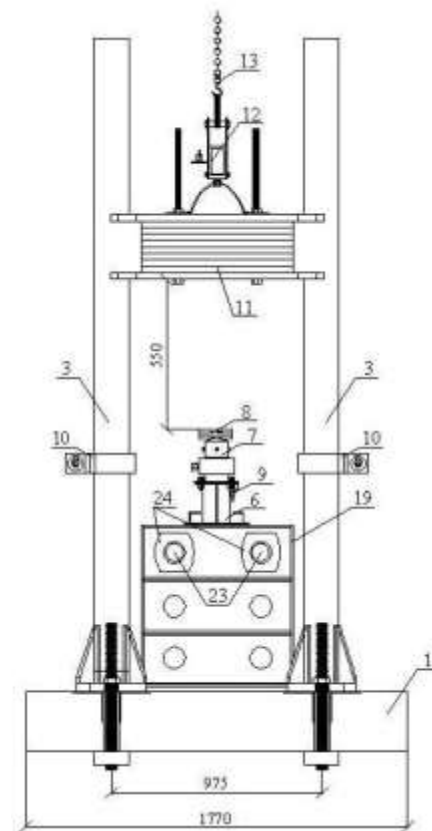
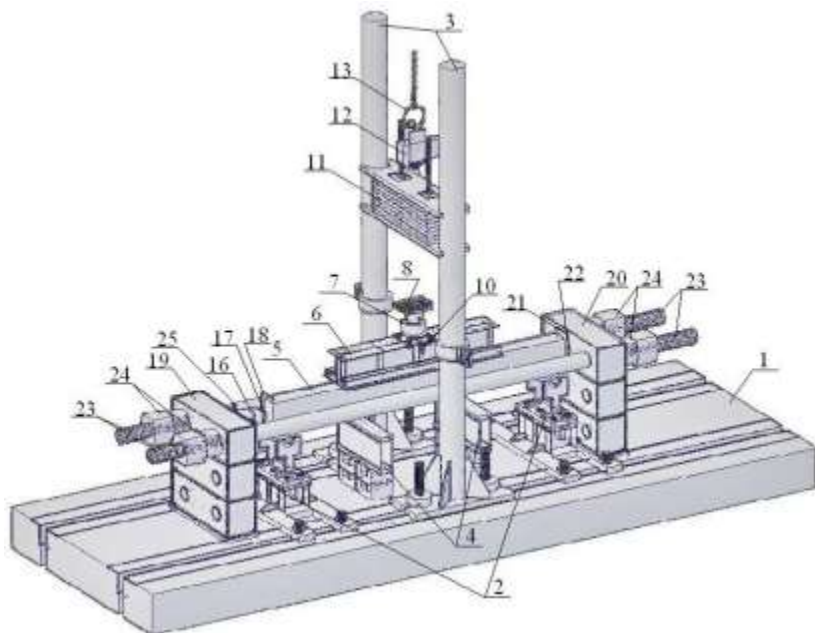
**Юрченко Д.А.
Модестов В.С.
Боровков А.И.**

**Санкт-Петербург
2014 год**

План работы

- Численный расчет железобетонной балки и сравнение с результатами эксперимента
- Численный расчет железобетонных балок с варьированием арматуры и балки без арматуры и сравнение результатов с изначальной моделью
- Численный расчет железобетонной балки зафиксированной с двух сторон
- Статическое нагружение и сравнение с динамическим нагружением.

Общий вид испытательного стенда



Конструкция экспериментального образца

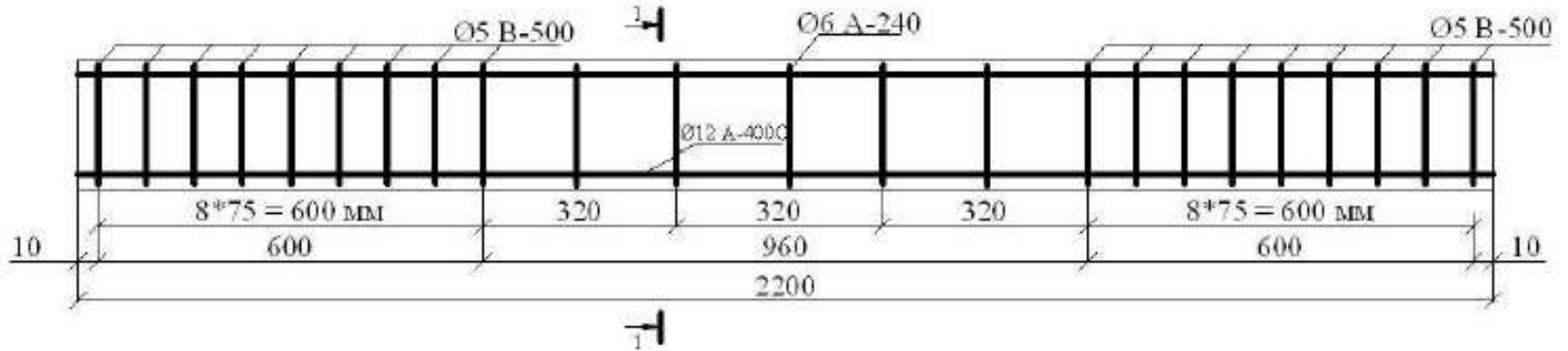
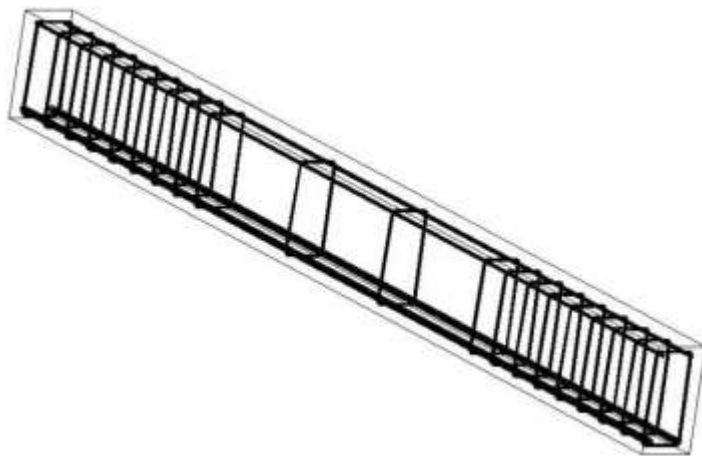
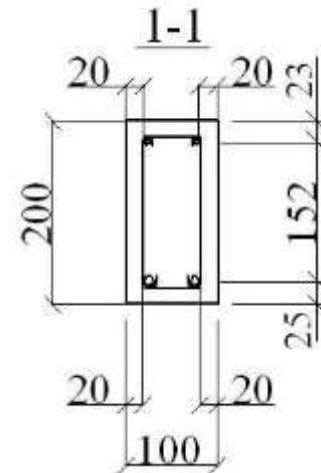


Схема армирования балки



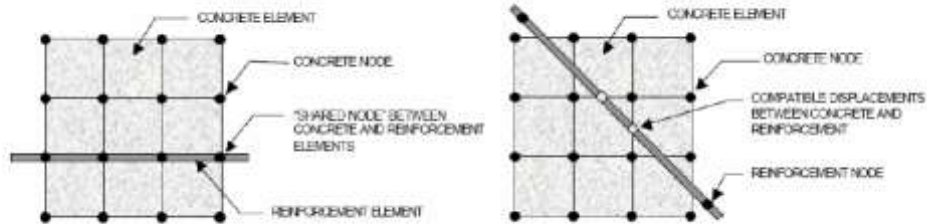
Общий вид пространственного вязаного арматурного каркаса



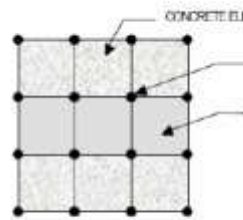
Поперечное сечение балки

Конечно-элементная модель

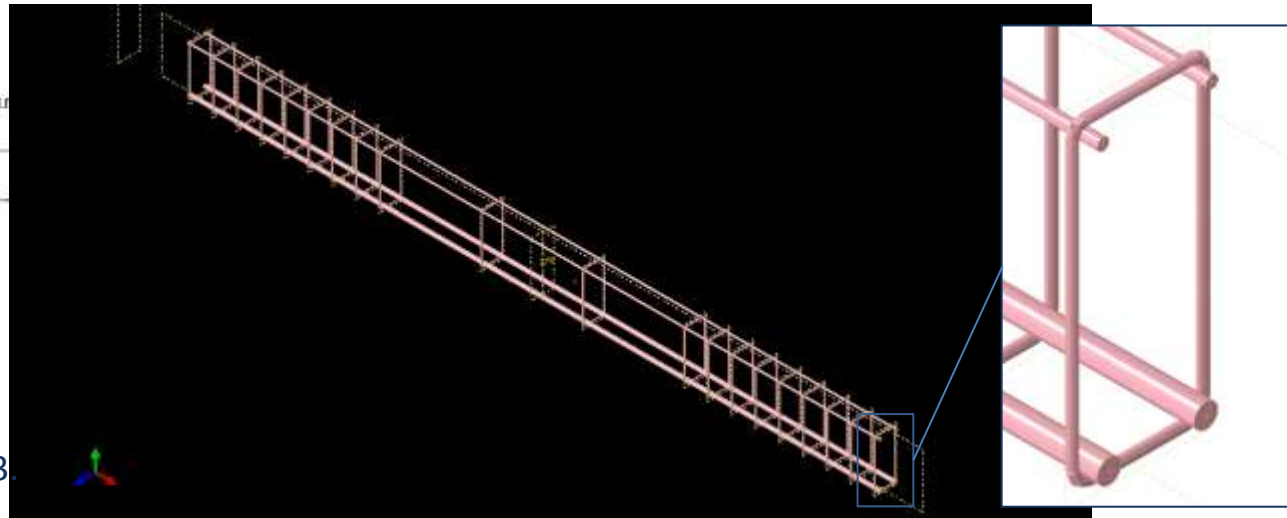
КЭ модель армирования балки



(a)



(c)



Свойства материала:

Коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$.

Плотность $\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$.

Модуль Юнга $E = 200 \text{ ГПа}$.

Предел текучести :

Для верхней арматуры 215 МПа

Для нижней арматуры 355 МПа

Для поперечной арматуры 360 МПа

Характеристики КЭ-модели:

Тип элемента: A 2-node linear 3-D truss
T3D2.

Число элементов: 380.

Число узлов: 384.

Модель бетона

№ п/п	Программная система	Модель деформирования и прочности бетона	Область применения модели
1	ANSYS	Concrete Model	Статические; знакопостоянные динамические нагрузки на железобетонные конструкции с высоким объемным коэффициентом армирования
2	ANSYS	Geological Cap Model	Статические нагрузки на неармированные /слабо армированные бетонные конструкции
3	LS-DYNA	RHT Concrete Strength	Динамические воздействия на ж/б конструкции
4	LS-DYNA	Concrete Damage Model	Расчет ж/б конструкций на ударные воздействия
5	ABAQUS	Concrete Smearred Cracking	Монотонно изменяющиеся нагрузки на ж/б конструкции
6	ABAQUS	Cracking Model for Concrete (Brittle Cracking)	Преобладающий эффект – трещинообразование при растяжении
7	ABAQUS	Concrete Damage Plasticity	Статические; циклические; динамические нагрузки на ж/б конструкции

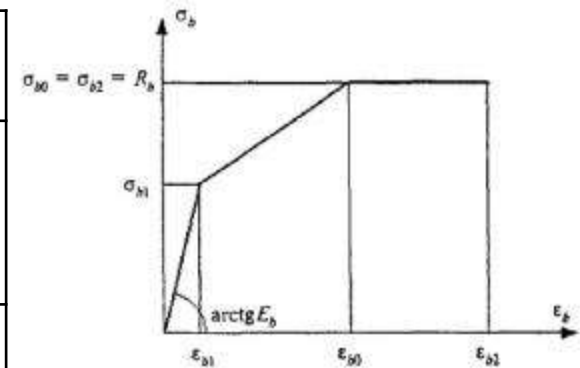


Диаграмма сжатия

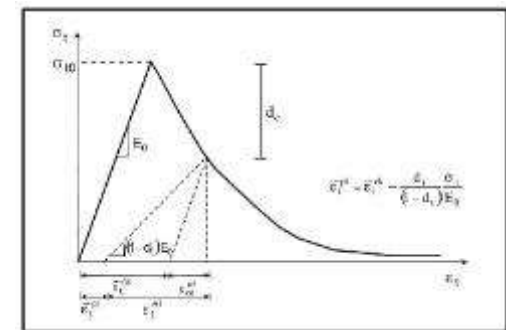


Диаграмма растяжения

Свойства материала:

Модуль Юнга $E = 39$ ГПа.

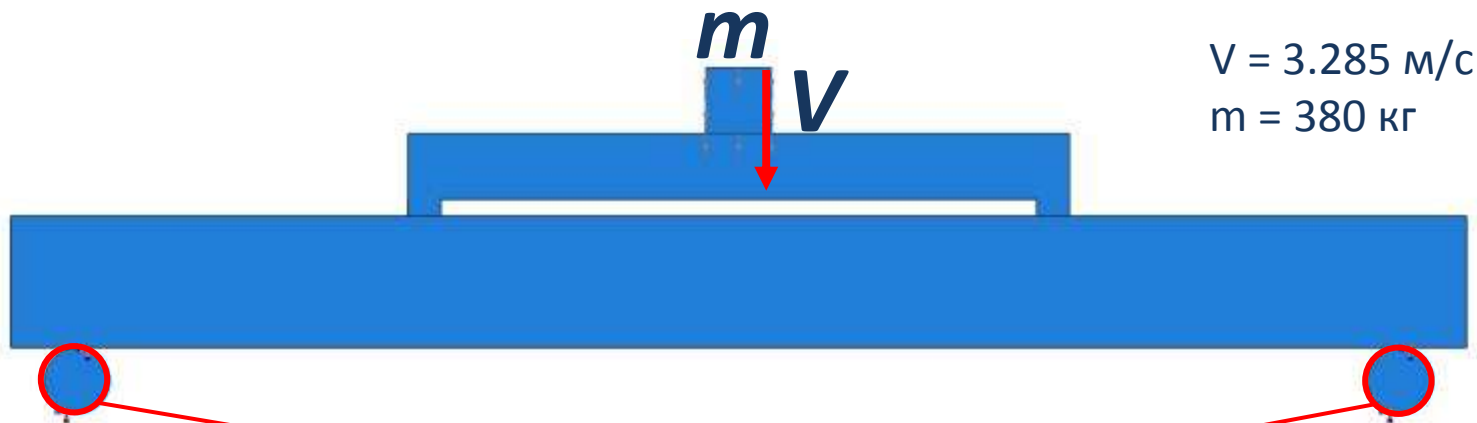
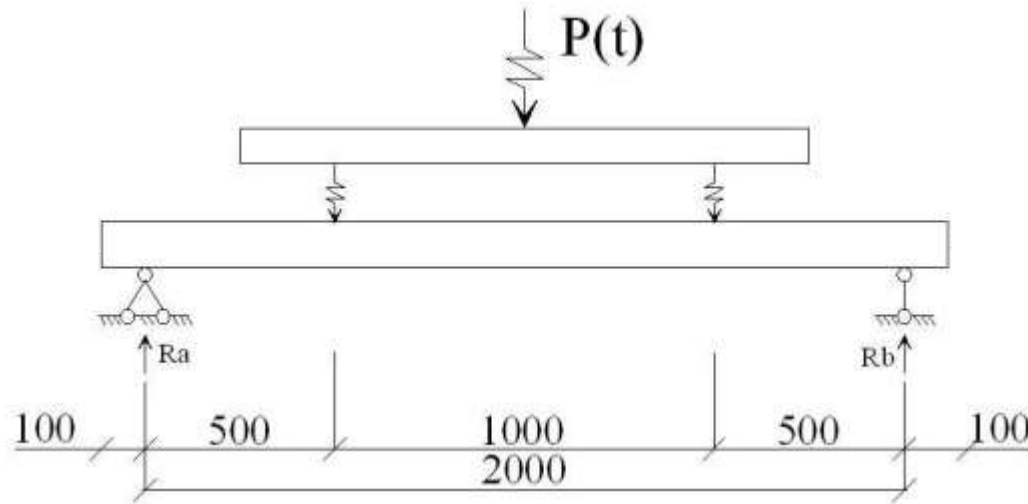
Предел прочности на осевое сжатие $39,5$ МПа

Коэффициент Пуассона $\nu = 0,2$.

Предел прочности при растяжении $2,9$ МПа

Плотность $\rho = 2400$ кг/м³.

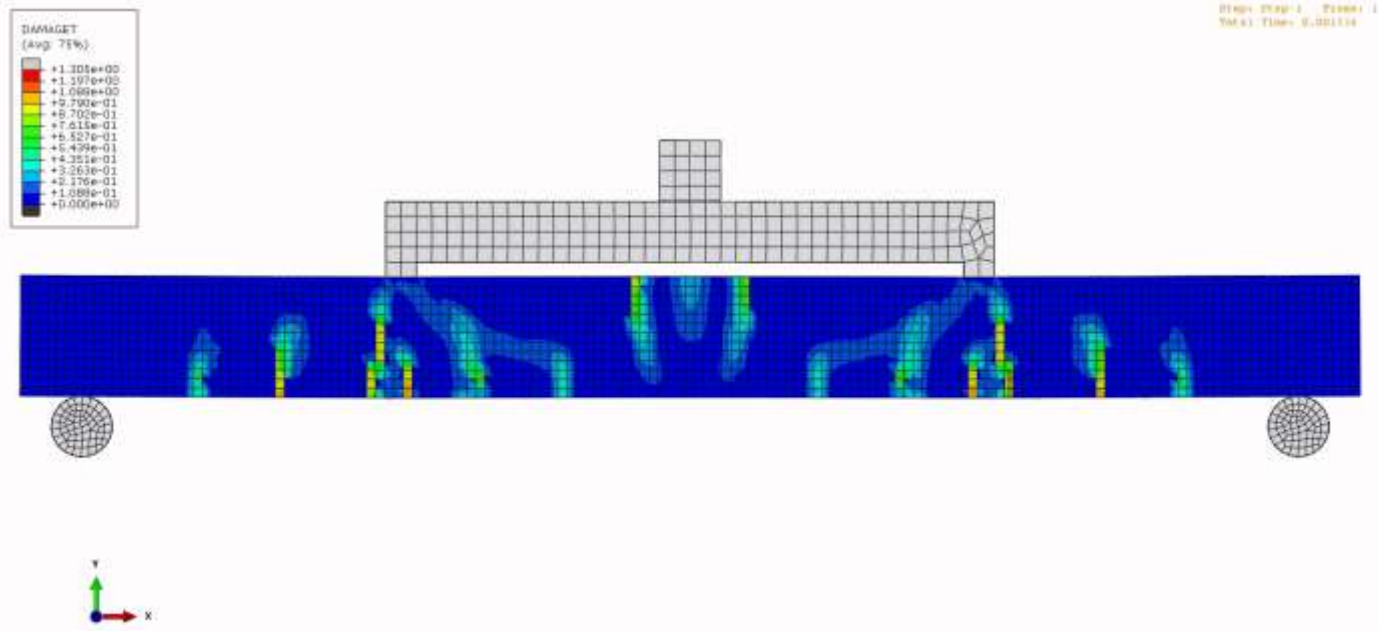
Схема модели



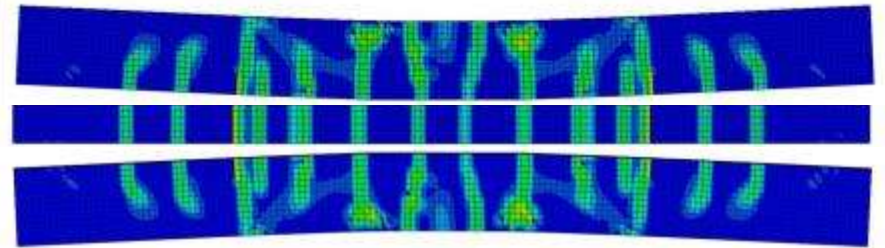
$V = 3.285 \text{ м/с}$
 $m = 380 \text{ кг}$

Запрет всех перемещений

Анимация удара с диаграммой повреждённости

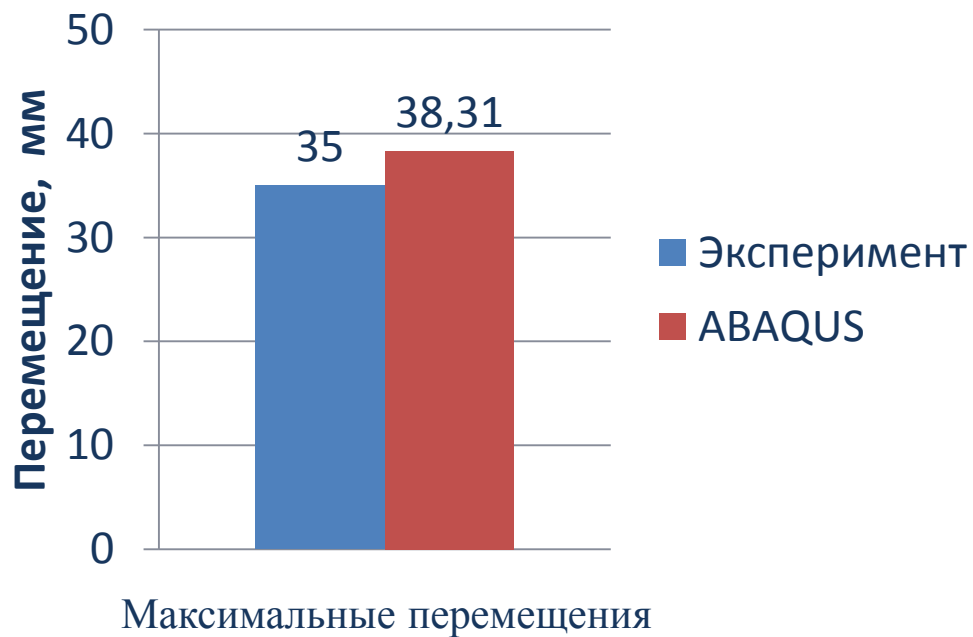
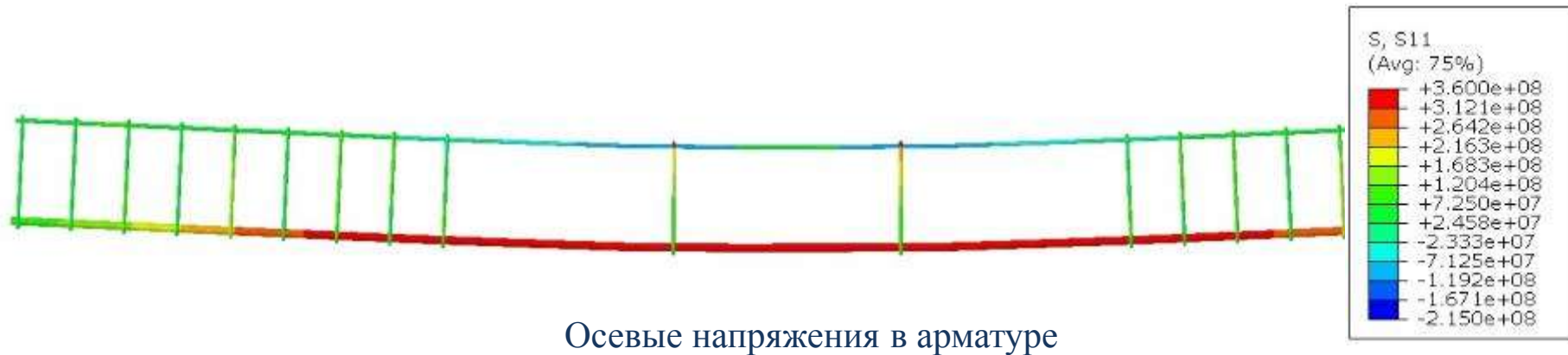


Эксперимент



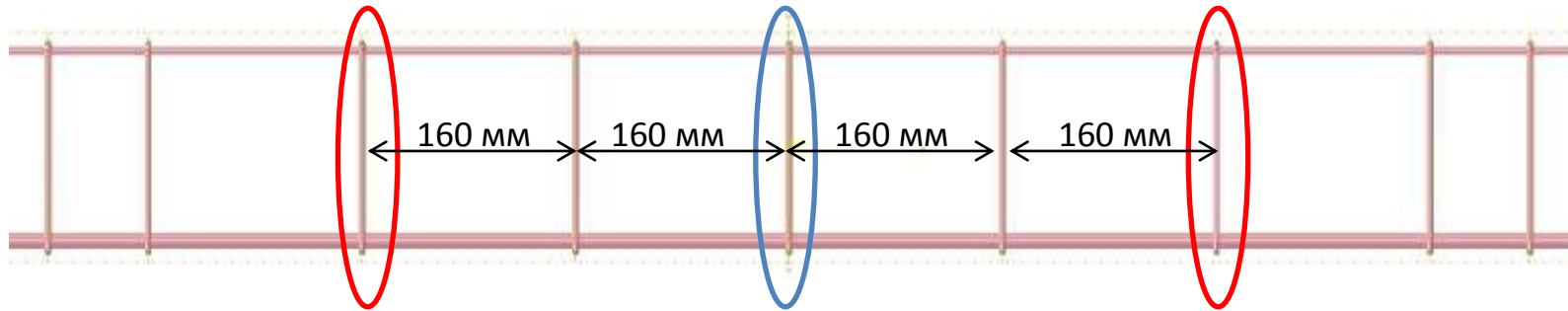
ABAQUS

Максимальные перемещения



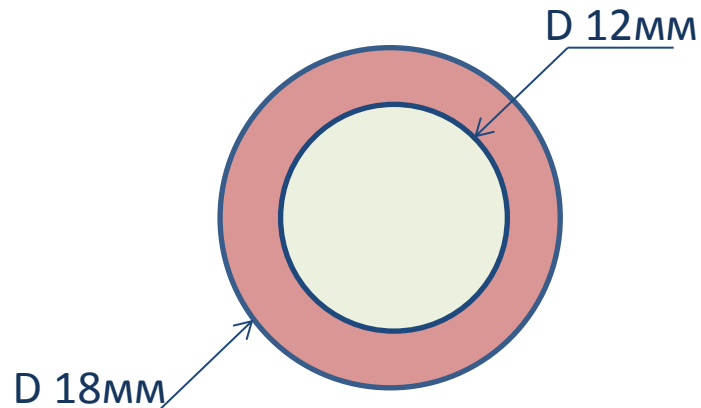
Изменение в конструкции балки

Добавление поперечной арматуры

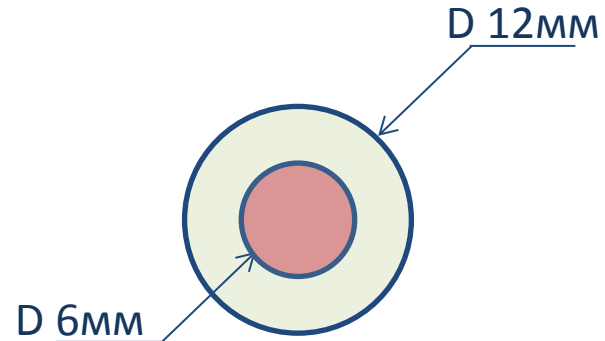


a
b
c = a + b

Изменение диаметра арматуры



Увеличение диаметра верхней арматуры



Увеличение диаметра нижней арматуры

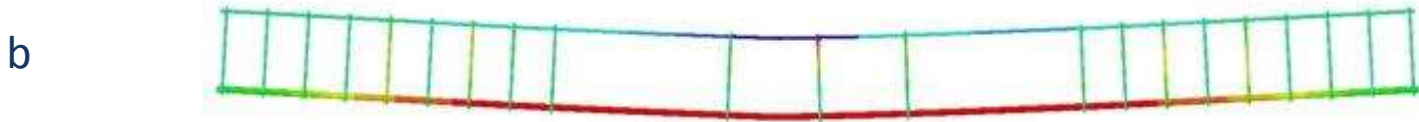
Бетонная балка без арматуры

Осевые напряжения в арматуре

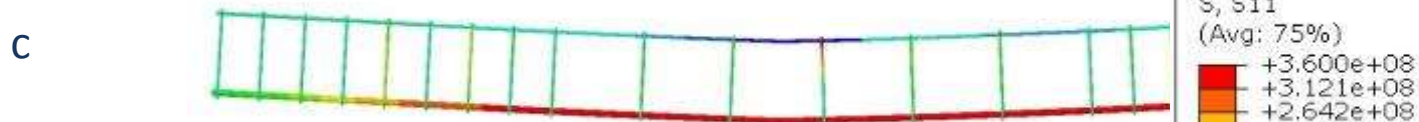
Максимальное
перемещение



47,6 мм

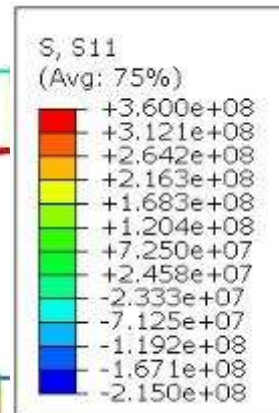


46,6 мм



47 мм

Добавленная поперечная арматура



нижняя
арматура



19,36 мм

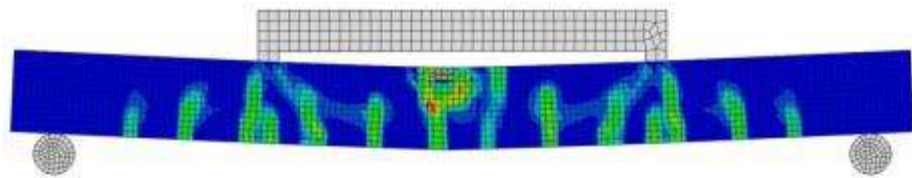
верхняя
арматура



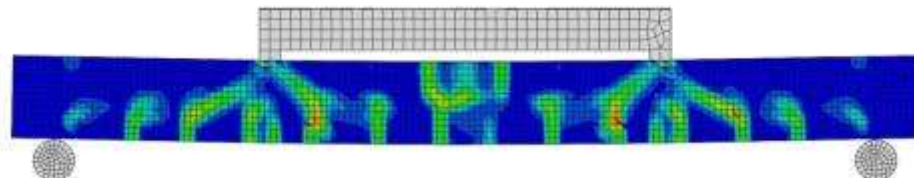
37,23 мм

Увеличенный диаметр арматуры

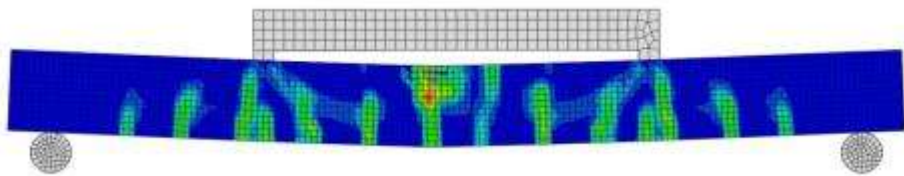
Диаграммы повреждённости



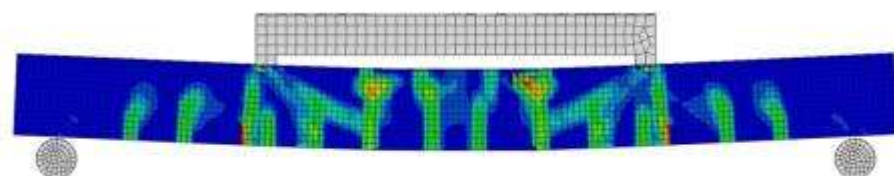
a



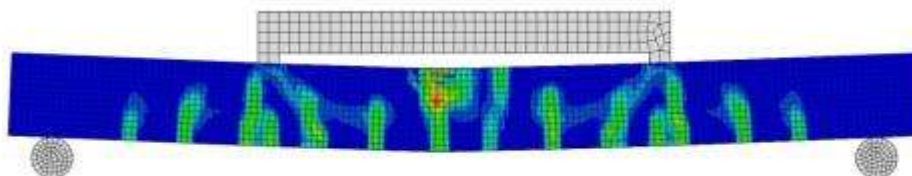
Нижняя арматура



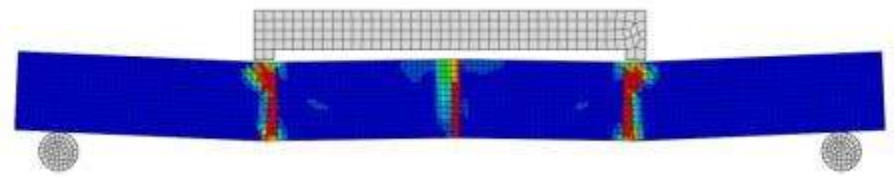
b



Верхняя арматура



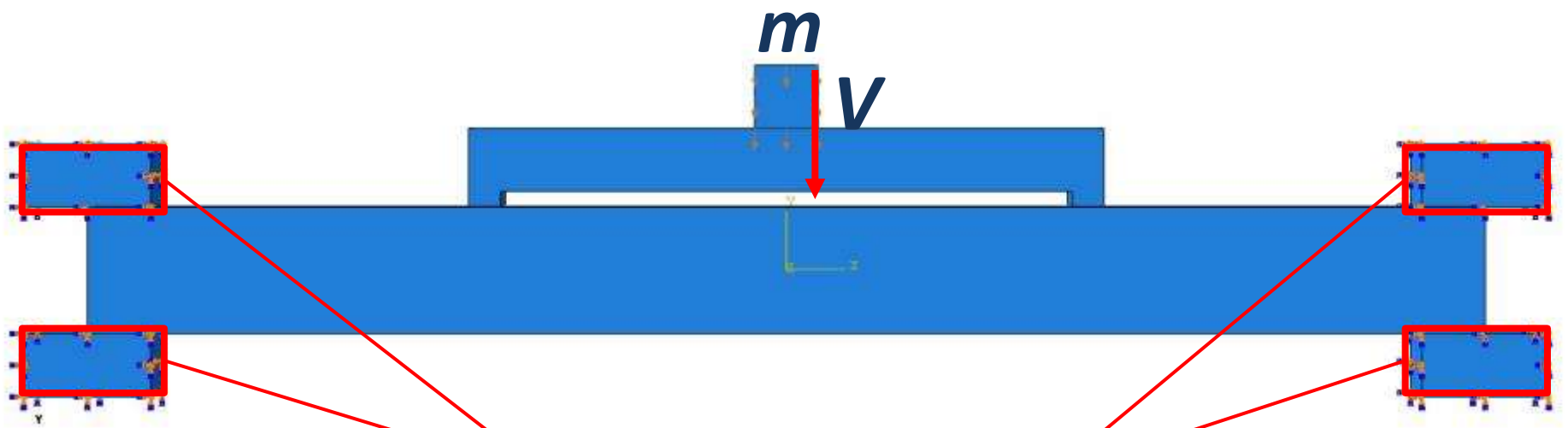
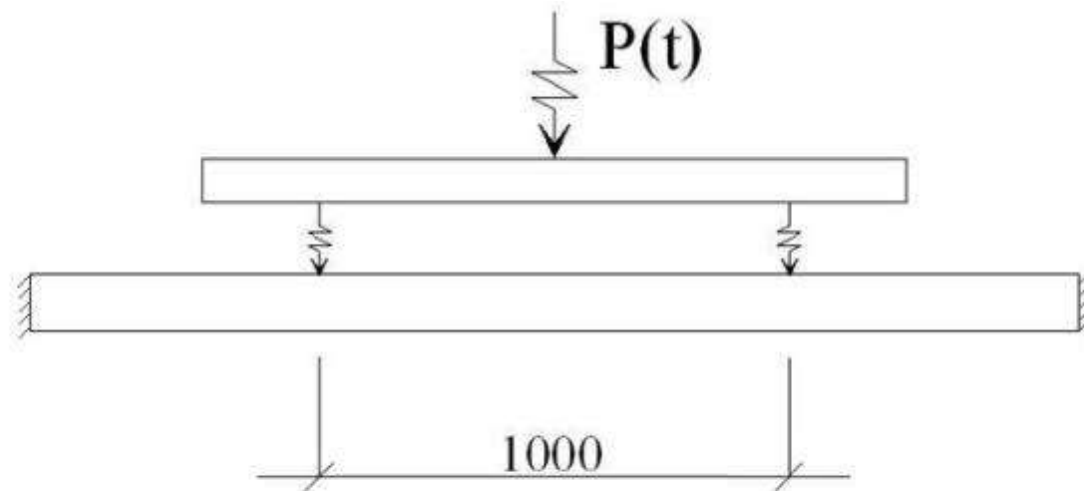
c



Балка без армирования

Добавленная поперечная арматура

Балка, заделанная с двух концов



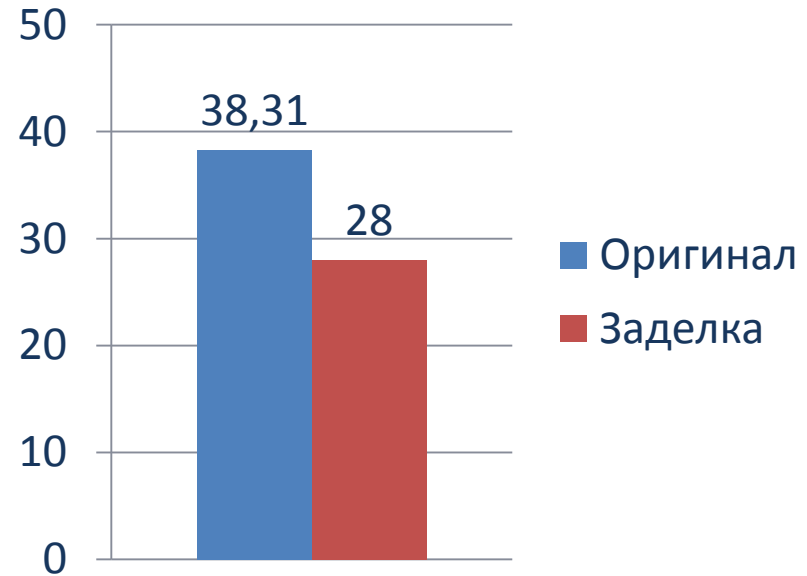
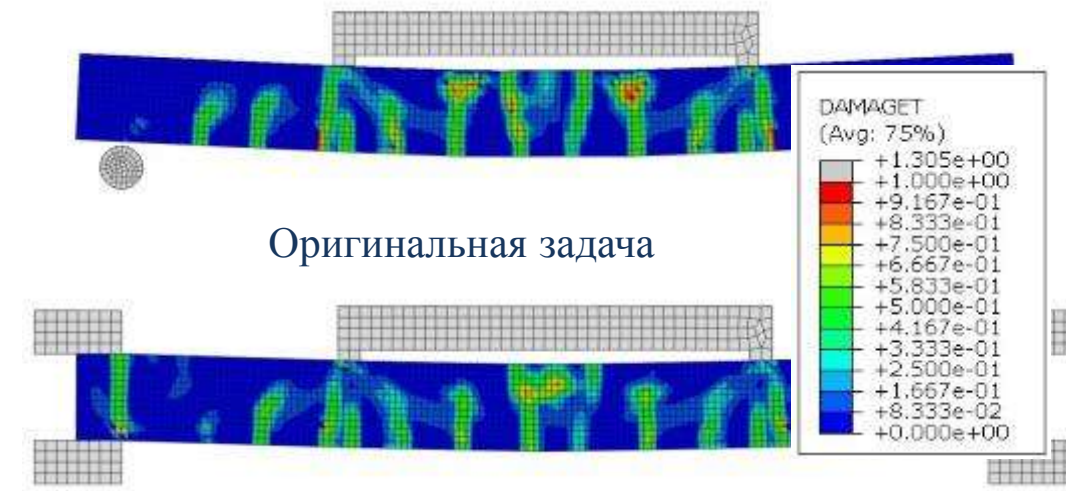
Запрет всех перемещений

Результаты и сравнение с оригинальной задачей

Осевые напряжения в арматуре



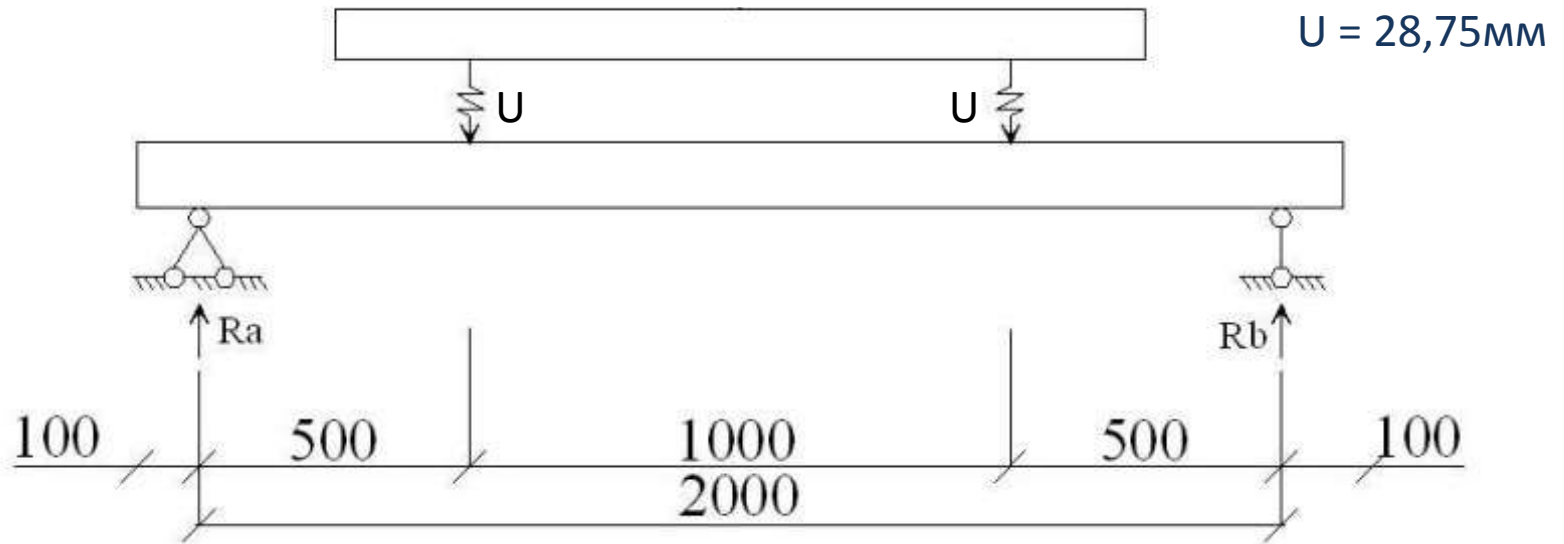
Диаграммы повреждённости



Зафиксированная балка

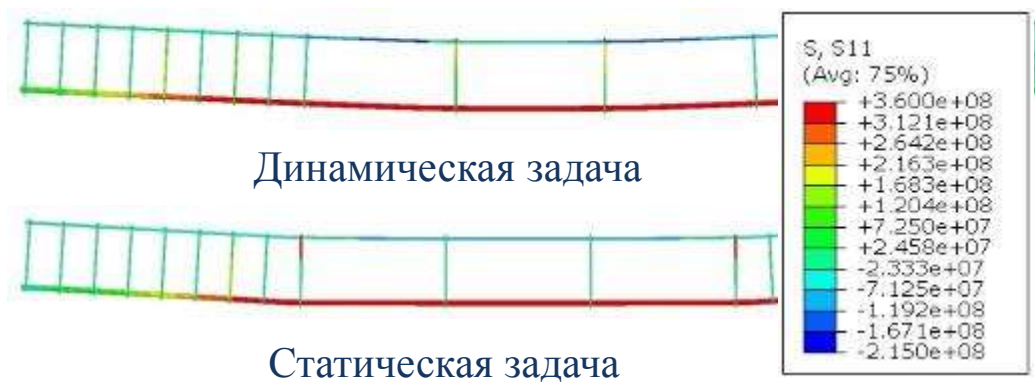
Статическая задача

Схема приложения статической нагрузки

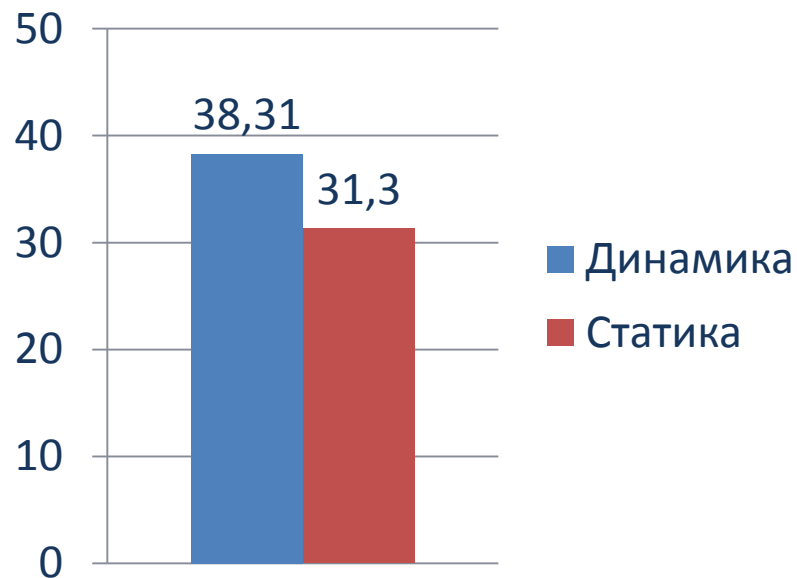
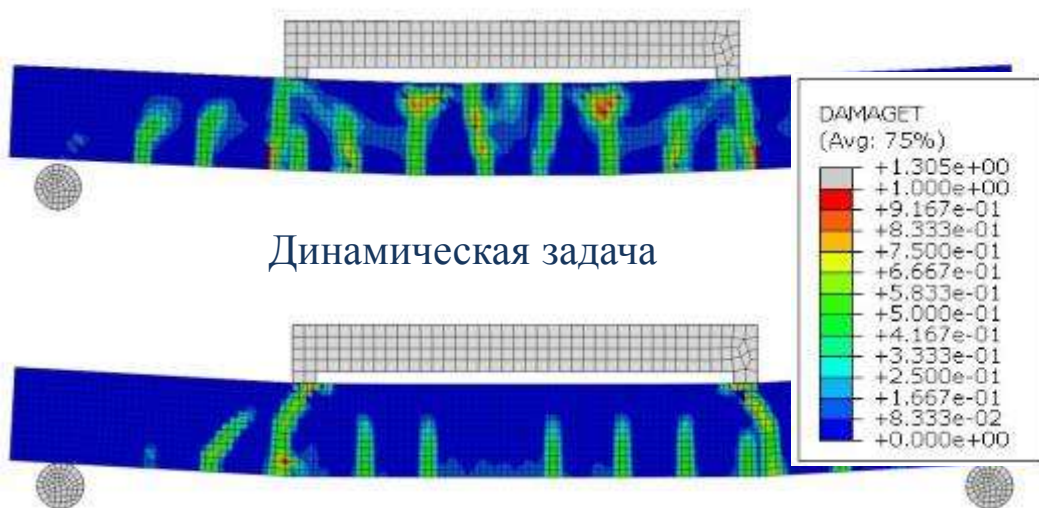


Результаты и сравнение с динамической задачей

Осевые напряжения в арматуре

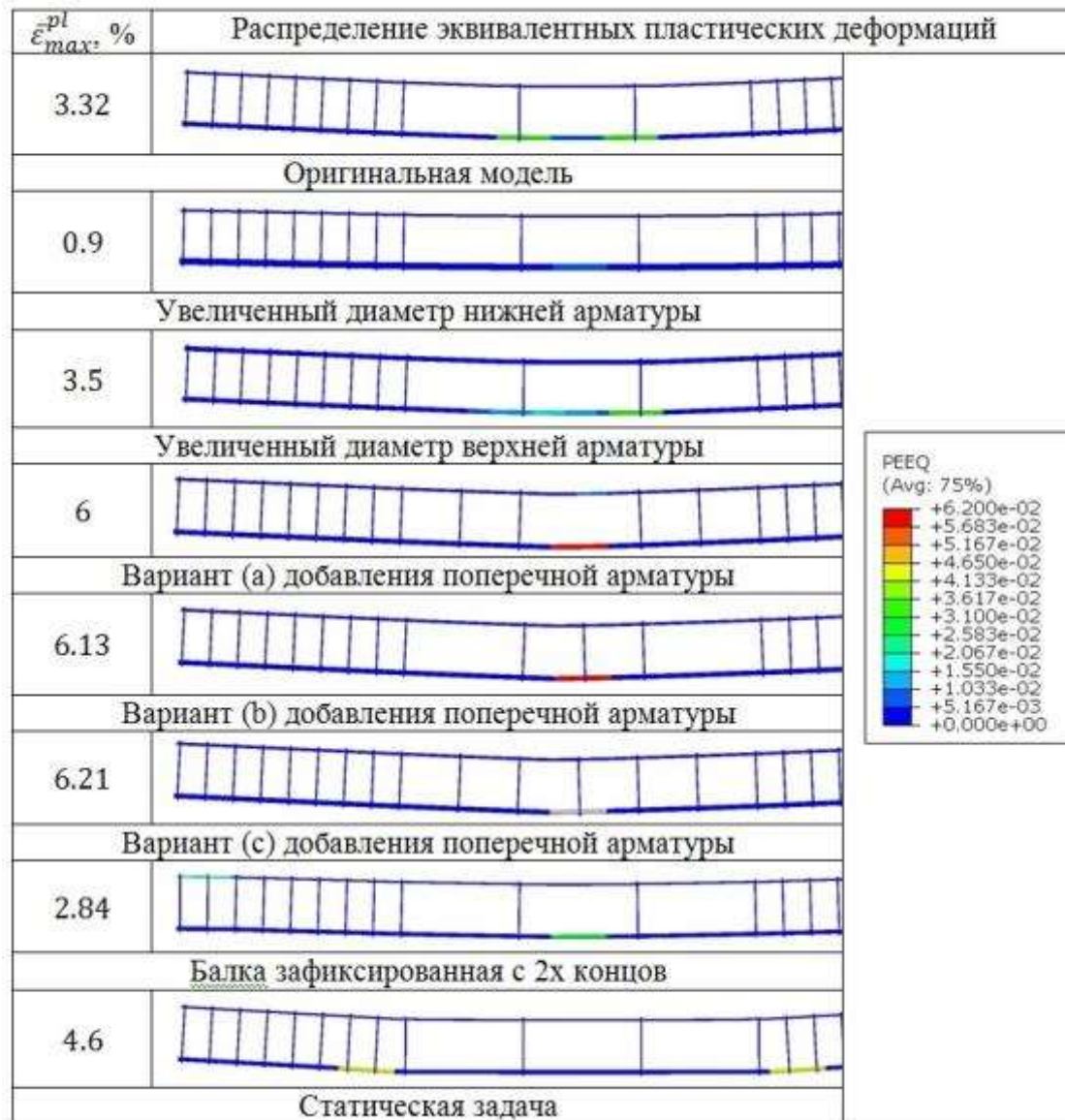


Диаграммы повреждённости

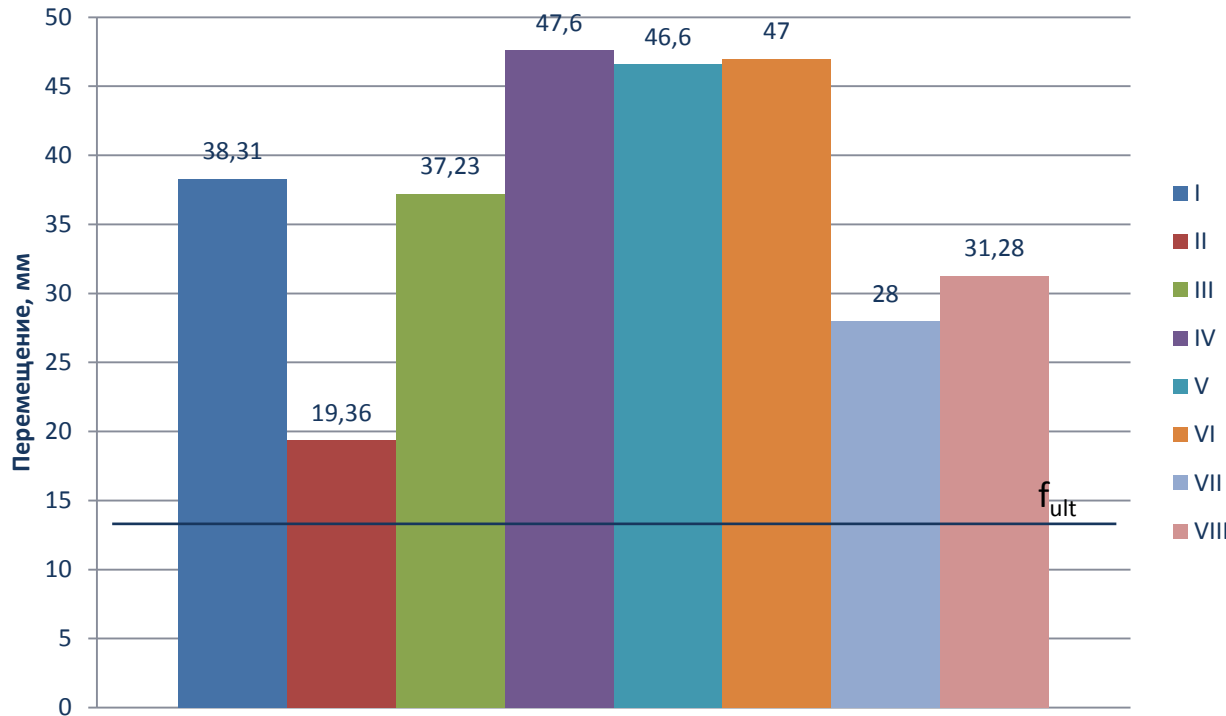


Статическая задача

Сравнение деформаций арматуры



Максимальные перемещения



$f_{ult} = 13.3\text{мм}$

I – Оригинальная задача

II – Увеличенный диаметр нижней арматуры

III – Увеличенный диаметр верхней арматуры

IV – Вариант (а) добавления поперечной арматуры

V – Вариант (b) добавления поперечной арматуры

VI – Вариант (c) добавления поперечной арматуры

VII – Балка заделанная с двух концов

VIII – Статическая задача

Выводы

- Моделирования железобетонной балки с помощью МКЭ в программе Abaqus имеет хорошее приближение к результатам эксперимента.
- Были смоделированы различные варианты армирования балки. Результаты сравнены с оригинальной моделью.
- В статической задаче наблюдается разница в напряжениях верхней арматуры. Так же присутствует отличие в образовании трещин.