

Выпускная квалификационная работа

*Л.С. Найдёнова*

**КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГЕНЕРАЦИИ  
КОСТНОЙ МОЗОЛИ**

*Руководитель: д.ф.-м.н. Л.Б.Маслов*

Ивановский государственный энергетический университет  
Кафедра теоретической и прикладной механики

# Цель

Исследование влияния механического воздействия гармонического характера на процесс регенерации кости в зоне перелома методами математического моделирования.

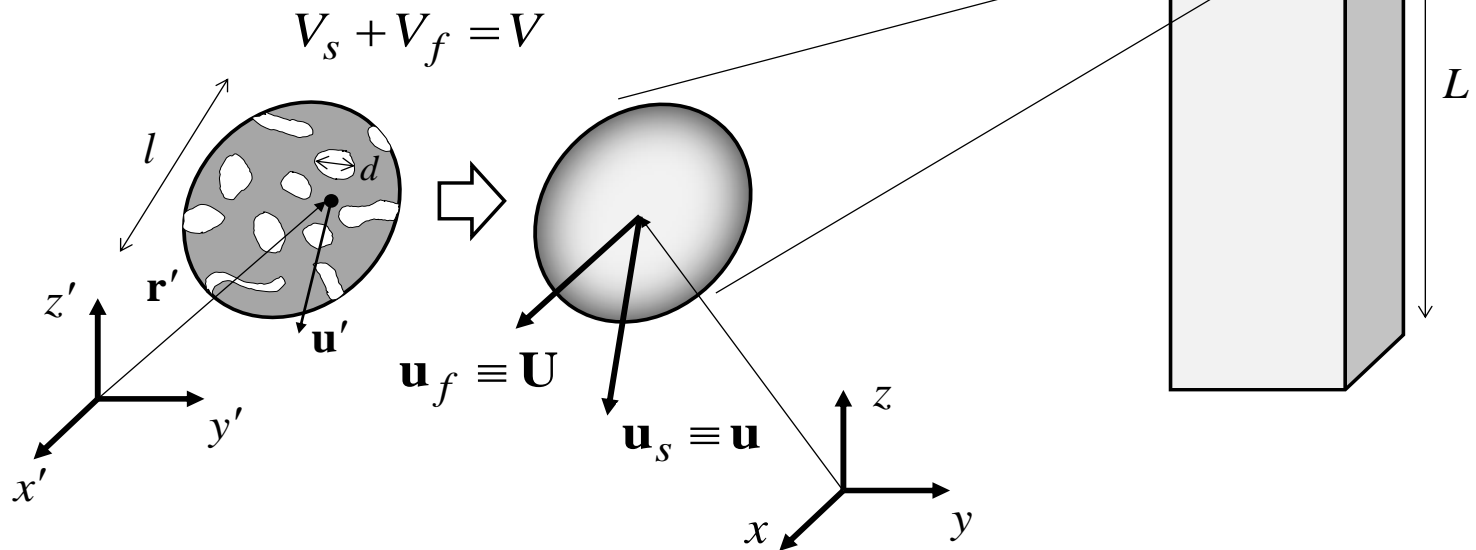
# Задачи

1. Разработка трёхмерной модели регенерации костной ткани с аппаратом наружной фиксации.
2. Проведение вычислительных экспериментов с использованием разработанной трёхмерной модели.

# Пороупругая модель костной ткани

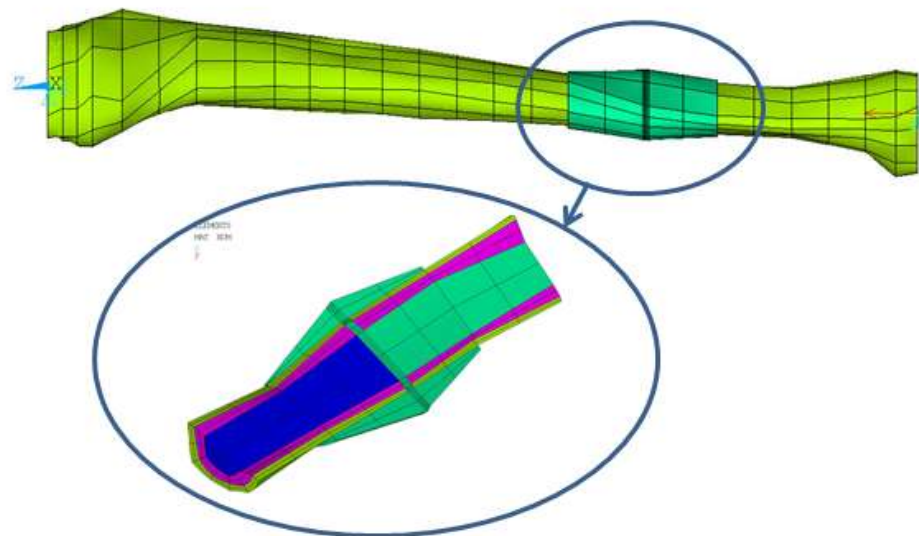
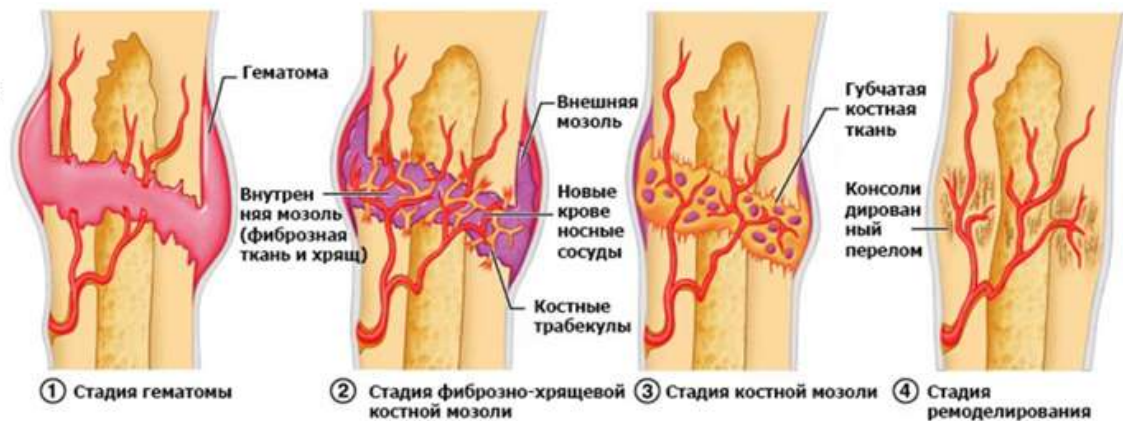
## Двухфазная сплошная среда

$V_s$  – объём твёрдой фазы,  $V_f$  – объём жидкой фазы



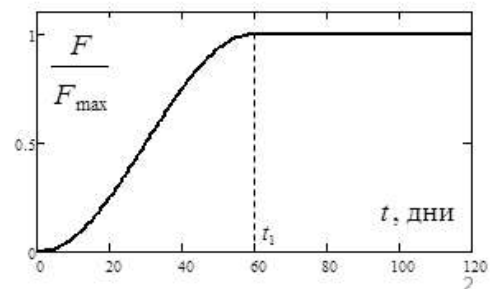
# Постановка задачи моделирования регенерации костной ткани

Стадии репаративной регенерации после перелома



$$F(t, \omega) = F_{\text{ста}}(t) + F_{\text{dyn}}(t)e^{i\omega t}$$

$$F_{\text{dyn}} = kF_{\text{ста}}$$



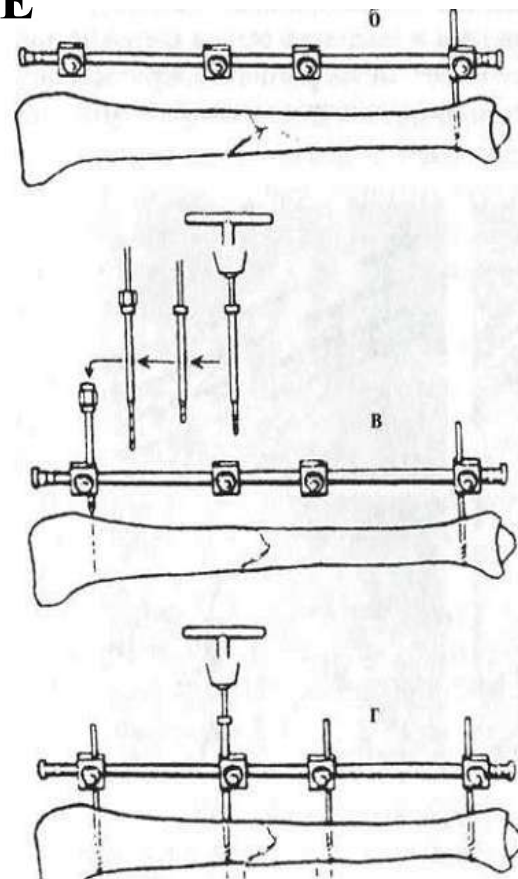
# ВЫБОР И ОПИСАНИЕ РАМЫ АППАРАТА НАРУЖНОЙ ФИКСАЦИИ И ЕЁ ПОСТРОЕНИЕ

*Системы для аппаратов наружной фиксации -*

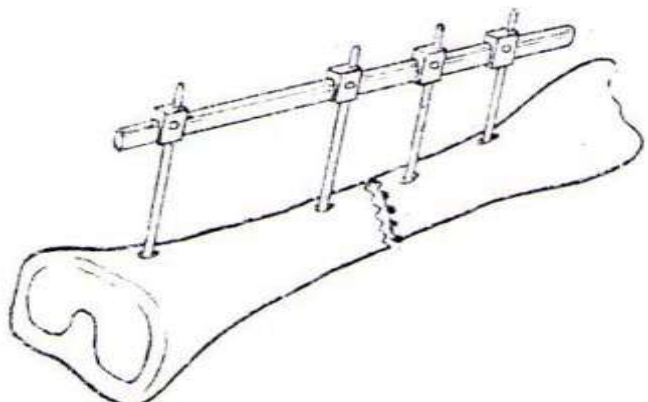
многофункциональная система для использования при переломах и повреждениях верхних и нижних конечностей, а также таза.

*Преимущества системы:*

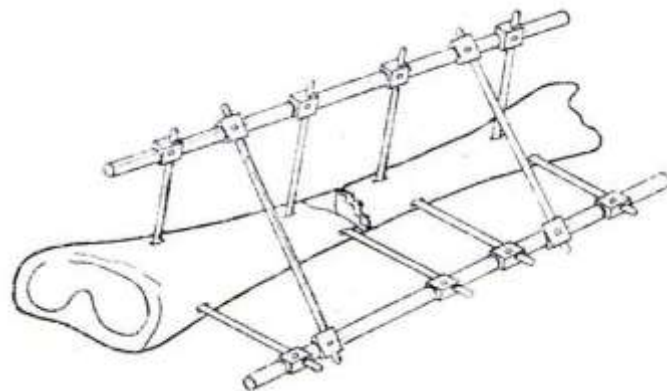
- быстрая, простая и надежная фиксация;
- многофункциональность и взаимозаменяемость всех компонентов системы;
- самоудерживающиеся подпружиненные зажимы;
- независимое введение стержней Шанца;
- самосверлящие и самонарезающие стержни Шанца;
- несущая штанга из карбонового волокна или титанового сплава;
- карбоновая штанга не ограничивает визуализацию перелома;
- безопасна при проведении МРТ-исследований.



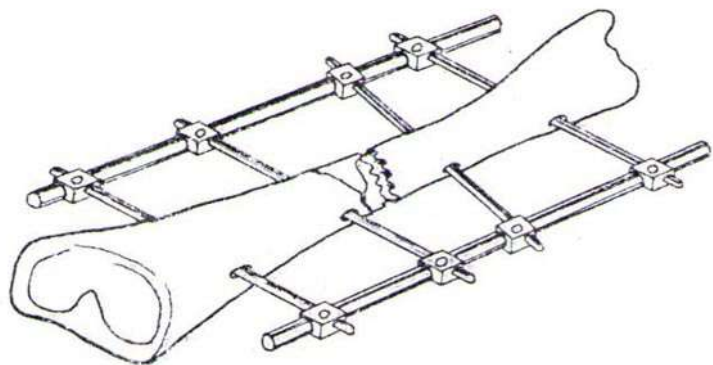
# ОСНОВНЫЕ КОНФИГУРАЦИИ РАМ



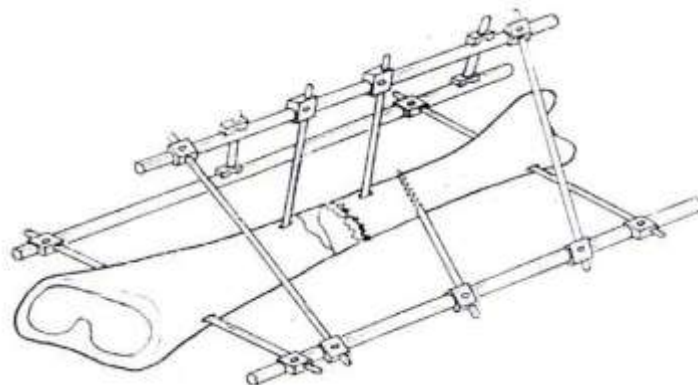
унилатеральная одноплоскостная



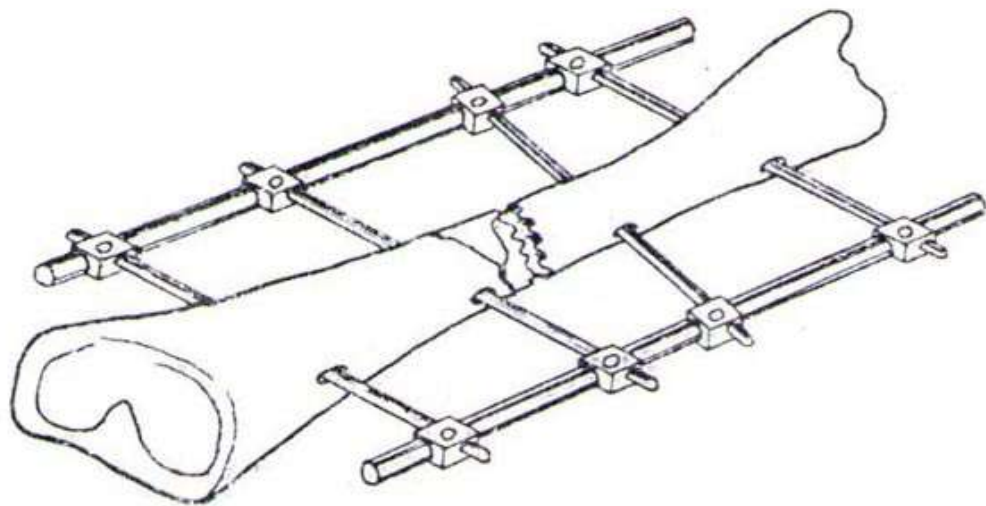
унилатеральная двухплоскостная



билатеральная одноплоскостная

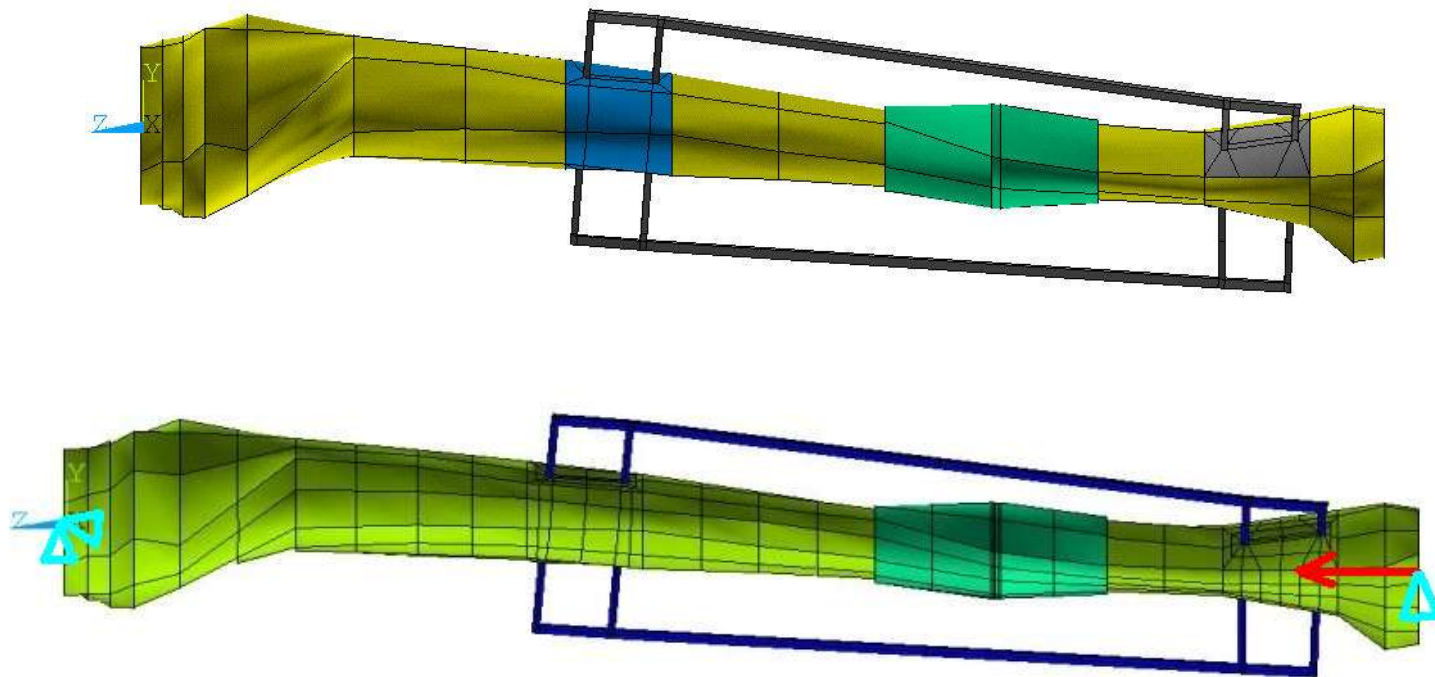


билатеральная двухплоскостная



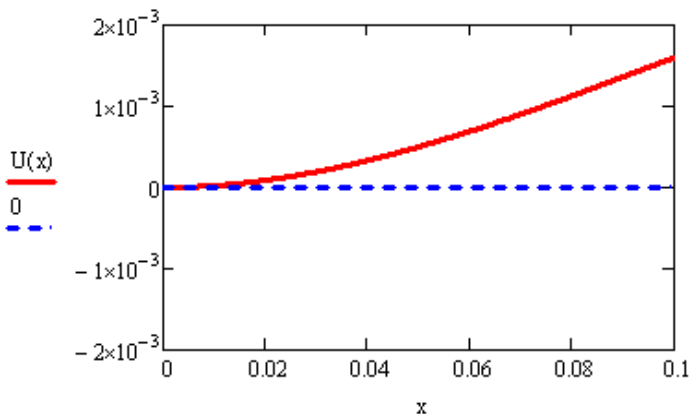
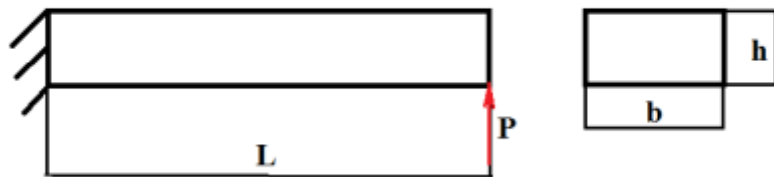
Стержни Шанца,  
позволяющие проводить  
МРТ-исследования,  
изготовленные из титанового  
сплава, и имеют цветовую  
кодировку желтого цвета.

# Модель большеберцовой кости с аппаратом наружной фиксации





# ТЕСТИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ТРЁХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК FE3DRREV НА ПРОСТЕЙШЕЙ МОДЕЛИ БАЛКИ



## Исходные данные:

$L=0.1$  м – длина балки;

$b=0.01$  м – ширина сечения балки;

$P=100$  Н – нагрузка на консольный участок балки;

$E=2 \cdot 10^{11}$  Па – Модуль Юнга.

## Аналитическое решение задачи

$J = bh^3/12$  - Момент инерции поперечного сечения

$M=PL$  - Момент в заделке

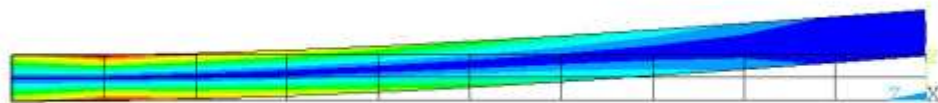
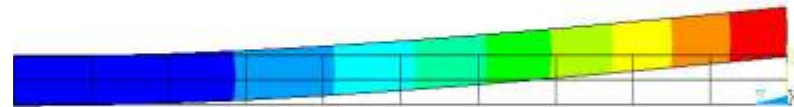
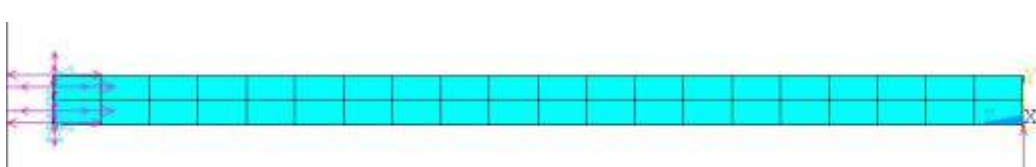
Напряжение в заделке

$$\sigma := \frac{M}{J} \cdot \frac{h}{2} \quad \sigma = 2.4 \times 10^8 \text{ Па}$$

Перемещение

$$U(x) := \frac{1}{E \cdot J} \left( P \cdot \frac{x^3}{6} - P \cdot l \cdot \frac{x^2}{2} \right) \quad U(l) = 1.6 \times 10^{-3} \text{ м}$$

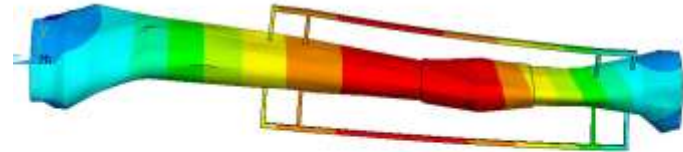
# Численное решение задачи с помощью программы трёхмерного моделирования физико-механических характеристик FE3DRPEV и ANSYS



# Изгибная форма колебаний на 1 собственной частоте



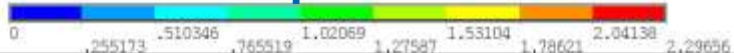
**Freq=148.332**



**Freq=199.82**



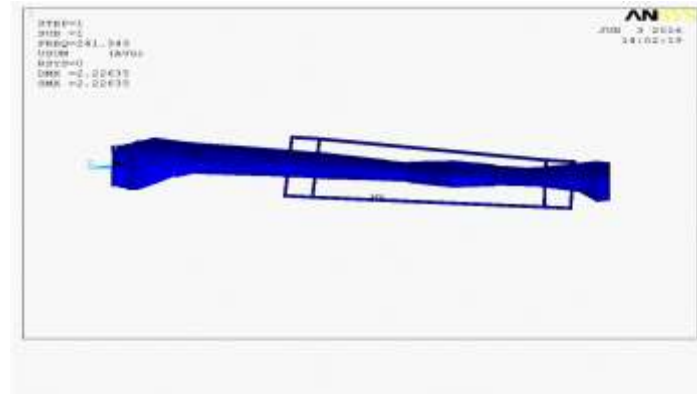
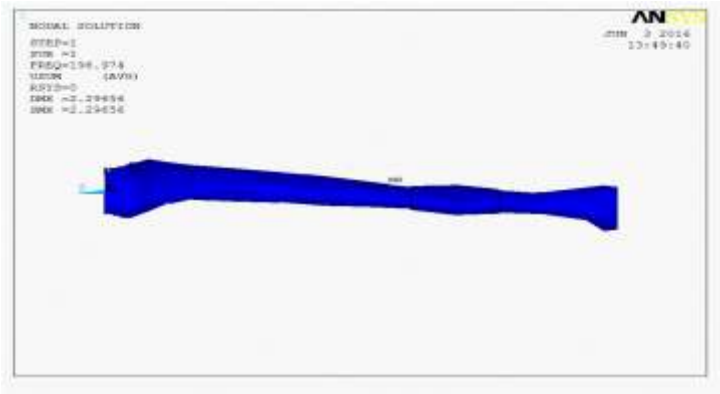
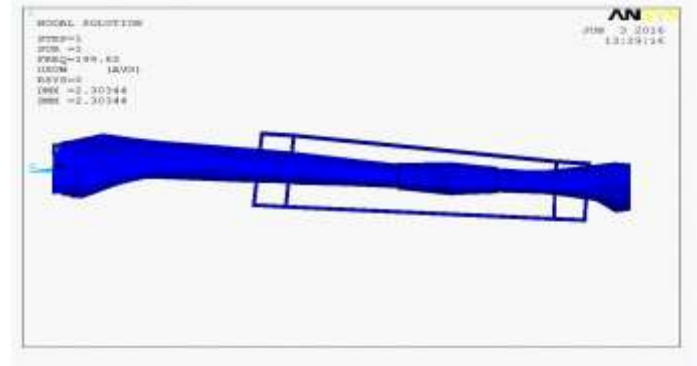
**Freq=196.974**



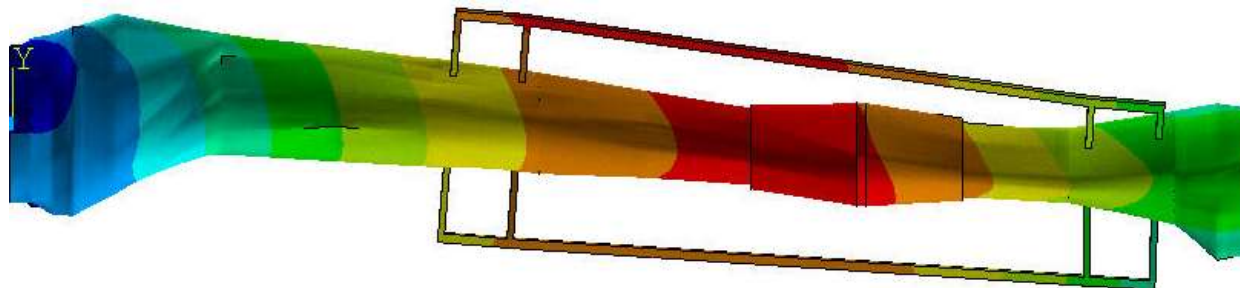
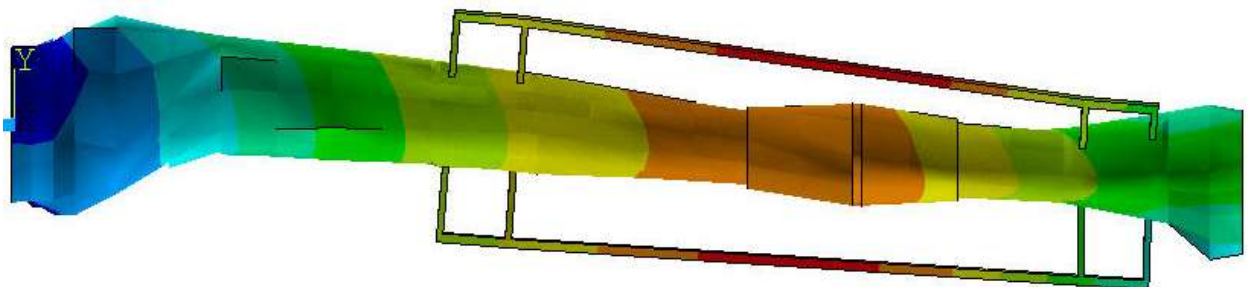
**Freq=241.949**



# Изгибная форма колебаний на 1 собственной частоте



# Перемещений большеберцовой кости с аппаратом наружной фиксации



# Анализ регенерации плотности в области костной мозоли

1 день



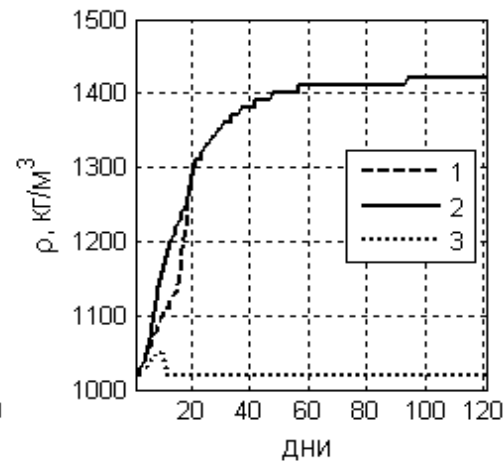
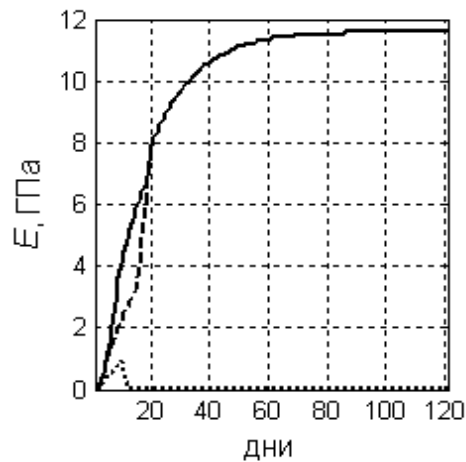
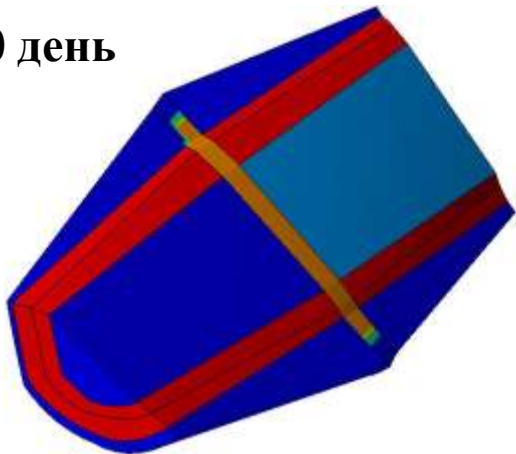
30 день



60 день



120 день



## **Результаты**

- ❑ Была разработана трёхмерная конечно-элементная модель аппарата наружной фиксации**
- ❑ Проведен модальный анализ большеберцовой кости с аппаратом наружной фиксации**
- ❑ В рамках данной работы было исследовано влияние механического воздействия гармонического характера на процесс регенерации костной ткани.**

## **Перспективы развития**

**Планируется проведение на разработанной модели большеберцовой кости с аппаратом наружной фиксации численных экспериментов при регенерации костной ткани.**