

XII научно-практическая конференция МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЦЕССАХ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

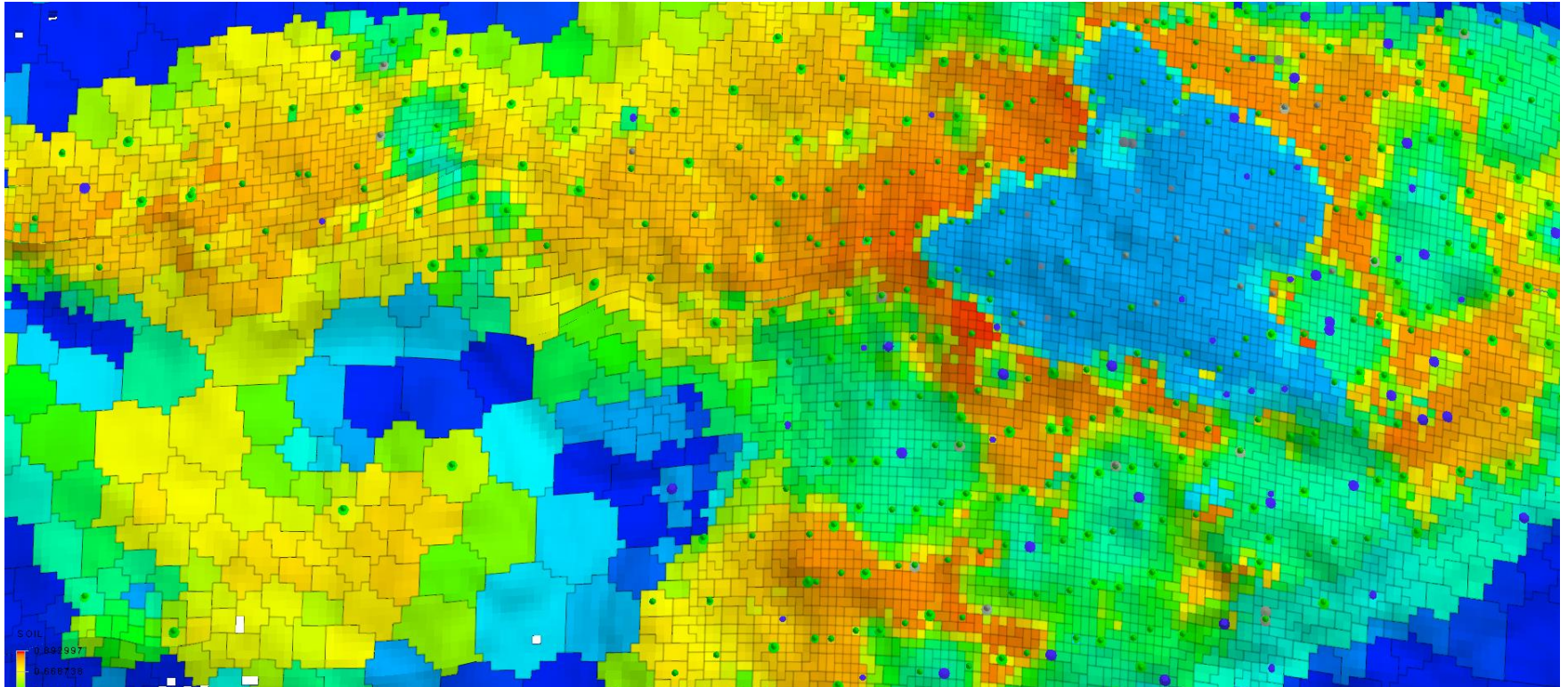
Advanced Grid Coarsening of Dynamic Model for Fast History Matching

Оптимизация детальности
гидродинамической модели для ускорения
процесса адаптации на историю разработки

Газпромнефть Бадра Б.В.
Н.А. Шевко, к.т.н.
Санкт-Петербург
23-25 апреля 2019

Цель работы

- Ускорение гидродинамических расчетов при моделировании крупных залежей и выполнении многовариантных расчетов, возникающих при адаптации моделей, за счет использования приемов построения сеток меньшей детальности (Coarsening)
- Улучшение процедуры огрубления сетки (upgridding) и переноса свойств на сетку меньшей детальности (upscaling)



Традиционные возможности оптимизации сетки ГДМ

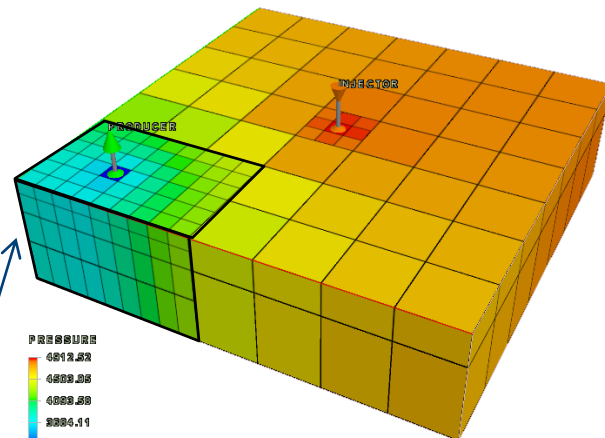
Для требуемой детализации описания фильтрационных потоков имеются возможности ремасштабирования (Upgridding) исходной ГД сетки:

- **Локальное сгущение сетки (LGR)** – в основном вблизи скважин и особенностей фильтрации создается вложенная подсетка большей размерности.
- **Локальное огрубление сетки (Coarsening)** – в основном в водонасыщенной / законтурной зоне пласта.

Варианты задания таких модификаций сетки выполняются кубическими боксами (BOX), имеющими регулярную структуру $NX*NY*NZ$ (см.табл.), что ограничивает применение их для построения произвольных неравномерных сеток.

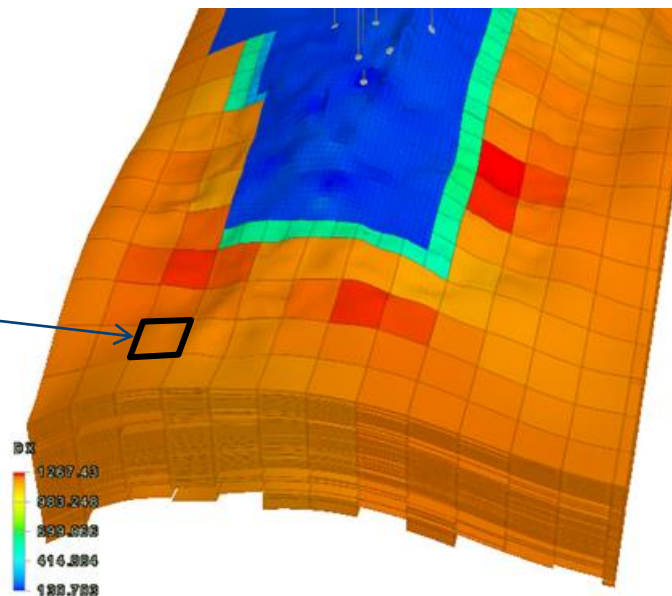
ВЫВОДЫ: 1) Стандартным приемом можно ремасштабировать сетку. В силу ограничений геометрии укрупненных ячеек такой прием не позволяет получить оптимальную детализацию сетки.

2) Перспективным решением является создание более сложных неравномерных расчетных сеток, позволяющих гораздо меньшим числом ячеек описать особенности фильтрационных потоков и геологии с сохранением приемлемой точности решения.



```
CARFIN
--Name I1 I2 J1 J2 K1 K2 NX NY NZ
LGR1 8 8 3 3 1 2 3 1 6 /
--data for this local grid
PORO
0.25 0.28 0.21 0.225 0.23 0.18
0.17 0.15 0.22 0.165 0.17 0.16
0.20 0.21 0.19 0.120 0.15 0.17 /
ENDFIN
```

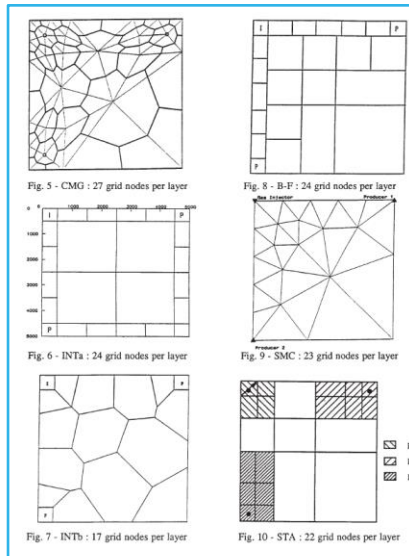
```
COARSEN
--I1 I2 J1 J2 K1 K2 NX NY NZ
1 9 7 21 1 4 3 5 2 /
13 21 1 21 1 4 3 7 2 /
10 12 1 9 1 4 1 3 2 /
10 12 13 21 1 4 1 3 2 /
/
```



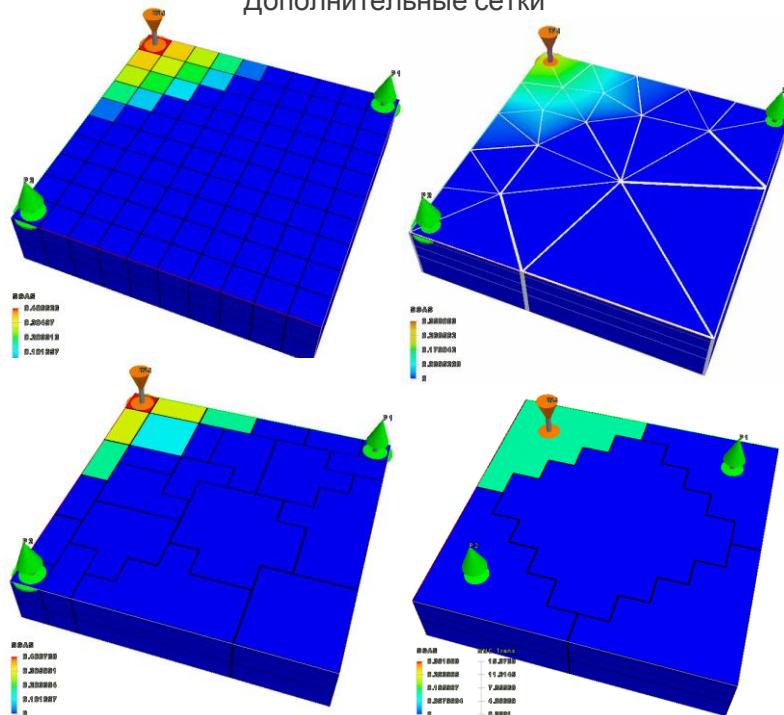
Coarsening и Upgridding приемы

Идеи сокращения, оптимизации ГД сетки с построением неравномерных сеток были рассмотрены в тесте SPE 8 «Gridding Techniques». Рассмотрим дополнительные сетки: триангуляционную, сложную неравномерную и максимально грубую.

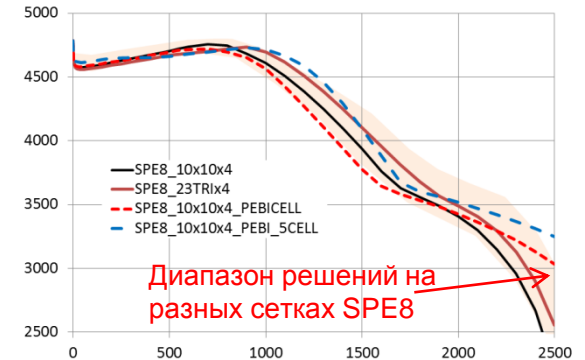
Сетки из SPE 8
(закачка газа в неоднородный по слоям нефтенасыщенный пласт)



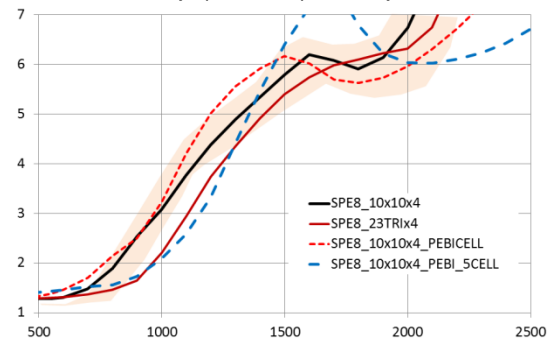
Дополнительные сетки



Свод Рзаб (psia) по вариантам



Свод Гф (mcf/bbl) по вариантам



Вывод: результаты тестов показывают, что даже в специальном тесте с прорывом газа, отклонения прогнозных параметров вполне приемлемые.

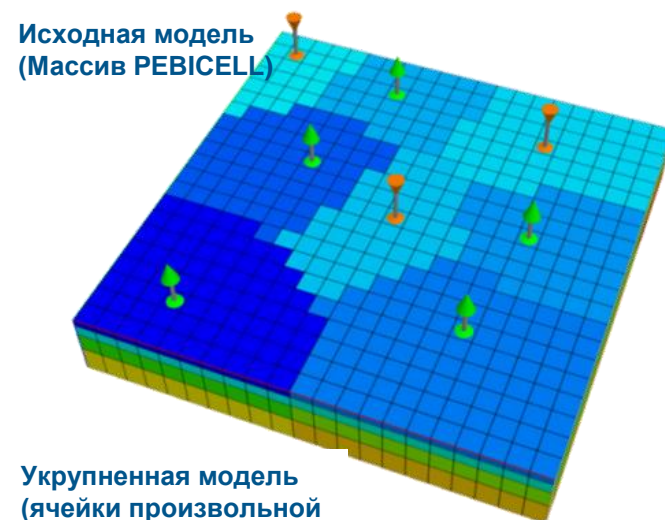
Предлагаемый вариант улучшенного огрубления модели

Основная идея: Уменьшение детализации сетки в местах с недостаточной или недостоверной геологической информацией (законтурная зона, межскважинные интервалы) и увеличение размерности в местах с высокой плотностью данных или в местах с большими градиентами потоков (возле скважин, трещин).

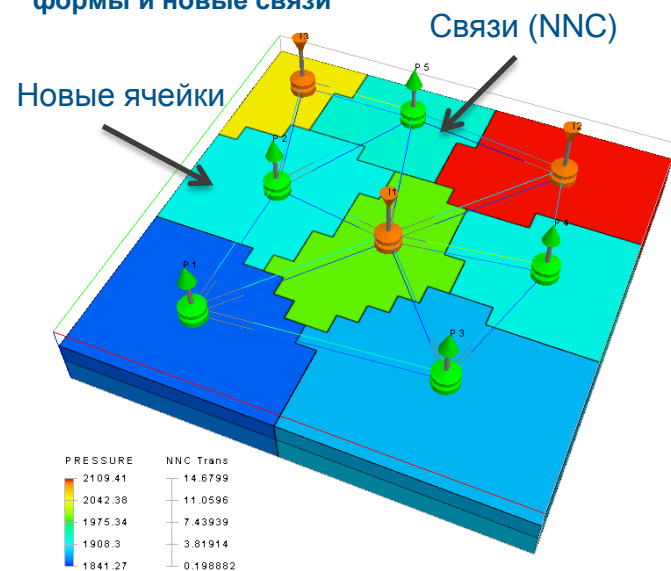
Такая оптимизация позволяет значительно сократить число элементов сетки (ячеек) при этом сохранить приемлемую точность дискретизации уравнений по пространству и обеспечить сходимость к решению на первоначальной детализированной сетке (см. тест SPE8). **Идеально такая оптимизация работает на этапе адаптации модели на историю разработки – когда ошибки настройки превышают погрешность дискретизации по пространству.**

Для построения неравномерной сетки используется следующий алгоритм:

- 1) **Построение вспомогательной триангуляционной сетки** на базе готовой модели с подгруженными скважинами. Геометрия сетки берется с модели (границы области, разломы, скважины). Для управления детальностью сетки (от грубой до мелкой) задаются желаемые параметры алгоритма триангуляции – макс.размеры ячеек возле скважин, на границе, в законтурной области, сглаживание и т.п.
- 2) **Создание массива «PEBICELL»**, по методу ближайшего расстояния, который используется далее в модели в секции GRID.
- 3) **Автоматическое построение укрупненной сетки**, расчет новых связей между укрупненными ячейками (NNC) и апскейлинг свойств на новую сетку и расчет проводимостей – в процессе считывания секции GRID.

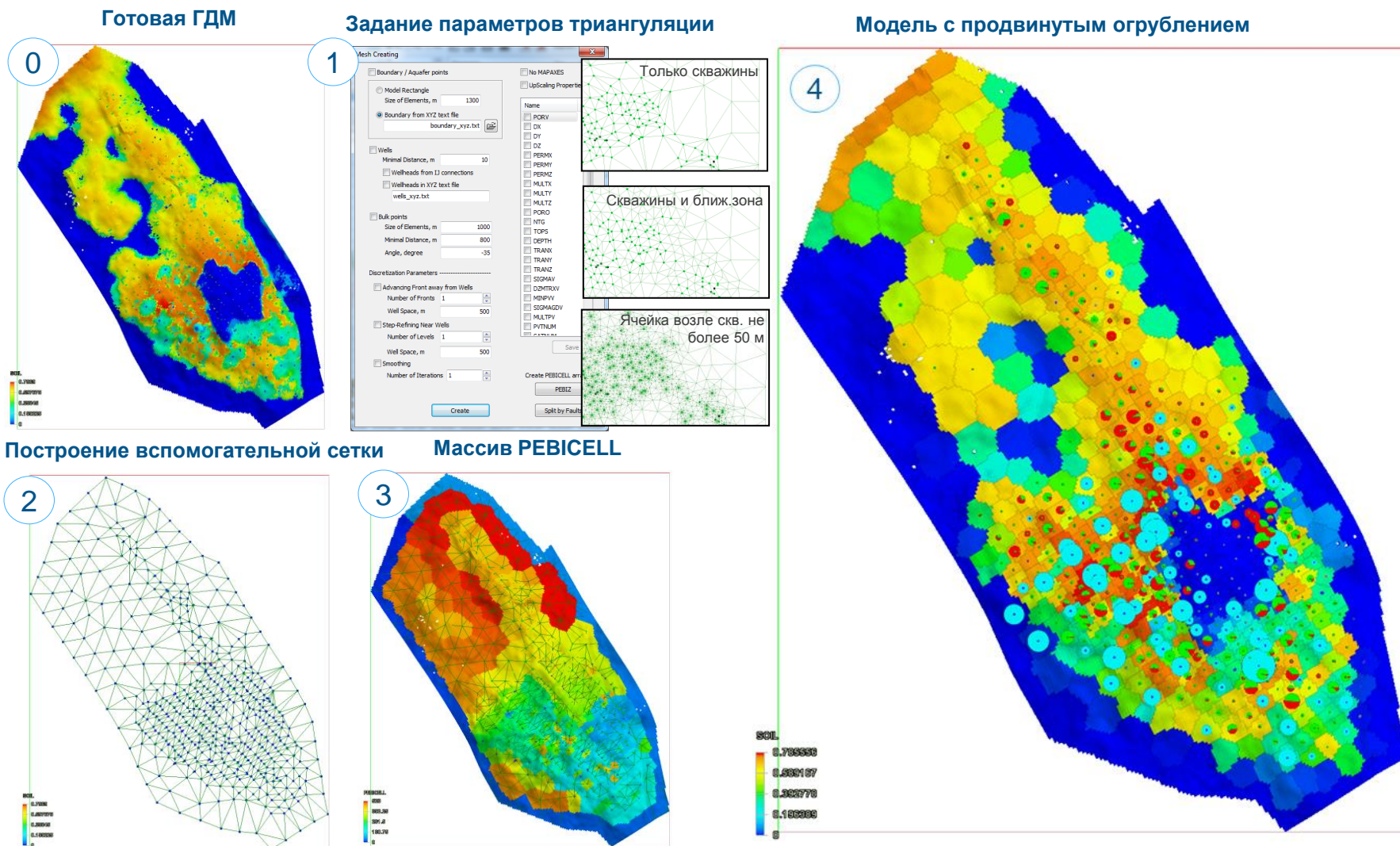


Укрупненная модель (ячейки произвольной формы и новые связи)



Предлагаемый вариант улучшенного огрубления модели

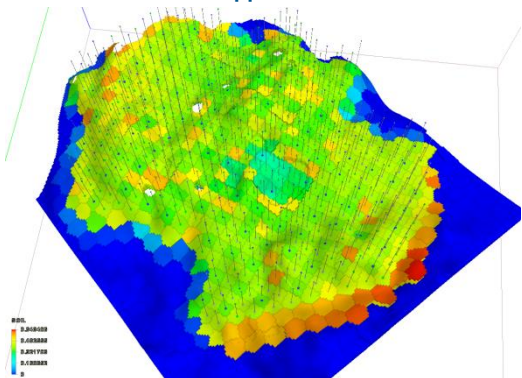
Пример создания неравномерной сетки на базе готовой ГДМ: нефтяная залежь с газовой шапкой, 500 скв.



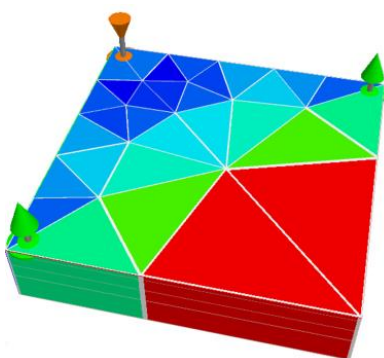
Совершенствование численной схемы расчета

Несмотря на простоту подхода, но на самой грубой сетке, построенной только на скважинных данных, получается полностью нерегулярная неортогональная сетка, аппроксимация потоков на которой должна производиться с учетом мультиточечного шаблона аппроксимации (MPFA), а расчет проводимостей может потребовать Control Volume Finite Element (CVFE) формулировок.

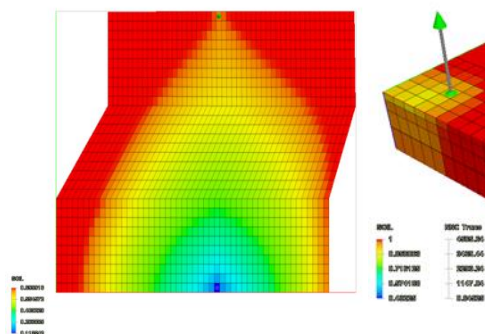
Укрупнение сетки только по скважинным данным



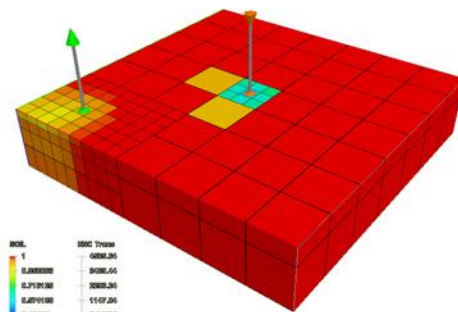
Тест на CVFE transmissibility на базе SPE8 "Gridding Techniques"



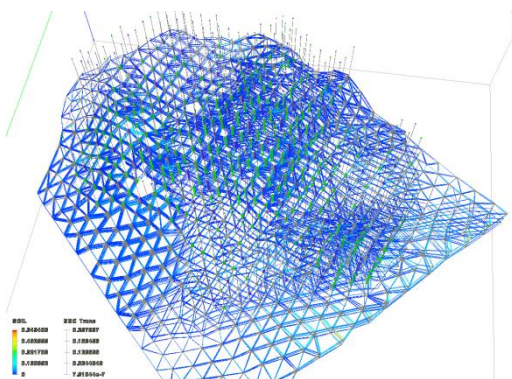
Тест на использование мультиточечный шаблона (MPFA)



Тест LGR / Coarsening



Соединения между узлами сетки



ВЫВОДЫ:

- Указанные опции реализованы и успешно протестированы, сравнение выполнялось с «эталонным, известным решением».
- Как показал анализ точности решений при полномасштабном моделировании на огрубленных сетках данные опции не имеют ключевого значения и могут быть упущены в рамках решения практических задач по настройке модели.

Совершенствование численной схемы расчета

По причине появления множества NNC потоков, приводящих к нарушению регулярной структуры матрицы системы уравнений, возникают проблемы со сходимостью численных схем и увеличением времени расчетов.

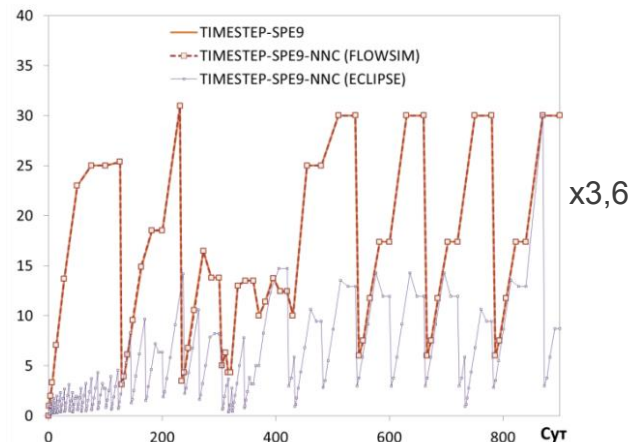
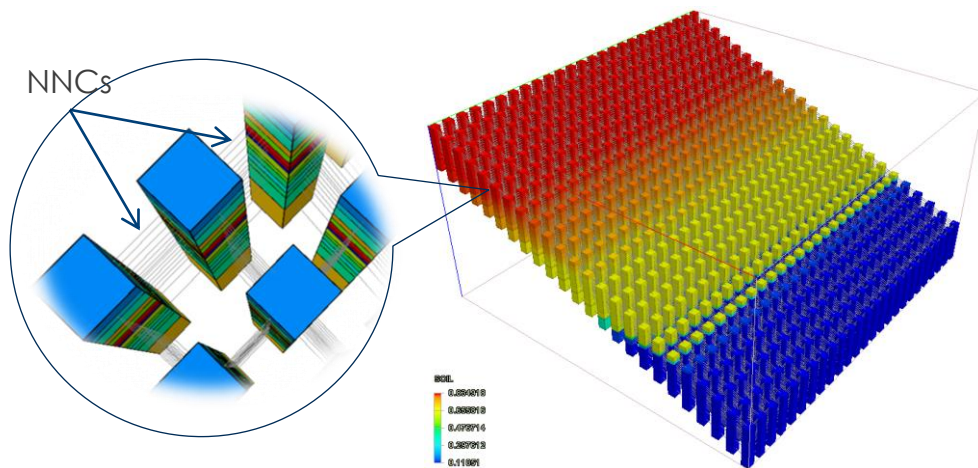
Предложены дополнительные алгоритмы решения матриц с нерегулярной структурой.

Модификация Nested Factorization для использования множества несоседних связей

В полном виде учтены **A** (5x4x3) с неактивными ячейками и NNC выглядит так

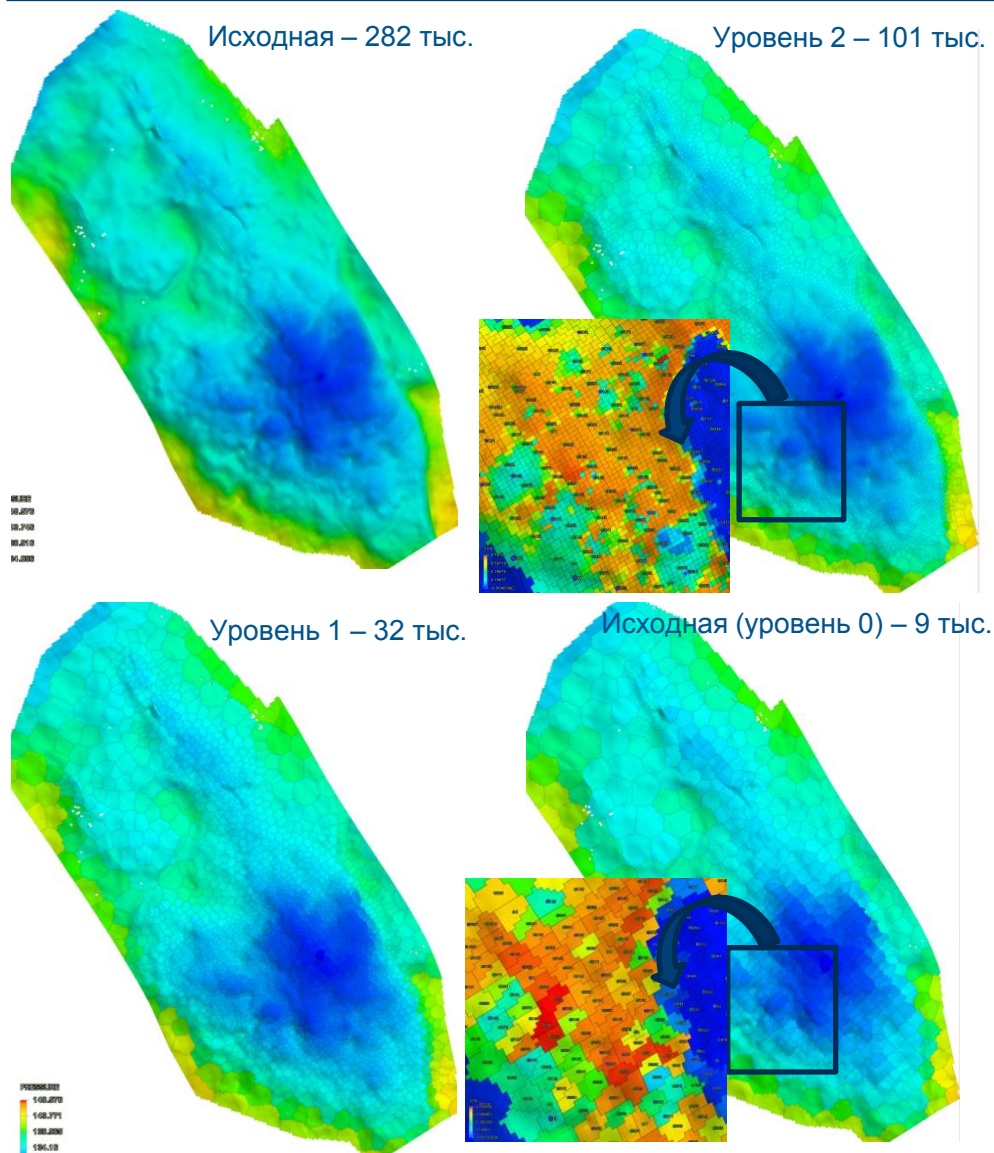


Тест на базе SPE9, где все регулярные соединения заменены на NNC



Вывод: Модифицированный NF показал высокую численную эффективность при большом числе NNC по сравнению со стандартной версией NF (63 vs. 228 шагов – см. график)

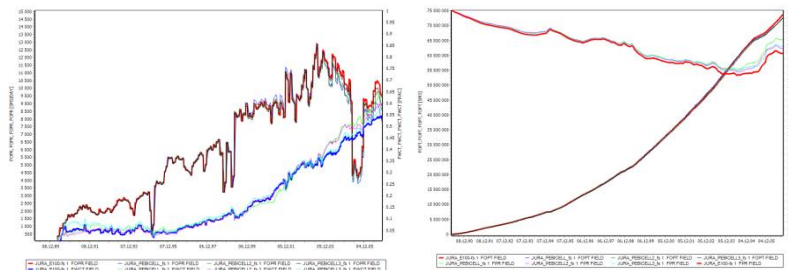
Выполнение полномасштабных расчетов



Описание модели:

- **Тип:** трехфазная - нефть, своб.газ, раств.газ, вода
- **Размерность** 193x 331x 30, акт.ячеек 282 тыс.
- **Число скважин:** 500 (17 доб.+5 нагн.)
- **Продолжительность:** 50 лет

Параметр	Исходная	Уровень – Уровень – 2	1	Самая грубая (уровень – 0)
Ячеек, тыс.шт	282	101	32	9.3
СРУ, сек	45100	14900	1757	293
Уменьшение ячеек	100%	36%	11%	3%
Уменьшение времени	100%	33%	4%	1%
Ускорение	1	3.0	26	154
Погрешность текущих	0%	3%	7%	12%
Погрешность накопленных	0%	0,9%	1,5%	1,8%



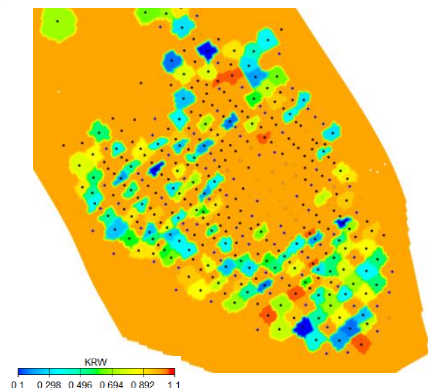
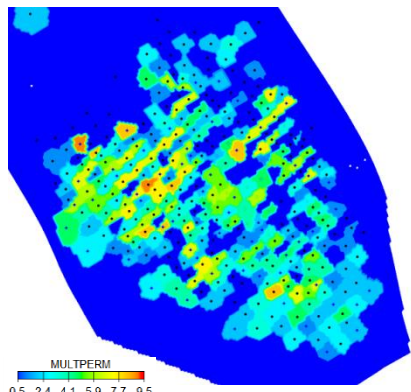
Вывод: сокращение времени расчета на грубой сетке – 154 раза, при погрешности накопленных показателей - 1,8%, по текущим – 12%. По мере улучшения адаптации детализация сетки может приближаться к исходной.

Практическое применение – адаптация залежи на историю разработки

Рассматриваемый подход дает **гибкость в построении сетки** и позволяет на каждом этапе адаптации модели использовать «оптимальную» сетку.

При этом настройку на самом «грубом» уровне (можно назвать «Матбаланс»), когда укрупненные зоны ассоциируются со скважинами, можно выполнять автоматически, например, следующие параметры: 1) пластовое давление в среднем (Рпл) – за счет притока воды по контуру, общий баланс добычи жидкости-закачки воды; 2) пластовое и КН по ГДИ – за счет модификации K_{pr} в районе скв., представленном ячейкой возле скв.; 3) Рзаб – модификация продуктивности (или скин); 4) обводнение – модификация фазовых K_{RW}/K_{RO} .

Пример модификаторов к K_{pr} и ФП - представлены на рисунках (слева)



Кросс-plot сравнения $Q_{нак.нефть}$
Расчет vs. Факт по скважинам

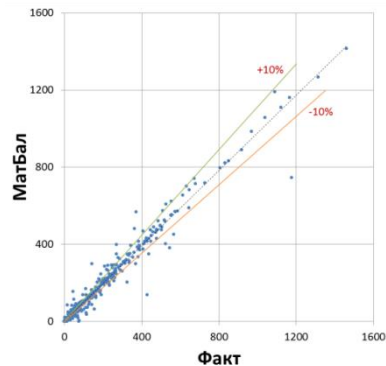
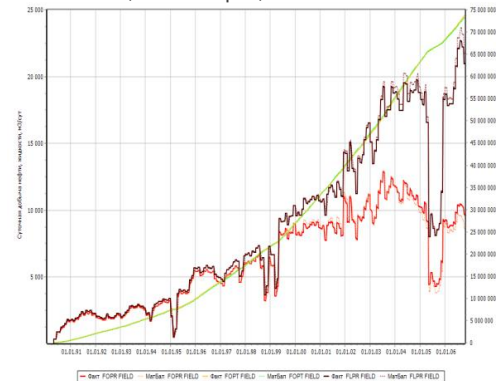
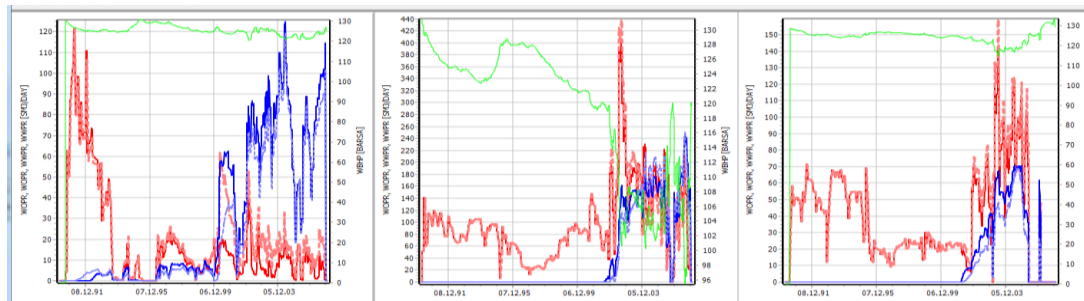


График сравнения показателей по залежи Q_N ,
 Q_J , $Q_{нак.нефть}$, Расчет vs. Факт



Примеры динамики показателей по скважинам Расчет vs. Факт

– начало прорыва воды и динамика дебитов нефти/воды воспроизводятся приемлемо



Выводы и перспективы использования

1. Предложенная методика построения сложных неравномерных расчетных сеток позволяет достичь значительного ускорения расчетов по времени, что является критичным при выполнении многовариантных расчетов на этапе адаптации моделей крупных залежей на историю разработки. При этом по мере улучшения адаптации модели детализация сетки восстанавливается, приближаясь к исходной размерности.
2. Рассматриваемый подход может быть реализован в виде опции в любом гидродинамическом симуляторе, который разработан как для сеток «Corner Point», так и для нерегулярных сеток.
3. Для проверки реализованных алгоритмов выполнена апробация на нескольких полномасштабных моделях залежей нефти и газа с различной размерностью и фазовым состоянием. Показана хорошая устойчивость решения и сходимость к результатам на первоначальной регулярной детализированной сетке.
4. Перспективы улучшения точности могут быть связаны с получением псевдофазовых и оптимизации сетки по разрезу.
5. На основе объединения предлагаемой стратегия укрупнения сетки, а также алгебраического мультисеточного метода (Aggregated AMG) можно сформировать эффективную «мультисеточную» численную схему для решения задачи непосредственно на исходной сетке (без необходимости ее явного огрубления).

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!