



НАУКА
И ИННОВАЦИИ
РОСАТОМ

Промышленный пакет для инженерного анализа «Фидесис» – инструментарий для анализа механических характеристик материалов при проектировании и эксплуатации. Предложения по кооперации.

Левин Владимир Анатольевич

Профессор кафедры «Вычислительная механика»
механико-математического факультета МГУ им. М.В.
Ломоносова, заслуженный деятель науки РФ

Научный руководитель проекта «Фидесис»

ГОД НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ



Homo.
Science

РОСАТОМ



Homo
Science
ROSATOM



НАУКА
И ИННОВАЦИИ
РОСАТОМ

Применение пакета «Фидесис»

Одна из проблем конструктора при работе с новыми материалами и технологиями

Механические свойства материала для оценки на стадии проектирования прочностных характеристик изделия (включая критические сценарии нагружения). Аналогичная проблема при принятии решения о продлении срока эксплуатации

Одна из проблем разработчика нового материала. До возможных натурных экспериментов.
Моделирование его механических характеристик и поведения при эксплуатации (при различных типах воздействия).

1. Микроуровне
2. Мезоуровне
3. Макроуровне.

Инструментарий для моделирования – пакет инженерного анализа.

Разработчик должен

1. Предложить адекватную механическую формализацию микроструктуры в рамках механики сплошной среды и задать свойства каждой составляющей (для композита – наполнитель и связующее, при использовании аддитивных технологий – закон изменения свойств при различных температурах).

Позволит определить механические характеристики материала на макроуровне

2. Предложить (если необходимо) модель (включая критерии) поведения материала (включая изменение свойств составляющих материала при различных типах и уровнях нагружения (радиационное, температурное, механическое)



Предложение по кооперации

1. Совместная доработка функционала в части «тиปизации» моделей в пакете (позволит понизить компетенции исполнителя в данной области при проведении стандартных расчетов). Создание тиражируемого решения для различных типов материалов
2. Разработка и реализация перспективных моделей с последовательным переходом в процессе нагружения (эксплуатации) между разными уровнями (пример - возникновение микро и/или макро дефектов в процессе эксплуатации)
3. Разработка требований по валидации моделей (и их программной реализации) с разработкой тестовых примеров
4. Создание междисциплинарного консорциума для промышленной реализации моделей для проектирования новых материалов (с горизонтом до 10 лет)



Homo ·
Science
РОСАТОМ

Структура CAE Fidesys

Fidesys Standard

Базовая версия

- Линейные статические и динамические задачи прочности
- Анализ собственных частот и форм колебаний
- Анализ критических нагрузок и форм потери устойчивости

Fidesys Professional

Нелинейные задачи

- Анализ прочности с учетом конечных деформаций и перемещений
- Нелинейный МКЭ-решатель
- Контактные задачи
- Физически нелинейные модели материалов (Мурнаган, Муни-Ривлин)
- Упругопластичность (Мизес, Друкер-Прагер)
- Термомеханический анализ упругих тел
- Расчет температурных полей (стаци. и нестаци. теплопроводность)

Fidesys Dynamics

Метод спектральных элементов.
Нестационарные задачи с высокой
точностью

- Нестационарные задачи с быстропротекающими процессами
- Моделирование неразрушающего контроля
- Распространение упругих колебаний в твердых телах
- Высокоточное описание волновых процессов

Fidesys Composite

Оценка эффективных свойств
композитов

- Расчет эффективных свойств композитов
- Расчет пористых материалов при малых и конечных деформациях
- Определение упругих свойств монослоя

Fidesys HPC

Ускорение расчетов
(распараллеливание вычислительных
процессов)

- Распараллеливание всех основных этапов решения задачи
- Ускорение расчетов и сокращение времени анализа
- Технологии OpenMP/MPI

Fidesys Online

Расчеты в облаке

- Доступность из любого браузера при наличии Интернета
- Вся работа с моделью и расчеты производятся в облаке
- Совместная многопользовательская онлайн работа
над задачей

Дополнительные модули (приобретаются отдельно)





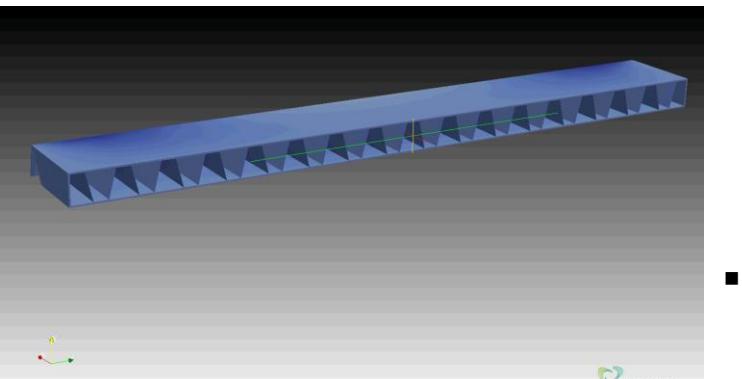
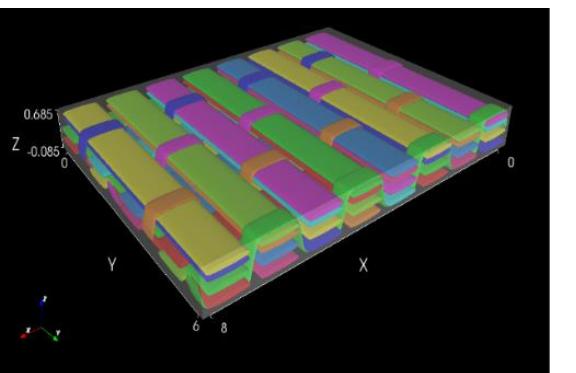
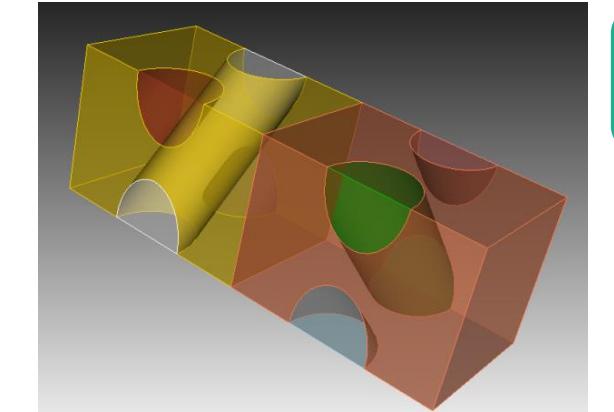
Homo
Science
ROSATOM

Форматы данных, типы элементов

- **ACIS (*.sat, *.sab);**
- **IGES (*.igs, *.iges);**
- **STEP (*.stp, *.step);**
- **AVS (*.avs);**
- **Genesis/Exodus (*.g, *.gen, *.e, *.exo);**
- **Facets (*.fac);**
- **GAMBIT Real Geometry (*.dbs)**
- **Catia (*.CATPart, *.CATProduct, *.ncgm);**
- **Parasolid (*.x_t, *.x_b)**
- **SolidWorks (*.sldprt, *.sldasm)**
- **Pro/E (*.prt, *.asm)**
- **STL Files (*.stl);**
- **Patran (*.pat, *.neu, *.out);**
- **Ideas (*.unv);**
- **Abaqus (*.inp);**
- **Fluent (*.msh);**
- **Nastran (*.bdf);**
- **LS-Dyna (*.k*)**
- **Ansys (*.cdb)**
- **BEAM2 (балочный)**
- **BEAM3 (криволинейный балочный)**
- **QUAD4 (плоский четырехугольный)**
- **QUAD8 (плоский восьмиузловой)**
- **QUAD9 (плоский девятиузловой)**
- **SHELL4 (четырехугольный оболочечный)**
- **SHELL8 (восьмиузловой оболочечный)**
- **SHELL9 (девятиузловой оболочечный)**
- **TRI3 (плоский треугольный)**
- **TRI6 (плоский шестиузловой)**
- **TRISHELL3 (треугольный оболочечный)**
- **TRISHELL6 (шестиузловой оболочечный)**
- **HEX8 (гексаэдральный объемный)**
- **HEX20 (криволинейный гексаэдральный)**
- **HEX27 (криволинейный гексаэдральный)**
- **TETRA4 (тетраэдральный объемный)**
- **TETRA10 (криволинейный тетраэдральный)**
- **WEDGE6 (призматический объемный)**
- **WEDGE15 (криволинейный призматический)**
- **PYRAMID5 (пирамидальный объемный)**
- **PYRAMID13 (криволинейный пирамидальный)**
- **SPRING (пружина)**
- **LUMPMASS (сосредоточенная масса)**
- **CONSTRAINT (связь)**
- **SEM N (спектральный элемент)**



Homo ·
Science
ROSATOM



Fidesys Composite
Многомасштабное моделирование

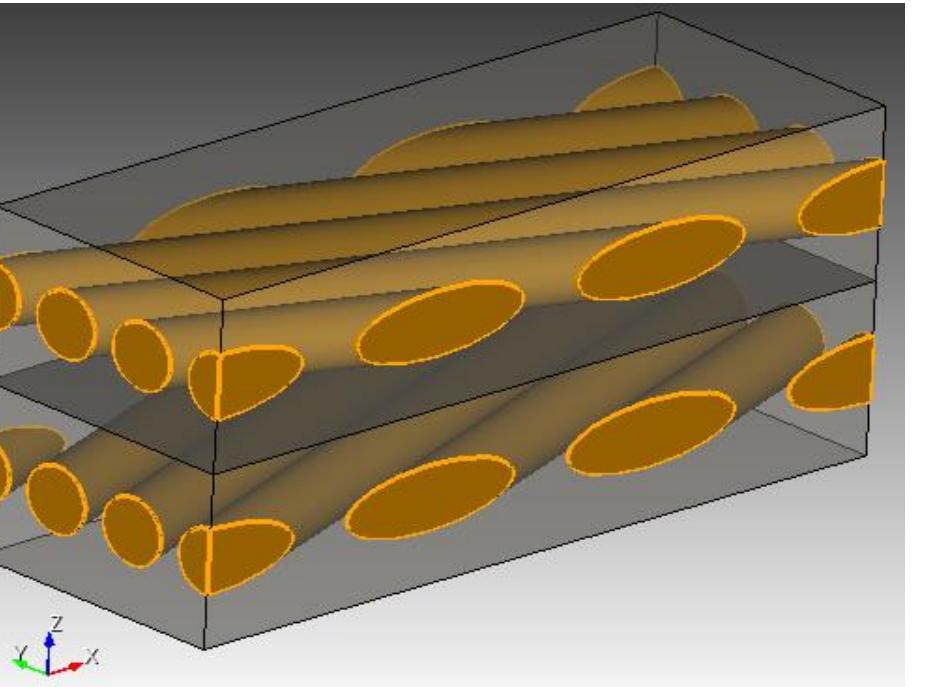
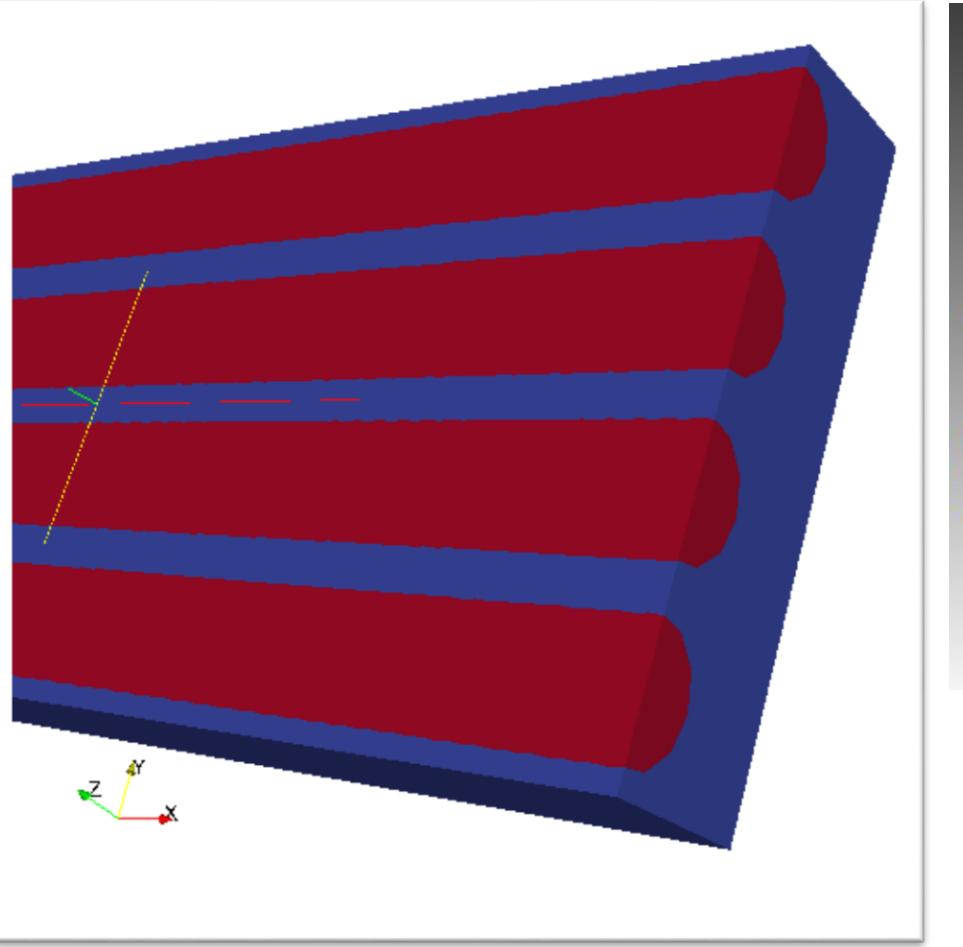
Расчет эффективных свойств композиционных материалов

- Моделирование прочности композитов и элементов конструкций из них
- Многомасштабное моделирование
 - Учет свойств армирующих нитей
 - Построение матрицы композита
 - Нахождение эффективных свойств композита для ячеек периодичности
- Прогрессирующее разрушение композита
 - Определение критической величины несущей способности конструкции
 - Моделирование поведения композита после начала разрушения
- Учет нелинейных эффектов



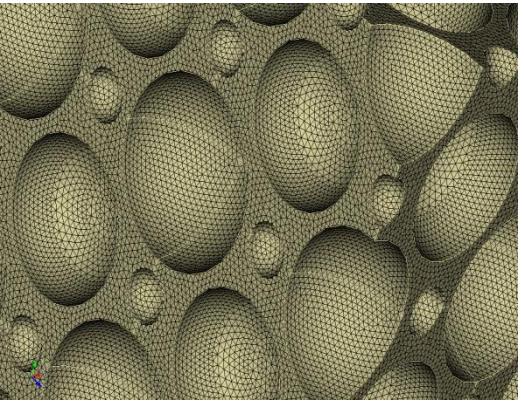
Homo ·
Science
ROSATOM

Оценка эффективных свойств резинокорда



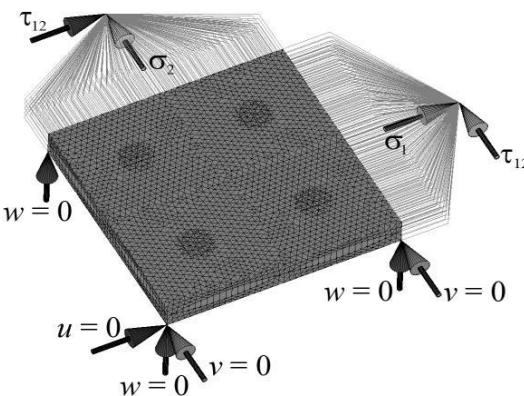
Методика расчета на основе ячейки периодичности

Software for estimation of second order effective material properties of porous samples with geometrical and physical nonlinearity accounted for / A. V. Vershinin, V. A. Levin, K. M. Zingerman et al. // *Advances in Engineering Software*. — 2015. — Vol. 86. — P. 80–84.



Перспективным является **метод асимптотического осреднения** для вычисления эффективных характеристик периодических структур.

Этот метод позволяет найти точные (в математическом смысле) эффективные характеристики с помощью решения **«задачи на ячейке периодичности»**.



Эта задача имеет смешанный интегро-дифференциальный тип и неклассические граничные условия периодического типа.

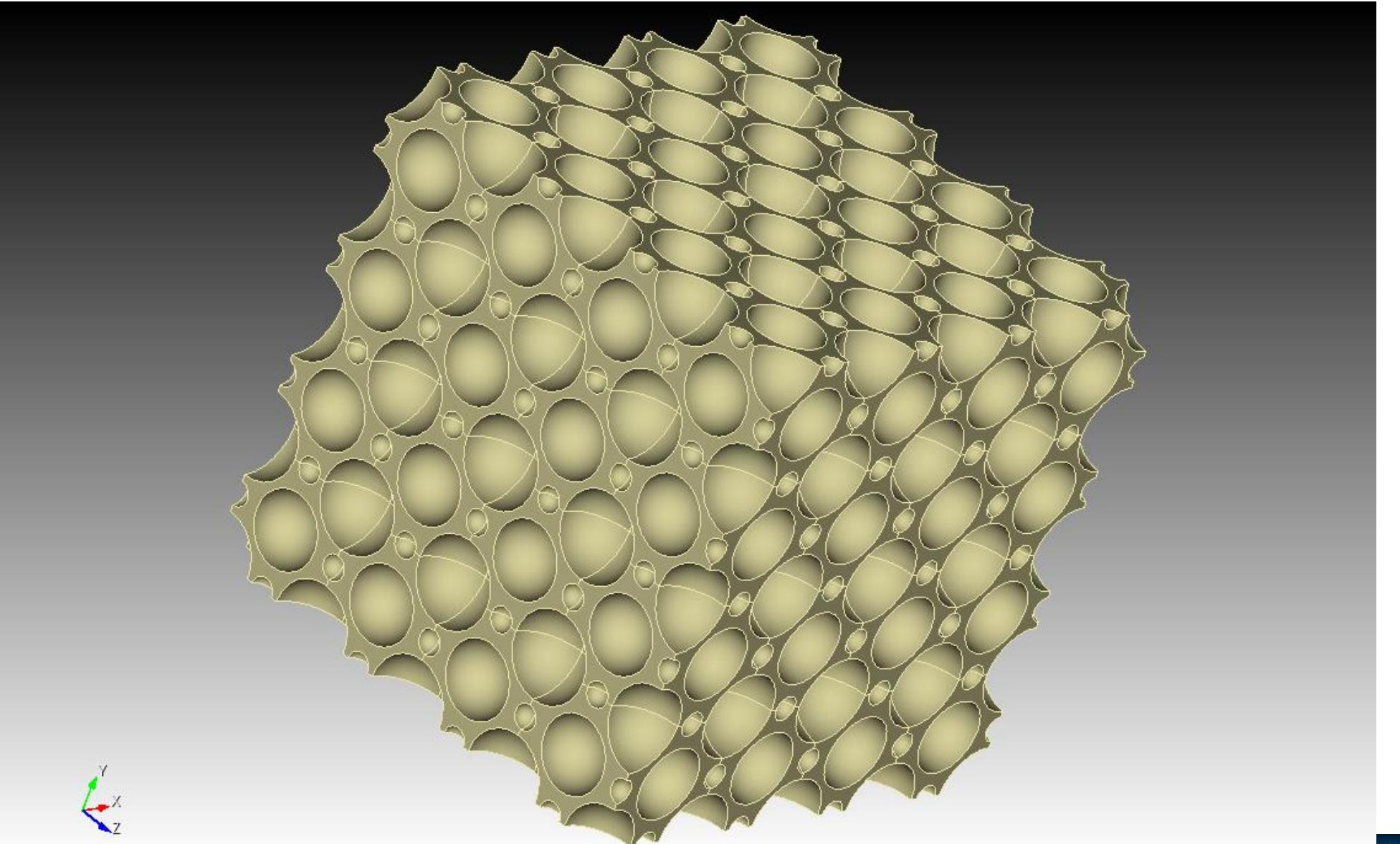
В настоящее время имеется лишь несколько примеров решения этой задачи для сравнительно простых пористых структур.



Homo ·
Science
ROSATOM

X
Y
Z

Модель

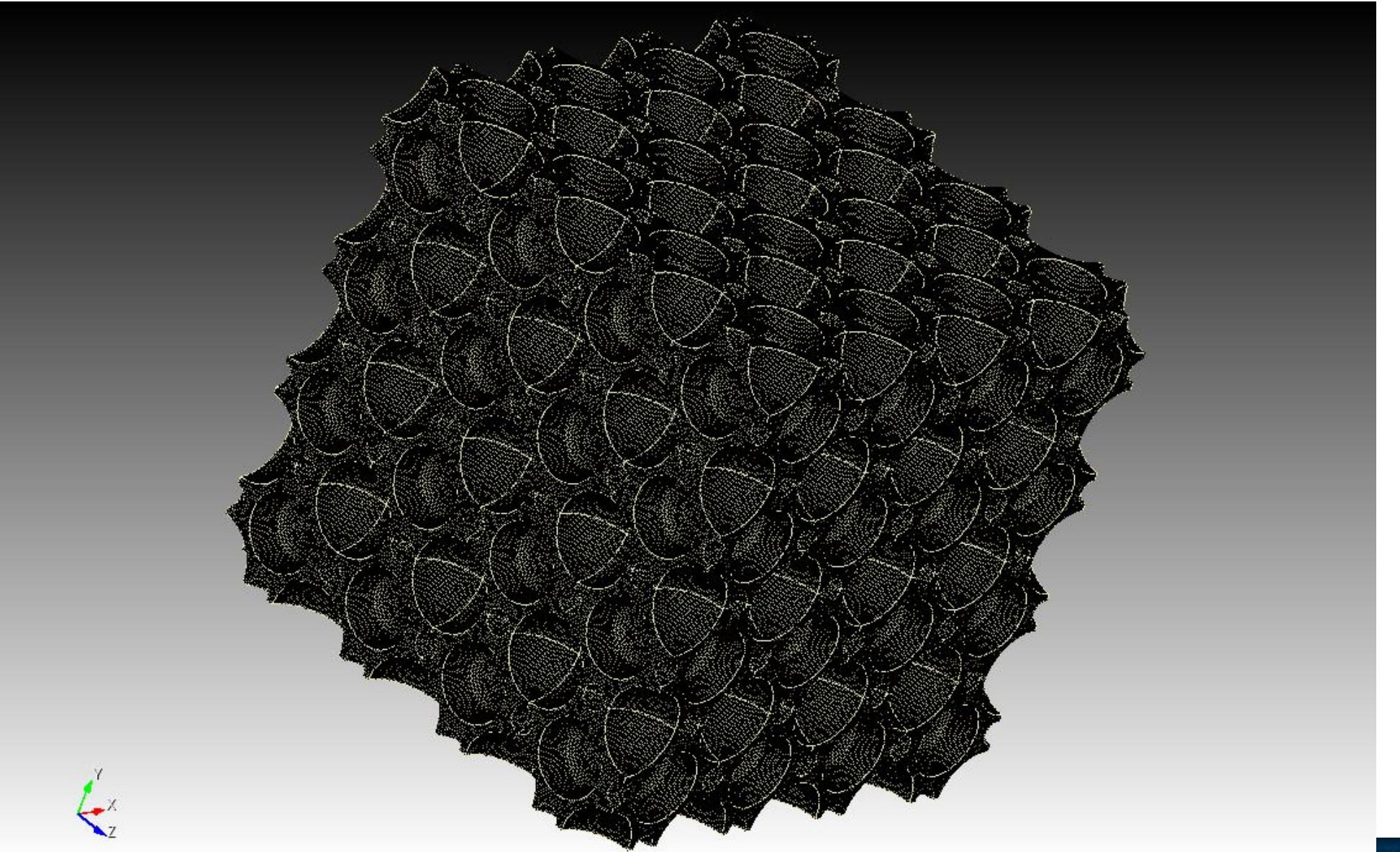




Homo ·
Science
POCATOM

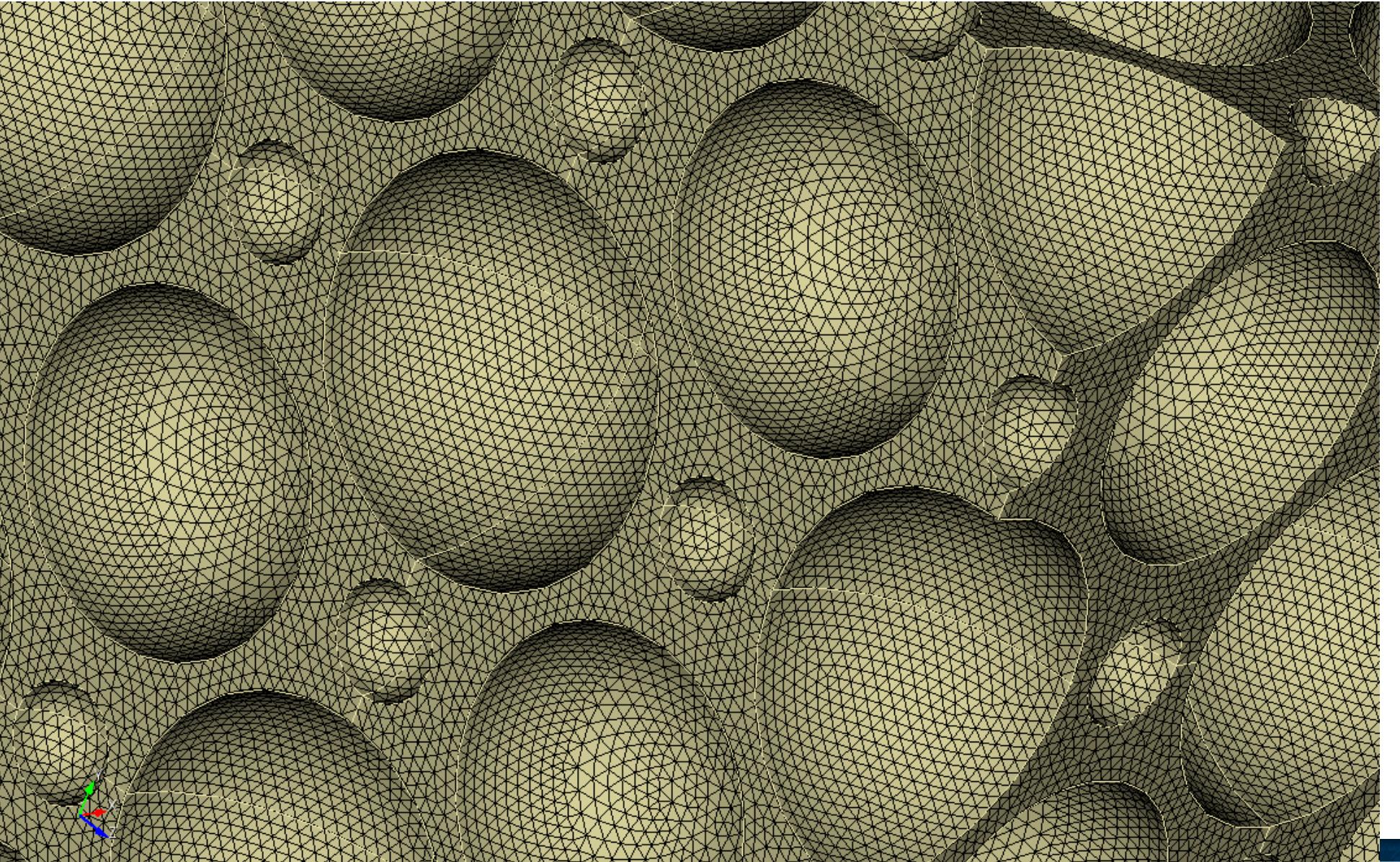
$$\text{[Handwritten notes and equations in the top right corner.]}$$

Конечноэлементная сетка



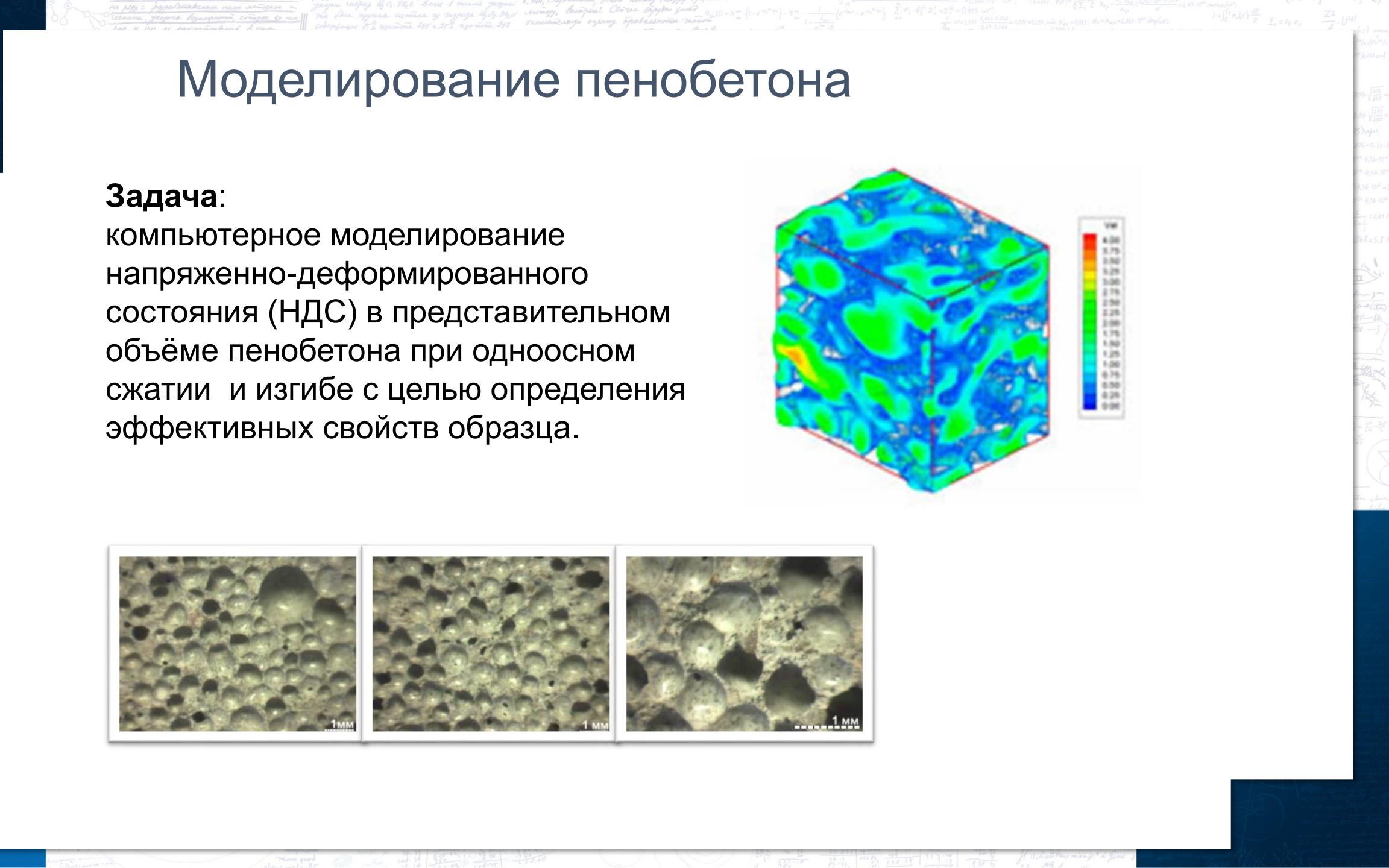


Homo
Science
POCATOM

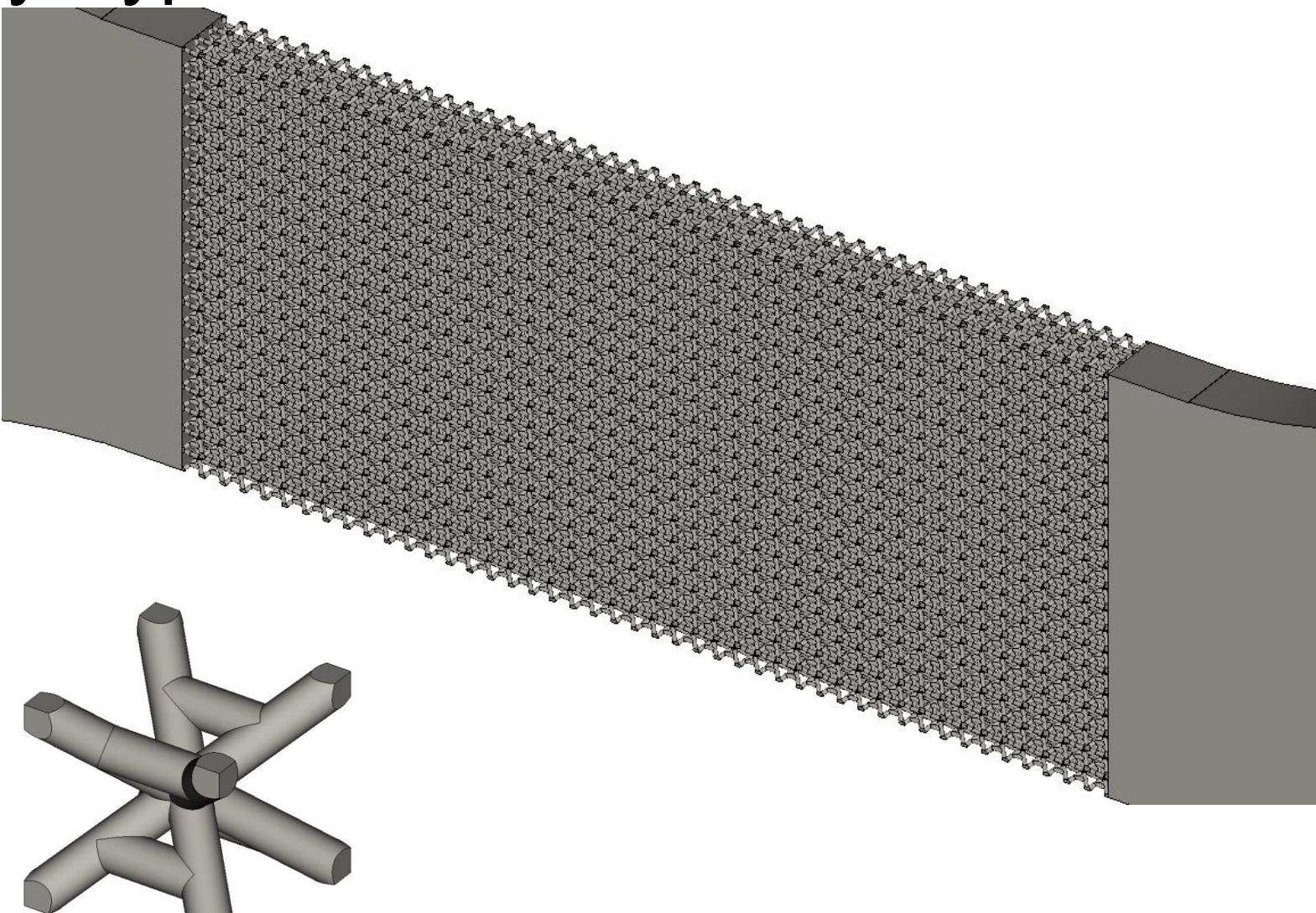




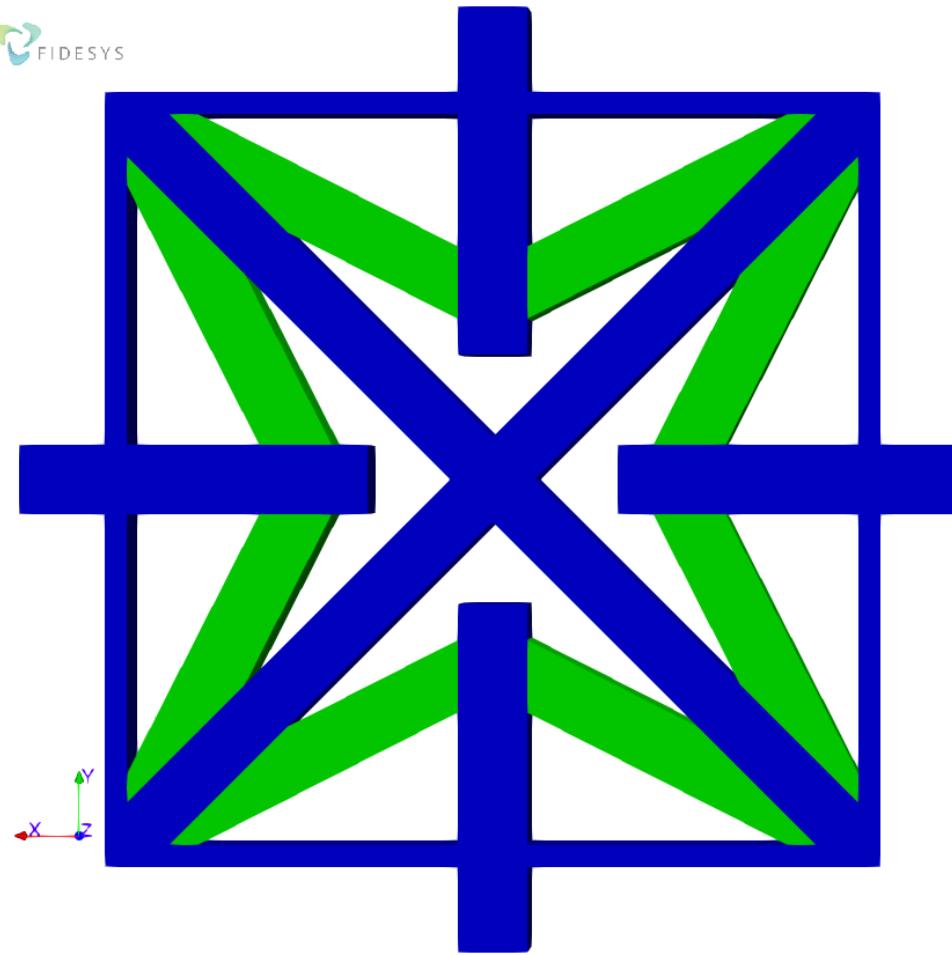
Homo ·
Science
ROSATOM



Эффективные свойства решетчатых структур



Отрицательный эффективный коэффициент температурного расширения метаматериала



FIDESYS

АНАЛИЗ КЕРНА

- Трудоемкое и дорогостоящее проведение натурных экспериментов
- Большое количество образцов, поступивших с месторождений
- Неполный учет реального начального нагружения, включая температурное

Способы решения:

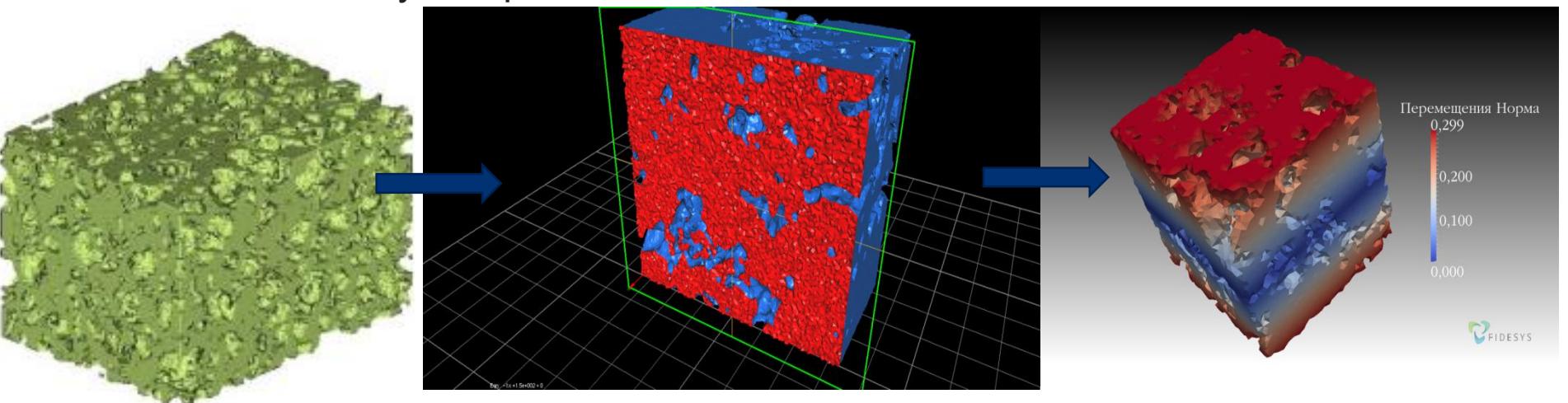
- 1) Компьютерная томография для получения внутренней поровой структуры (воксельное представление)
- 2) Снижение размерности задачи путем построения векторной модели керна (восстановленная геометрия) и расчетной сетки
- 3) Проведение серии численных экспериментов (включая сложное напряженно-деформированное состояние)
- 4) Расчет осредненных (эффективных) характеристик
- 5) Моделирование прохождения упругих волн по модели керна
- 6) Моделирование разрушения керна с учетом преднагружения и изменения поровой структуры
- 7) Моделирование с учетом порового давления
- 8) Учет конечности деформаций и физической нелинейности



Homo
Science
ROSATOM

Анализ керна по данным томографии

Вершинин А. В., Улькин Д. А., Яковлев М. Я. Вариант численной оценки эффективных механических характеристик керна с помощью системы fidesys // XI Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики. — Издательство Казанского университета Казань, 2015. — С. 744–746



Эффективные свойства ищем в виде зависимости тензора напряжений от тензора деформаций в общем виде:

$$\sigma_{mn}^e = C_{mni} E_{ij}^e$$

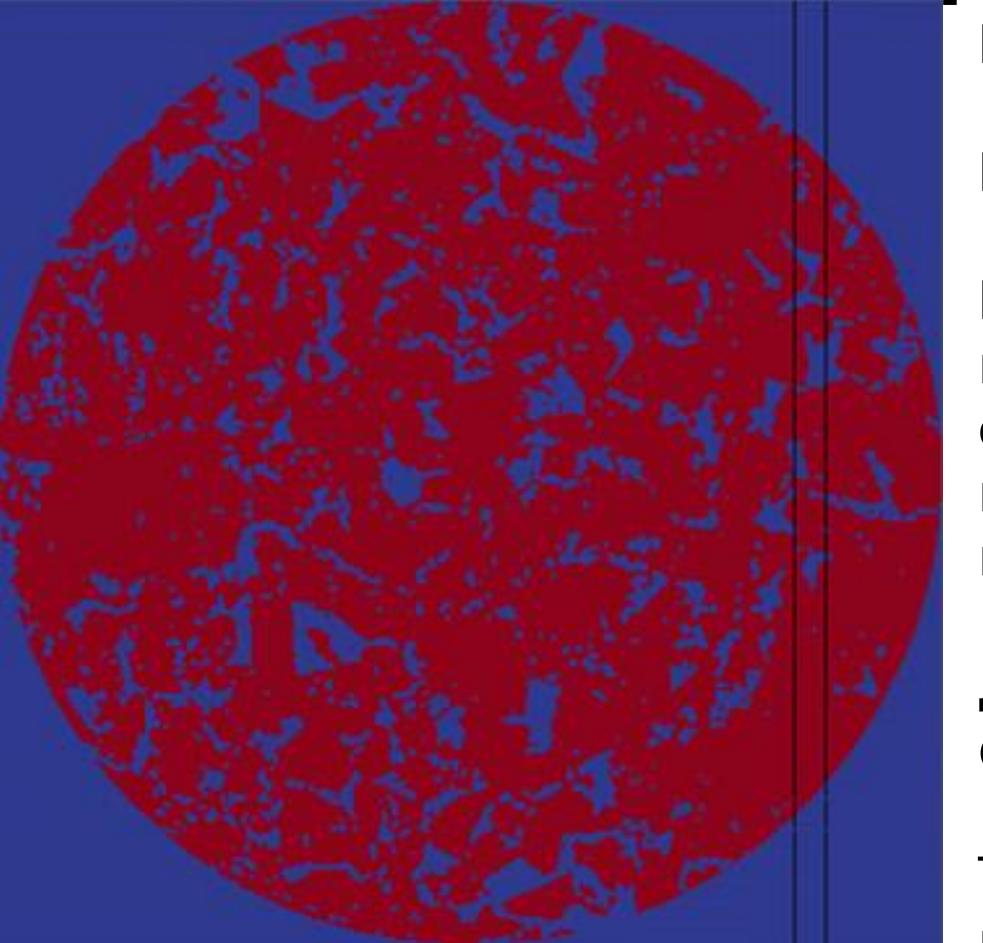
Возможность изменять свойства материалов, определяющие соотношения, насыщенность пор.
Моделируются различные типы экспериментов: одноосное, гидростатическое,...

Результаты расчетов в виде:

- 21 компоненты тензора упругости;
- Распределения напряжений/деформаций ;
- Зависимостей от типа материала, пористости, ...



Homo
Science
ROSATOM



Данные компьютерной томографии

Количество voxелей:

1300x1300x1300

Размер voxelя – 10 мкм

В каждом voxelе – либо полость, либо материал с одними и теми же свойствами:
модуль Юнга 70 ГПа,
коэффициент Пуассона 0.15

Данные хранятся в бинарном файле объёмом 2 Гб

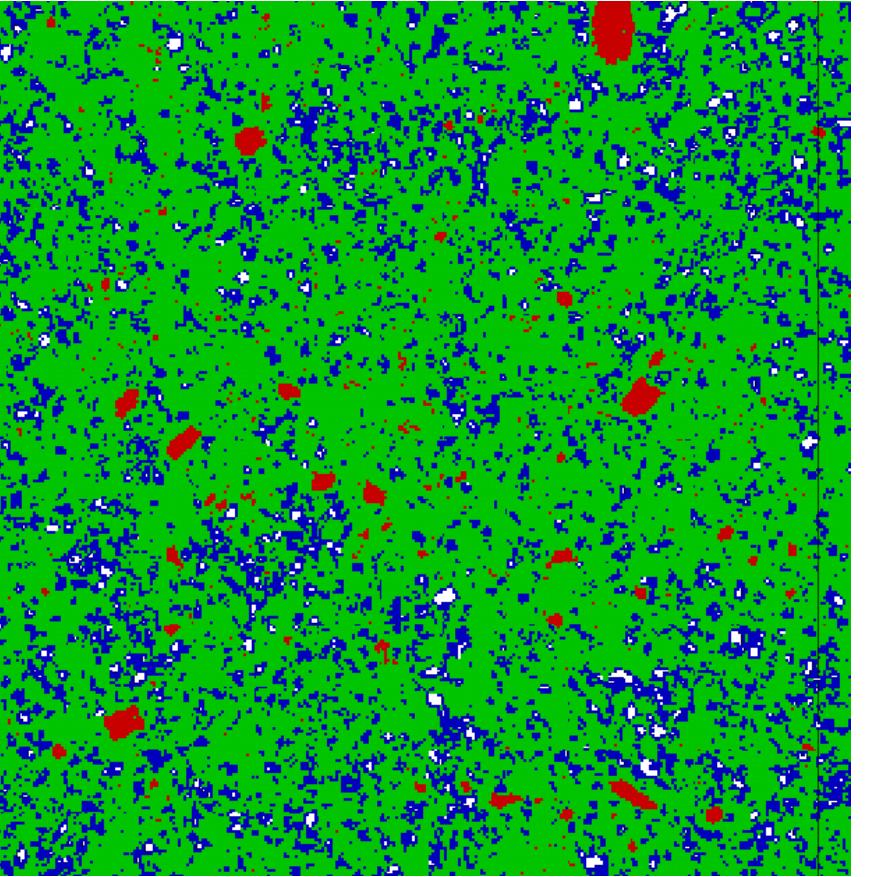
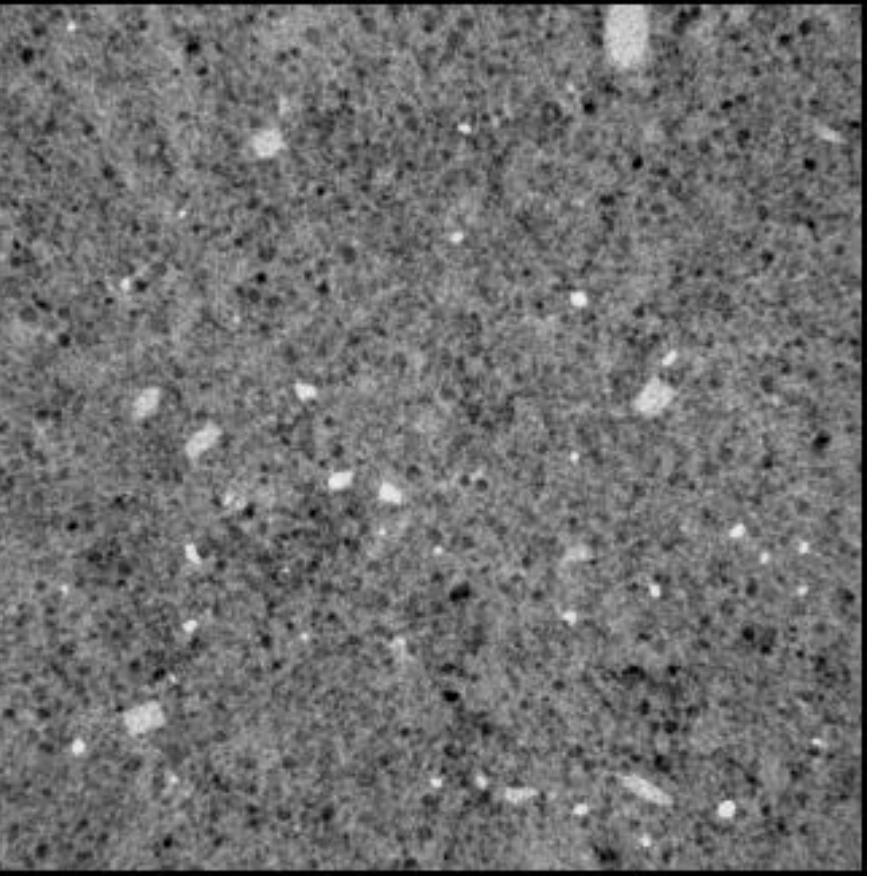
Томография керна
проводилась в компании
IntroVision



Homo ·
Science
ROSATOM

$$\text{Handwritten notes and calculations in the background}$$

Данные компьютерной томографии

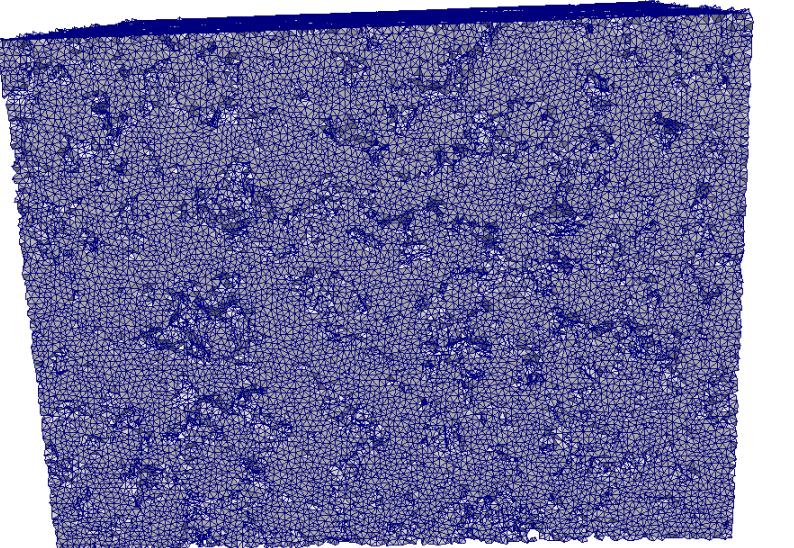


Данные томографии (бинарные файлы) предоставлены МГУ
имени М.В. Ломоносова (геологический факультет)



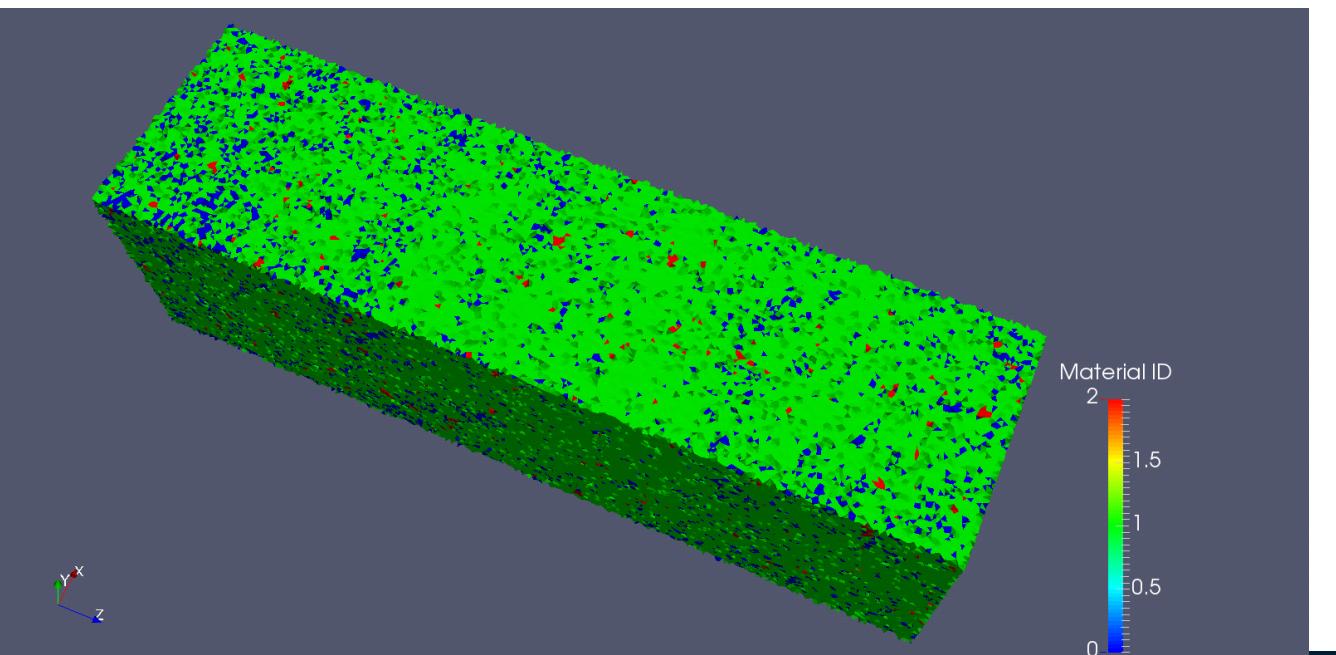


Homo ·
Science
ROSATOM



Построение тетраэдральной сетки

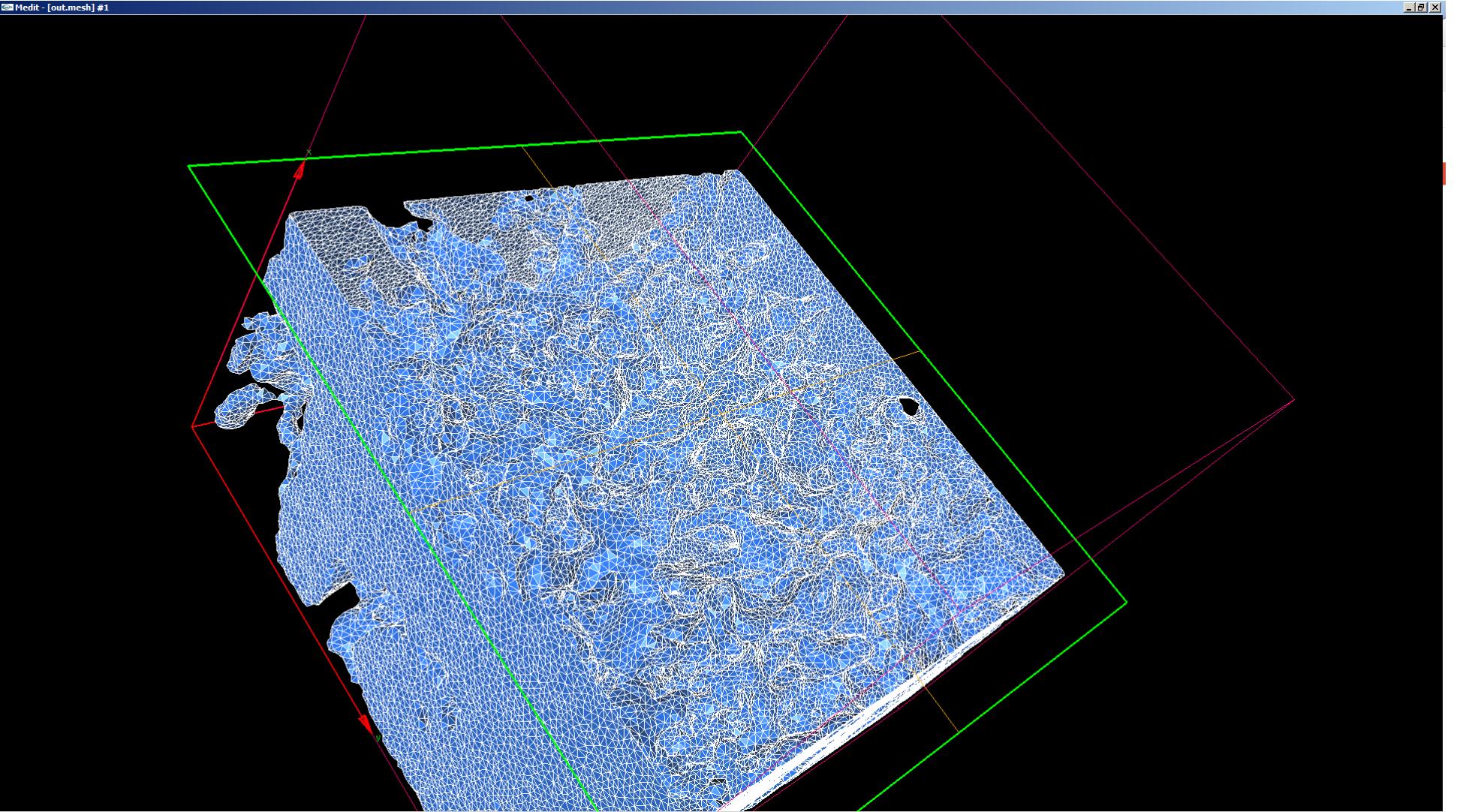
Сетка строится на основе данных томографии для фрагмента размером 900x900x1200 вокселей (из цилиндрического керна вырезается параллелепипед)
Размер сетки – 2 млн. тетраэдров





Homo ·
Science
POCATOM

Внутренняя структура порового пространства





Homo ·
Science
ROSATOM

Теория многократного наложения больших деформаций

Теория для решения задач о перераспределении в теле больших деформаций, то есть задач, в которых в процессе нагружения изменяются неоднократно границы, граничные условия (добавляются или удаляются части тела, изменяются свойства части материала тела)

Задачи (включая связанные) о последовательном дискретном или непрерывном образовании в нагруженном теле концентраторов напряжений (полости, включение, послойное изменение формы тела) и их взаимодействии и взаимовлиянии.

--Модели образования и развития дефектов в нагруженном теле.
-- Модели образования и эволюции зон предразрушения.
--Модели, учитывающие поврежденность

Модели поэтапного (в том числе, послойного) изменения (уменьшения, увеличения) формы напряженного тела или его части

Модели для описания твердотельных фазовых переходов

Модели поведения тел, материал которых изменяет свойства при нагружении

Методы оценки эффективных свойств при конечных деформациях и их перераспределении (включая пористые, композиционные и метаматериалы)

Критерии прочности, критерии изменения свойств материала (включая нелокальные)

Модели роста трещины не нулевого раскрытия;
Модель вязкого роста трещины (дефекта).

Модели принудительного образования и послойного развития полости или (и) включения

Модели, как для непрерывного, так и для дискретного развития твердотельного фазового перехода, (связанная задача)

Модели с использованием кинетических соотношений для описания изменения свойств материала при нагружении

Модели для многомасштабного моделирования с использованием моментной теории (связанная задача)

Модели пластичности с учетом изменения зон разгрузки в процессе нагружения

Геомеханика, сейсмика, цифровой керн, Трещина гидоразрыва

Ресурс элемента конструкции (+промышленный интернет вещей)

Аддитивные технологии

Композиционные материалы (+«умные») и изделия из них. Разрушение таких материалов

Кристаллические материалы (Модели с использованием теории Ландау-Гинзбурга наноразмерные образцы)

Метаматериалы и изделия из них
наноструктурированные материалы (+эффект поверхности слоя)



НАУКА
И ИННОВАЦИИ
РОСАТОМ

Спасибо за внимание

Левин Владимир Анатольевич
Профессор кафедры «Вычислительная
механика» механико-математического
факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,
Заслуженный деятель науки РФ,
Научный руководитель проекта Фидесис.
vlevin@cae-fidesys.com
WWW: www.cae-fidesys.com
SaaS: www.sim4design.com

ГОД НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ В РОССИИ



**Homo·
Science**

РОСАТОМ