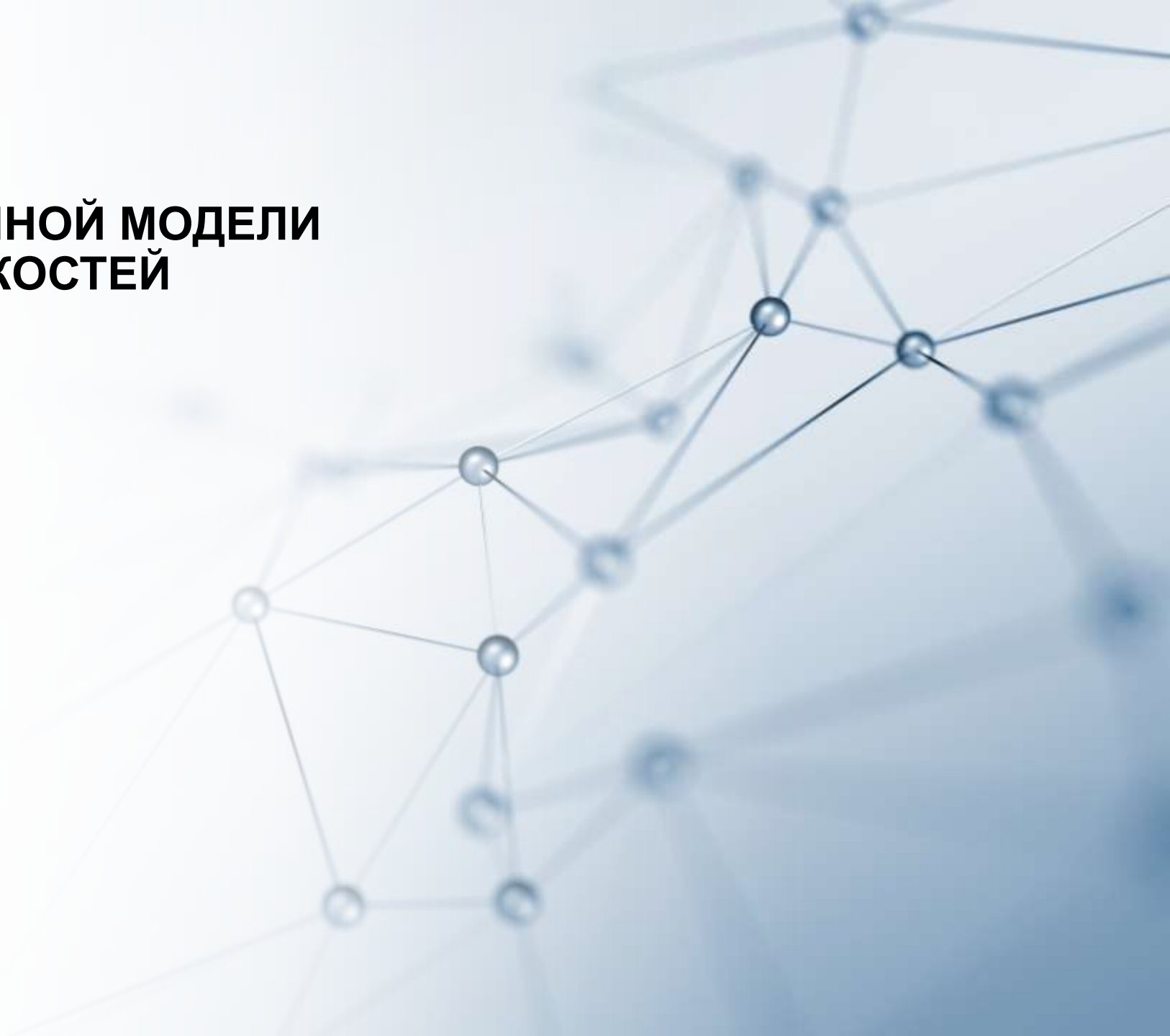




РАЗРАБОТКА АНИЗОТРОПНОЙ МОДЕЛИ МАТЕРИАЛА БЕРЦОВЫХ КОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА

СТУДЕНТ: ПРЕОБРАЖЕНСКАЯ А.Н.

НАУЧНЫЙ
РУКОВОДИТЕЛЬ: ЛОБОДА О.С.



АКТУАЛЬНОСТЬ И ЦЕЛЬ



Автомобильные
аварии



Создание
реалистичного
манекена

Частота автомобильных аварий вынуждает нас задумываться о том, как минимизировать последствия столкновения автомобиля и пешехода. Для этого проводится математическое моделирование аварий и краш-тесты с манекенами.

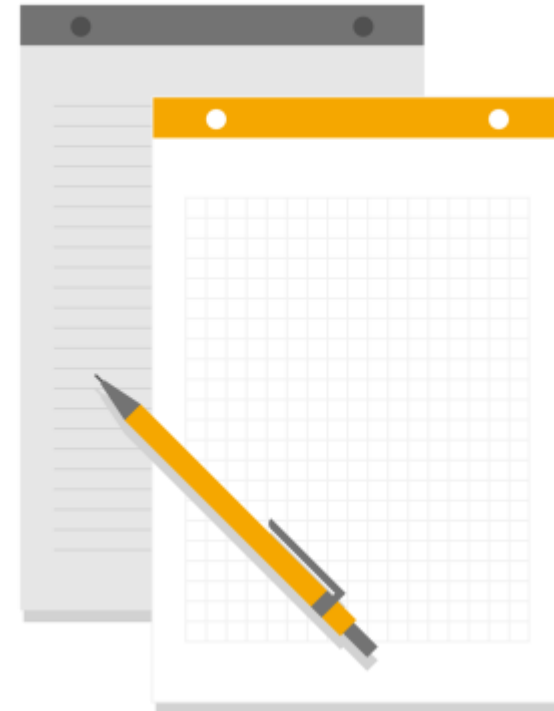
Материал костей человека имеет сложную анизотропную структуру. Чаще всего при решении задач используют изотропный и линейный материал.

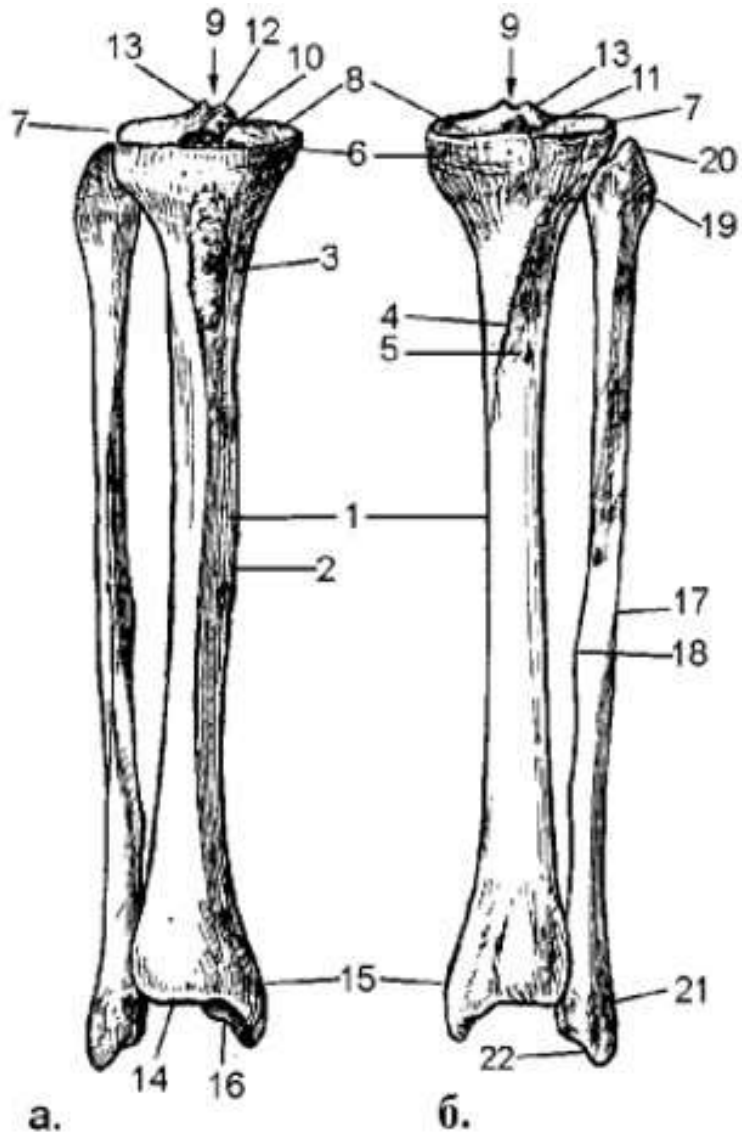
Необходимо создать модель, которая бы учитывала сложную структуру костей для более правдоподобного моделирования повреждений, а также изготовления реалистичного манекена.

Фокус в работе на моделировании берцовой кости.

ПЛАН

- Изучить анатомию и параметры материала берцовых костей человека
- Собрать, проанализировать экспериментальные данные и готовые аналогичные модели
- Создать модель берцовых костей, учитывающих сложную геометрию и структуру материала
- Рассчитать силу удара, задать нагрузку
- Произвести расчеты для статического и динамического нагружения для различных видов автомобилей и скоростей
- Произвести сравнение с экспериментальными данными





АНАТОМИЯ БЕРЦОВЫХ КОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА

- Большеберцовая кость (tibia), малоберцовая кость (fibula) - длинные трубчатые кости, имеющие тело, проксимальной и дистальной эпифизы.
- Тело большеберцовой кости (1) трехгранной формы, имеет три края и три поверхности. В верхней части переднего края находится бугристость большеберцовой кости (3).
- Проксимальный эпифиз малоберцовой кости имеет суставную поверхность (19) для сочленения с большеберцовой костью. Тело малоберцовой (17) трехгранной формы, имеет три поверхности и три края.

СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЯ

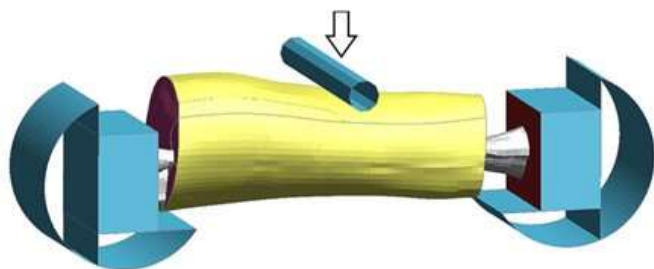
- Для борьбы с авариями инженеры-конструкторы изучают свойства автомобиля, применяя основы проектирования так, чтобы снизить вероятность аварии и ее последствия для пешехода. Например, меняя конструкцию бампера и строения капота так, чтобы эти части автомобиля стали более энерго-поглощающими.
- Созданы активные и пассивные системы безопасности. Активные пытаются избежать столкновения (сигналы водителю, АБС, парктроники, устранение слепых зон). Пассивные срабатывают после столкновения (элементы автомобиля, подушки и ремни безопасности)

АНАЛИЗ ГОТОВЫХ МОДЕЛЕЙ

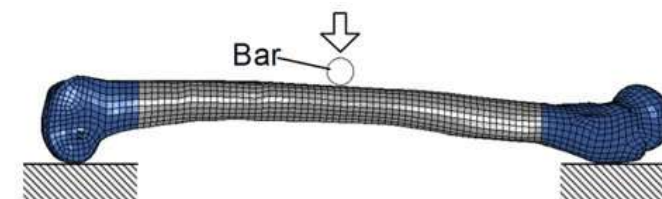
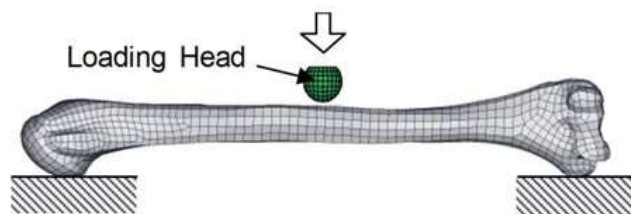
Total Human Model for Safety (THUMS) - это модель конечных элементов человеческого тела, разработанная Toyota.

THUMS может более детально анализировать травмы, связанные со столкновением, благодаря отображению формы и прочности тел. Также имеют ряд моделей разного пола, возраста и телосложения, которые включают скелетные структуры, мозг, внутренние органы и мышцы.

Dynamic 3-point Bending for Tibia (Oblique)



Schreiber et al. (1998)



АНАЛИЗ ГОТОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Преимущества

- ✓ Малая размерность, простота;
- ✓ Доступность скорости расчетов;
- ✓ Разнообразие (пол, возраст, телосложение).

Недостатки

- Модель не учитывает сложную структуру материала и анизотропию;
- Модель имеет слабую детализацию;
- Недостаточно точно описывают поведение большеберцовых костей при больших скоростях деформации.

РАСЧЕТ СИЛЫ УДАРА

Рассмотрим абсолютно упругий удар и найдем ударную силу:

- Зададим скорость автомобиля;
- Скорость человека равна 0, считаем, что он повернут боком к машине, чтобы удар приходился на боковую часть ноги;
- Рассчитаем импульс (1) системы человек-автомобиль до столкновения и после, найдем скорости;

$$p = \int_0^{\tau} F dt \quad (1)$$

- Получим ударную силу

Используем формулы закона сохранения импульса (2) и кинетической энергии (3):

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2 \quad (2)$$

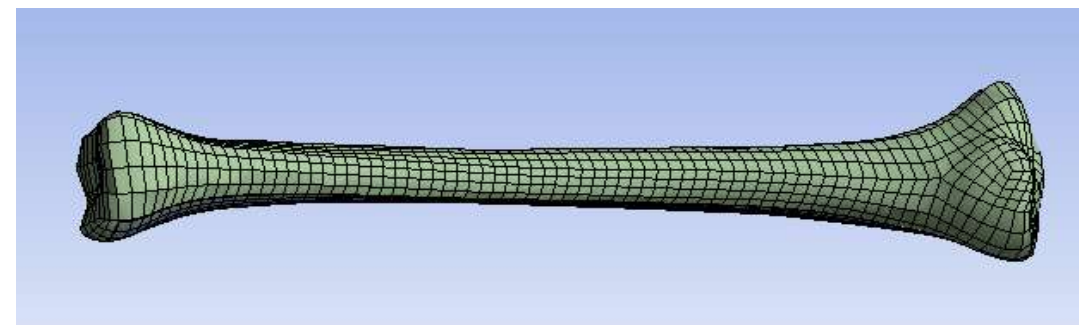
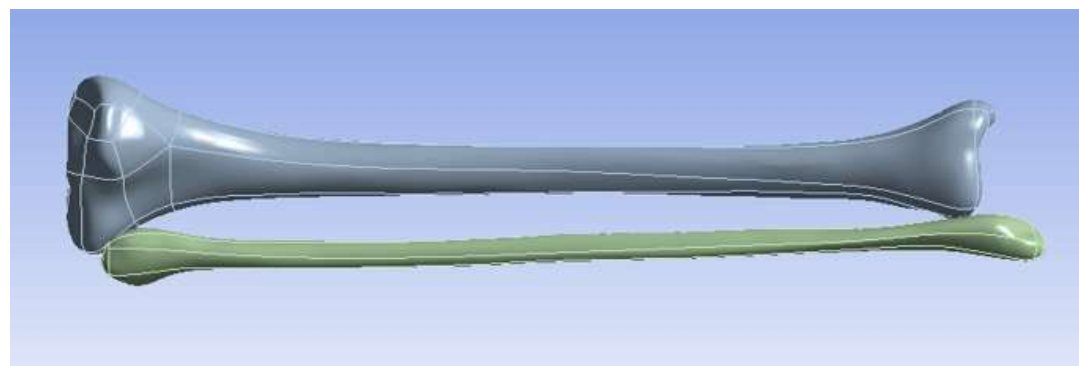
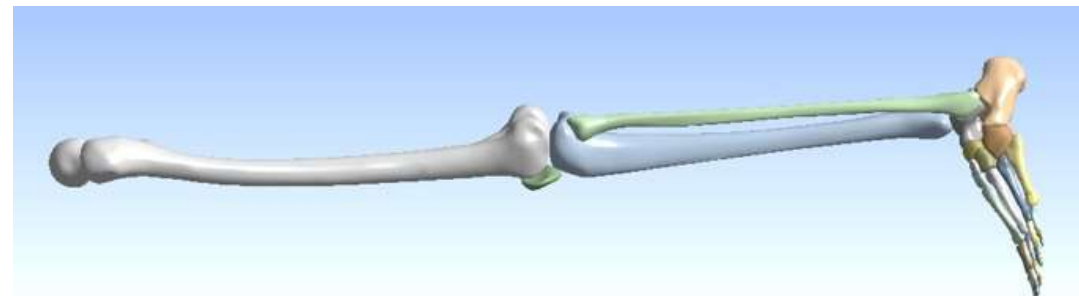
$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2} \quad (3)$$

РАСЧЕТ СИЛЫ УДАРА

Скорость авто →	3,6 км/ч (1 м/с)	7,2 км/ч (2 м/с)	10,8 км/ч (3 м/с)
Масса авто ↓	F, кН	F, кН	F, кН
1 т	1	2	3
1,5 т	1,44	2,89	4,33
2 т	1,89	3,77	5,66

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ БЕРЦОВЫХ КОСТЕЙ

- Одним из недостатков предыдущих готовых моделей была слабая детализация. Поэтому было принято решение взять данные с КТ реального человека для наиболее точной геометрии.
- Модель была сохранена в виде облака точек, затем переведена в формат STL и конвертирована в твердотельную CAD модель, затем сглажена и загружена в ANSYS.






МАТЕРИАЛ

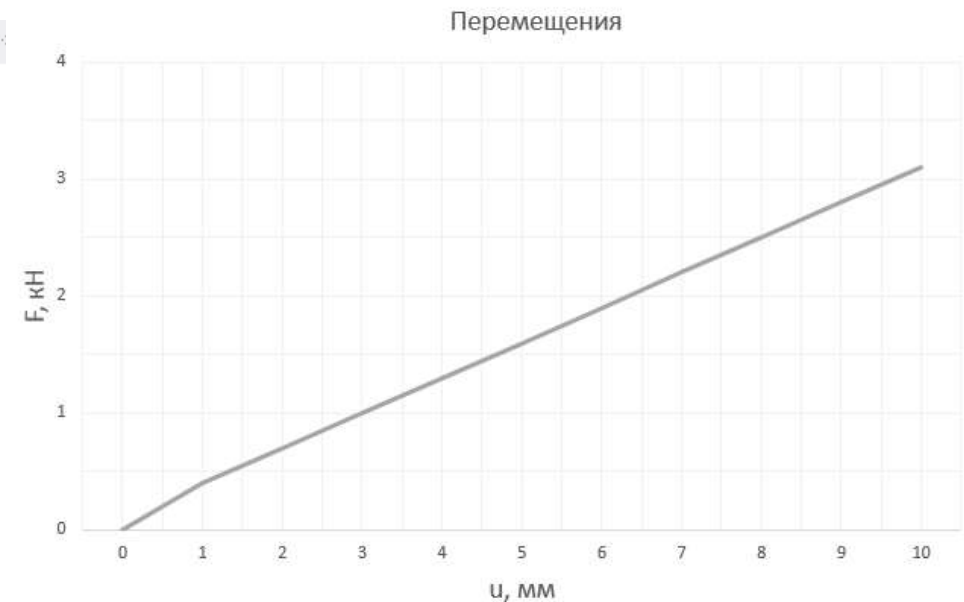
Кость имеет трубчатое строение, внутри имеется особый кортикальный слой вещества, который неоднороден по всей длине кости и его механические свойства зависят от пористости и тканевого состава кости.

Параметры изотропного материала кости:

Engineering Data: Material View

 Spong bone  

Density	500,00 kg/m ³
Structural	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	1e+09 Pa
Poisson's Ratio	0,45000
Bulk Modulus	3,3333e+09 Pa
Shear Modulus	3,4483e+08 Pa



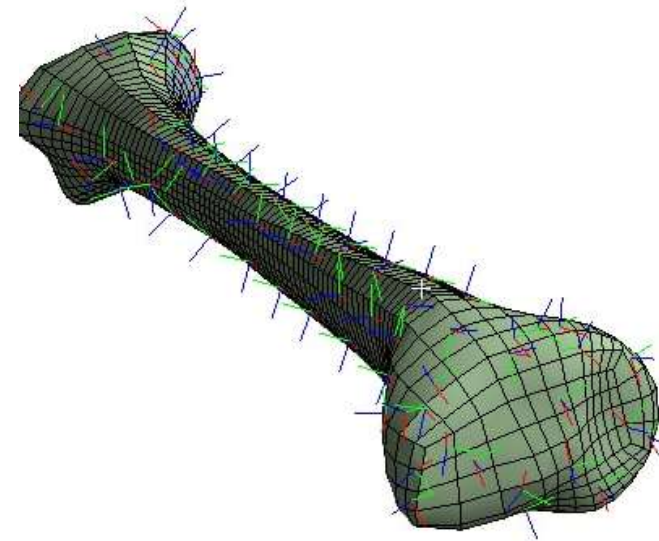
МАТЕРИАЛ

Материал берцовой кости имеет сложную анизотропную структуру. Особое значение имеет возраст человека, его образ жизни и полученные ранее травмы, осложнения или врожденные дефекты.

Здесь красным цветом обозначена главная ось X, зеленым цветом – ось Y (перпендикулярная), синим – ось Z, которая является нормалью к костной оболочке.

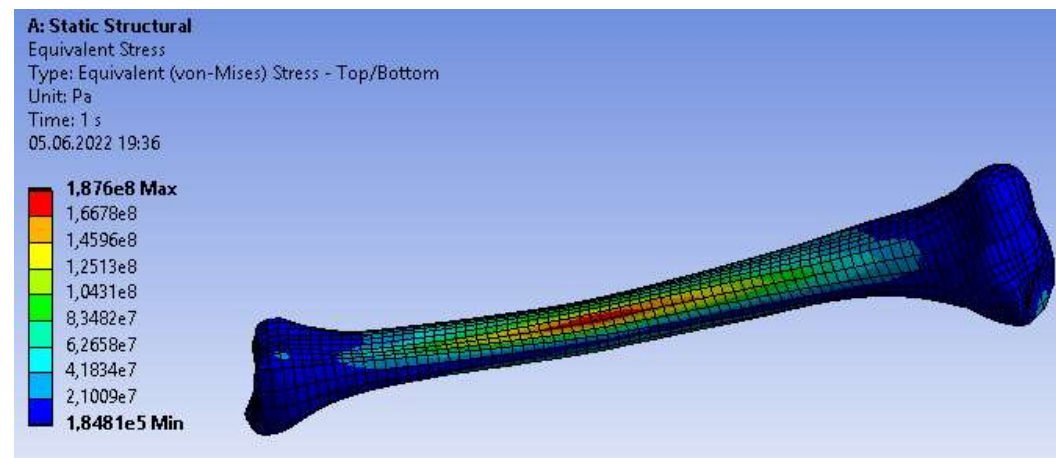
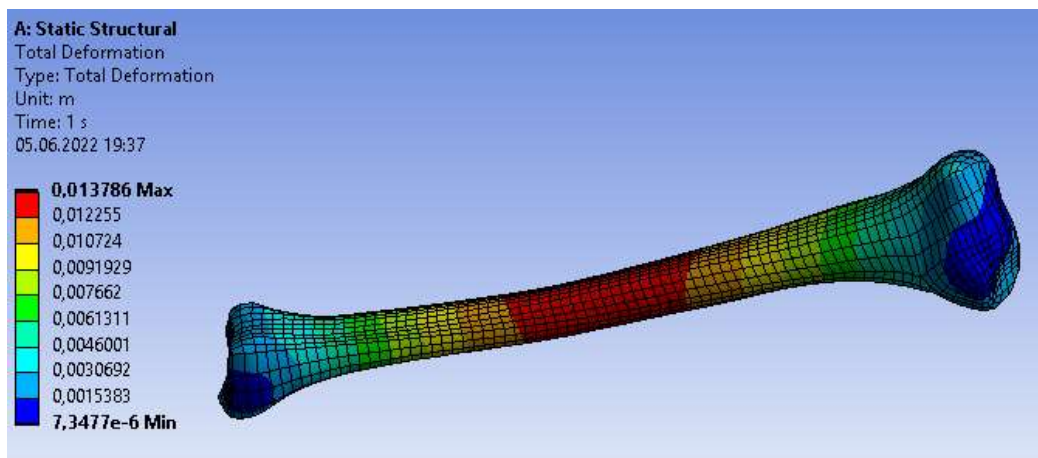
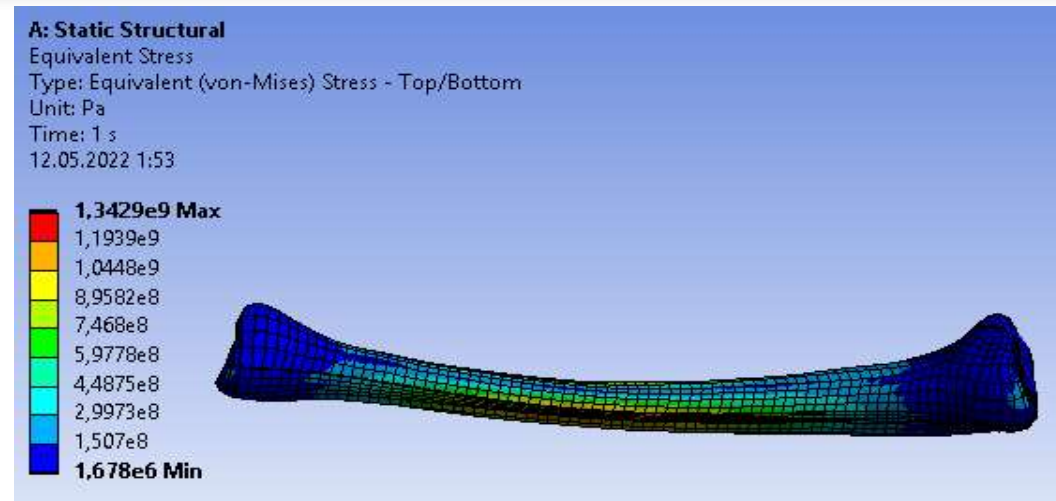
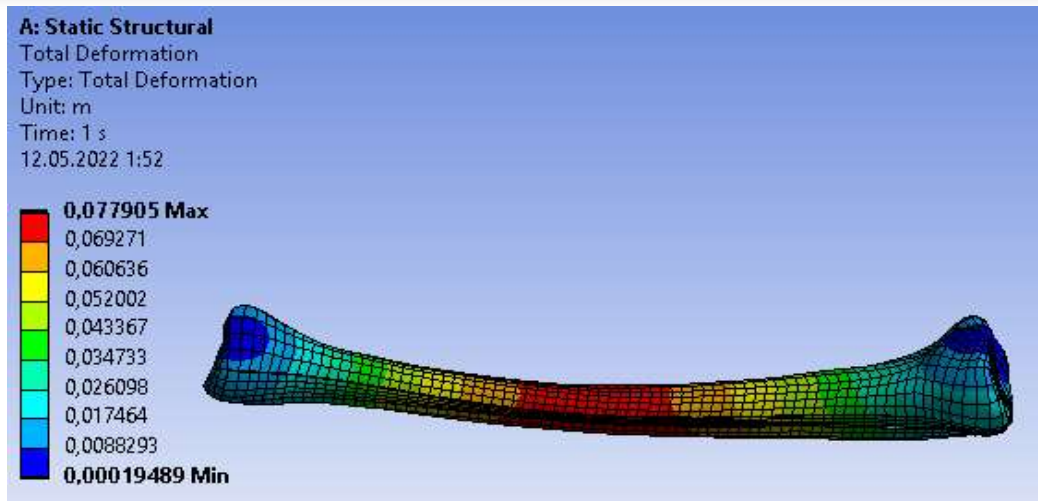
Параметры анизотропного материала:

Orthotropic Elasticity			
Young's Modulus X direction	18400	MPa	▼
Young's Modulus Y direction	7000	MPa	▼
Young's Modulus Z direction	8500	MPa	▼
Poisson's Ratio XY	0,12		
Poisson's Ratio YZ	0,37		
Poisson's Ratio XZ	0,14		
Shear Modulus XY	300	MPa	▼
Shear Modulus YZ	300	MPa	▼
Shear Modulus XZ	300	MPa	▼



РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты полученных перемещений и напряжений при прямой нагрузке 4 кН большеберцовой кости с изотропным и анизотропным материалом.



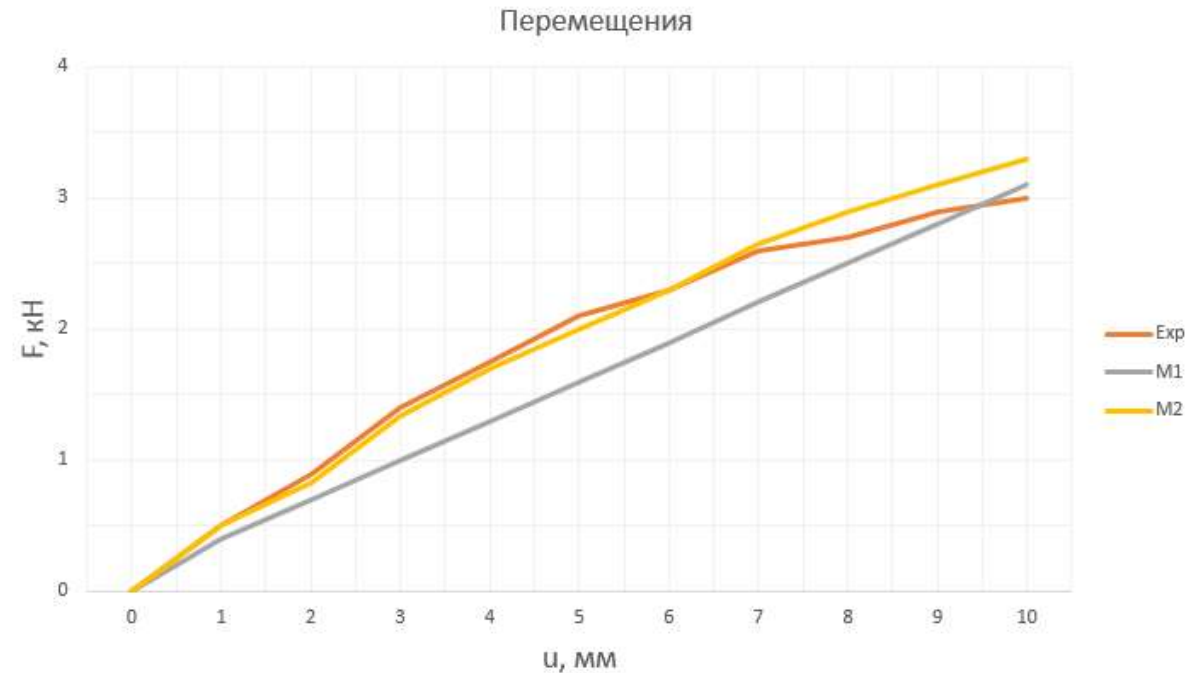
СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ

Результаты расчета перемещений для двух различных материалов и экспериментальные данные.

Exp – Yamada, H.: Strength of Biological Materials.

M1 – изотропный

M2 – анизотропный



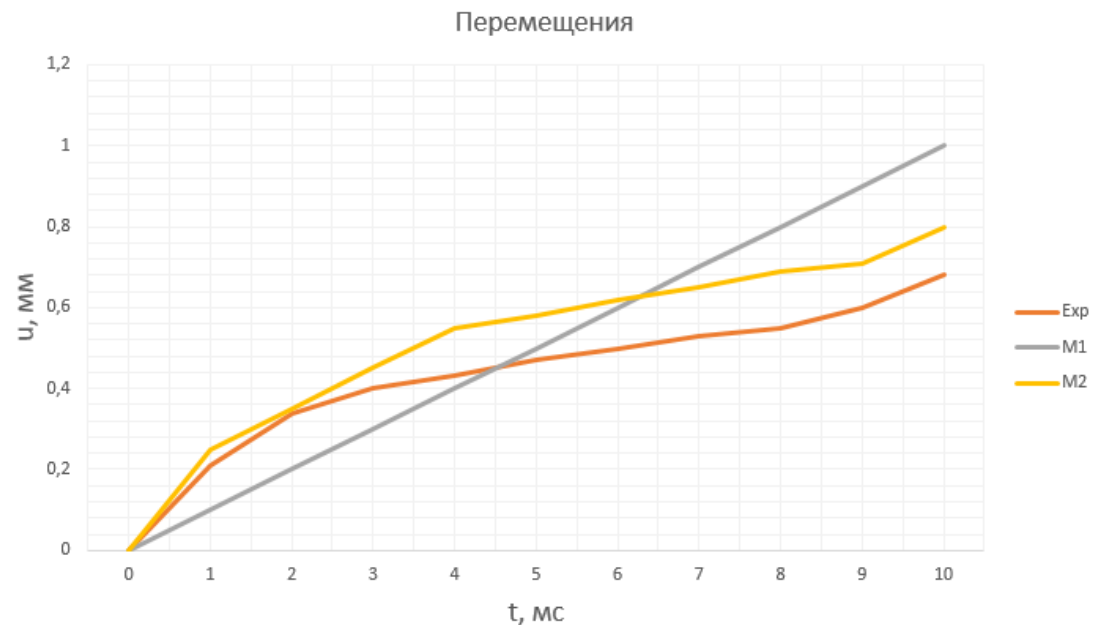
СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ДАННЫМИ

Результаты расчета динамических перемещений для двух различных материалов и экспериментальные данные.

Exp – Yamada, H.: Strength of Biological Materials.

M1 – изотропный

M2 – анизотропный



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были выполнены следующие задачи:

- ✓ Изучены анатомия и параметры материала берцовых костей человека.
- ✓ Собраны и проанализированы экспериментальные данные.
- ✓ Исследованы готовые модели и эксперименты при столкновении с транспортным средством.
- ✓ Проанализированы их преимущества и недостатки для учета при создании будущей модели.
- ✓ Создана модель берцовой кости человека на основе снимков КТ, выполнены уточнения, сглаживания.
- ✓ Заданы два вида материала.
- ✓ Произведены расчеты напряженно-деформированного состояния при столкновении для различных видов автомобилей и скоростей
- ✓ Выполнено сравнение с экспериментальными данными
- ✓ Показано, что анизотропный материал имеет большую сходимость с экспериментом.

ПЛАНЫ

- Рассмотреть изгиб вдоль кости по ее направлению (была рассмотрена только прямая перпендикулярная нагрузка) и сравнить данные в этом случае
- Подобрать параметры для анизотропного материала, для улучшения сходимости с экспериментом
- Рассмотреть результаты при другом положении человека (например, движении или повороте)



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!