

Моделирование стохастических шаровых засыпок реакторов типа ВТГР



Докладчик: Кушнир Н.О.
Инженер-исследователь ОБВР ККПАЭ
НИЦ «Курчатовский институт»

Обнинск, 2024

1

Введение



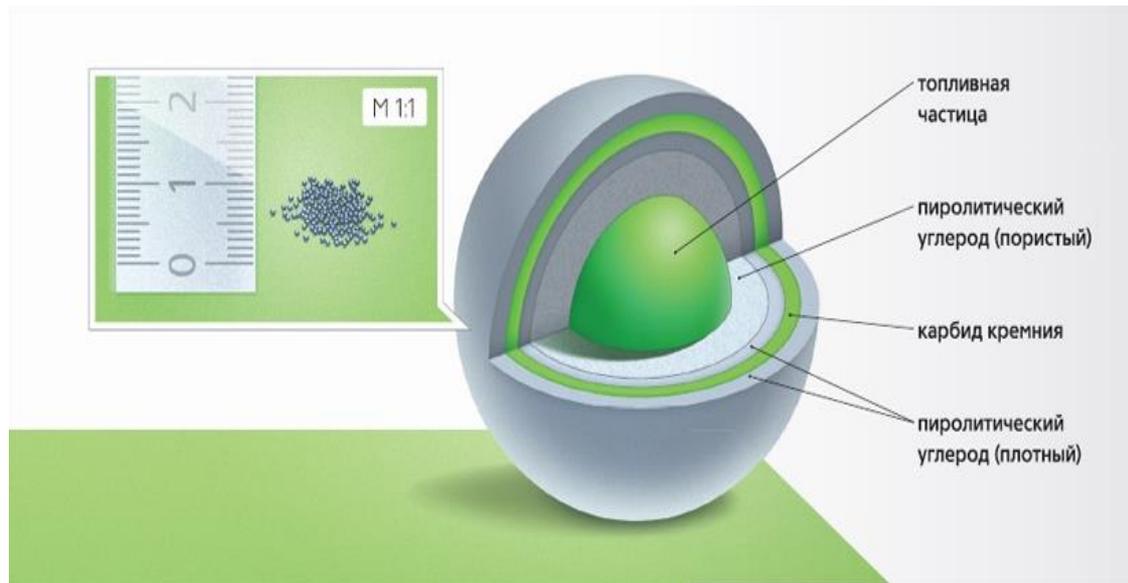
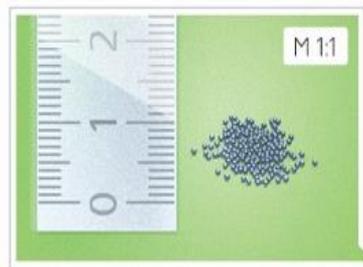
Необходимость исследования



- Глобальная цель: верификация нейтронно-физических кодов
- Способ достижения цели: анализ экспериментов, проведённых на ВТГР-стенде
- Задача: исключить возможные неточности моделирования, которые не относятся к мат. аппарату кодов
- Проблема: моделируемый ВТГР-стенд АСТРА имеет стохастическую шаровую засыпку, геометрия которой будет обрезана в случае её задания регулярной решеткой
- Решение: создано **универсальное** ПО для точного моделирования стохастических засыпок



Шаровые засыпки





Рассмотренные варианты



Для получения стохастической шаровой засыпки возможны способы:

- Розыгрыш точек в нужном объёме и дальнейшее их увеличение до шаров нужного диаметра;
- Розыгрыш типа решётки на каждом шаге, получая случайную решётку из регулярных решёток;
- Ручное задание случайного размещения шаров в слое и дальнейшее его размножение до нужной высоты;
- Детальное моделирование шаров с учётом физики: сила тяжести, законы сохранения импульса и энергии, плотность.

2

О программе



Программа



Входные данные:

- CAD-модель формата «.obj»;
- Диапазон засыпки по вертикали;
- Диапазон засыпки по горизонтали;
- Диаметр шаров;
- Масса шаров;
- Трение скольжения и качения ШЭ;
- Трение поверхности модели;
- Масса модели;
- Область появления шаров;
- Количество шаров при появлении.

The screenshot shows a software window titled 'Init_Data' with the following input fields:

Geometry set	Friction of the vessel	Friction of the bebble bed	Sphere's source
Bottom position (cm) 42.75	Slide Friction factor 0.01	Slide Friction factor 0.01	Min X coordinate (cm) -85.5
Moving step (cm) 6.0566	Rolling Friction factor 0.01	Rolling Friction factor 0.01	Max X coordinate (cm) 86.5
Height (cm) 320.8	Mass of the vessel (kg) 1000000000	Mass of the one ball (kg) 0.2	Min Y coordinate (cm) -85.5
Out radius (cm) 105	Source quantity: 221		Max Y coordinate (cm) 86.5
Local bottom (cm) 42.5			
Inn radius (cm) 5.25			

Make



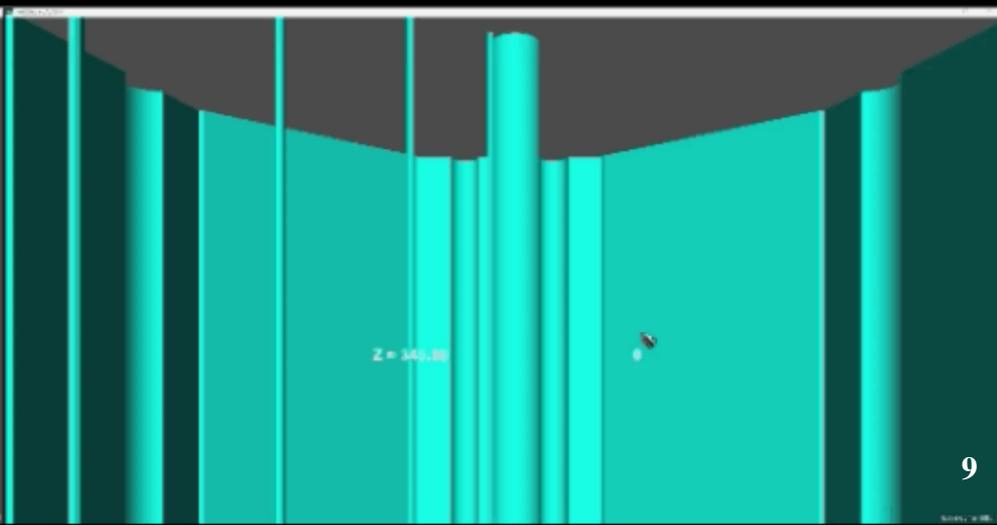
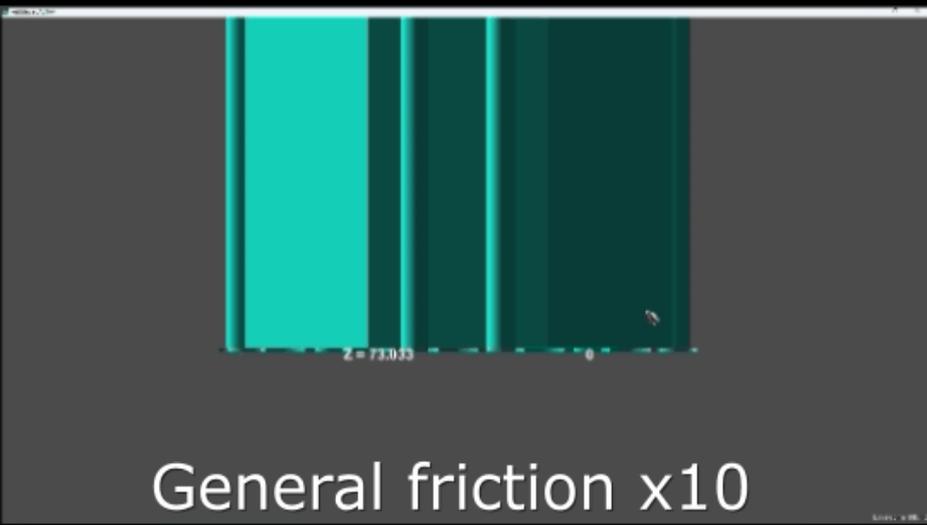
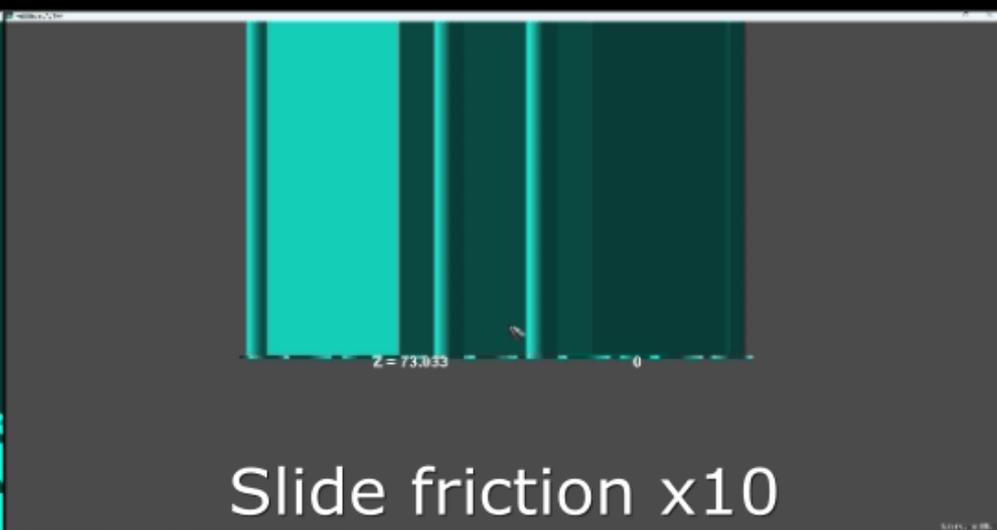
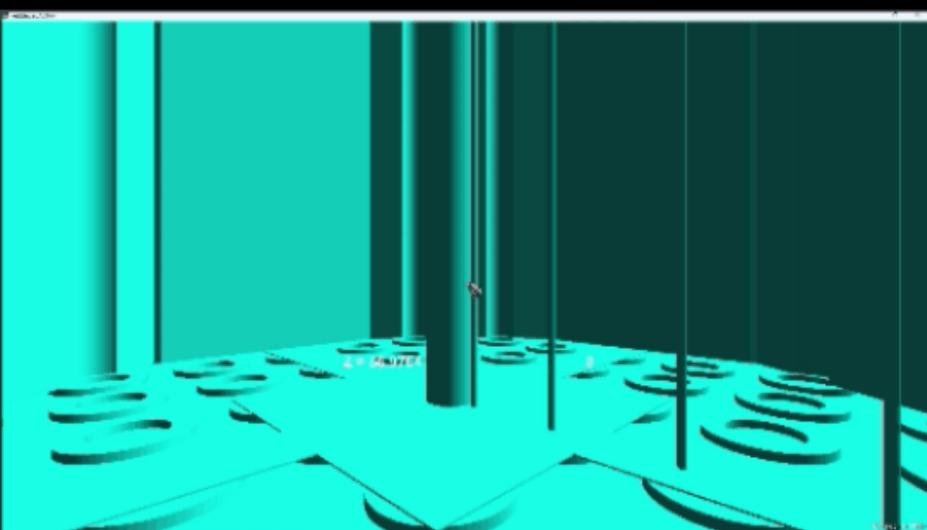
Возможности моделирования



В программе учитывается:

- Трение шаров;
- Трение модели;
- Плотность модели;
- Возможность встряхивания засыпки;
- Возможность фиксации степеней свободы шаров (заморозка);
- Сохранение координат всех шаров;
- Загрузка шаровых засыпок по координатам из файла;
- Шары можно как сыпать, так и класть;
- Может работать автономно в фоновом режиме;
- Изменение входных данных в ходе работы программы.

*Демонстрация трения производится на следующем слайде

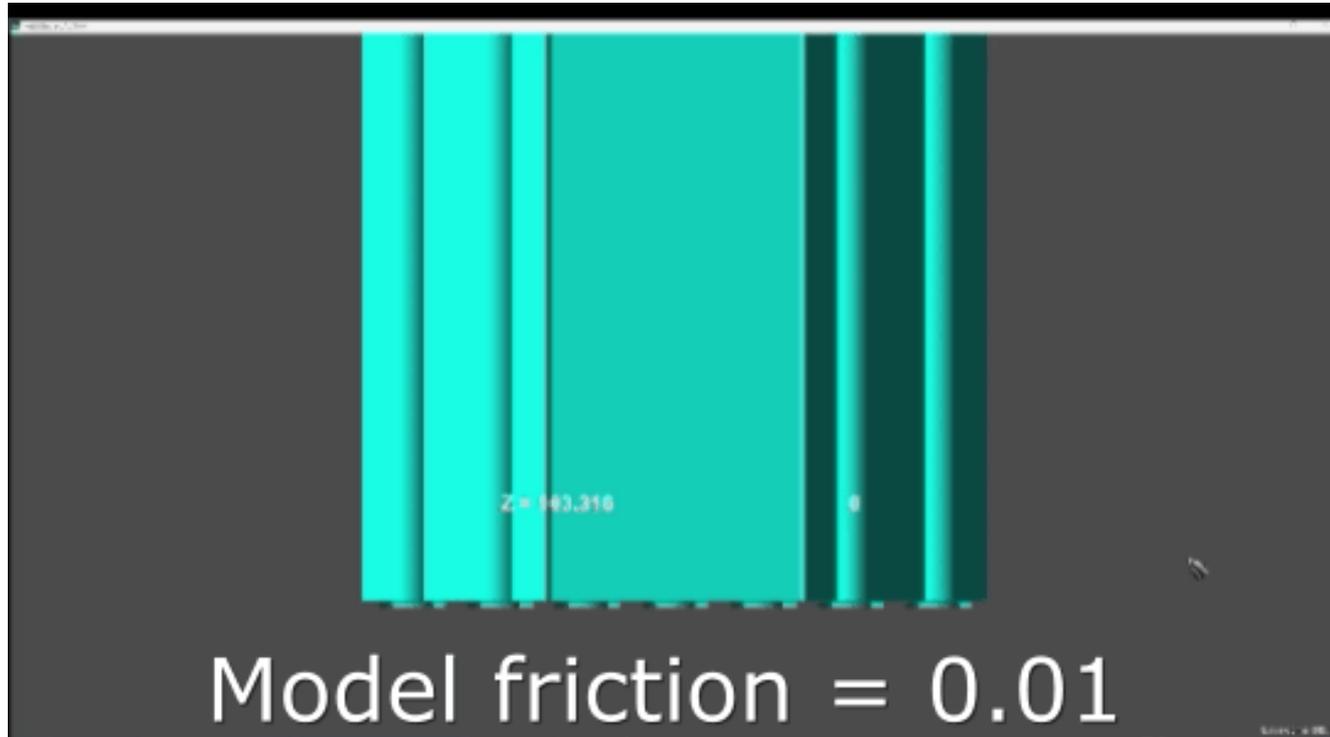




Возможности моделирования



Встряхивание шаровой засыпки

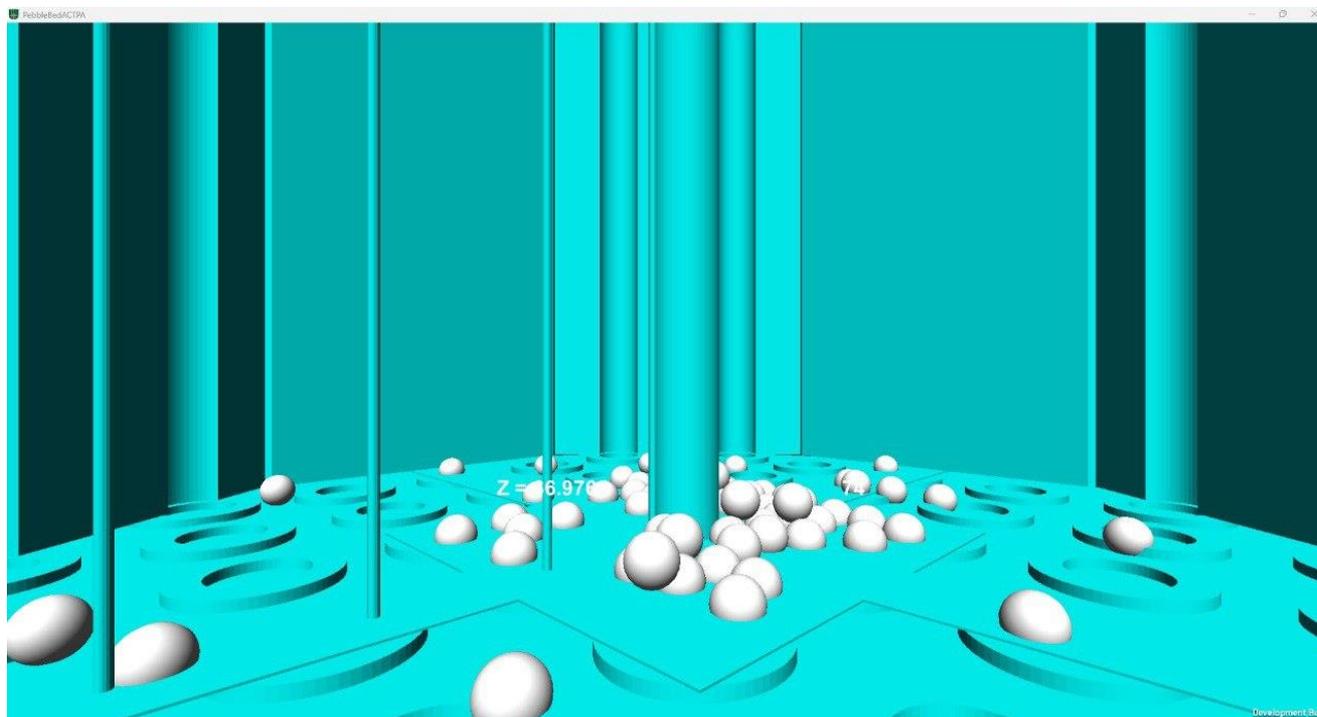




Возможности моделирования



Влияние плотности: продавливание шаров в поверхность



3

Практическое применение



ВТГР-стенд АСТРА



- 8-ми угольная активная зона
- Три секции

Центральный экспериментальный канал
Внутренний отражатель
Смешанная зона
Кольцевая активная зона
Боковой графитовый отражатель



ВТГР-стенд АСТРА

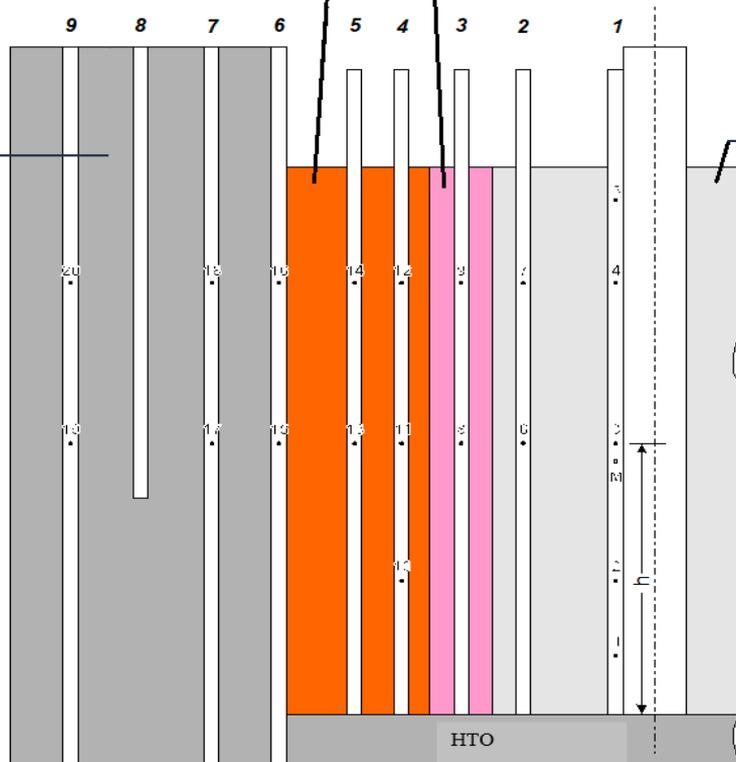


Активная зона

Смешанная зона

Боковой отражатель

Внутренний отражатель



Верхний отражатель отсутствует*



ВТГР-стенд АСТРА



Номер сборки	Активная зона		Смешанная зона			Внутренний отражатель
	Топливные элементы	Поглощающие элементы	Топливные элементы	Графитовые элементы	Поглощающие элементы	Графитовые элементы
1	24194	1274	3283	3462	174	6197
2	25777	1357	3498	3696	185	6615
3	28994	1526	3935	4141	208	7412
4	28994	1526	3935	4141	208	7412



Процесс моделирования



Шаровая засыпка в эксперименте на ВТГР-стенде АСТРА:

- Число заполненных слоев – 52;
- Число шаров в незаполненном 53 слое – 248;
- Среднее число шаров на один полный слой – 884;
- Полное число шаров в 52-х/53-х слоях – 45968/46216;
- Высота засыпки – 320 см.

Для создания засыпки моделируем ступенчато:

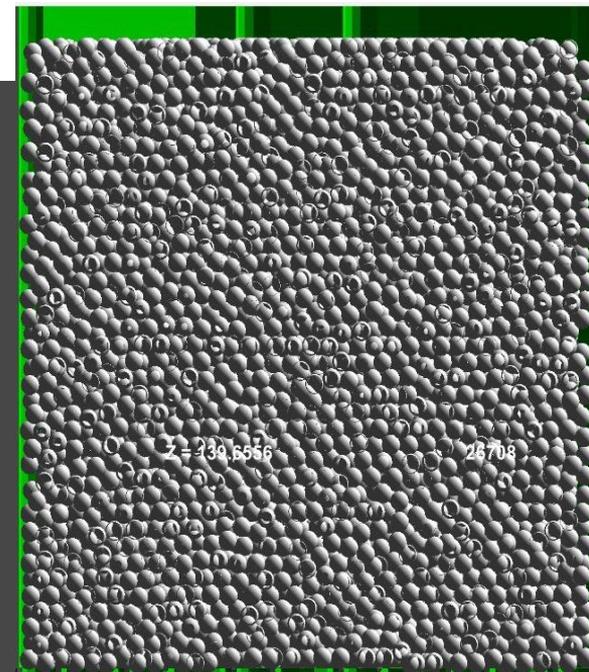
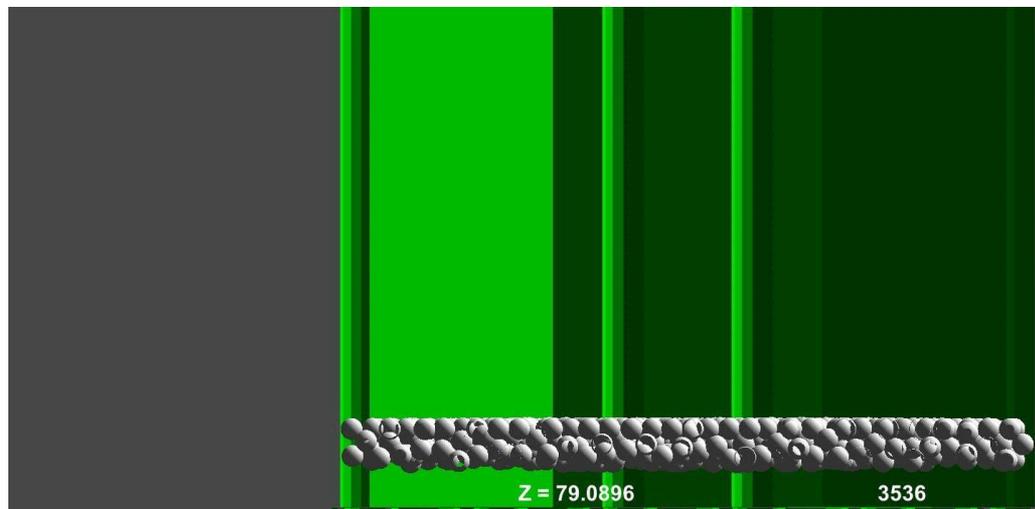
- Создаём 2 слоя шаров ($884 \cdot 2$) с нужным шагом исходя из высоты засыпки;
- После заполнения ждём 3 мин, чтобы дать системе прийти к состоянию с минимальной внутренней энергией;
- Фиксируем шары и далее повторяем процедуру до полного заполнения.



Процесс моделирования



Реализация заполнения:

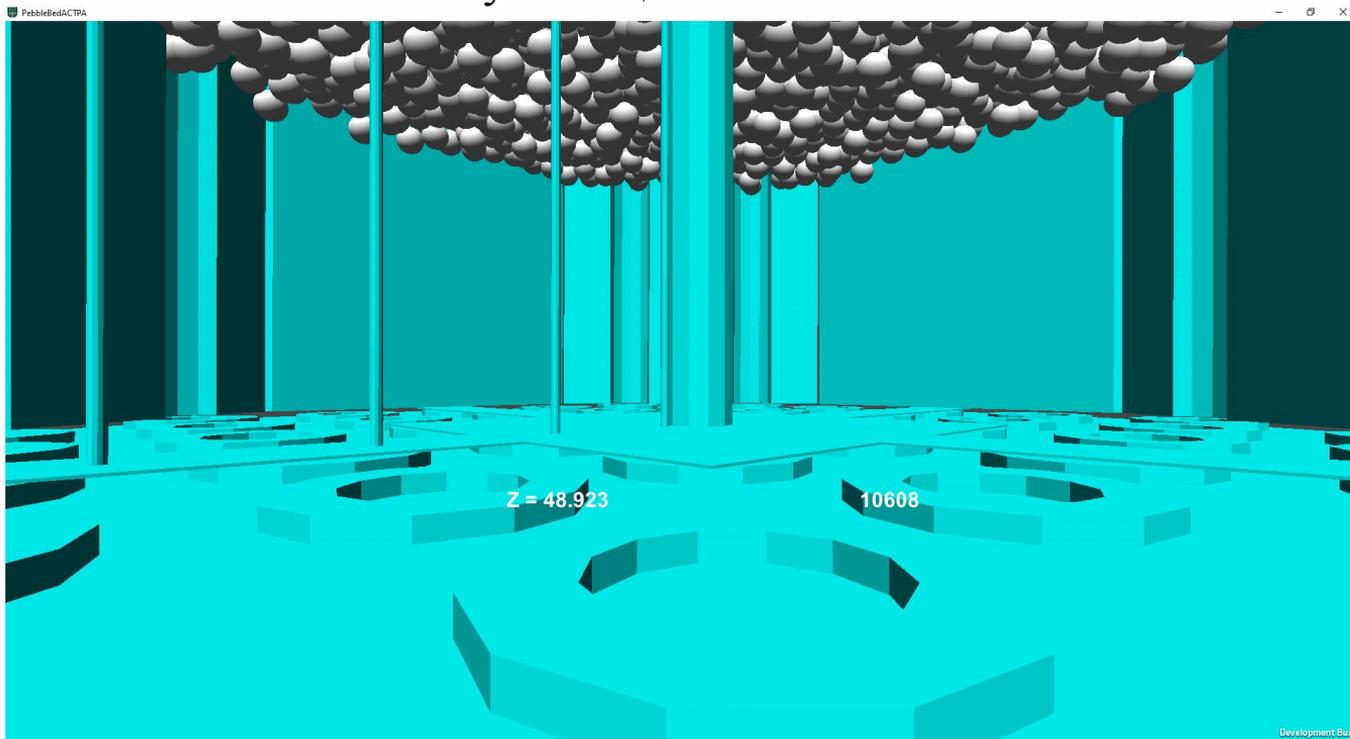




Процесс моделирования



Визуализация заполнения:



4

Результаты



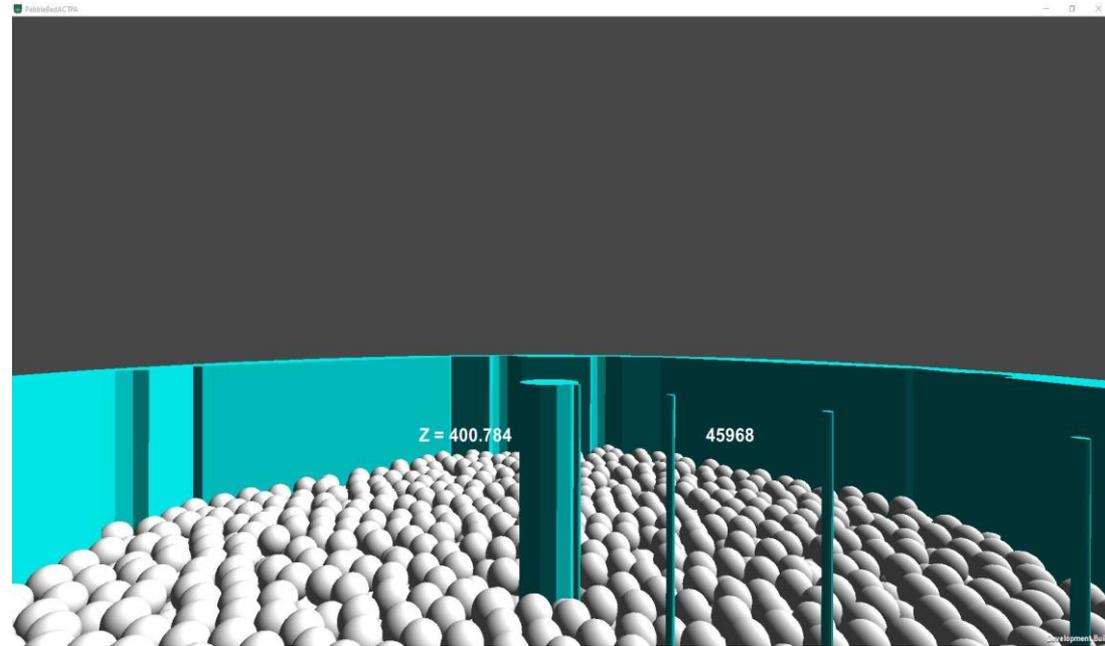
Итог моделирование засыпки



- 52 заполненных слоя – ровно 45968 шаров

- Шаровые элементы окружают экспериментальные каналы, но не пересекают их

- Сохранив координаты засыпки передаём данные в нейтронно-физический код

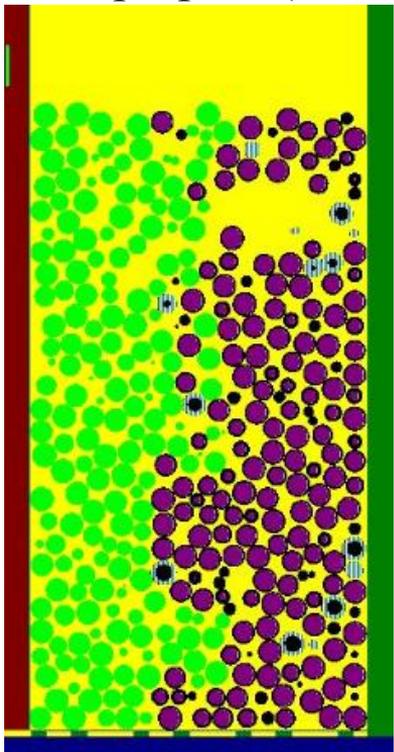




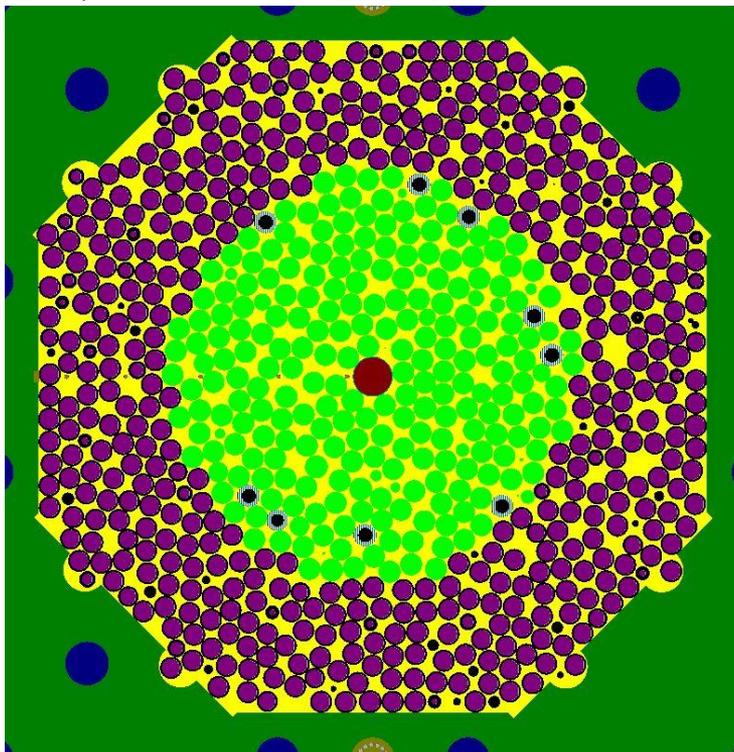
Работа MCU-HTR



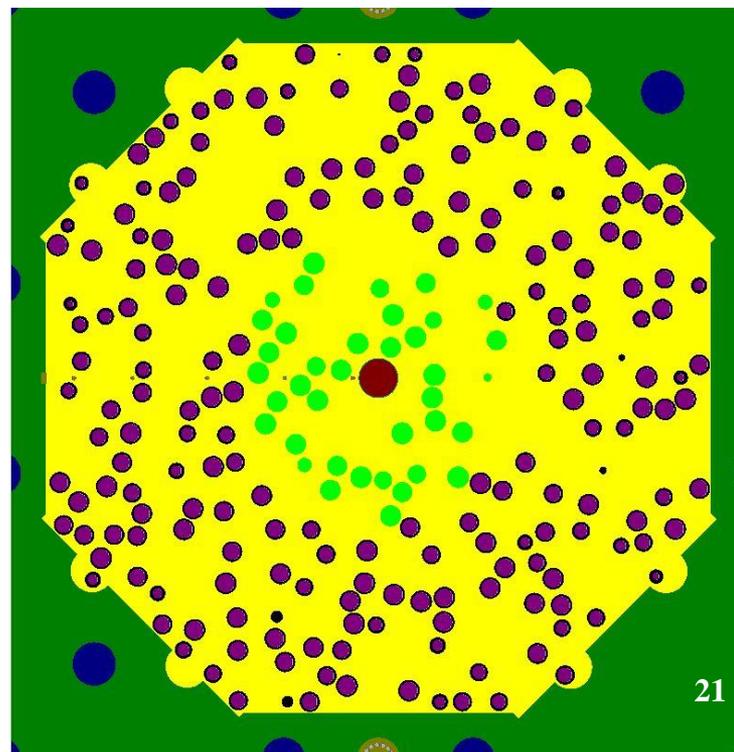
Вид в разрезе (половина)



52 полный слой



53 неполный слой





Результат расчёта



- Смоделировано 4 шаровых засыпки разными алгоритмами;
- С помощью полученных засыпок проверялся критический эксперимент;
- Результаты эксперимента показали наличие чувствительности ЭКР от алгоритма:

№ засыпки	К-эфф при данной засыпке	Отклонение от критичности, %
1	1,015	1,5
2	0,999	0,1
3	0,995	0,5
4	1,008	0,7

- Далее планируется использование засыпок для проверки экспериментов и улучшение расчётной модели.



Спасибо за внимание!