



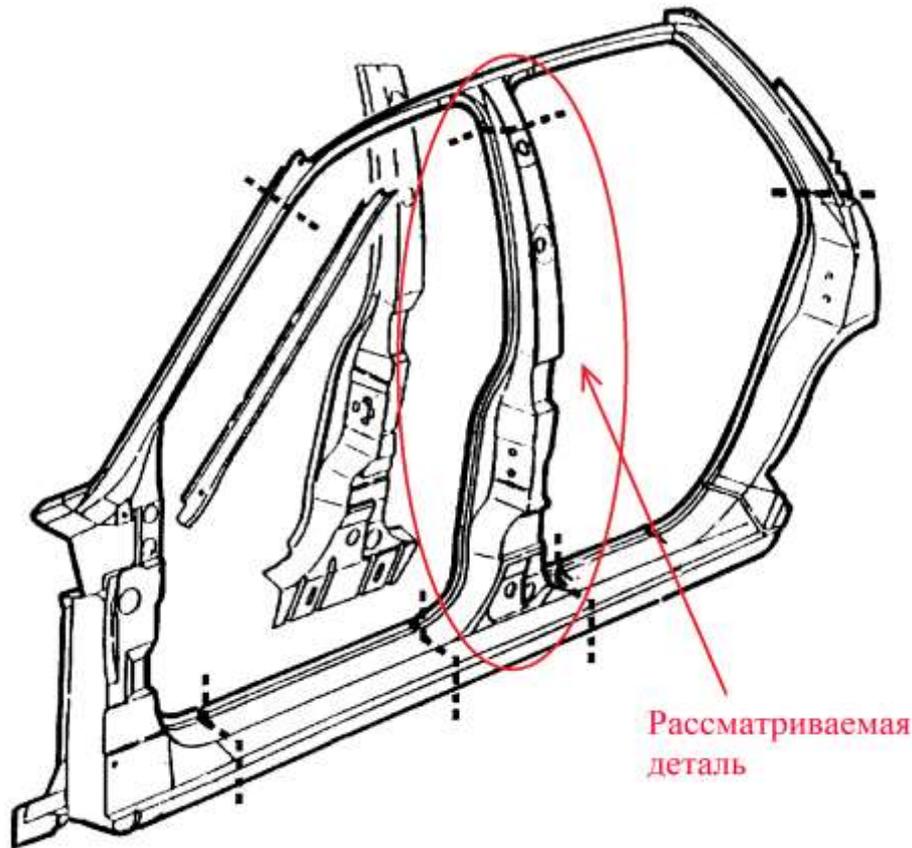
Конечно элементное моделирование и исследование конструкции центральной стойки автомобиля, оптимизация формы сечения

Студент : Тамм А. Ю.
гр. 4055/1
Руководитель : Боровков А. И.
Ассистент : Клявин О. И.

СОДЕРЖАНИЕ

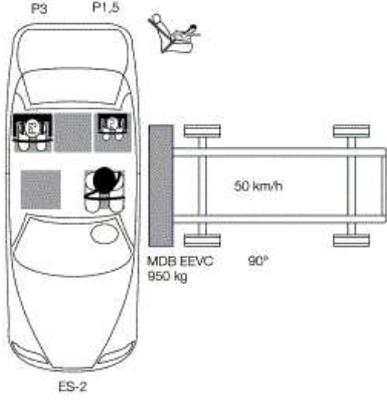
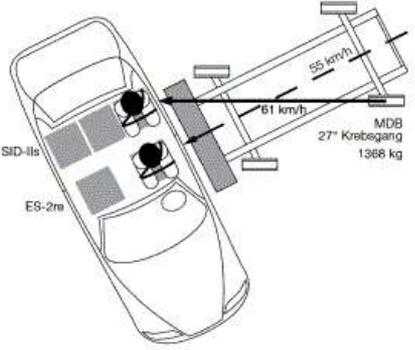
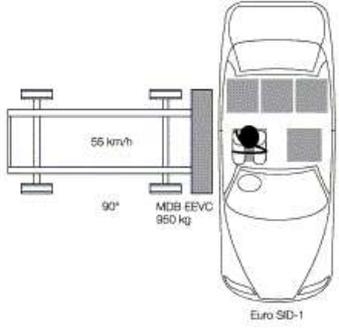
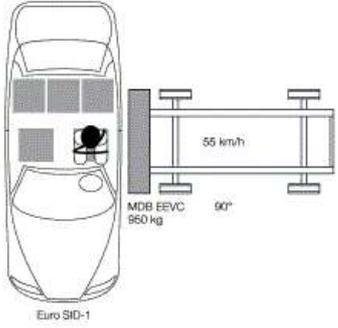
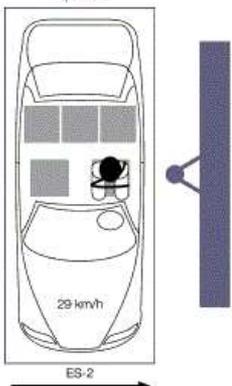
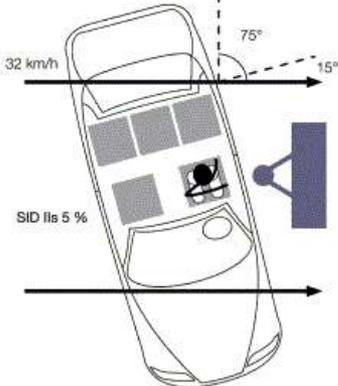
ВВЕДЕНИЕ _____	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ _____	8
1.1 МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ БОКОВЫХ КРАШ-ТЕСТОВ _____	8
1.2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ _____	9
ГЛАВА 2. ВЫБОР МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕОМЕТРИИ ЭКСПЕРИМЕНТА _____	10
2.1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ _____	10
2.2 АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ (БЕЗ УЧЕТА ПЛАСТИЧНОСТИ) _____	10
2.2.1 РАСЧЕТНАЯ СХЕМА _____	10
2.2.2 ВЫВОД ПРИБЛИЖЕННОГО УРАВНЕНИЯ УПРУГОЙ ОСИ БАЛКИ _____	11
2.2.3 ВЫЧИСЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ПРОГИБА В ТОЧКЕ ПРИЛОЖЕНИЯ СИЛЫ _____	14
2.3 КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕСТОВОЙ ЗАДАЧИ _____	15
2.3.2 ОБОЛОЧЕЧНАЯ РАСЧЕТНАЯ СХЕМА _____	17
2.3.3 РАСЧЕТНАЯ СХЕМА В ВИДЕ ДЕФОРМИРУЕМОГО ТЕЛА ЗАДАННОЙ ФОРМЫ В ПРОСТРАНСТВЕ _____	19
2.4 СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕСТОВОЙ ЗАДАЧИ В РАЗЛИЧНЫХ ПОСТАНОВКАХ И ВЫБОР МЕТОДА ДЛЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА _____	21
ГЛАВА 3. КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА _____	22
3.1. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА _____	22
3.2. ВВЕДЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРЯЖЕНИЙ _____	24
3.3. РЕЗУЛЬТАТЫ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА _____	28
ГЛАВА 4. ВЫБОР ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ БАЛКИ _____	37
4.1 КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЛКИ СПЕЦИАЛЬНОЙ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ _____	37
4.2 КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЛКИ СПЕЦИАЛЬНОЙ ФОРМЫ СЕЧЕНИЯ С УСИЛЕННОЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТЬЮ _____	45
ЗАКЛЮЧЕНИЕ _____	51

Цель работы



- Оценить методом конечных элементов деформацию центральной стойки при боковом ударе.
- Выбрать форму сечения балки, для наиболее эффективного энергопоглощения и деформации соответствующей стандарту (максимальная глубина проникновения при ударе с нагрузкой в четыре массы автомобиля не должно превысить 120 мм).

Типы боковых краш-тестов

Euro NCAP 	US NCAP 	JNCAP 	KNCAP 
 <p> Diagram of Euro NCAP side impact test. A car is shown from a top-down perspective. A side impactor (MDB EEVC, 950 kg) moves horizontally at 50 km/h towards the driver's side. The impactor is positioned 90 degrees to the car's longitudinal axis. Occupant positions are labeled P9 and P1,5. The test is labeled ES-2. </p>	 <p> Diagram of US NCAP side impact test. A car is shown from a top-down perspective. A side impactor (MDB, 1366 kg) moves at 55 km/h towards the driver's side. The impactor is angled at 27 degrees (Kreuzgang) relative to the car's longitudinal axis. Occupant positions are labeled ES-2re and SID-lls. </p>	 <p> Diagram of JNCAP side impact test. A car is shown from a top-down perspective. A side impactor (MDB EEVC, 950 kg) moves horizontally at 55 km/h towards the driver's side. The impactor is positioned 90 degrees to the car's longitudinal axis. The test is labeled Euro SID-1. </p>	 <p> Diagram of KNCAP side impact test. A car is shown from a top-down perspective. A side impactor (MDB EEVC, 950 kg) moves horizontally at 55 km/h towards the driver's side. The impactor is positioned 90 degrees to the car's longitudinal axis. The test is labeled Euro SID-1. </p>
 <p> Diagram of Euro NCAP optional side impact test. A car is shown from a top-down perspective. A side impactor moves horizontally at 29 km/h towards the driver's side. The test is labeled ES-2 and optional. </p>	 <p> Diagram of US NCAP 5% side impact test. A car is shown from a top-down perspective. A side impactor moves horizontally at 32 km/h towards the driver's side. The impactor is angled at 75 degrees relative to the car's longitudinal axis. The test is labeled SID IIs 5%. </p>		

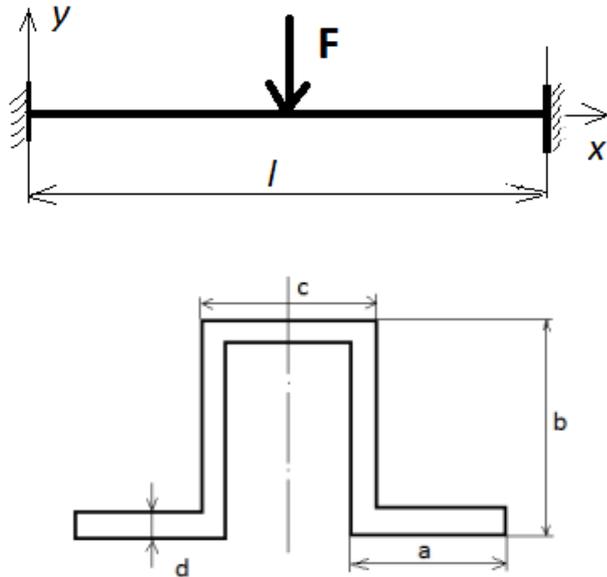


Постановка задачи для исследования в пакете численного моделирования ABAQUS

- Рассматривается задача о трехточечном изгибе балки,
- задача решается аналитически и численно при помощи пакета ABAQUS,
- производится выбор метода представления геометрии балки для расчета,
- моделируются условия эксперимента [1] выбранным в предыдущем пункте методом,
- проводится сравнение результатов,
- находится форма сечения позволяющая использовать более дешевую сталь при той же максимальной нагрузке,
- исследуется влияние усиления центральной секции на максимальную нагрузку.

Выбор КЭ постановки для моделирования эксперимента

Расчетная схема:



- Балка имеет представленное сечение
- Сила приложена к середине балки
- На обеих сторонах балки условия заделки
- Параметры балки:

$$a=70\text{мм}$$

$$b=70\text{мм}$$

$$c=80\text{мм}$$

$$d=1.2\text{мм}$$

$$l=1\text{м}$$

Свойства материала:

Материал : сталь EN14

Плотность : 7859 кг/м³

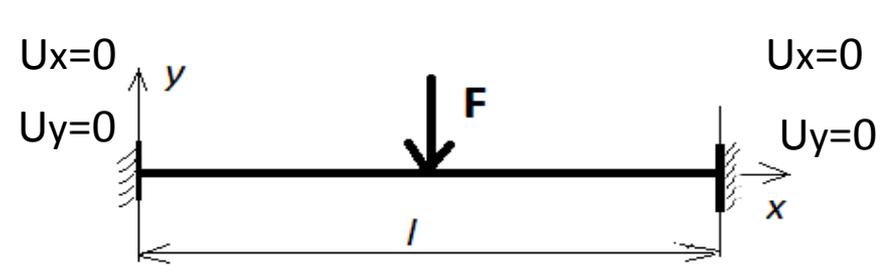
E модуль Юнга : 2.1e11 Па

ν коэффициент Пуассона : 0.28

На этом этапе рассматривалась только упругая деформация, однако при дальнейшем моделировании эксперимента учитывалась пластичность материала.

Аналитическое решение тестовой задачи (без учета пластичности)

Рассматривается статическая задача, без учета пластичности материала.



Уравнение: $\frac{F}{2}x - F(x - \frac{l}{2})$

Решение: $\delta\left(\frac{l}{2}\right) = y\left(\frac{l}{2}\right) = \frac{Fl^3}{48EI_z}$

$F=10\text{кН};$
 $l=1\text{м};$
 $E=2.1e11 \text{ Па}$
 $I_z=6.278e10^{-7}\text{м}^4$

$\theta|_{x=0} = 0; \theta|_{x=l} = 0$

Прогиб в точке приложения силы: $\delta\left(\frac{l}{2}\right) \approx 1.58\text{мм}$

Решение с помощью пакета конечно элементного моделирования ABAQUS

Используемые модели:

- Балка с заданным сечением в пространстве (Beam).
- Поверхность с заданной толщиной и формой в пространстве (Shell).
- Деформируемое тело заданной формы в пространстве (Solid).

В моделях Shell и Solid нагрузка рассматривалась как распределенная по малой площадке.

Сравнение результатов конечно-элементного моделирования тестовой задачи в различных постановках задачи

Тип постановки задачи	3D-Beam	3D-Shell	3D-Solid
Численный	1.77	1.51	1.67
Аналитический	1.58		
Ошибка в %	12.03	4.4	5.7

1) В общем случае при правильном выборе параметров КЭ и сетки, предпочтительнее использовать модель 3D-Solid, однако при малых толщинах, целесообразнее применить модель пластины, т.к. при разбиении и расчете тонкого сечения в случае 3D-Solid точность уменьшается.

2) Из-за сосредоточенности нагрузки, целесообразно решать контактную задачу, также необходимо учесть пластичность материала и динамичность задачи.

3) Таким образом, для моделирования эксперимента был выбран метод оболочечной постановки задачи в условиях контактного взаимодействия с учетом пластичных свойств материала и динамической постановкой задачи.

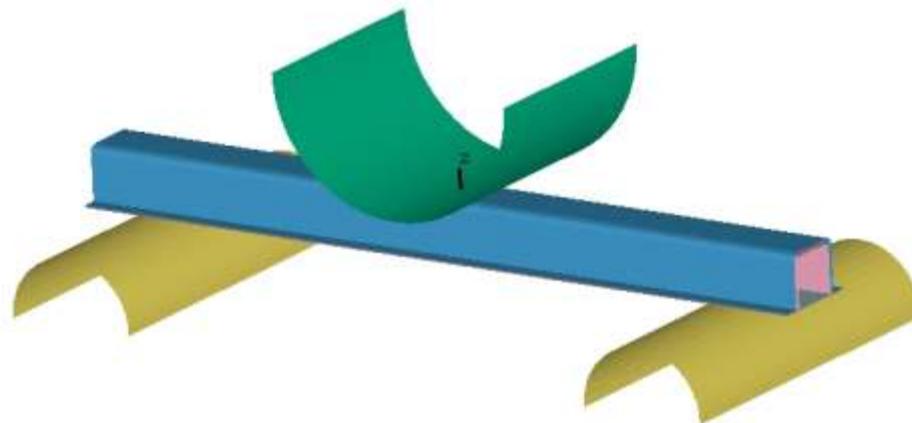
В случае низкой скорости нагружения целесообразно рассмотреть квазистатическую постановку задачи.

Описание эксперимента

Форма сечения:



Расчетная схема:

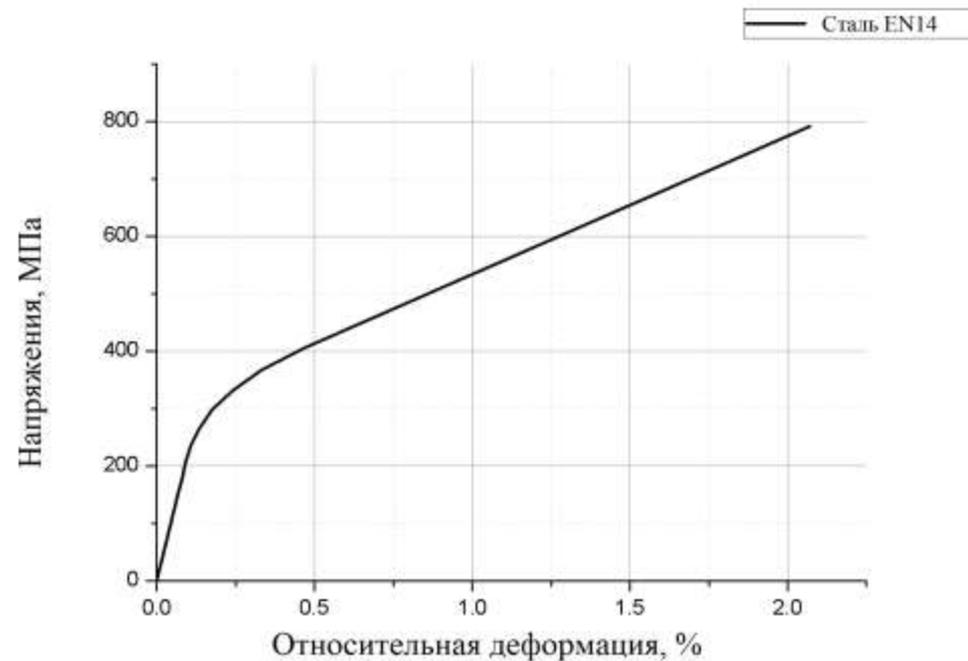


В процессе исследования было проведено моделирование эксперимента из статьи [1] для стали *EN14* и толщины внутренней и центральной секции 2 мм, а внешней – 1 мм.

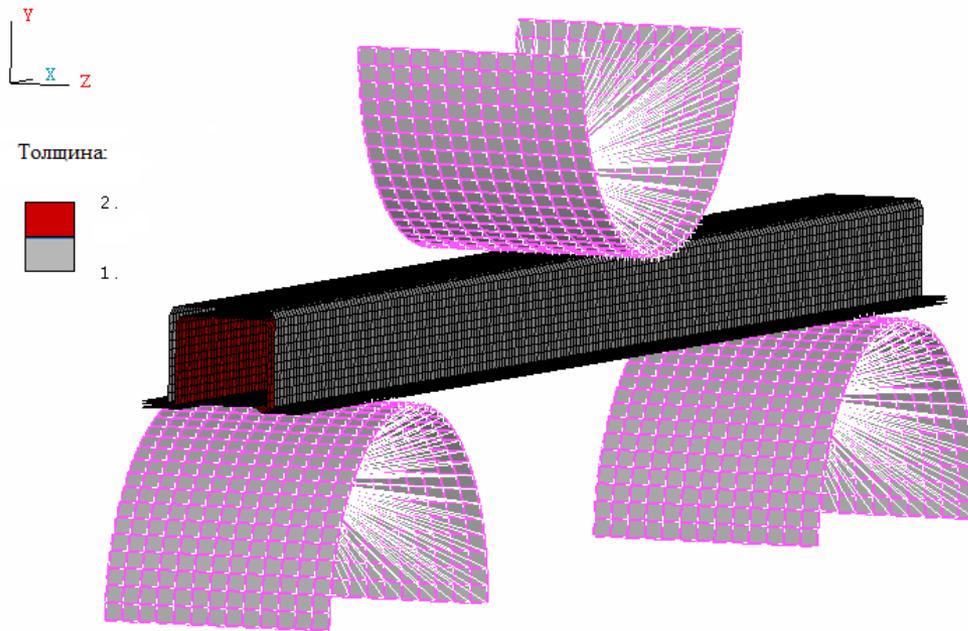
Свойства исследуемого материала:

Материал	: EN 14
Плотность	: 7859 кг/м ³
E модуль Юнга	: 2.07e11 Па
ν коэффициент Пуассона	: 0.28

При моделировании эксперимента использовалась модель упруго-пластичного материала, с пластичностью не зависящей от скорости, т.к. скорость нагружения мала (10 мм/с) и оболочечная постановка задачи. Задача решалась в контактной постановке. Инденетер и опоры представлены абсолютно твердыми поверхностями.



Используемая модель:

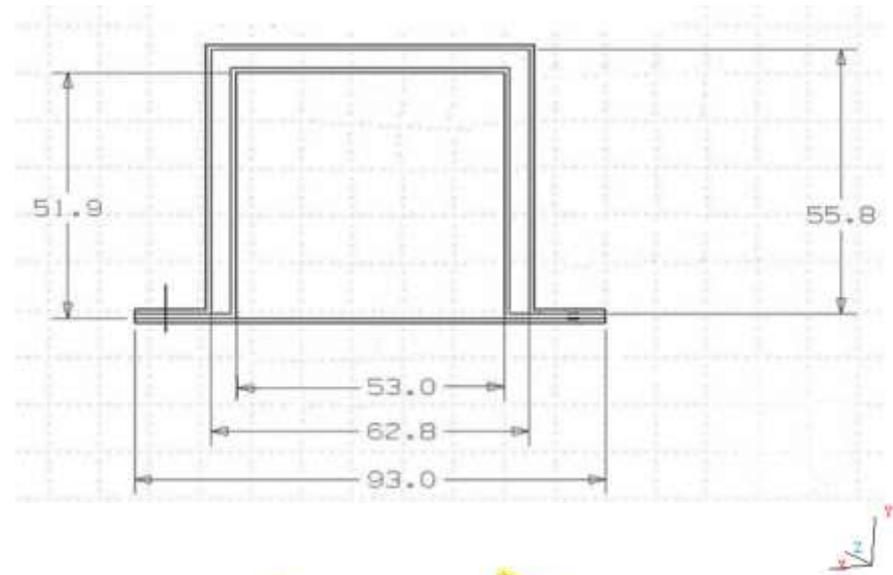


Балка представлена в виде центральных поверхностей трех секций. Поверхности трех составляющих балки связаны друг с другом в области касания.

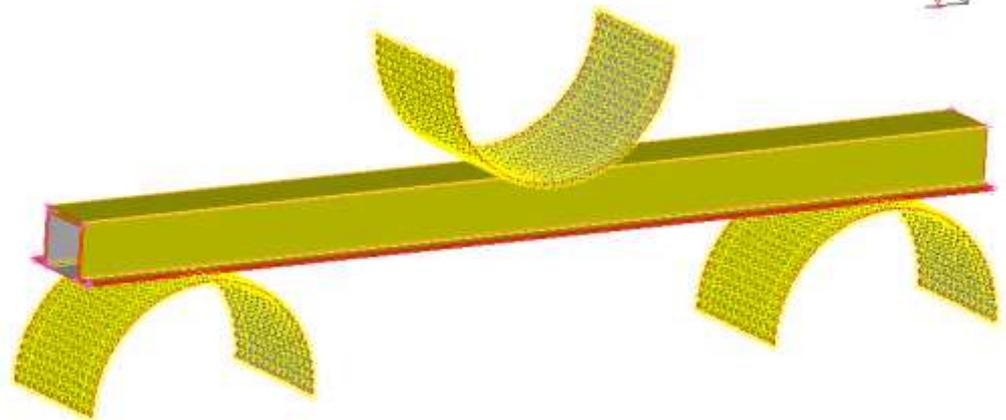
- Тип КЭ – S4R, (четырёх узловой оболочечный элемент с уменьшенным интегрированием), для индентера и опор использовался SFM3D4R (трехмерный поверхностный четырех узловой элемент с уменьшенным интегрированием)
- Размер КЭ ~ 5мм
- Число КЭ – 24753
- Число узлов – 25467
- Нагрузка : задана в виде граничного условия типа «скорость» (velocity) – -10мм/с (Приложена к опорному узлу индентера).
- Общее число переменных в задаче – 141858
- Шаг интегрирования по времени: 1.5E-5 с
- Временной интервал: 8.5 с
- Шаг записи результатов по времени: 5.0E-2

Модель балки без учета скруглений

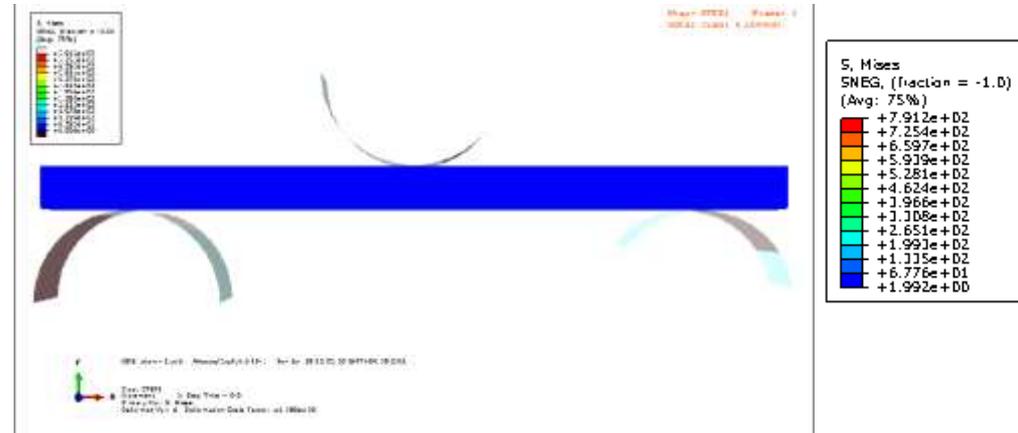
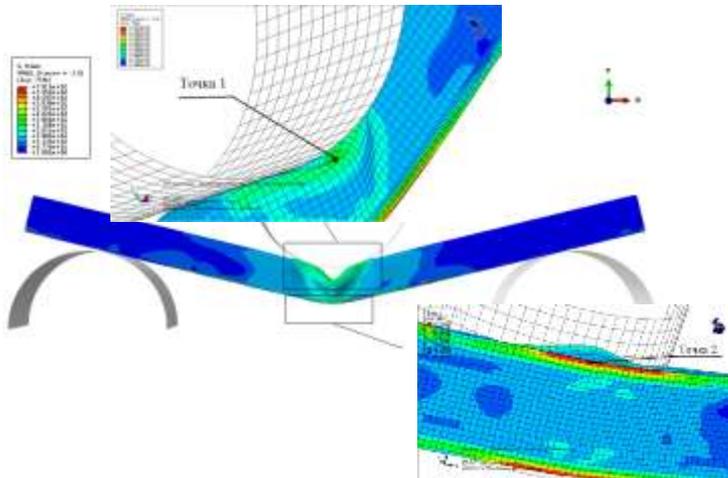
Сечение:



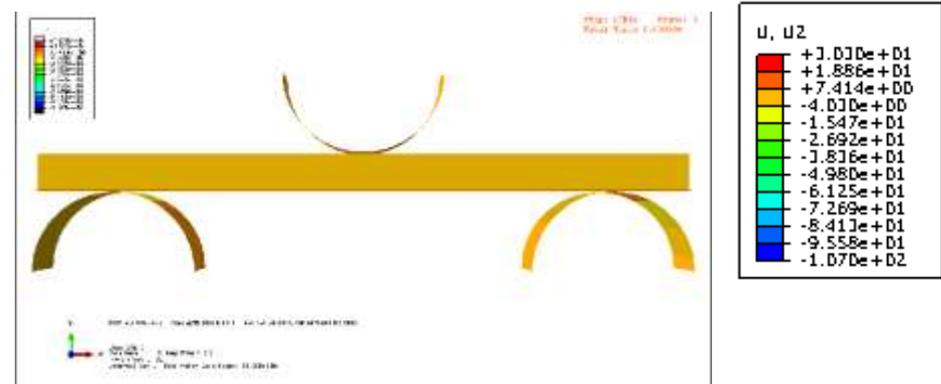
Общий вид расчетной
схемы:

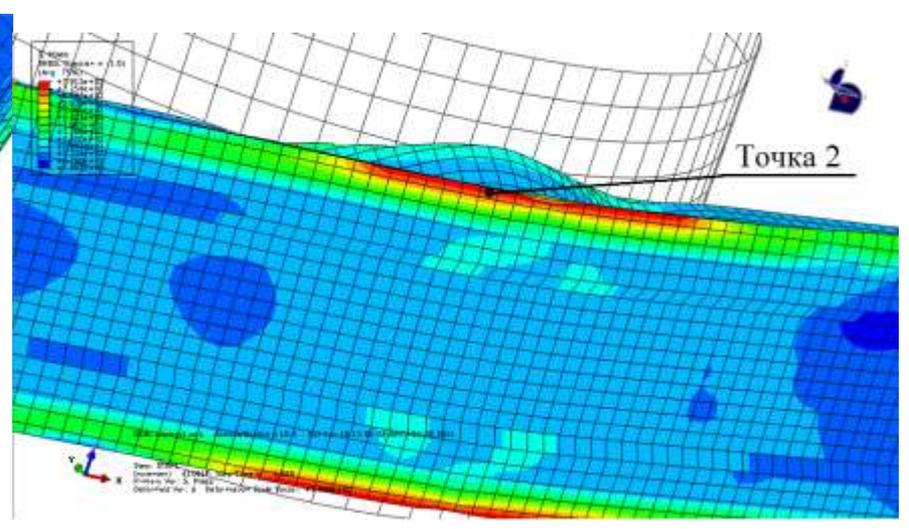
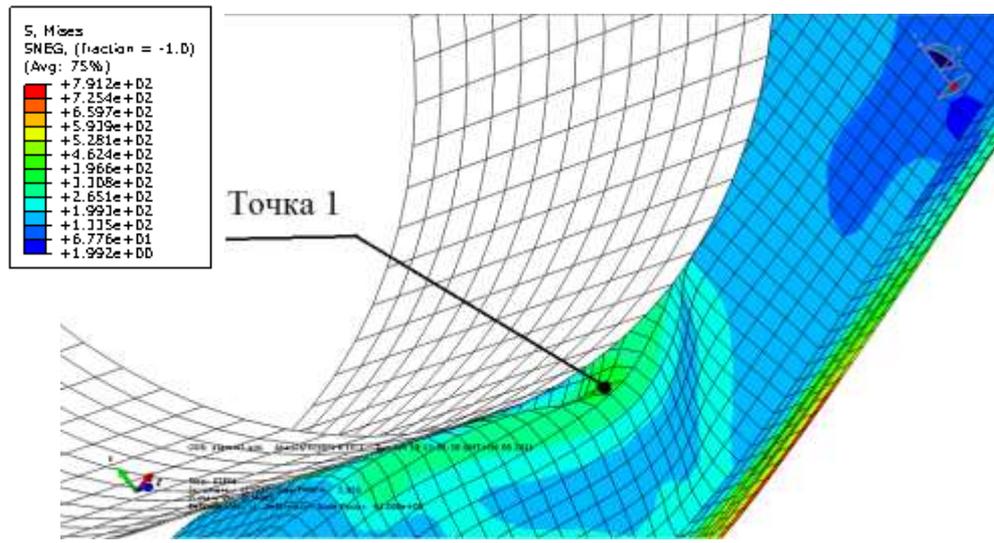


Распределение интенсивности напряжений:

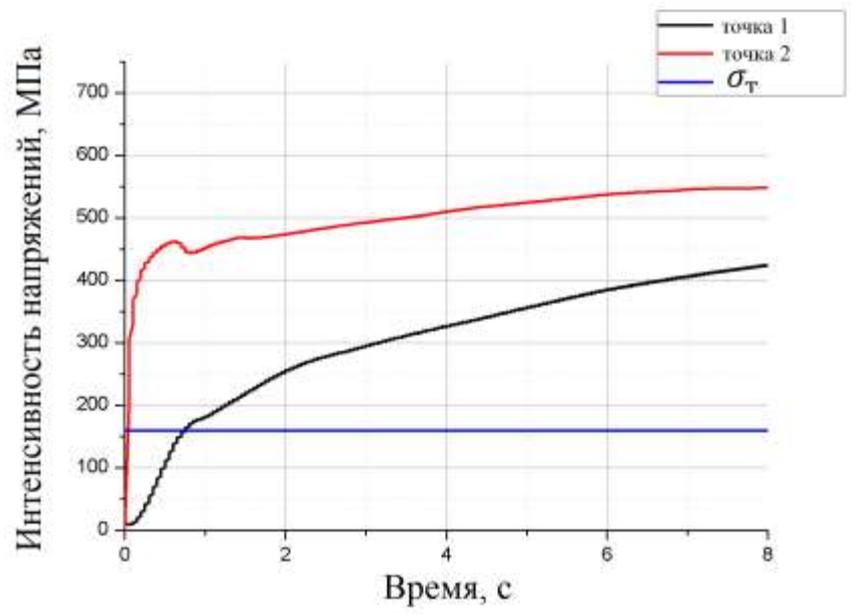


Распределение перемещений вдоль оси y:



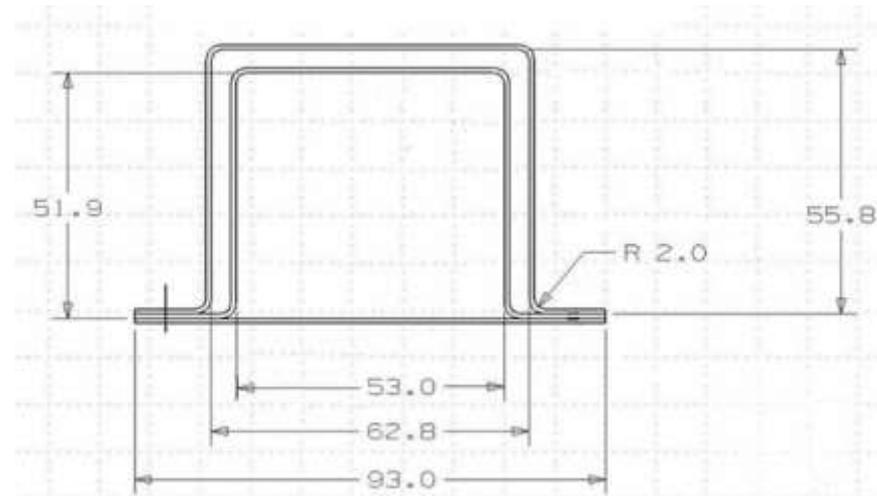


- Положения точек с наибольшей интенсивностью напряжений.
- Сравнение интенсивности напряжений в точках с наибольшей интенсивностью напряжений с пределом текучести.

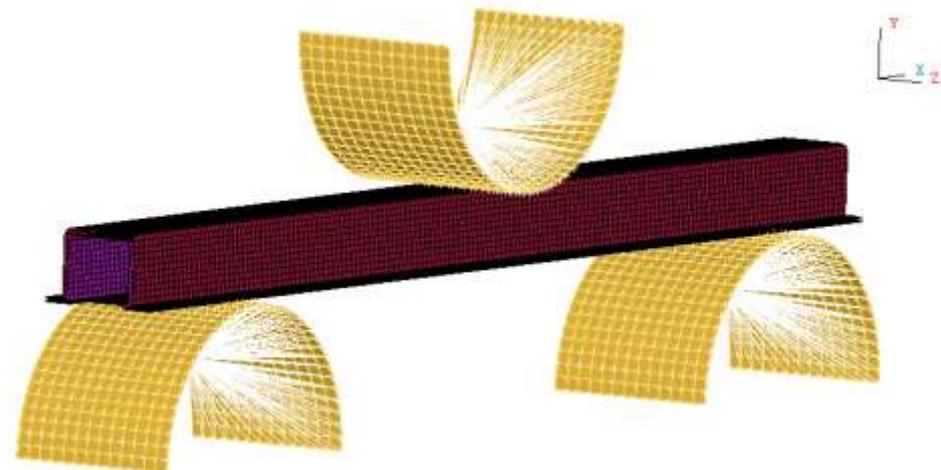


Модель балки с учетом скруглений

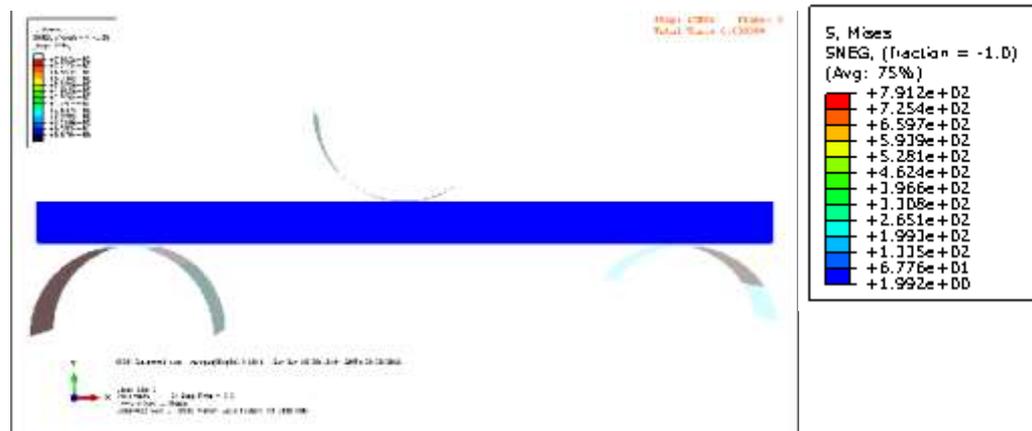
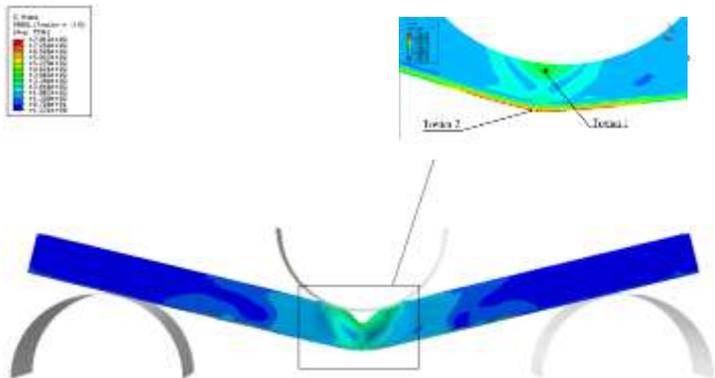
Сечение:



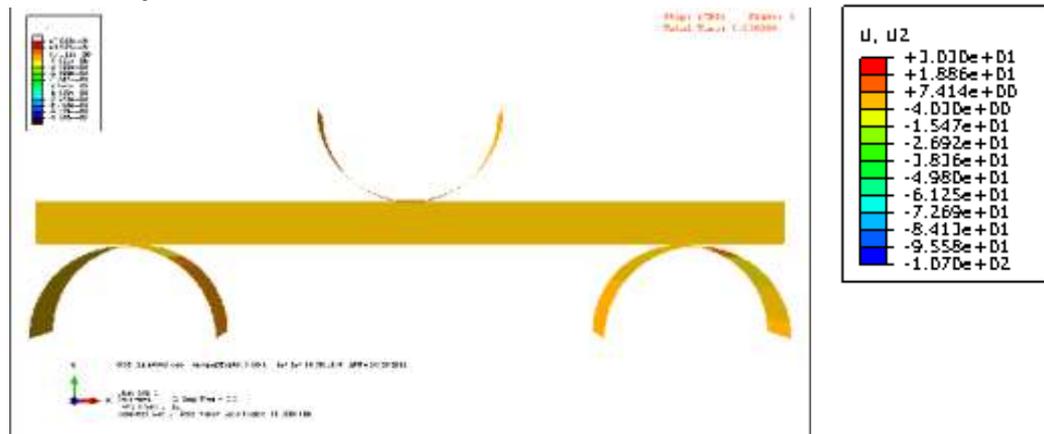
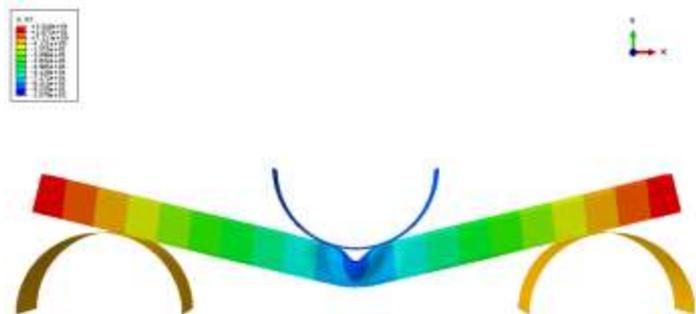
Общий вид расчетной
схемы:

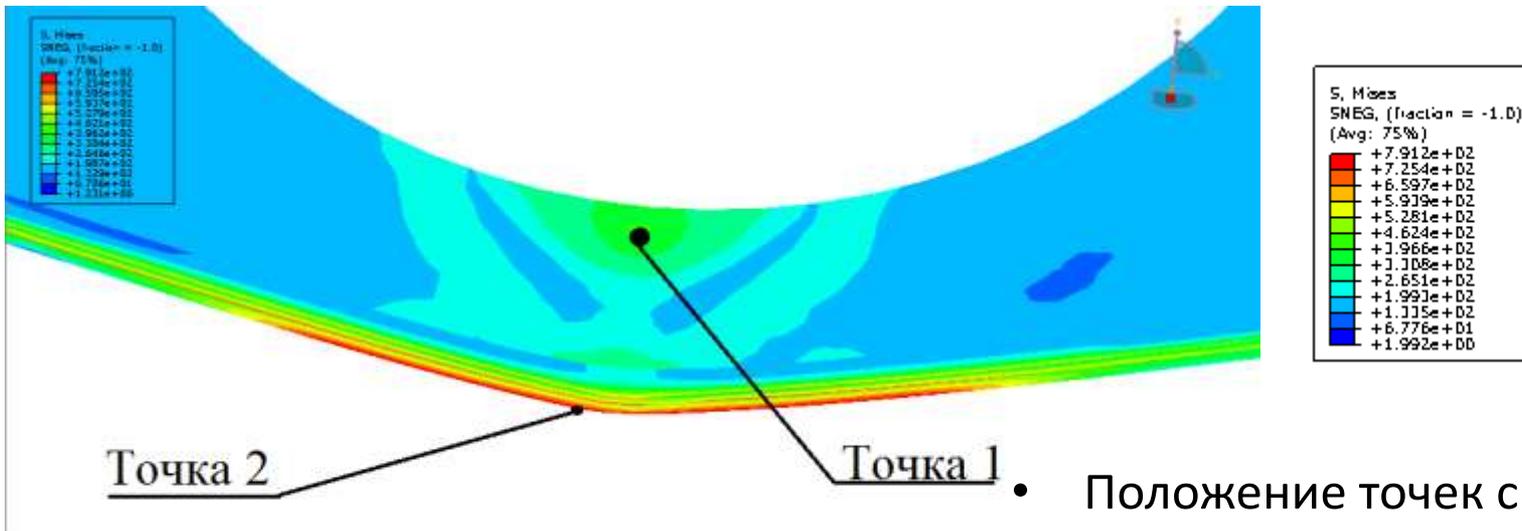


Распределение интенсивности напряжений:



Распределение перемещений вдоль оси u:

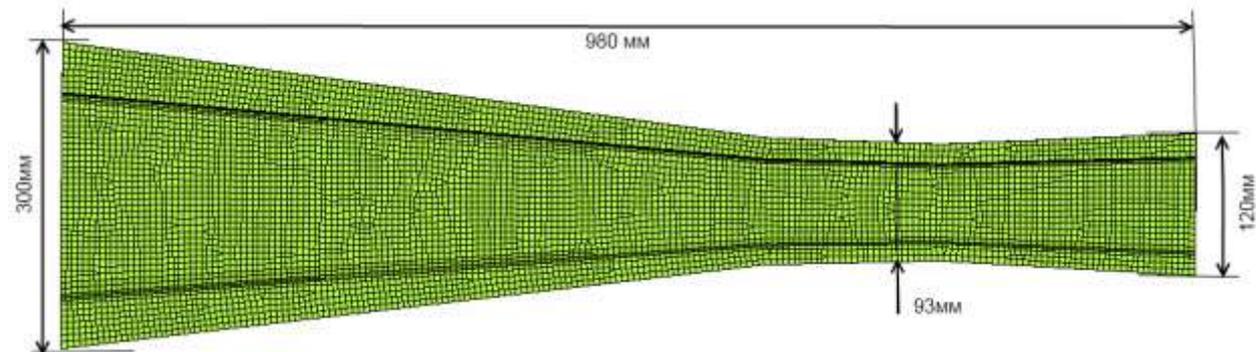




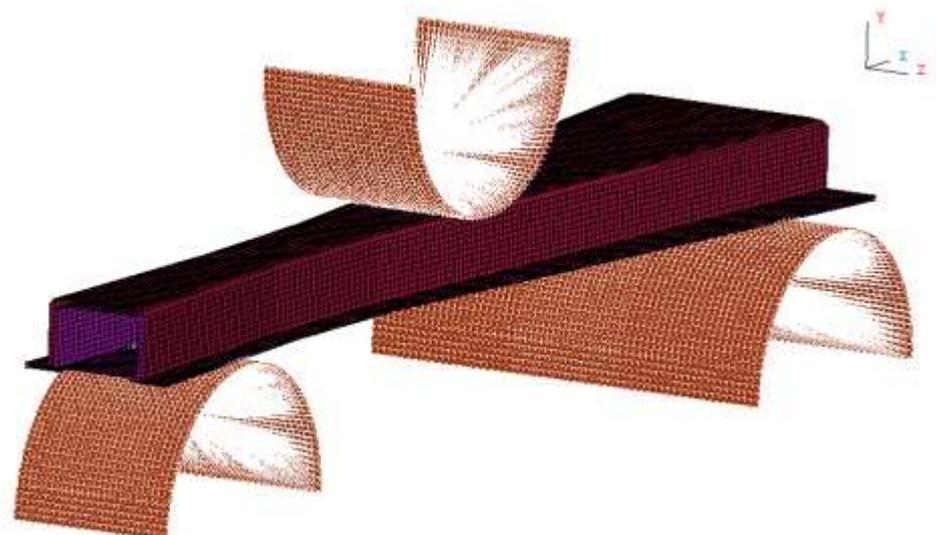
• Положение точек с наибольшей интенсивностью напряжений

Модель балки с формой приближенной к реальной

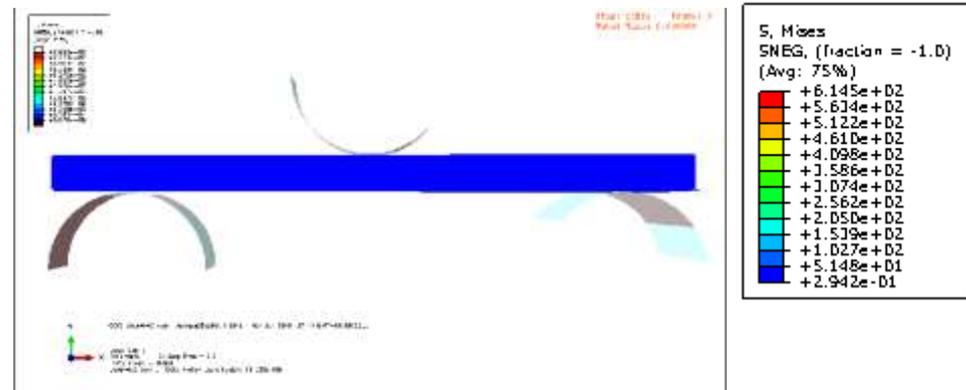
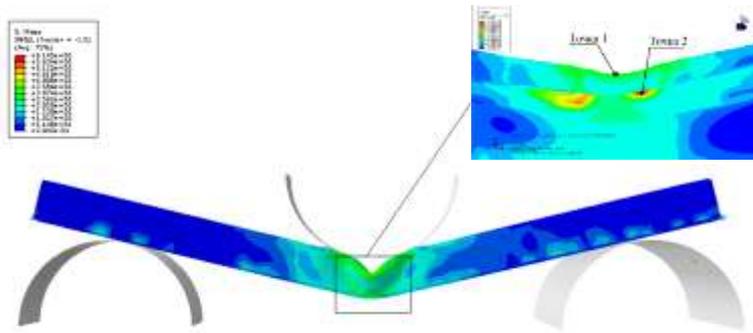
Вид сверху:



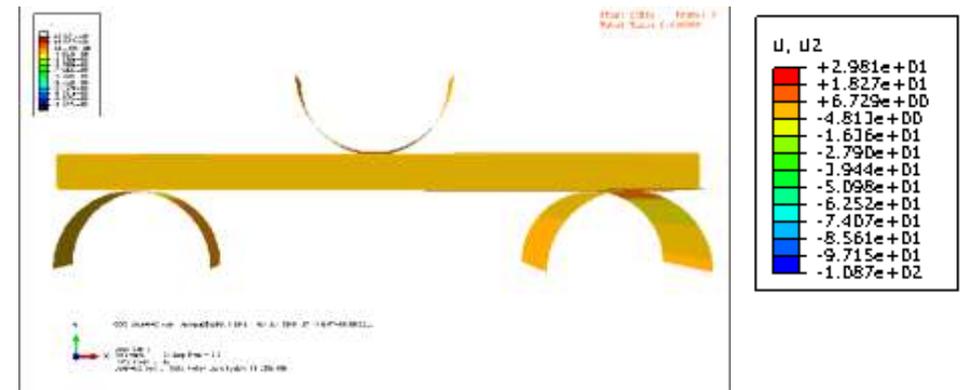
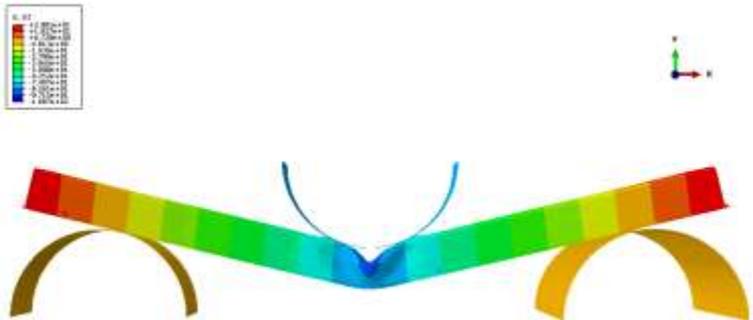
Общий вид расчетной
схемы:

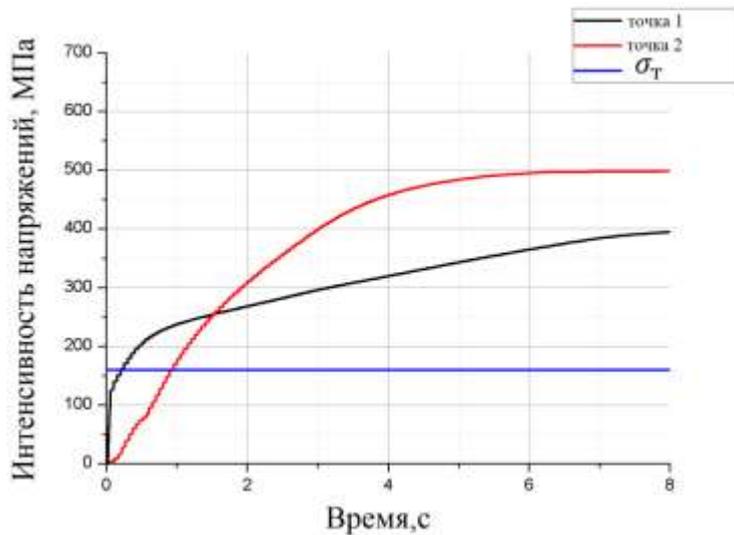
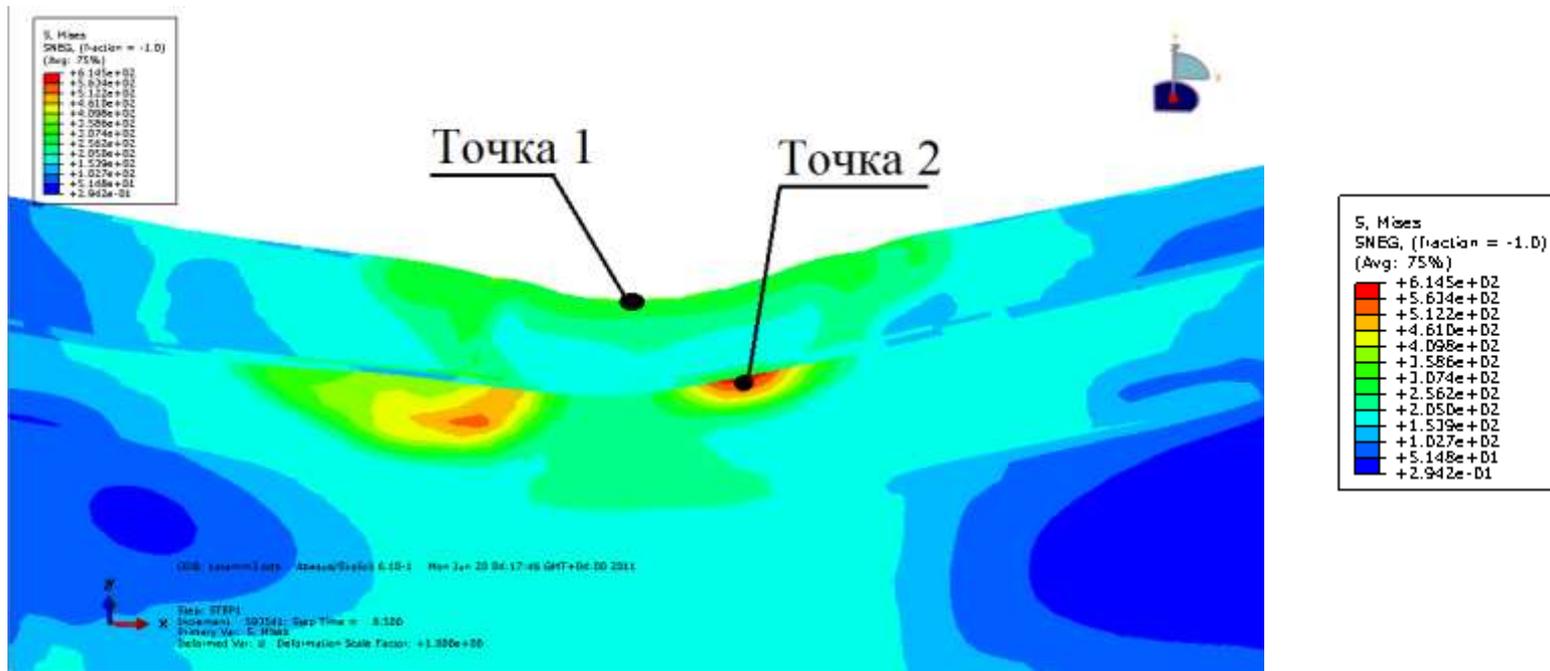


Распределение интенсивности напряжений:



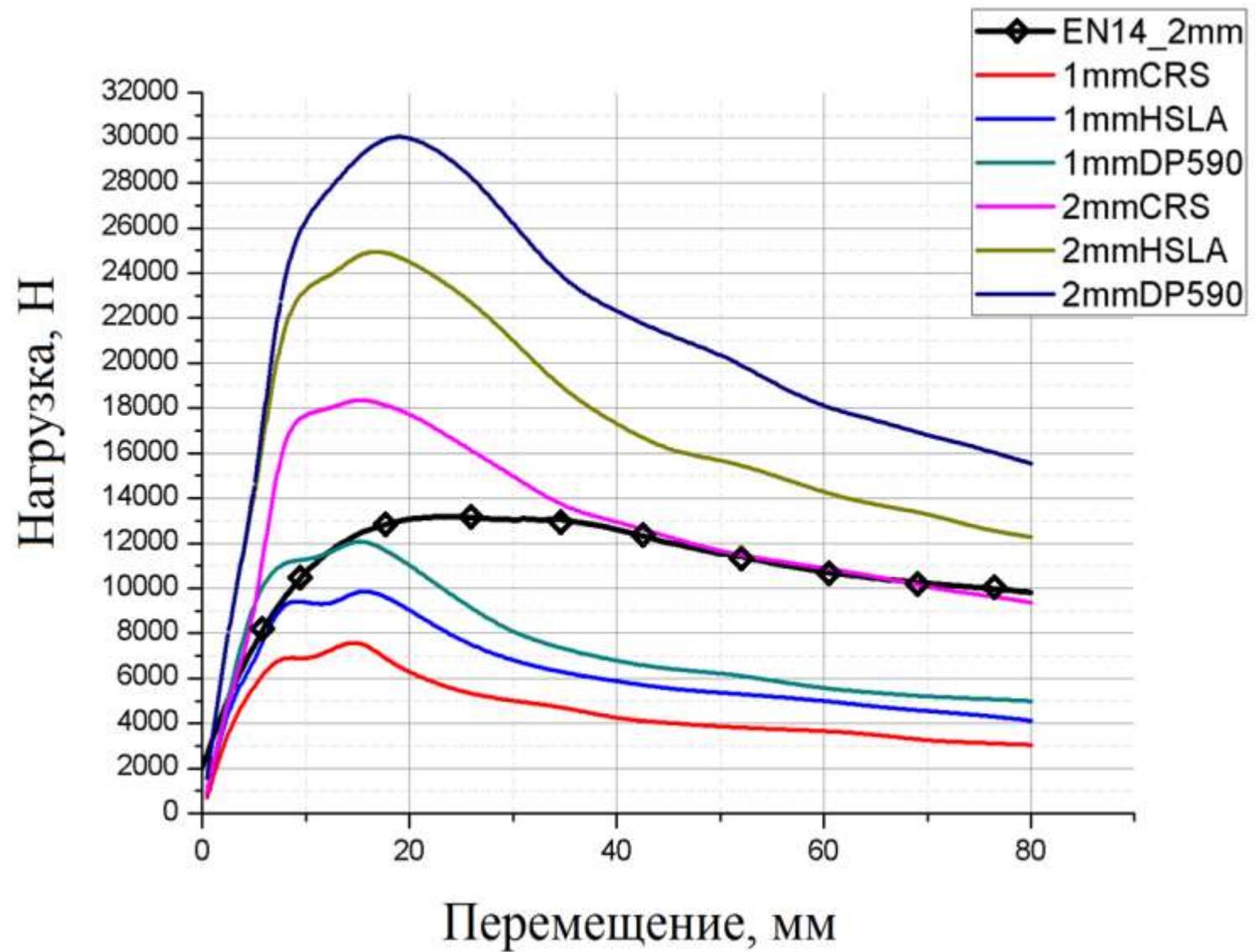
Распределение перемещений вдоль оси y:



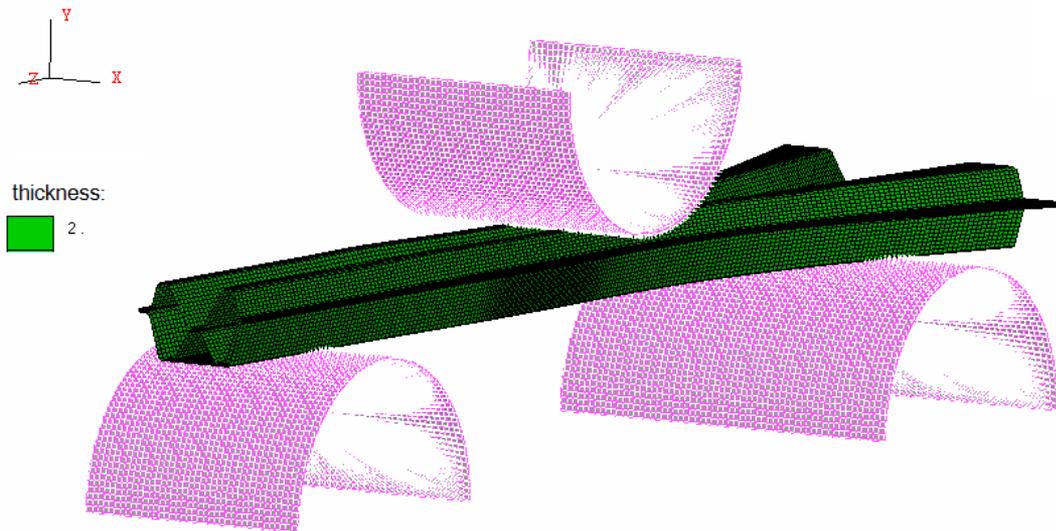


- Положения точек с наибольшей интенсивностью напряжений.
- Сравнение интенсивности напряжений в точка с наибольшей интенсивностью напряжений с пределом текучести.

Сравнение полученных результатов с данными статьи [1]:



Модель со специальным сечением:



специальное сечение №1



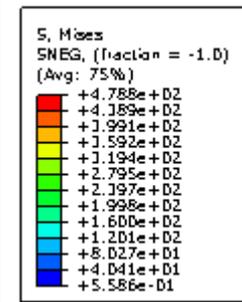
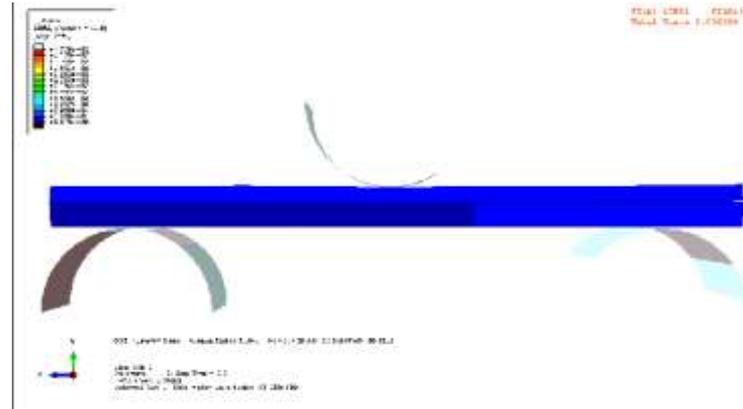
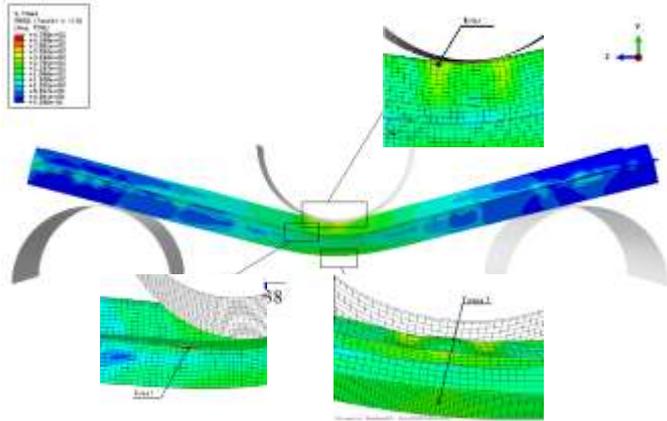
специальное сечение №2



- Тип КЭ – S4R (четырёх узловой оболочечный элемент с уменьшенным интегрированием), для индентера и опор использовался SFM3D4R (трехмерный поверхностный четырёх узловой элемент с уменьшенным интегрированием)
- Размер КЭ ~ 5мм
- Число КЭ – 24753
- Число узлов – 25467
- Нагрузка : задана в виде граничного условия типа «скорость» (velocity) – -10мм/с (Приложена к опорному узлу индентера).
- Общее число переменных в задаче – 141858
- Шаг интегрирования по времени: 1.5E-5 с
- Временной интервал: 8.5 с
- Шаг записи результатов по времени: 5.0E-2

Используется специальное сечение №1

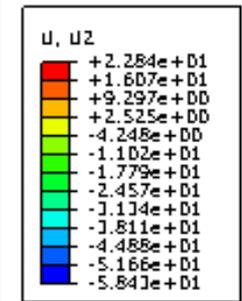
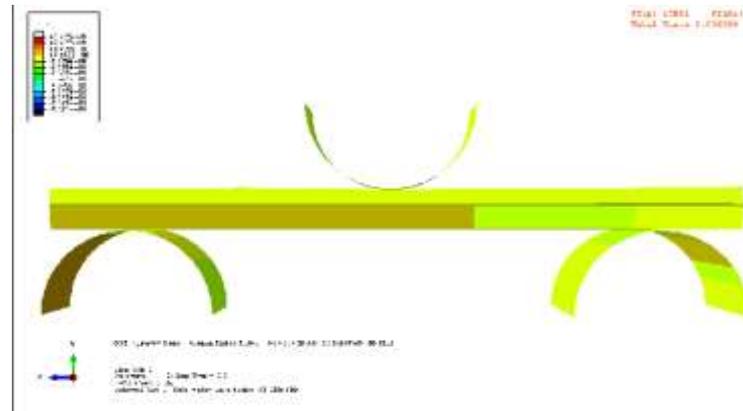
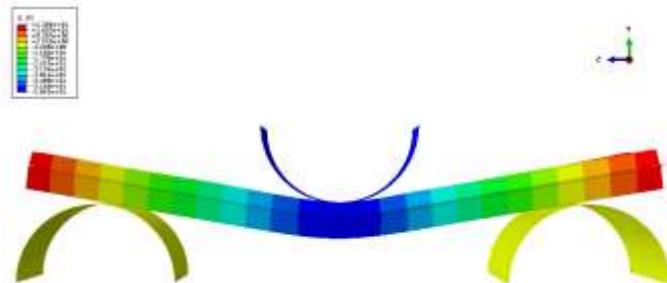
Распределение интенсивности напряжений:



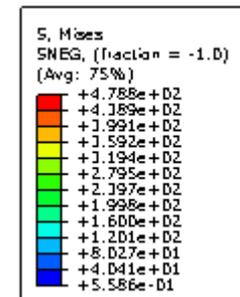
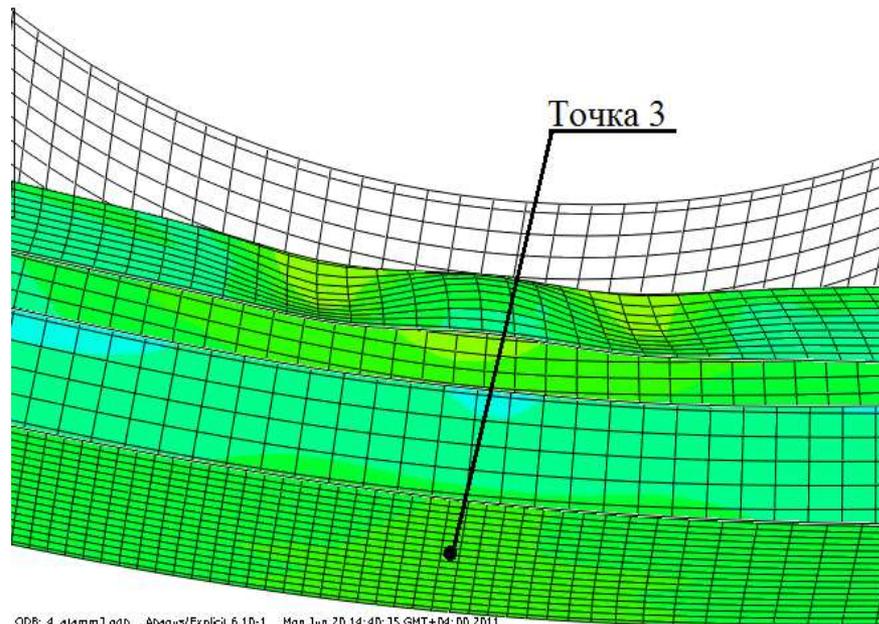
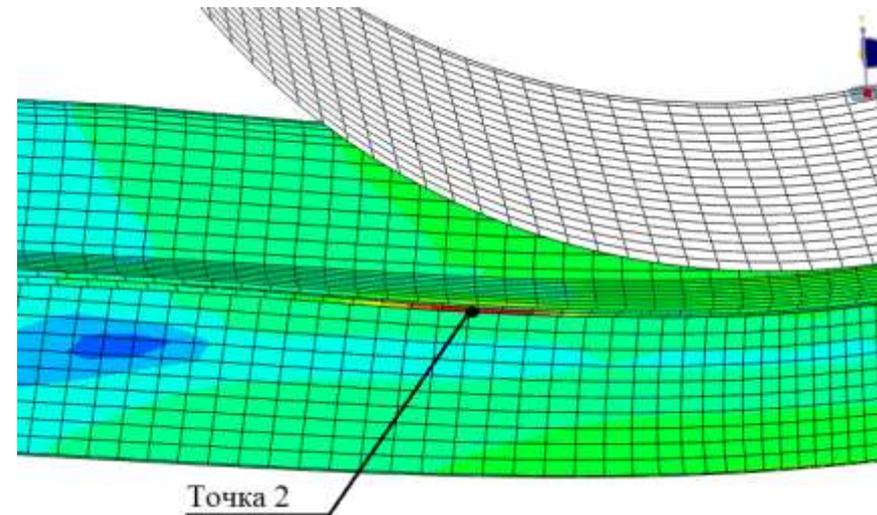
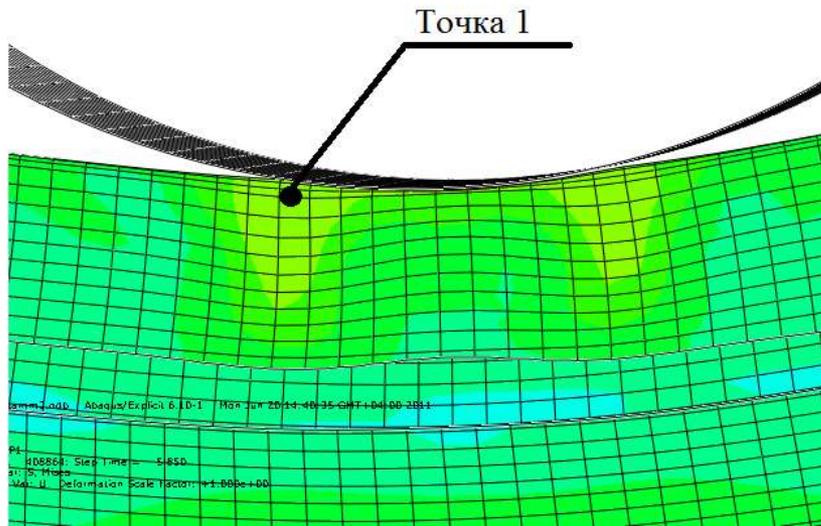
специальное сечение №1



Распределение перемещений вдоль оси y:



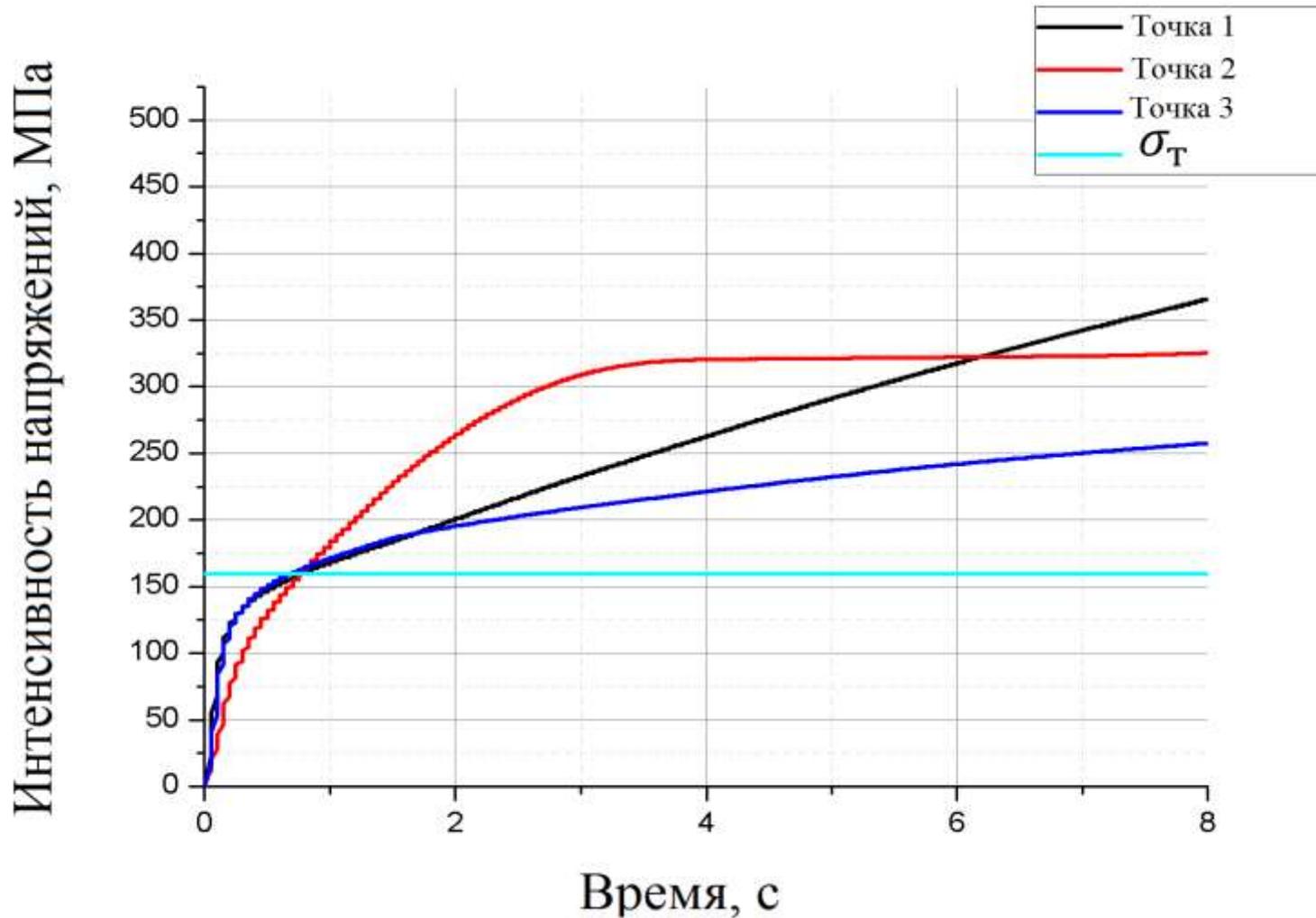
Положение областей с наибольшей интенсивностью напряжений



специальное сечение №1

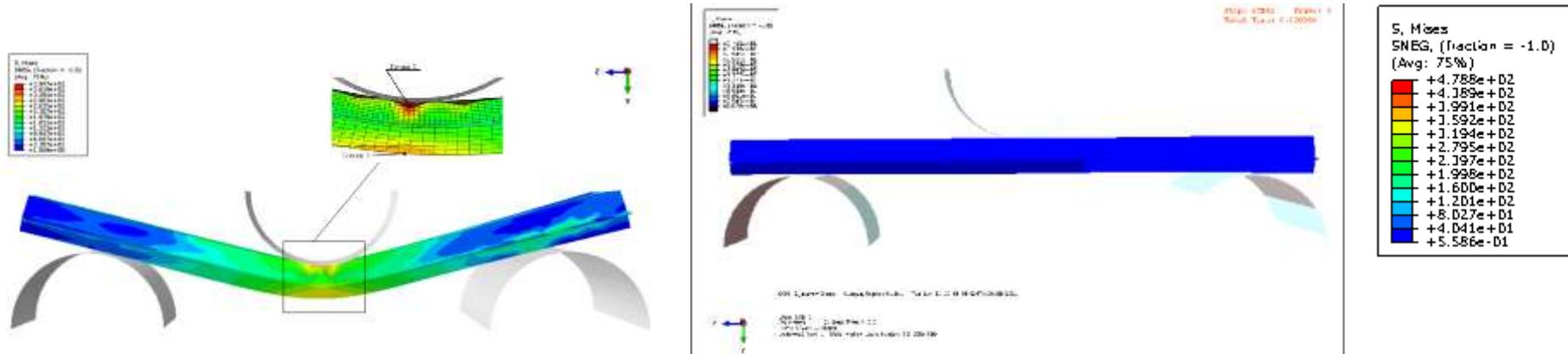


Сравнение интенсивности напряжений в точках с наибольшей интенсивностью напряжений с пределом текучести



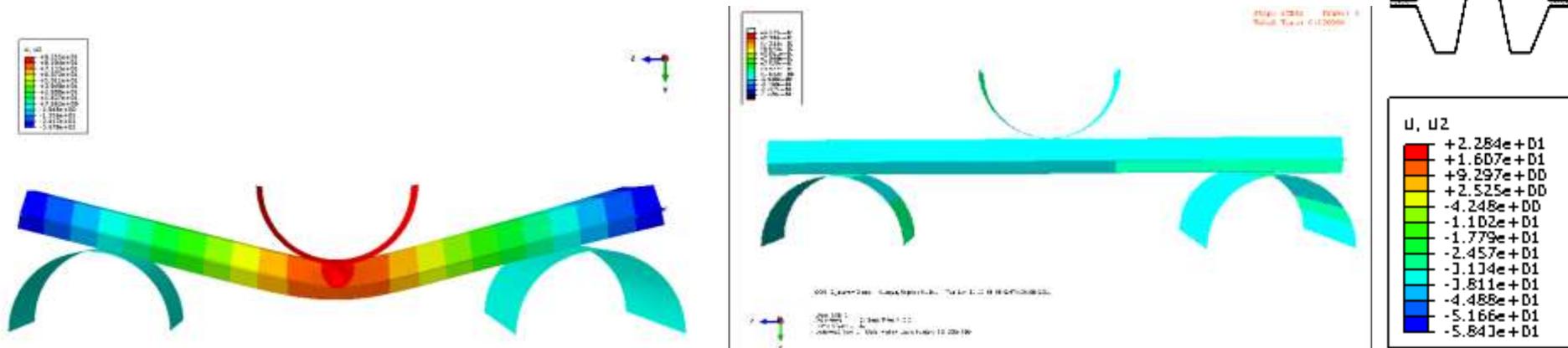
Используется специальное сечение №2

Распределение интенсивности напряжений:

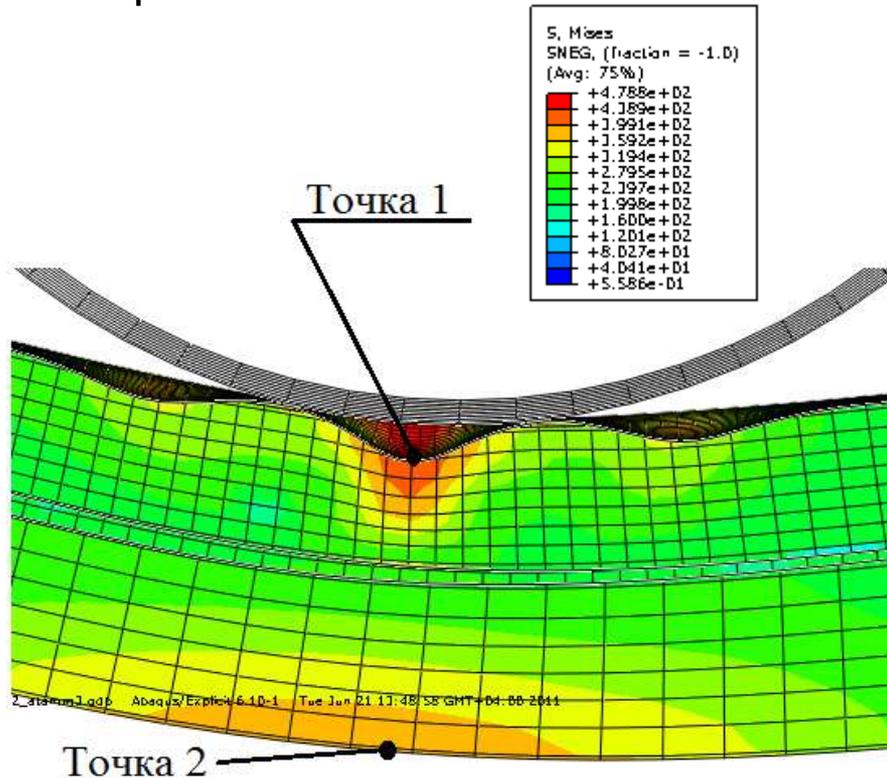


специальное сечение №2

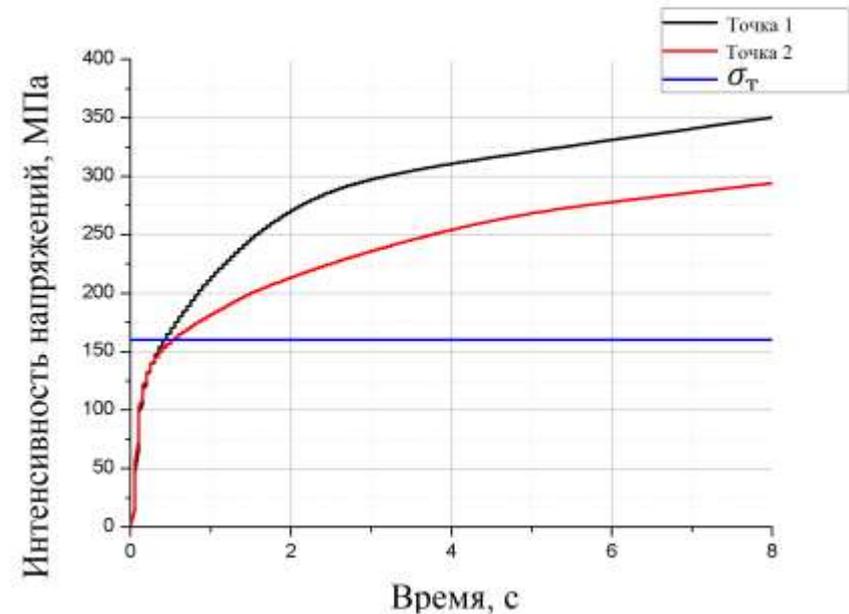
Распределение перемещений вдоль оси y:



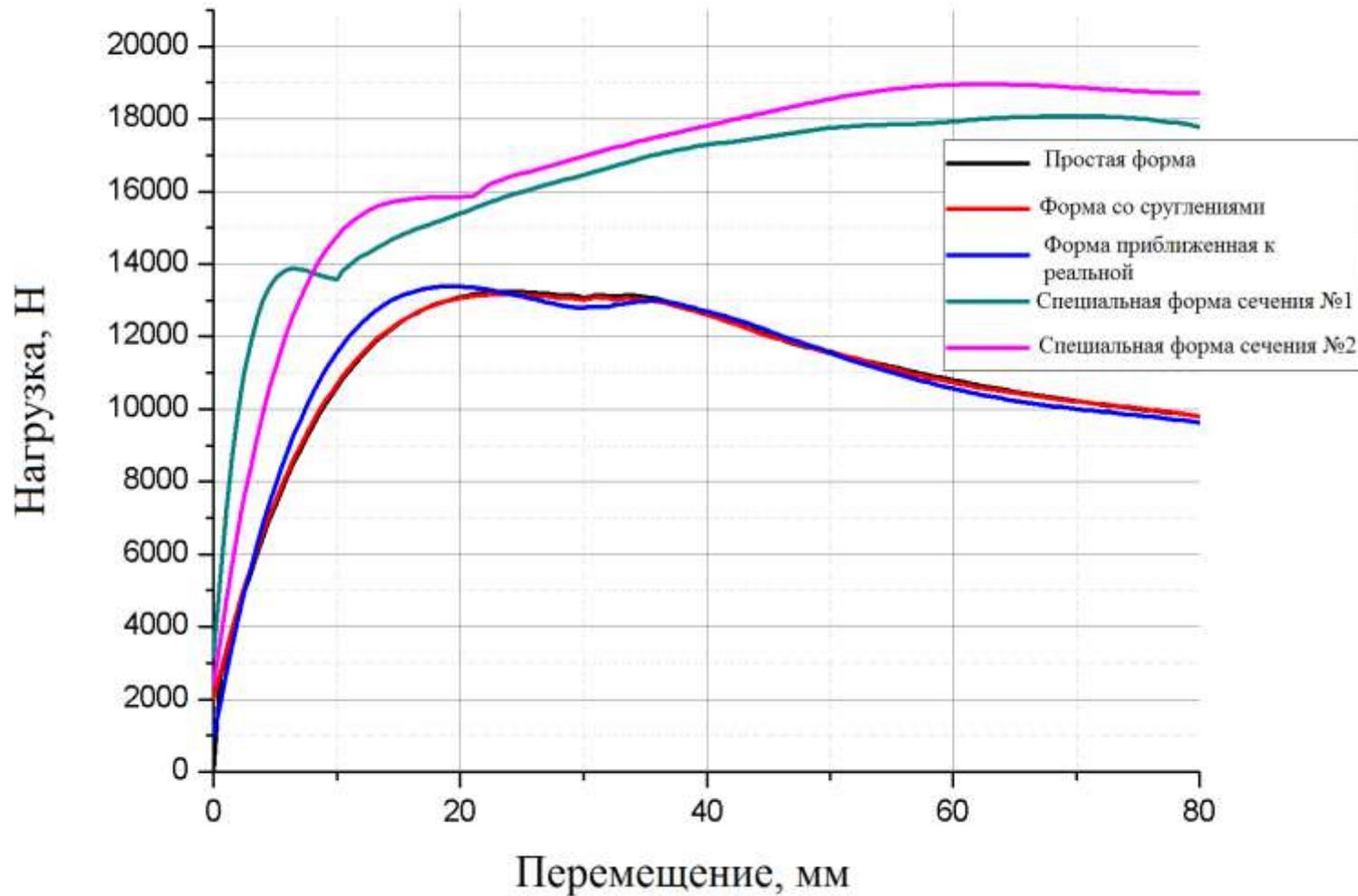
Положение областей с наибольшей интенсивностью напряжений:



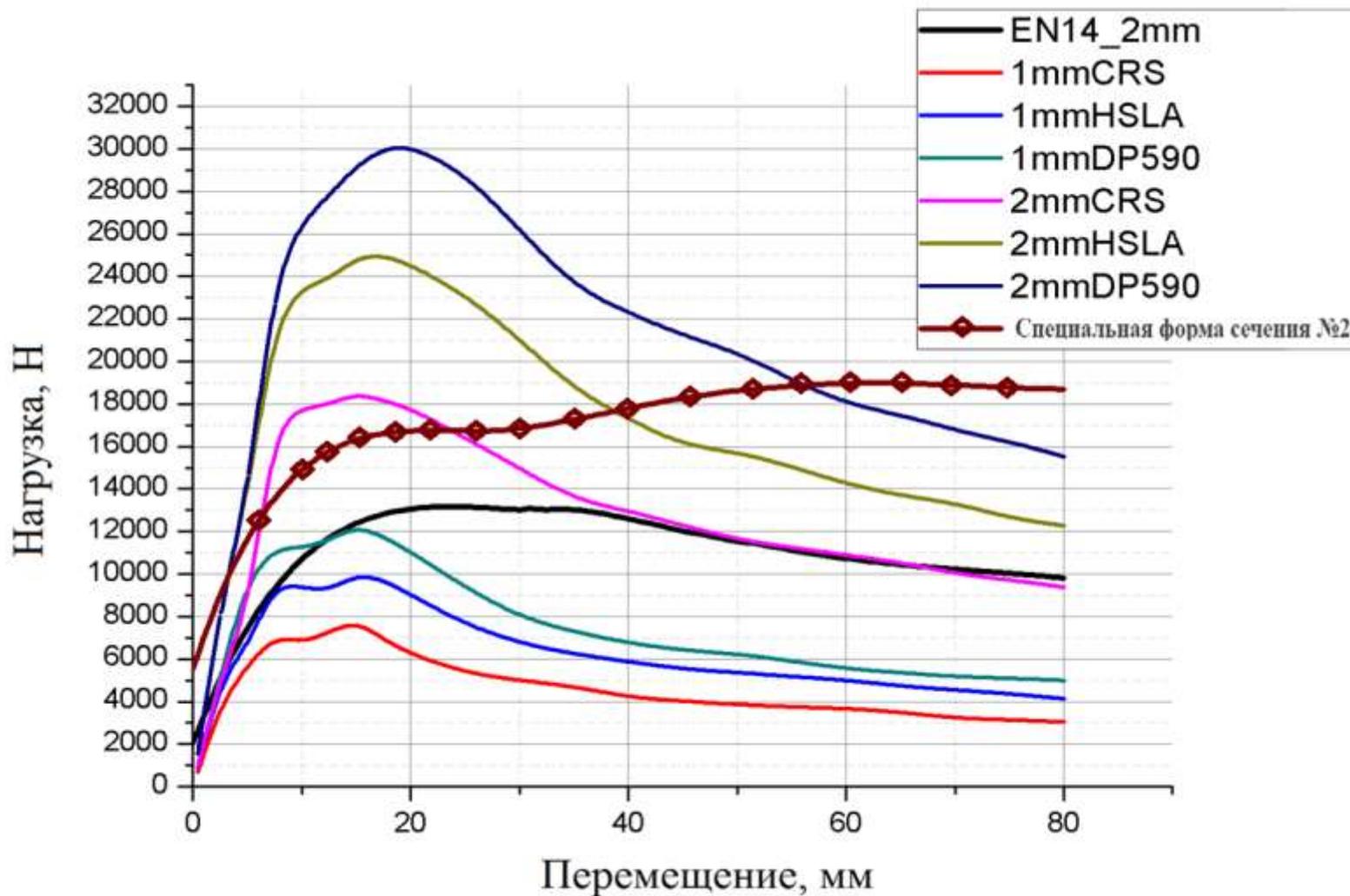
Сравнение интенсивности напряжений в точках с наибольшей интенсивностью напряжений с пределом текучести



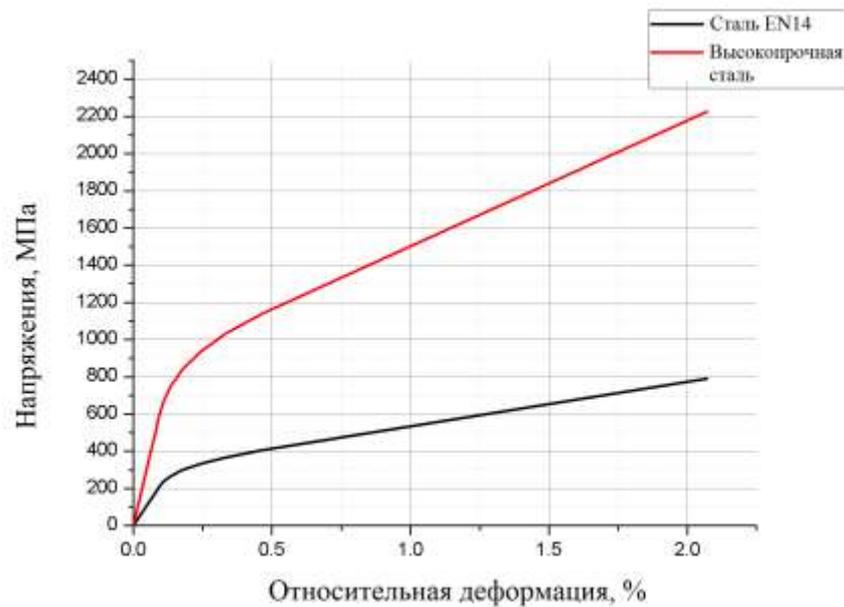
Выбор сечения



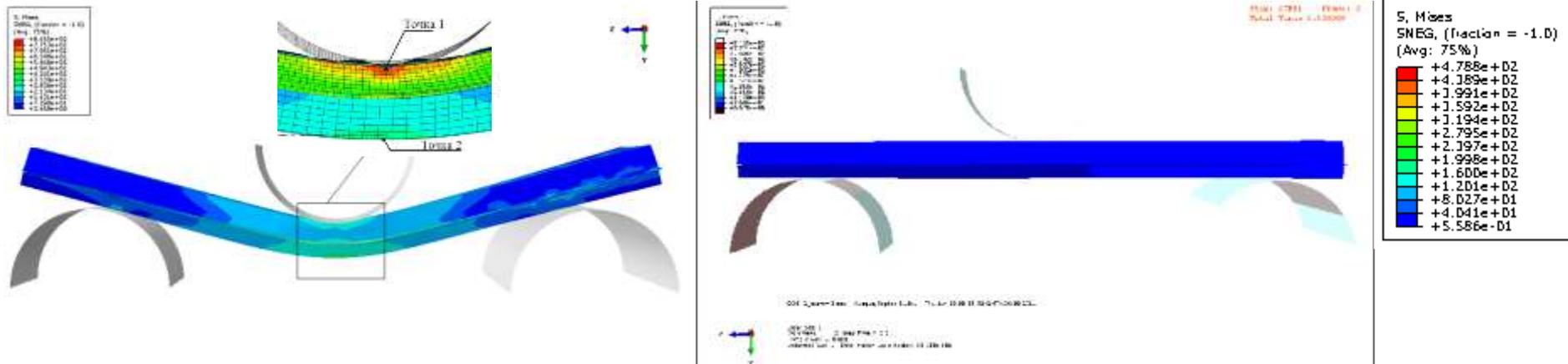
Влияние формы сечения:



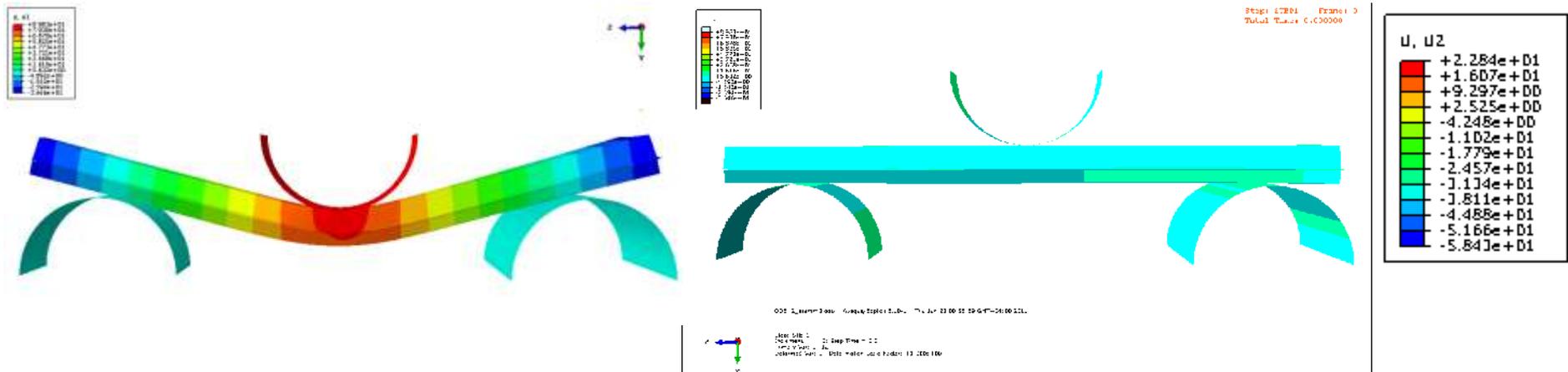
Конечно-элементное моделирование балки специальной формы с усиленной центральной частью

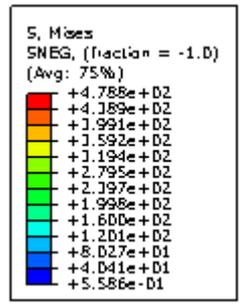
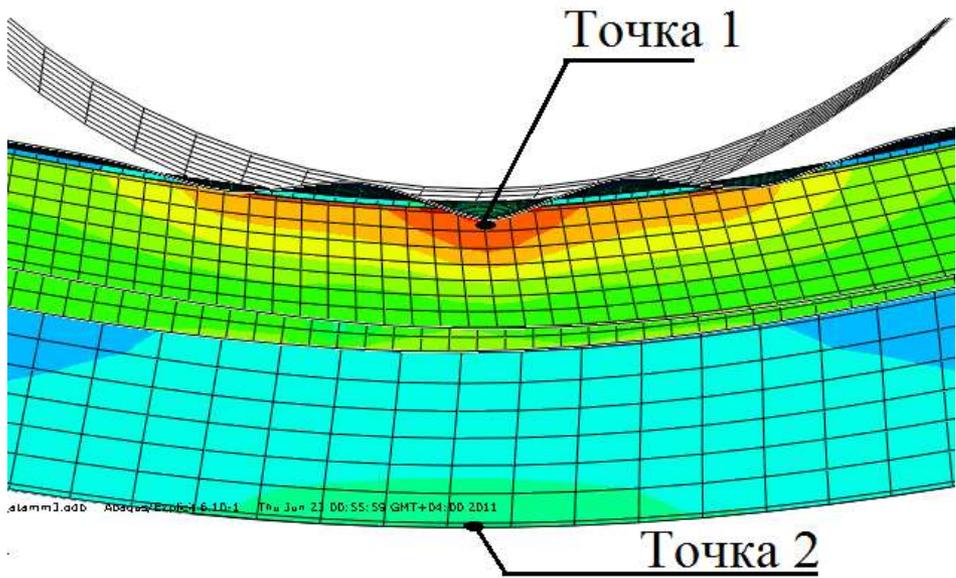


Распределение интенсивности напряжений:

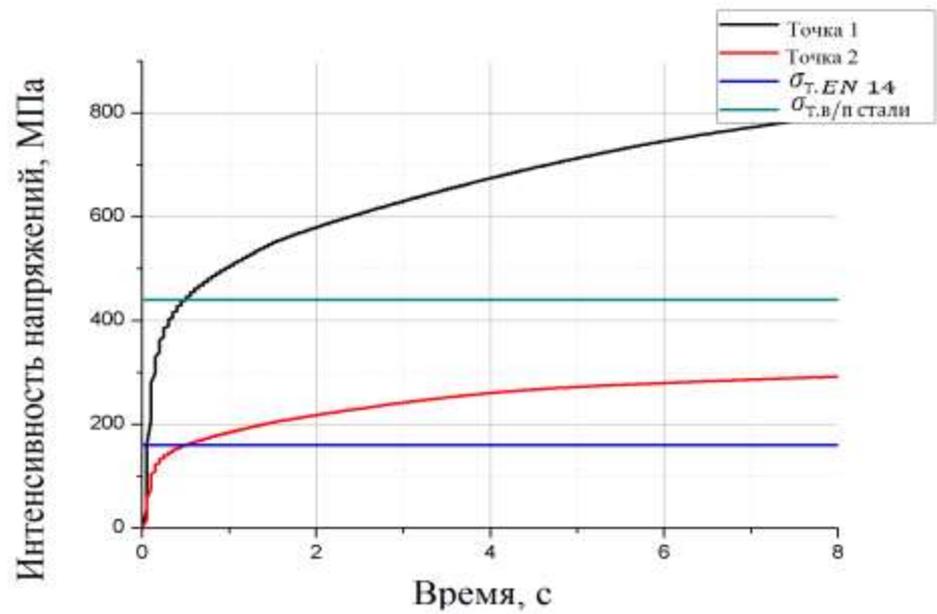


Распределение перемещений вдоль оси y:

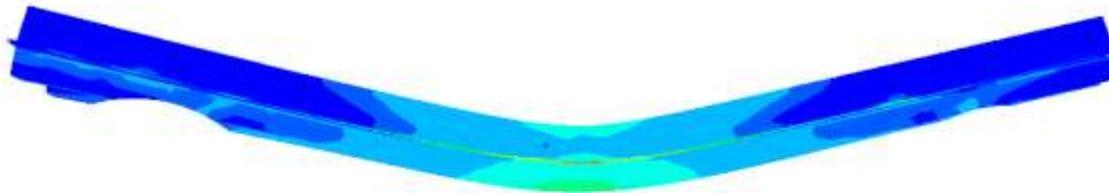




- Расположение областей с наибольшей интенсивностью напряжений (разрез вдоль продольной оси)

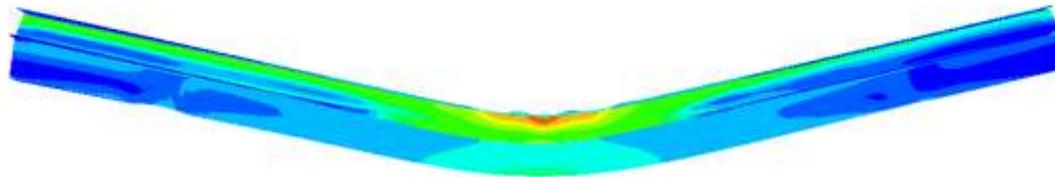


- Сравнение интенсивности напряжений в точках с наибольшей интенсивностью напряжений с пределом текучести

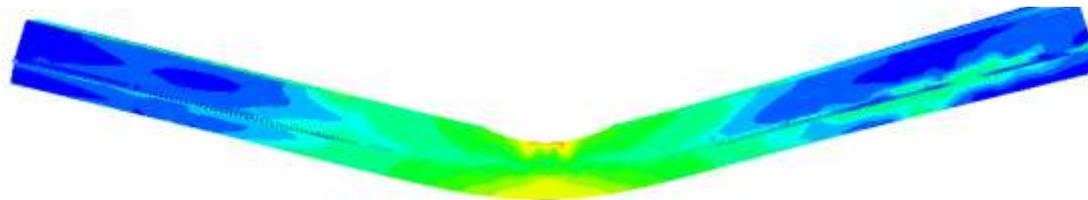


Общий вид

- Усиленная центральная секция

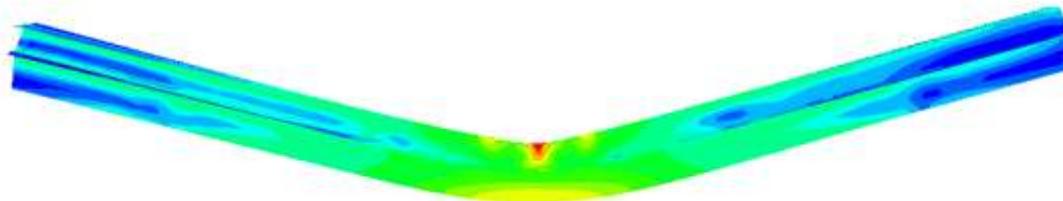


Продольный разрез

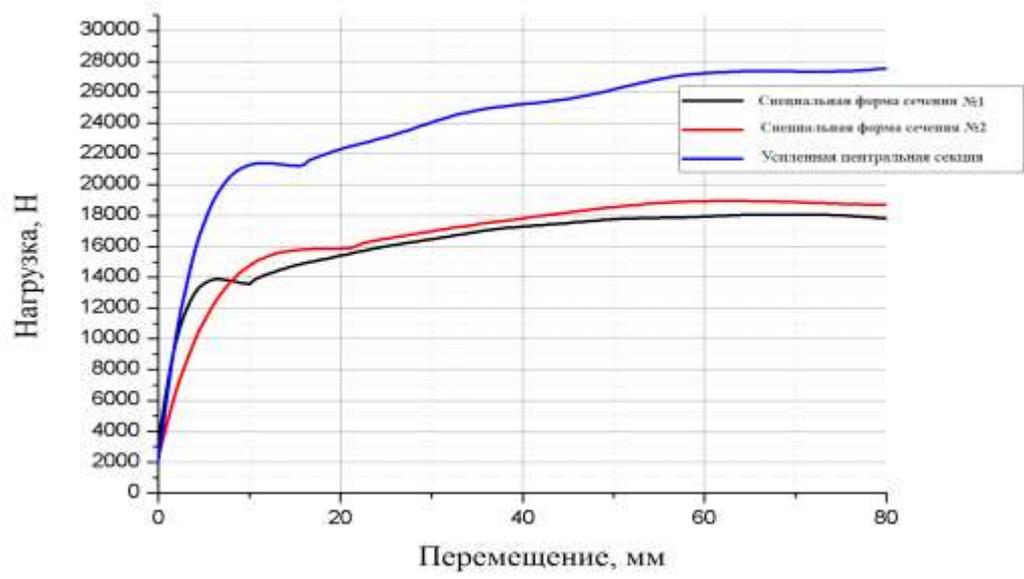


Общий вид

- Обычная центральная секция

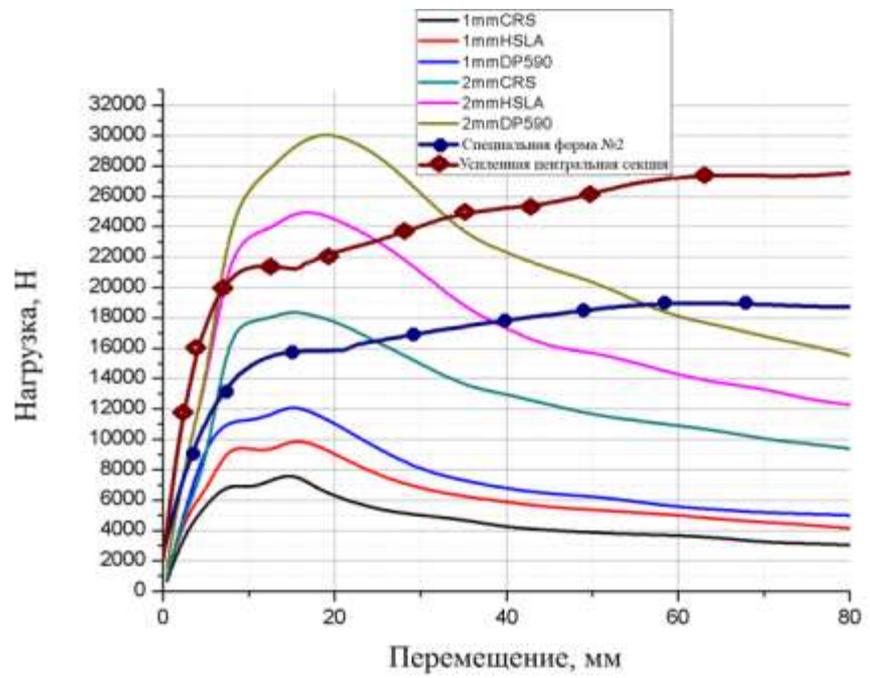


Продольный разрез



- Сравнение результатов моделирования эксперимента для укрепленной и не укрепленной балки специального сечения №2

- Сравнение результатов моделирования эксперимента для различных сталей и форм сечения





Заключение:

1) В случае балки стандартного сечения интенсивность напряжений велика в областях контакта балки с индентером. Наибольшая интенсивность наблюдается в центре балки, также данной области соответствуют значительные перемещения. При внесении скруглений в конструкцию, а также приближении формы балки к реальной характер деформации практически не изменился.

2) При помощи специальной формы сечения была значительно увеличена максимальная нагрузка при сохранении прежних габаритных размеров. Что позволяет использовать более дешевый материал при создании силовой конструкции, достигая тех же результатов, что и с более дорогим материалам.

3) При помощи специальной формы сечения, а также укрепления центральной секции с использованием высокопрочной стали, можно достичь результатов практически таких же, как и при использовании для всей конструкции стандартного сечения и высокопрочной стали. Вид зависимости отличается из-за существенных отличий геометрии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. PradeepMohan , VinayNagabhushana , Cing-Dao (Steve) KanJon Riley
National Crash Analysis Center, The George Washington University
L & L Products Inc.Formatvorlage, 2006
2. Журнал «САПР и графика» 1'2003, 1'2005.
3. Klauss-Jurgen Bathe, *Finite Element Procedures*, Prentice-Hall, Inc.,1996
4. С. П. Тимошенко и С. Войновский-Кригер, «Пластинки и оболочки», под редакцией
Г. С. Шапиро, издание второе, М.: Наука, 1966
5. Ciarlet P.G. *The finite method of elleptic problems*. -- North Holland, Amsterdam. 1978
6. Chari, Silvester *Finite elements for electrical and magnetic field problem*. -- J. Wesley, 1980.
7. Courant, Hilbert *Methods of mathematical physics*. -- Interscience Publishers, New York, 1953.
8. А. И. ЛУРЬЕ. «Теория упругости» — М.: Наука, 1970.
9. Н.Н. МАЛИНИН. «Прикладная теория пластичности и ползучести» - М.: Машиностроение,1975



Спасибо за внимание.