



РОСАТОМ

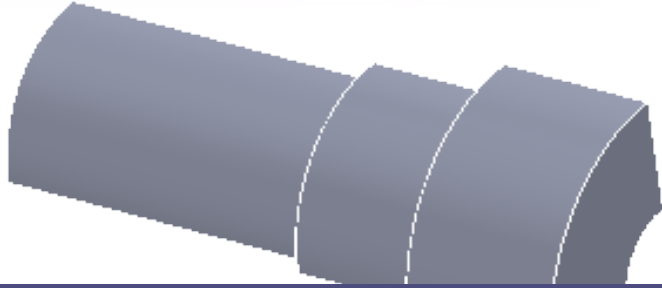
ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

Р Ф Я Ц  
ВНИИЭФ

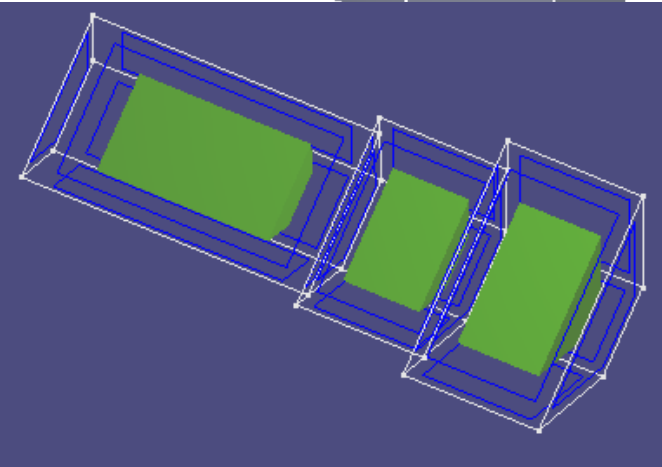
# Распараллеливание и оптимизация построения блочных сеток в препроцессоре ЛОГОС

Докладчик: Лазарев В.В.

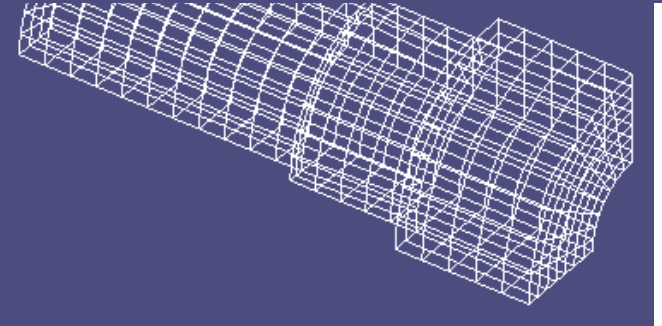
# Метод построения блочной сетки в препроцессоре ЛОГОС



Исходная геометрия – это геометрическая модель в аналитическом представлении.

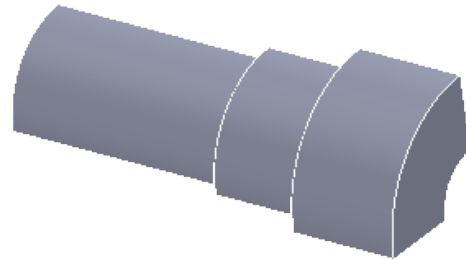
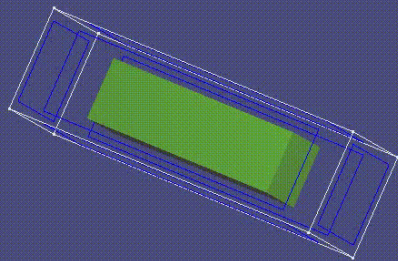
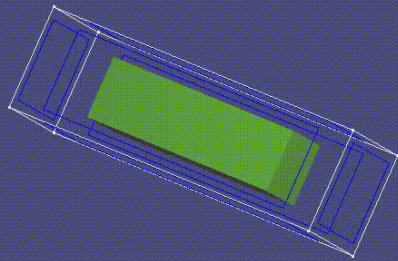


Блочная геометрия – это декомпозиции исходной геометрии на блоки.



Блочная сетка – это составная сетка из согласованных регулярных фрагментов.

# Процесс построения блочной сетки



На геометрию накладываются дополнительные графические образы блоков

Чтобы подготовить блочную геометрию модели, представленной на слайде, пользователю понадобилось выполнить 33 операции за 15 минут.

Декомпозиция сложных геометрий может занимать несколько недель и месяцев. За это время пользователь перестраивает сетку тысячи раз.

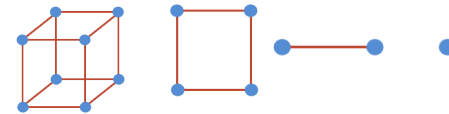
Время построения сетки является критически важным параметром.

# Внутреннее представление блочной геометрии

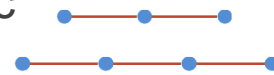
Блочная геометрия содержит топологию и геометрию блоков:

- топология блоков – это описание связей блоков между собой;
- геометрия блоков – это их форма и расположение в пространстве.

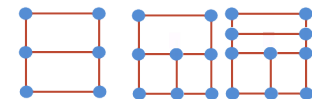
Блок задается шестью гранями, грань – четырьмя ребрами, а ребро – двумя вершинами.



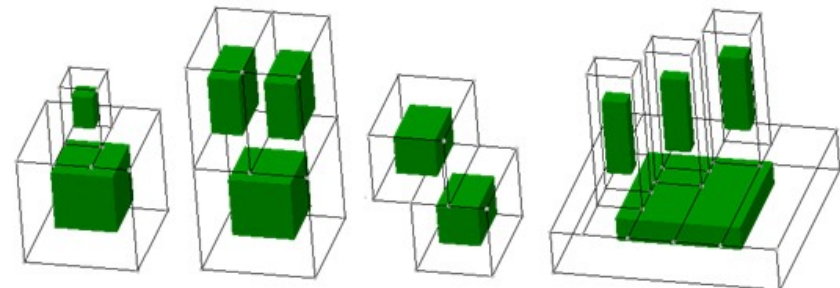
Составное ребро – это ребро, включающее в свой состав два ребра с общей вершиной, каждое из которых также может быть составным.



Составная грань – это грань, включающая в свой состав две грани с общим ребром, каждая из которых также может быть составной.







Примеры блочных геометрий, в которых контакт между блоками описан с помощью составных граней и ребер.



# Внутреннее представление блочной сетки

Блочная сетка – это согласованная сетка из регулярных фрагментов.

Блочная сетка имеет фрагментное представление. Каждому элементу блочной геометрии ставится в соответствие самодостаточный сеточный фрагмент.

вершина		сеточный узел
ребро		одномерный массив сеточных узлов
грань		поверхностная сетка
блок		объемная сетка

Смежные блоки имеют согласованные граничные узлы.

Преобразование сетки из фрагментного представления в другие форматы (например, EFR, NGEOM) выполняется специальными алгоритмами объединения фрагментов, которые здесь не рассматриваются.

# Распараллеливание и оптимизация построения блочной сетки

- Параллельное построение сетки по фрагментам.
- Параллельное построение сетки внутри фрагмента.
- Перестроение сетки на измененных фрагментах.
- Запись сетки в файл по фрагментам.

# Параллельное построение сетки по фрагментам

Для распараллеливания используется OpenMP.

Фрагментное представление блочной сетки упрощает реализацию параллельного алгоритма.

Динамическая балансировка средствами OpenMP.

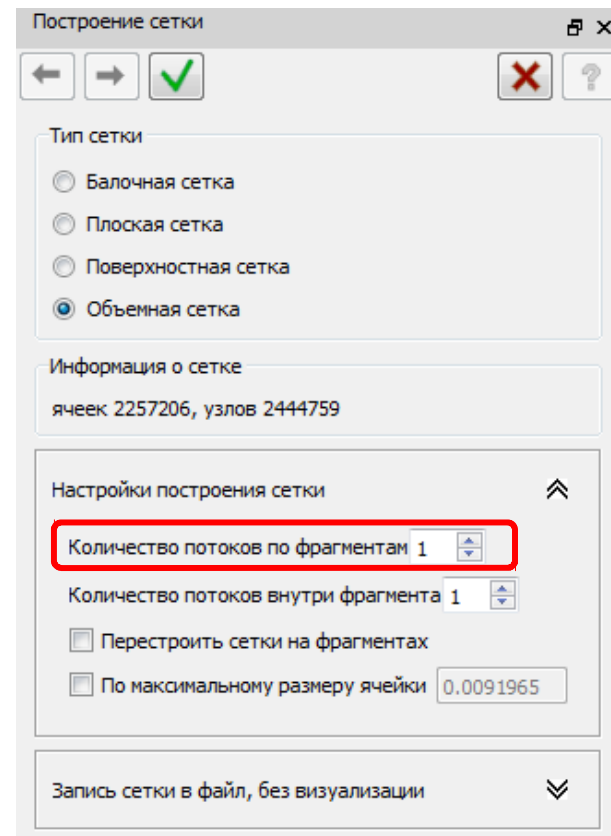
```
#pragma omp parallel for schedule(dynamic)
for( int iBlock = 0; iBlock < nBlocks; ++iBlock )
```

Перед построением сетки на блоках, строятся сетки на границе (вершинах, ребрах и гранях).

Реализована индикация хода и отмена процесса построения сетки



Графический интерфейс к заданию параметров построения сетки



# Параллельное построение сетки по фрагментам

Тестирование параллельного построения сетки по фрагментам

Ресурсы вычислительной машины:

- четыре 6-ядерных процессора Intel Xeon X7542 частотой 2,67 ГГц;
- 256 Гб объема оперативной памяти.

Геометрическая модель – четверть ловушки расплава реактора АЭС.

Блочная геометрия состоит из 1303 блоков.

Конечная блочная сетка:

- 2,25 млн. ячеек;
- 4,58 млн. ячеек;
- 8,80 млн. ячеек.



# Параллельное построение сетки по фрагментам

Время построения сетки в зависимости от кол-ва потоков по фрагментам, с.

Размер задачи, млн. ячеек	Количество потоков по фрагментам									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2,25	154,2	84,1	57,4	40,3	36,4	33,6	30,7	27,0	25,5	25,5
4,58	318,0	171,3	127,7	82,3	74,7	70,6	62,7	58,3	54,7	53,1
8,80	499,6	266,3	193,0	120,2	112,6	103,3	91,3	88,4	83,0	79,0

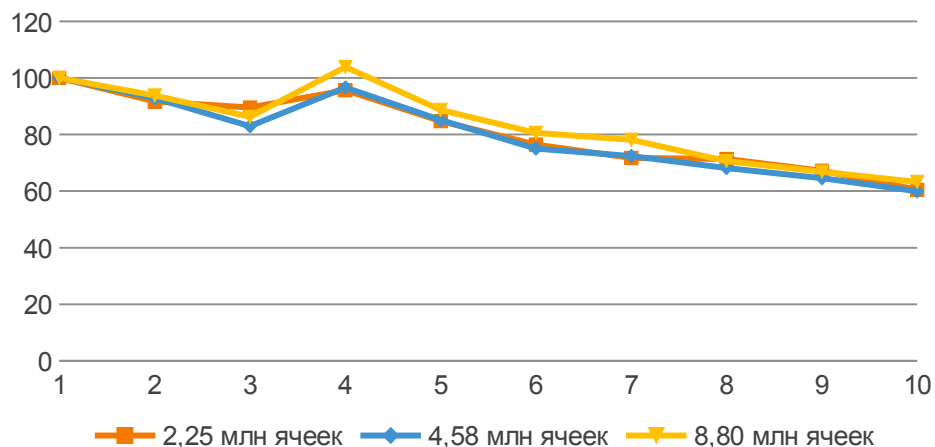
Эффективность распараллеливания

$$E_n = \frac{T_1}{T_N * N} * 100\%$$

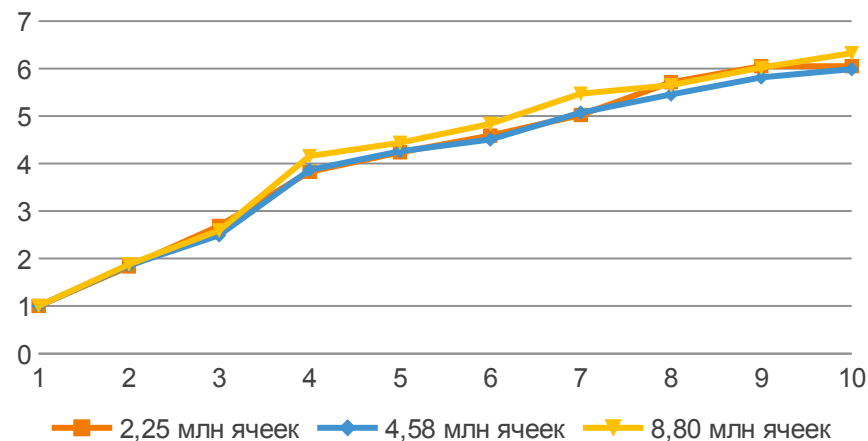
Коэффициент ускорения

$$Sp_N = \frac{T_1}{T_N}$$

Эффективность распараллеливания, %



Коэффициент ускорения



# Параллельное построение сетки внутри фрагмента

Регулярные сетки представлены в виде двух- и трехмерных узловых массивов

Этапы построения регулярной сетки на фрагменте:

- сборка границы из фрагментов меньшего порядка;
- декомпозиция области по количеству потоков;
- вычисление внутренних узлов.

Рассмотрим декомпозицию:  $(Array, N_{max}, V_{min}) \rightarrow [frag_1, \dots, frag_N]$

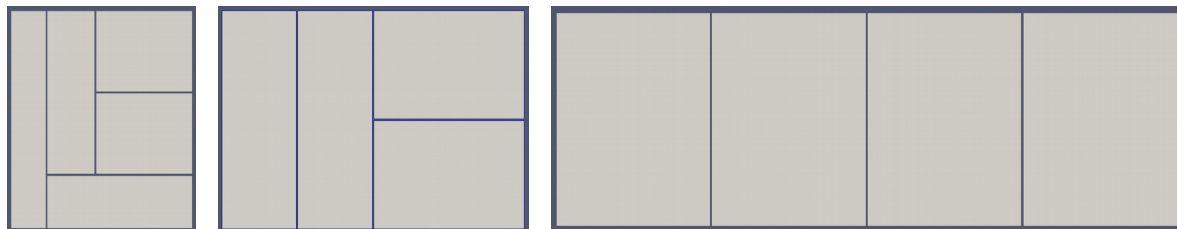
$N_{max}$  Макс. кол-во фрагментов.

$$N_{max} \geq N, |frag_i| \geq V_{min}$$

$V_{min}$  Мин. объем фрагмента.

Декомпозиция выполняется откусыванием от массива по большей стороне фрагмента необходимого объема.

Примеры декомпозиции  
двумерных массивов



# Параллельное построение сетки внутри фрагмента

Время построения сетки в зависимости от кол-ва потоков, с.

Кол-во потоков по фрагментам	Общее количество потоков							
	1	4	8	12	16	20	24	28
1	544,7	148,9	97,8	84,5	71,5	70,5	75,3	74,6
2	—	142,8	81,0	66,7	55,5	51,7	48,2	47,8
4	—	123,4	74,8	64,4	50,3	41,2	40,6	38,6
8	—	—	89,7	—	53,8	—	41,1	—

В строке таблицы фиксировано количество потоков по фрагментам.

В столбце фиксировано общее количество потоков.

Количество потоков внутри фрагмента = значение столбца / значение строки.

**Красные ячейки** – падение коэффициента ускорения.

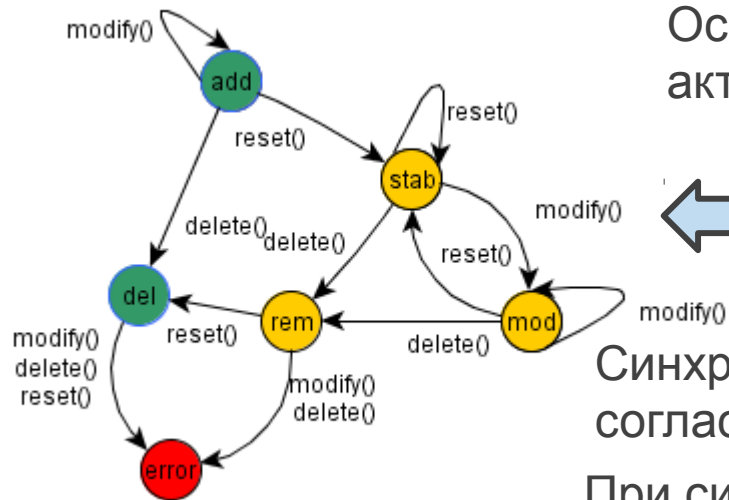
Подбором было установлено, что наилучший результат получается при конфигурации 5 на 5 потоков – 37,8 с.

Коэффициент ускорения - 14,4;

эффективность распараллеливания – 58%.

Сетка на  
8,80 млн. ячеек

# Перестроение сетки на измененных фрагментах



Основная задача – это фиксация и суммирование актов добавления, изменения и удаления блоков.

С каждым блоком связан конечный автомат, который фиксирует изменения в связанных с ним сеточных фрагментах.

Синхронизация – это процесс приведения к согласованному состоянию блочной геометрии и сетки. При синхронизации из блочной сетки удаляются фрагменты у измененных и удаленных блоков.

Блок может иметь следующие состояния:

- стабилен (stab);
- изменен (mod);
- добавлен (add);
- отмечен удаленным (rem);
- в очереди на удаление (del).

Воздействия на блок:

- изменение (modify);
- удаление (delete);
- сброс состояния (reset).

**error** – это ошибочное состояние блока. В идеальном случае его быть не должно. Возникает, если изменяют или удаляют ранее удаленный блок.

# Перестроение сетки на измененных фрагментах

## Время перестроения сетки по измененной блочной геометрии

Были отключены распараллеливание по фрагментам и внутри фрагментов.

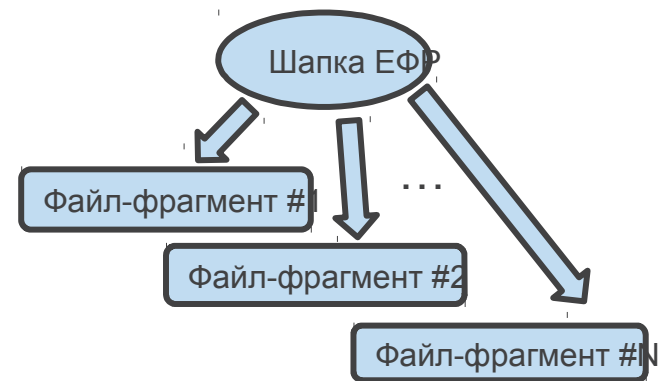
Действие	Время, с.
Полное перестроение объемной сетки	153,1
Полное перестроение поверхностной сетки	143,1
Построение объемной сетки по ранее построенной поверхностной сетке	15,7
Повторное построение объемной сетки	4,0
Построение поверхностной сетки по ранее построенной объемной сетке	0,7
Повторное построение поверхностной сетки	0,8
Построение объемной сетки после изменения количества ячеек на стенке	8,0
Построение объемной сетки после удаления всех ножек ловушки	2,1

Сетка на  
2,25 млн. ячеек

# Запись сетки в файл по фрагментам

Построение сеток, не помещающихся целиком в оперативную память.

Для хранения сеток используется распределенный файл ЕФР (разработка ВНИИЭФ), в котором сетка состоит из самодостаточных фрагментов, объединенных одним файлом – «шапкой» ЕФР.



## Алгоритм записи сетки в файл.

Выбираем блок из геометрии. Строим на ней граничную сетку. Строим объемную сетку. Записываем сетку в файл. Удаляем объемную сетку из оперативной памяти. Удаляем сетку на границе, если нет смежных с ней блоков с не построенными сетками.

Пиковое потребление оперативной памяти не превысит объема самого большого фрагмента.

# Запись сетки в файл по фрагментам

## Построение сетки с записью в оперативную память (ОП) и файл ЕФР

Параметры персональной машины:

- Intel Core i5-2400, 3.1 ГГц;
- оперативная память 16 Гб.

Параметры сетки:

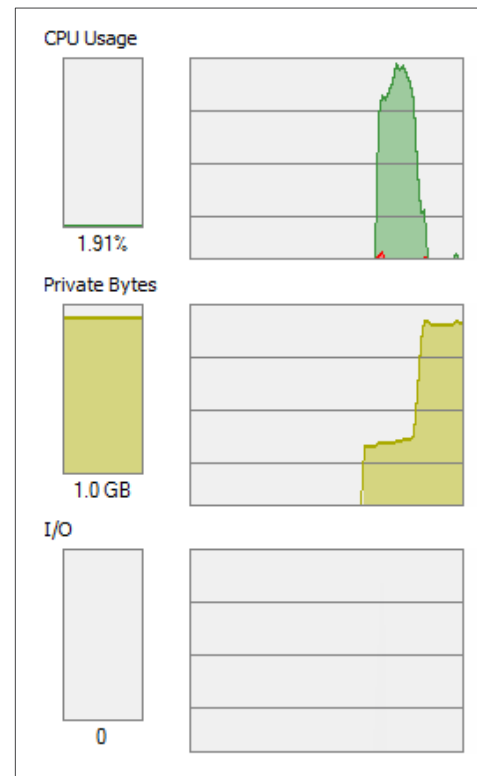
- ячеек – 2,25 млн.;
- узлов – 2,44 млн.;
- граней – 6,97 млн.;
- 570 Мб на диске.

Начальное потребление памяти препроцессором 350 Мб.

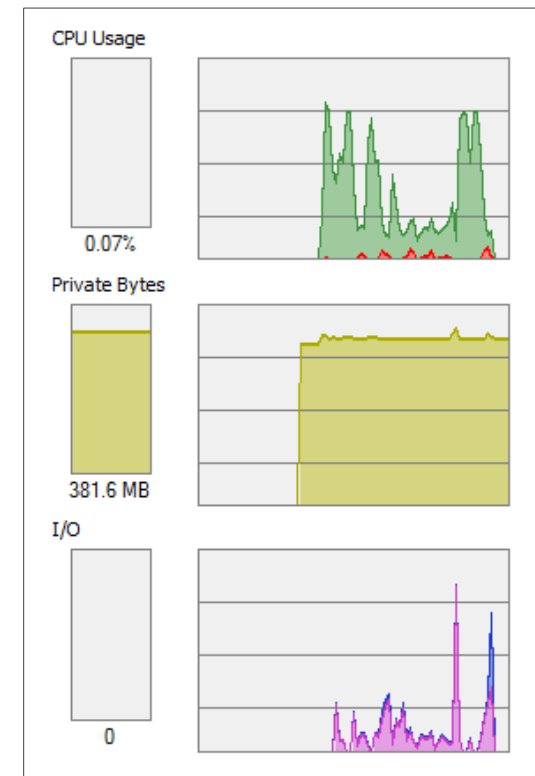
Пиковое потребление памяти:

- при записи в файл – 382 Мб;
- при записи в ОП – 1024 Мб

### Запись в ОП



### Запись в файл ЕФР



Графики активности процессора, ввода-вывода и расхода оперативной памяти.

# Запись сетки в файл по фрагментам

## Построение большой сетки с записью в файл ЕФР

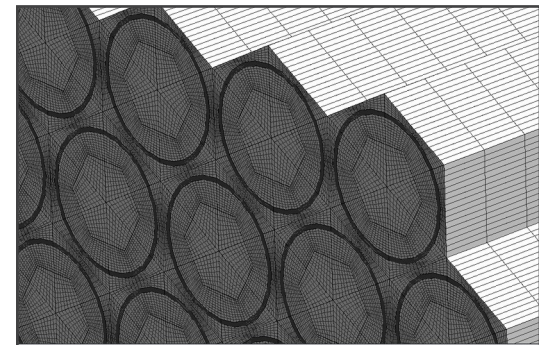
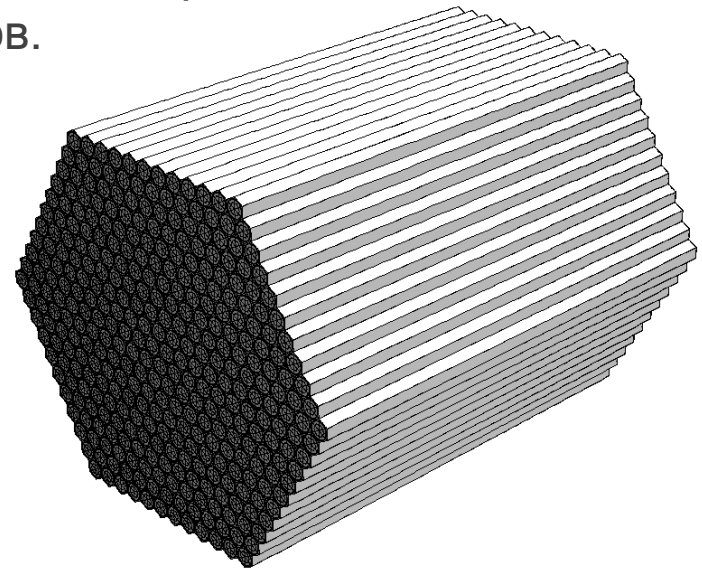
Геометрическая модель макета тепловыделяющей сборки, состоящая из 352 тепловыделяющих элементов.

Параметры сетки:

- ячеек – 1,0 млрд.;
- узлов – 1,0 млрд.;
- граней – 3,2 млрд.;
- 250 Гб на диске;
- 8500 файлов-фрагментов.

Время построения сетки – 4 часа.

Пиковое потребление памяти – 1 Гб.





# Заключение

- Достигнуто ускорение 14,4 раза с эффективностью распараллеливания 58%.
- Повторное перестроение блочной сетки на измененной декомпозиции геометрии учитывает результаты предыдущего построения.
- Возможность построения сеток на 1 млрд. ячеек ресурсами персональной вычислительной машины.
- Алгоритмы реализованы и внедрены в препроцессор ЛОГОС версии 5.1.

# Спасибо за внимание