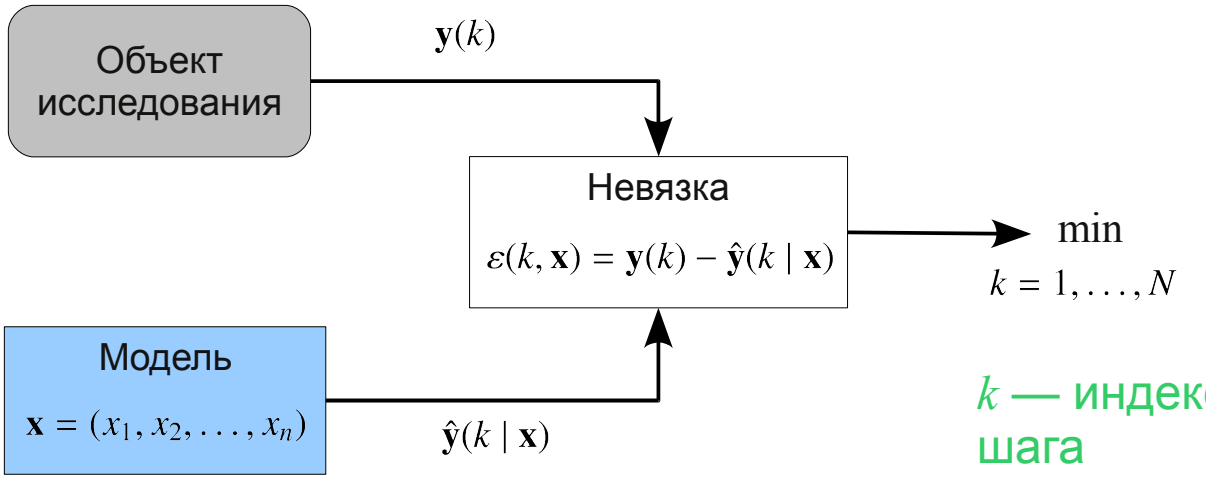
УГАТУ ИНСТИТУТ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПРИ НИЧ УГАТУ

РН - УФАНИПИНЕФТЬ

Опыт решения задачи параметрического оценивания гидродинамической модели нефтяного месторождения на вычислительном кластере

Гагарин А.В.
Макеев Г.А.

Задача идентификации параметров модели



k — индекс временного шага

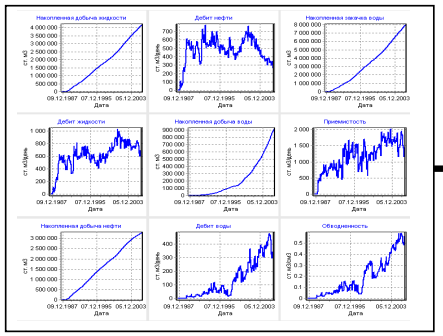
- *Объект исследования*: контролируемые выходные сигналы
  $\mathbf{y}(k) = (y_1(k), \ y_2(k), \ldots, y_m(k))$
- *Модель*: выходные сигналы $\hat{\mathbf{y}}(k \mid \mathbf{x}) = (\hat{y}_1(k \mid \mathbf{x}), \hat{y}_2(k \mid \mathbf{x}), \ldots, \hat{y}_m(k \mid \mathbf{x}))$
  параметры $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$
- *Задача*: невязки $\varepsilon(k, \mathbf{x}) = \mathbf{y}(k) - \hat{\mathbf{y}}(k \mid \mathbf{x}) \to \min, \ k = 1, \ldots, N$

- Вводим целевую функцию: $f(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^{N} \varepsilon(k, \mathbf{x})^T \cdot \mathbf{W} \cdot \varepsilon(k, \mathbf{x})$

- Ищем решение $\mathbf{x}^*$: $f(\mathbf{x}^*) < f\left(\mathbf{x}^{\text{opt}}\right) + \delta$, где $\mathbf{x}^{\text{opt}} = \underset{\mathbf{x} \in D_M}{\operatorname{argmin}} f(\mathbf{x})$

Задача идентификации параметров ГДМ

Реальная история разработки месторождения



Геофизические данные

Гидродинамическая модель месторождения

Предобработка (выделение параметров)

Численное моделирование

ЦФ (качество модели) $f(\mathbf{x})$

Необходимо подобрать неизвестные параметры так, чтобы ЦФ была минимальной

Алгоритм оптимизации

Постобработка параметров

неизвестные параметры (начальное приближение)

пористости, проницаемости, относительные фазовые проницаемости, ...

- Для поиска решения применяются *итерационные методы оптимизации*, генерирующие последовательность приближений $\left\{\mathbf{x}^{(1)}, \mathbf{x}^{(2)}, \ldots, \mathbf{x}^{(N_o)}\right\}$, такую, что $\mathbf{x}^* = \mathbf{x}^{(N_o)}$. N_o — количество требуемых итераций

Цикл оптимизации в разработанной системе

1. Определяются вид ЦФ, варьируемые параметры модели и способ их преобразования в аргументы ЦФ

2. Определяются области поиска оптимальных значений параметров

3. Анализируется чувствительность ЦФ к искомым параметрам, определяются однородные и неоднородные области параметрического пространства.

4. Цикл:
- генерируются наборы ГДМ в соответствии с приближениями $\mathbf{x}^{(\nu)}$;
- запускается численное моделирование ГДМ;
- обрабатываются результаты расчета моделей;
- вырабатывается новый набор ГДМ.

5. Анализируются найденные альтернативные решения, определяется их устойчивость.

6. Строятся отчеты по лучшим решениям, и интегральные отчеты по всем решениям.

Использование кластера УГАТУ, среды MATLAB и симулятора NGT BOS позволяет генерировать, рассчитывать и обрабатывать наборы моделей для решения различных задач оптимизации.

Матрица параметры-оценки

	Параметры					Состояние		Оценки			
	P1	P2		PN				E1	E2	…	EM
N эксп.	Забойное давление там-то	Длина трещины такой-то	…	Признак установки эквалайзера				Общая добыча нефти	Газовый фактор на скважине такой-то		Средняя обводненность
1	250	50		1		готово		120	1		0.7
2	300	75		1		готово		130	1		0.7
…											
E	250	50		1		рассчитывается					

- Параметры и соответствующие им рассчитанные значения ЦФ в системе формируют ***матрицу параметров и оценок***. Каждая строка соответствует одному эксперименту (одной ГДМ)
- ***Добавление новой строки*** в матрицу «параметры-оценки» приводит к автоматическому созданию *новой гидродинамической модели*
- Добавляться новые строки могут:
  - на основе приближений, генерируемых алгоритмом оптимизации;
  - вручную, если специалисту требуется проверить модель с заданными набором параметров;
  - функцией группового добавления: например, в соответствии с алгоритмом планирования эксперимента (экспериментальный дизайн).

Модули параметрической идентификации

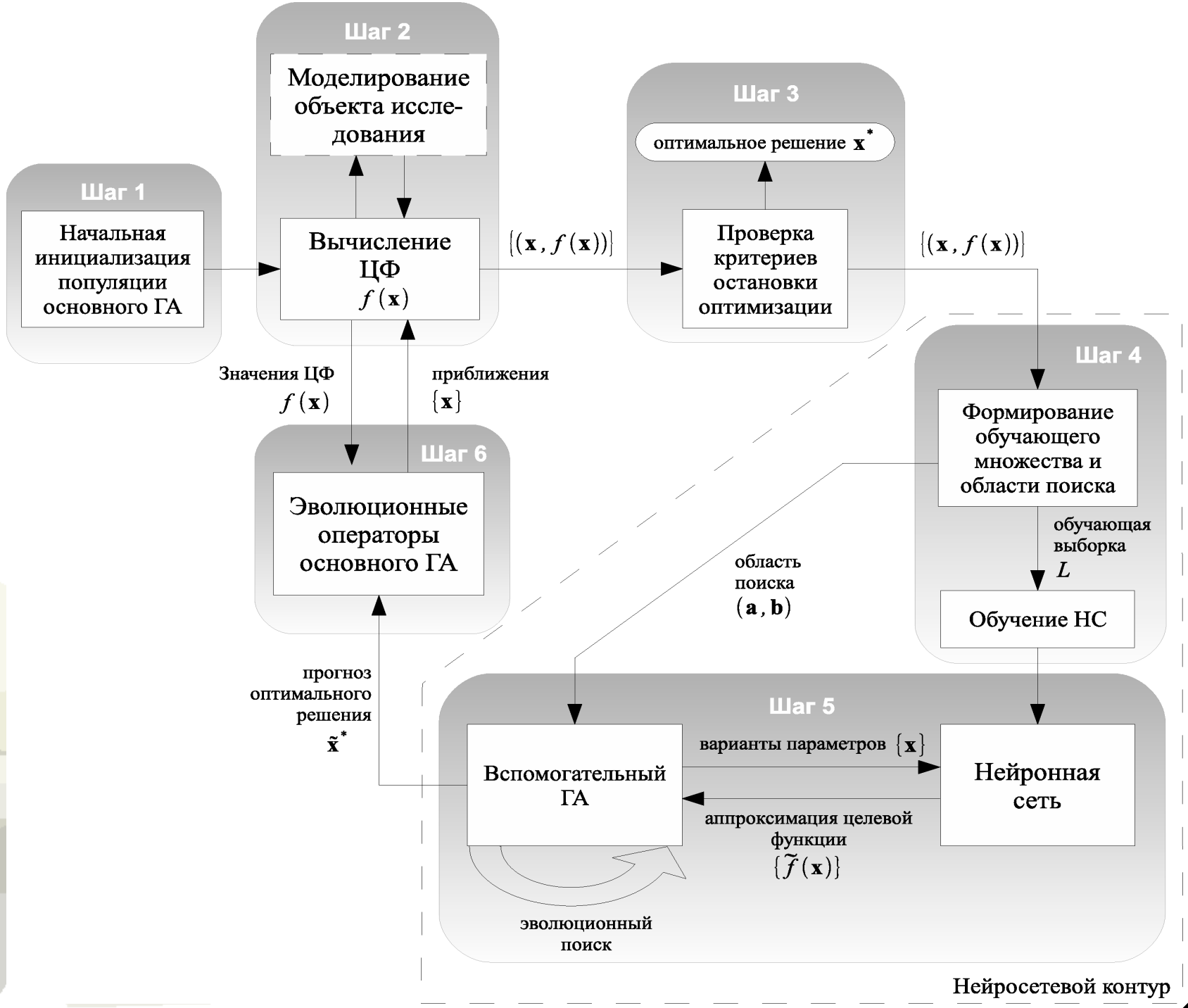
Генетический модуль:
• реализация простого **генетического алгоритма**
• **гибридный генетический нейросетевой алгоритм**
• **генетический алгоритм с вертикальными субпопуляциями** (параллельный поиск значений “почти независимых” множеств параметров)

Градиентный модуль:
• эвристики для оценки производной
• эвристики для контроля шага по каждой оси
• параллельный поиск значений “почти независимых” множеств параметров

Модуль экспериментального дизайна:
box-behnken, central-composite, full-(fractional-)factorial designs
параллельный поиск значений “почти независимых” множеств параметров

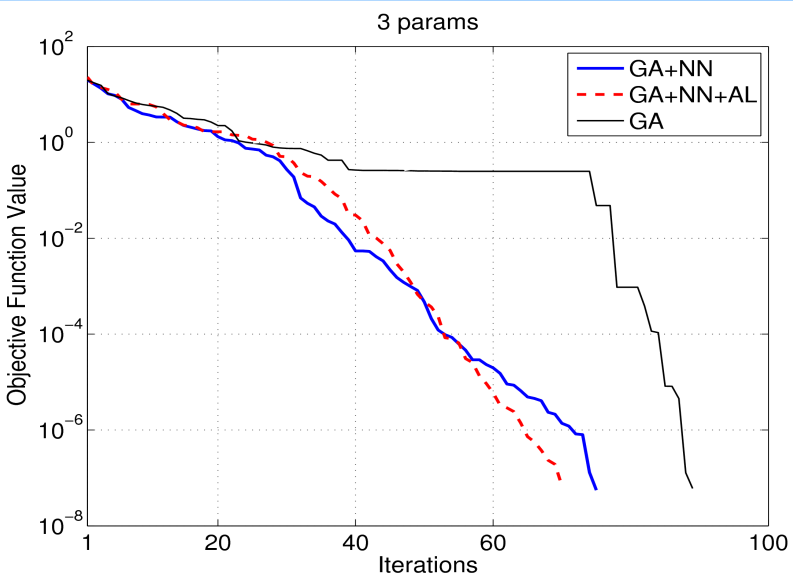
Модуль кригинга: набор эвристик, интерполирующих пространство поиска методом Кригинга и “подсказывающих” возможные точки, максимизирующие:
• оценку мат. ожидания в требуемых точках --- прогноз значения ЦФ в неизвестной точке
• оценку дисперсии в требуемых точках
• оценку «локальной изменчивости»
• параллельный поиск значений “почти независимых” множеств параметров

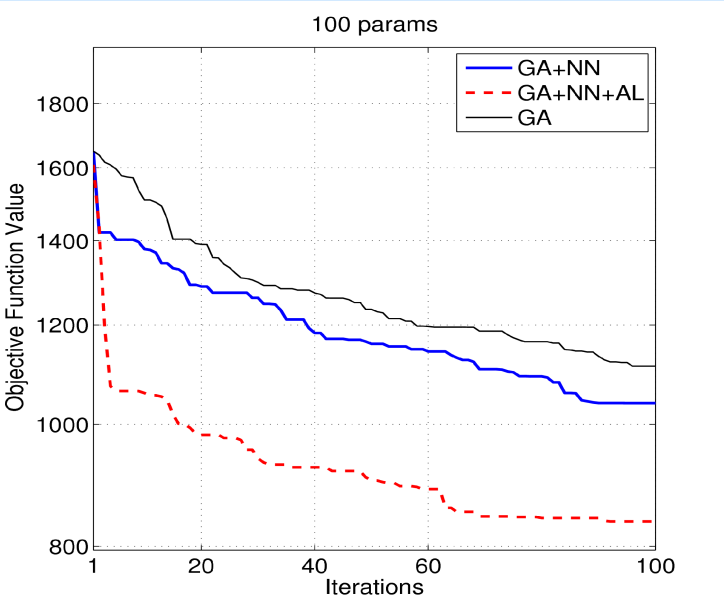
Схема алгоритма ГА+НС



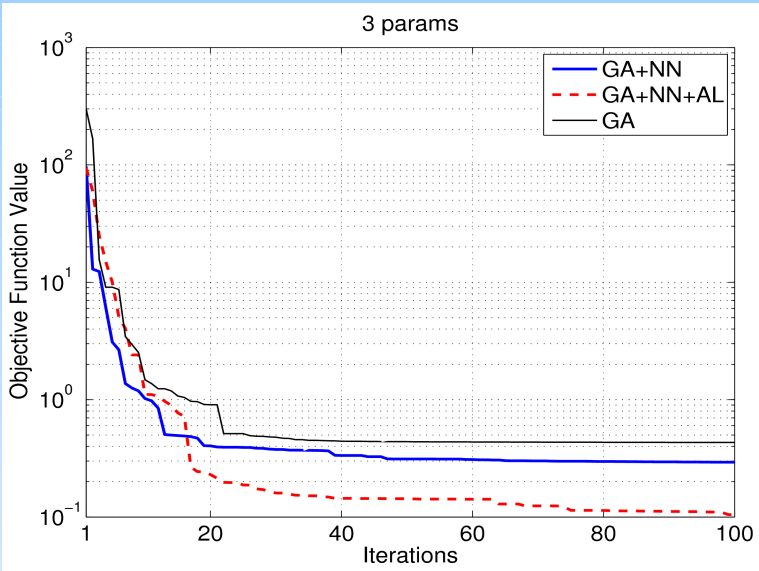
Сравнение ГА и ГА+НС на тестовых функциях

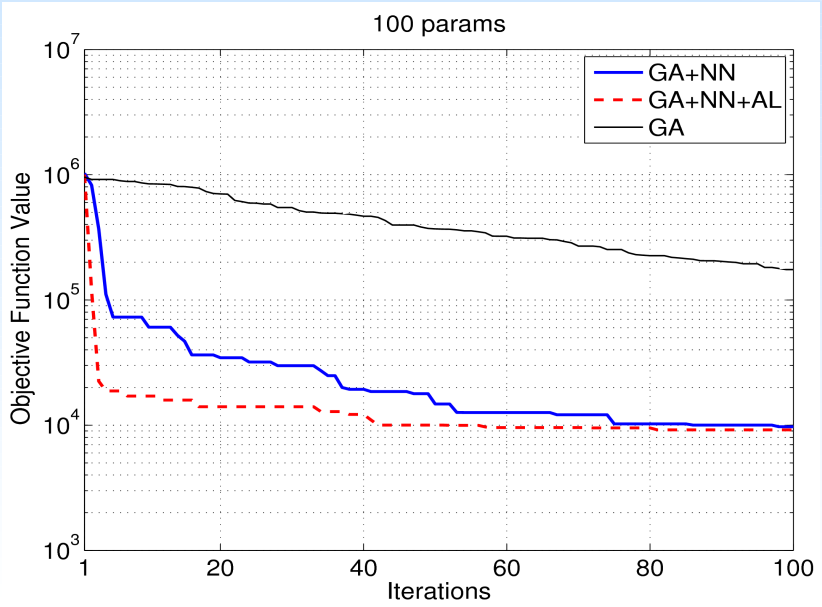
$$f_{\mathrm{Ras}}(\mathbf{x}) = 10n + \sum_{i=1}^{n}(x_i^2 - 10\cos(2\pi x_i))$$ (ф-я Растригина)





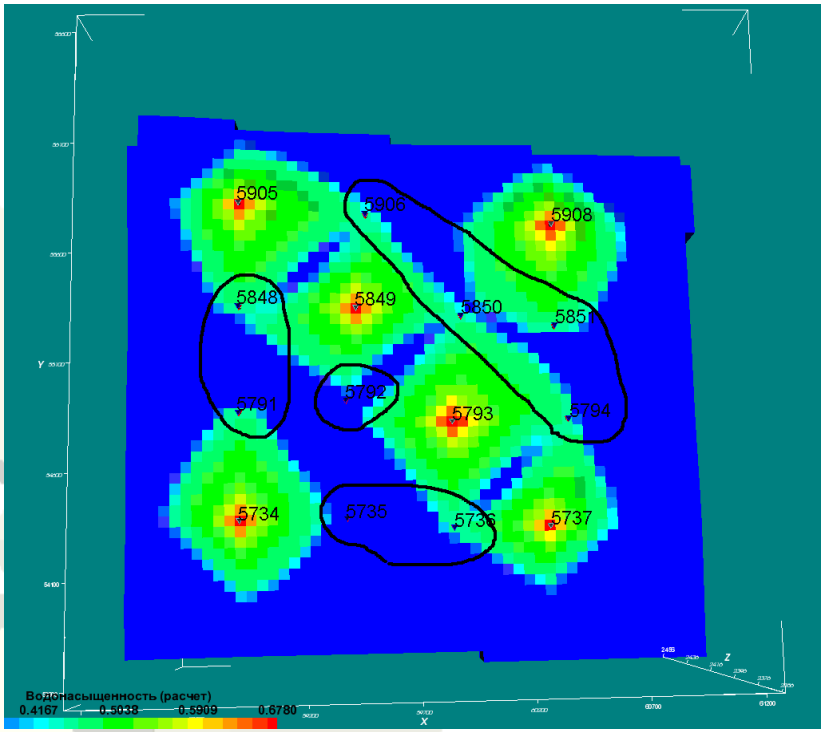
$$f_{\mathrm{Ros}}(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^{n-1}\left[100\left(x_{i+1}^2 - x_i\right)^2 + (1 - x_i)^2\right]$$ (ф-я Розенброка)





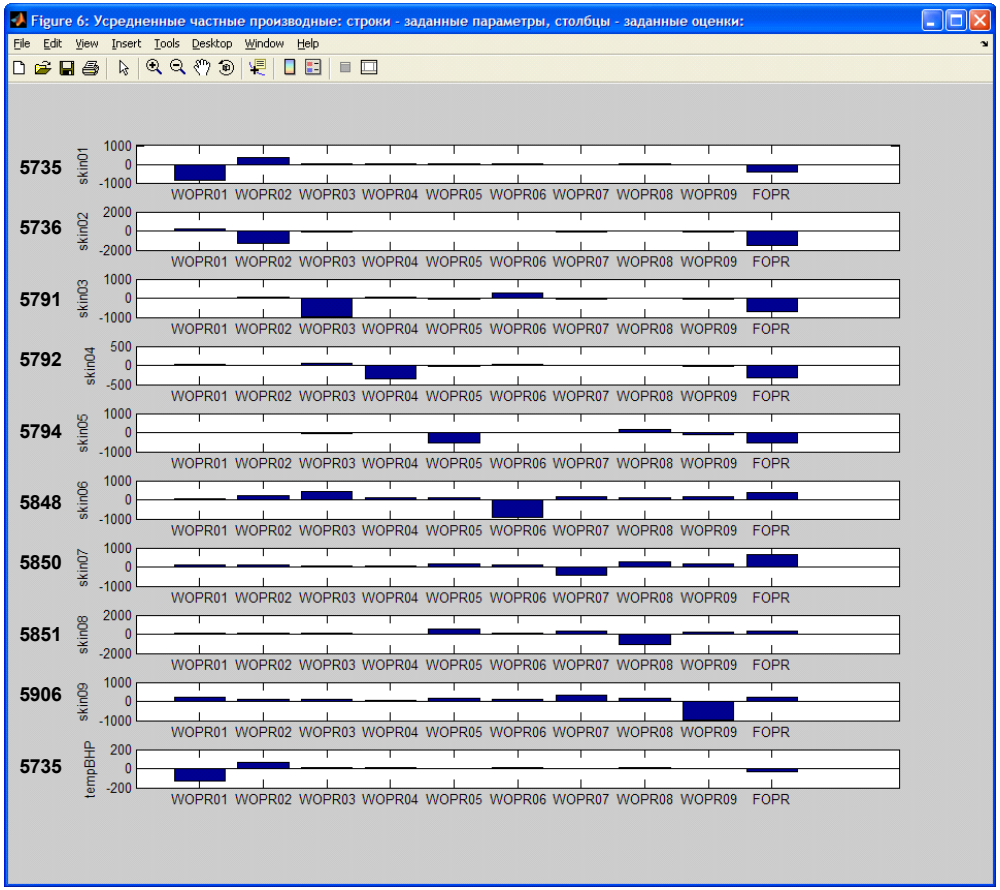
Анализ чувствительности

```
% анализируемые параметры
paramNames = {'skin01','skin02','skin03','skin04','skin05',...
              'skin06','skin07','skin08','skin09','tempBHP'};

% анализируемые оценки
estimNames = {'WOPR01','WOPR02','WOPR03','WOPR04','WOPR05',...
              'WOPR06','WOPR07','WOPR08','WOPR09','FOPR'};

% оценить ли чувствительность в заданных имеющихся экспериментах
% или в некотором количестве новых случайных экспериментов
...

% усреднять производные по всем точкам, или показать производные
% в каждой точке отдельно
averageOverExps = true;

% показывать график с параметрами в строках и оценками в столбцах
showEstimsVsParams = true;
% показывать график с оценками в строках и параметрами в столбцах
showParamsVsEstims = true;
```



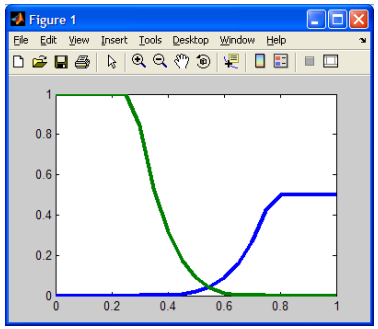
Скрипты анализа чувствительности позволяют выявить:

- существенные параметры;
- зависимые и независимые параметры и группы параметров.



Параметризация

Относительная фазовая проницаемость

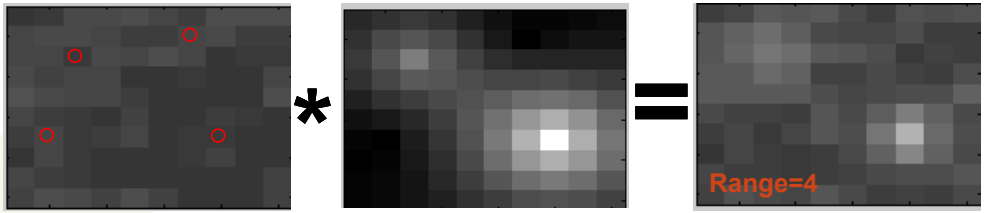


SWOF

0.0	0	1	0
0.1	0	1	0
0.2	0	1	0
0.3	0	0.842	0
0.4	0.001	0.316	0
0.5	0.018	0.086	0
0.6	0.087	0.013	0
0.7	0.265	0	0
0.8	0.500	0	0
0.9	0.500	0	0
1.0	0.500	0	0

- **Вариант 1:** подбирать каждое значение в таблице
- **Вариант 2:** аппроксимировать кривой и подбирать ее параметры
- **Вариант 3:** аппроксимировать кусочно-линейной функцией

Карта абсолютной проницаемости



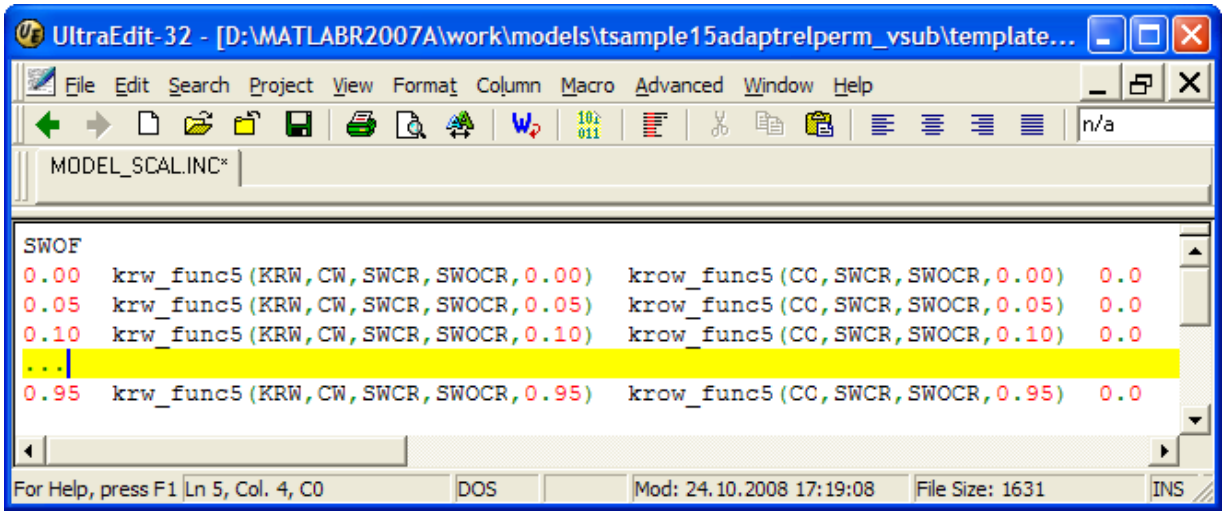
- **Вариант 1:** каждое значение в карте
- **Вариант 2:** множитель для всей карты
- **Вариант 3:** несколько множителей, интерполяция

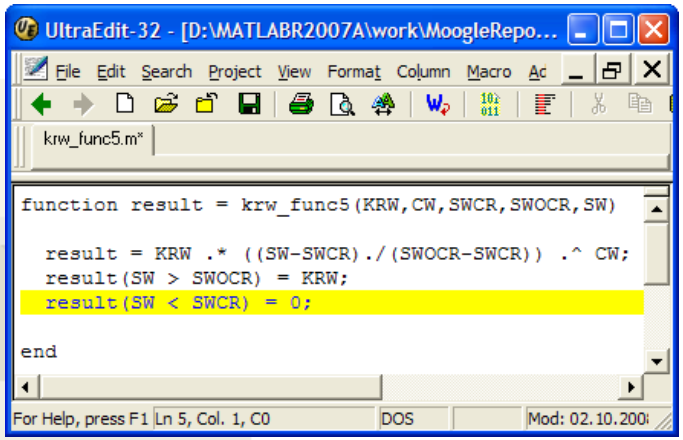
Параметризация требует учета:
- области определения;
- шага дискретизации;
- различной природы и масштаба параметров.

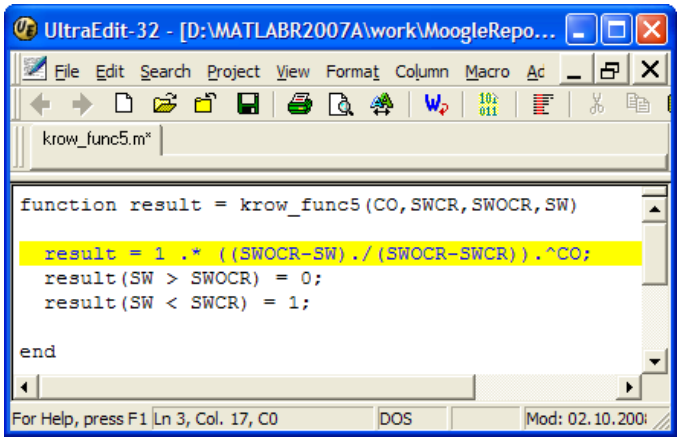
Различные варианты параметризации приводят к параметрическим пространствам с различными свойствами и перспективами оптимизации.

Эксперимент 1: настройка относительных фазовых проницаемостей (ОФП) в виде степенных функций

- Форма кривых ОФП определяется 5-ю аргументами ЦФ
- Пример использования параметризации ГДМ с помощью переменных и функций
- Все параметры адаптации необходимо подбирать совместно







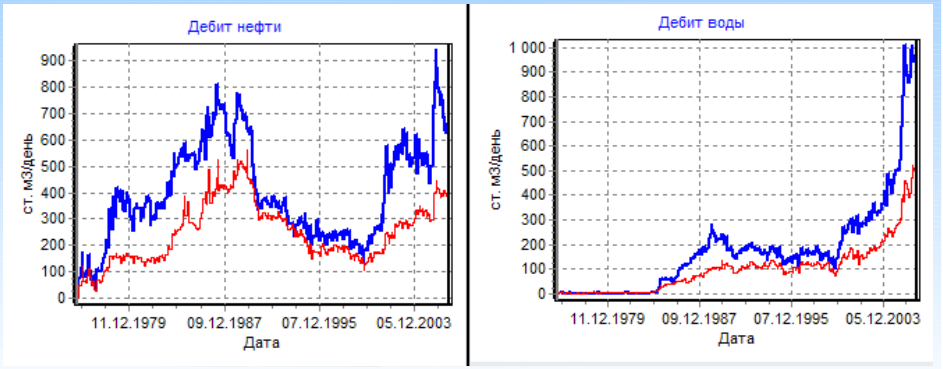
Эксперимент 1: результат

- *Целевая функция*: $f(\mathbf{x}) = \sum_{k=1}^{N} \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{u} \frac{\left(y_{i,j}(k) - \hat{y}_{i,j}(k \mid \mathbf{x})\right)^2}{\sigma_i^2}, \ \mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$

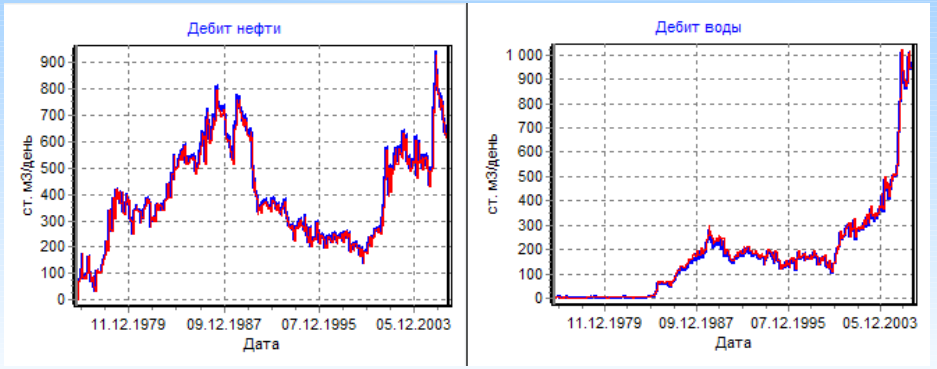
  - где k — номер временного шага;
  - i — индекс интересующего контрольного параметра;
  - j — номер скважины;
  - σ_i — дисперсия наблюдаемых значений i-го параметра

- *Результат*:

Начальное приближение ОФП

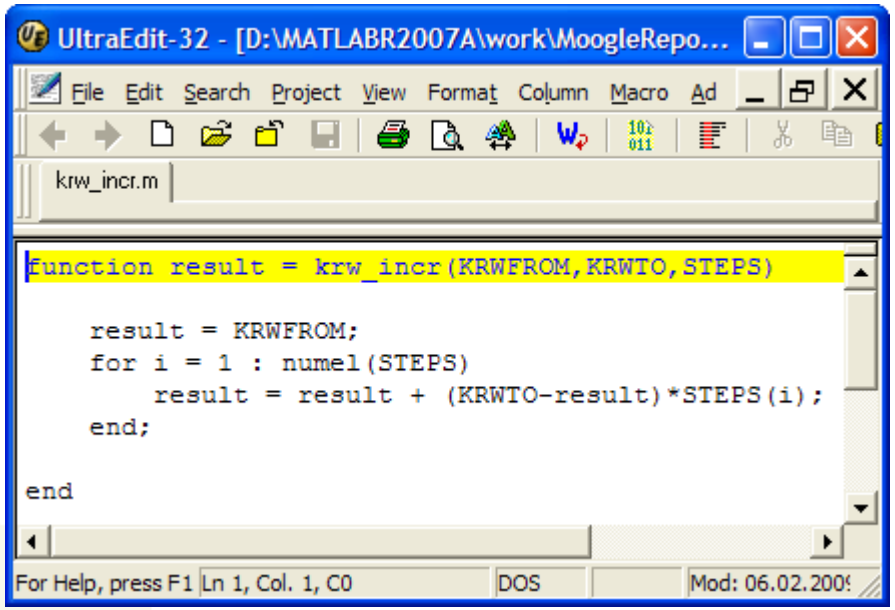


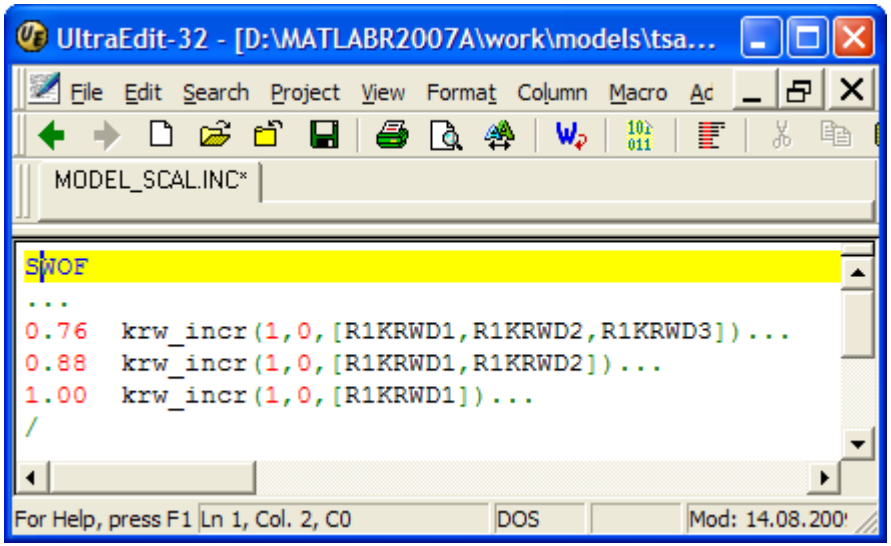
Результат

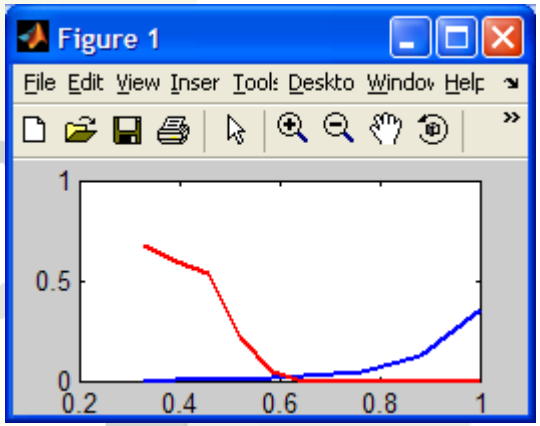


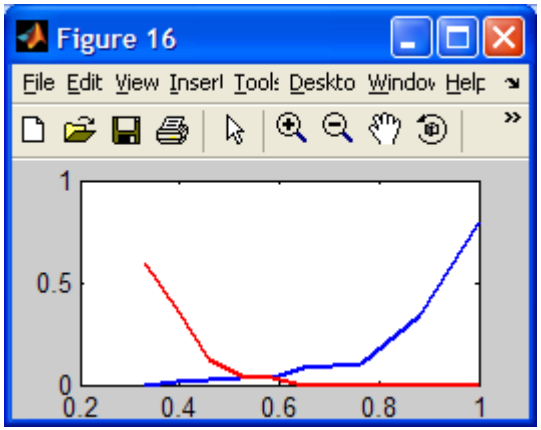
Эксперимент 2

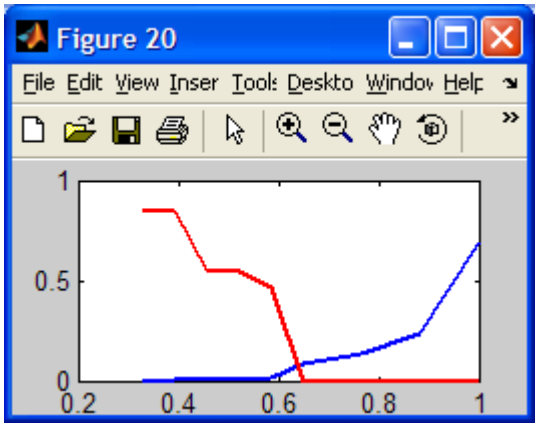
- Настройка кривых ОФП как кусочно-линейных функций, путем подбора приращения функции в каждой следующей точке (произвольный вид кривой)





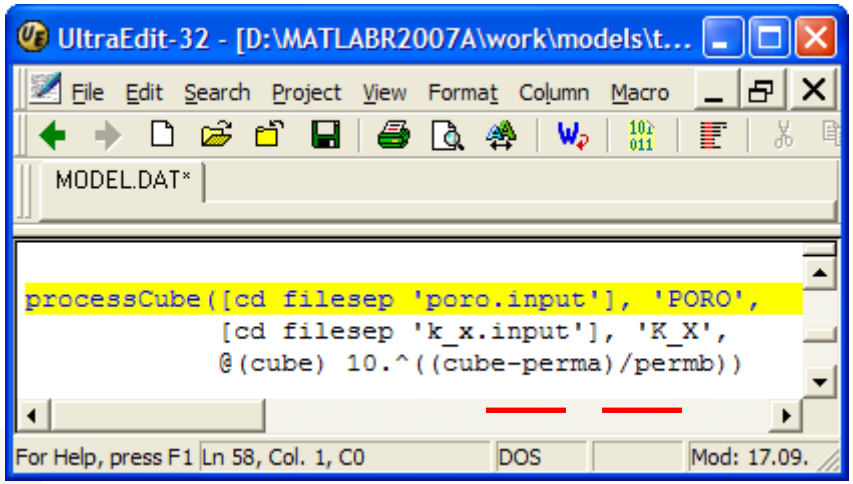


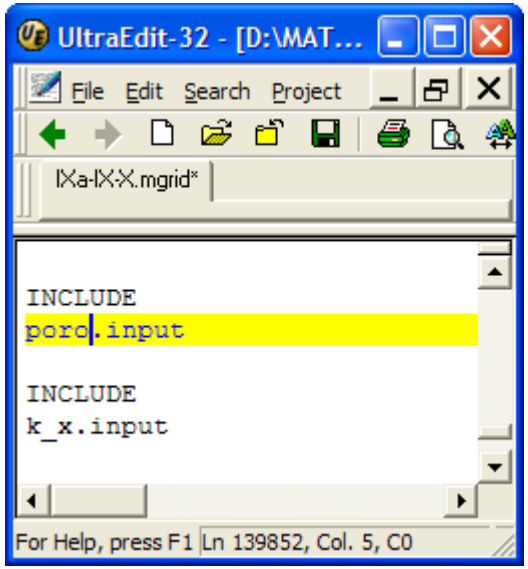


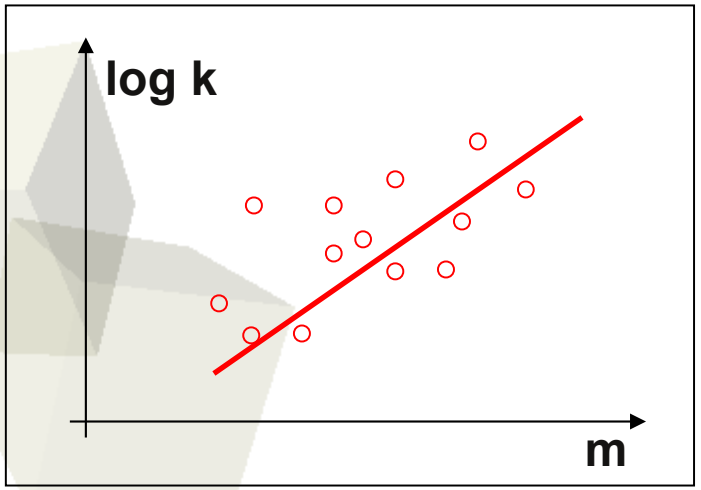


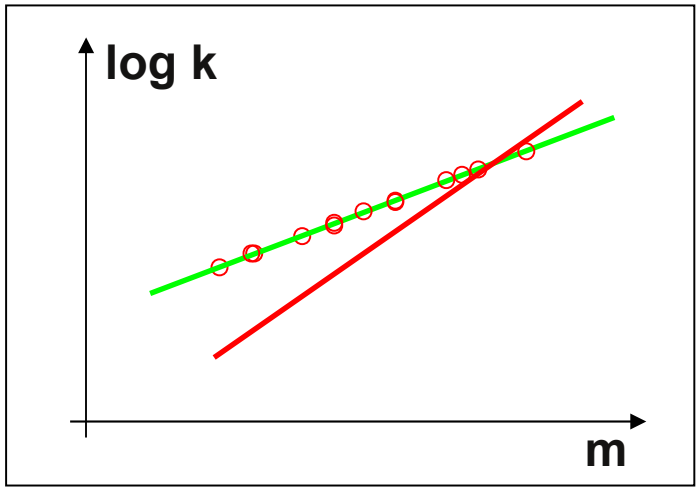
Эксперимент 3

- подбор значений проницаемости как функции от пористости, путем подбора двух параметров perm_a и perm_b в функции $\mathrm{perm} = 10^{(\mathrm{poro}-\mathrm{perm}_a)/\mathrm{perm}_b}$
- пример генерации подключаемых кубов «на лету»



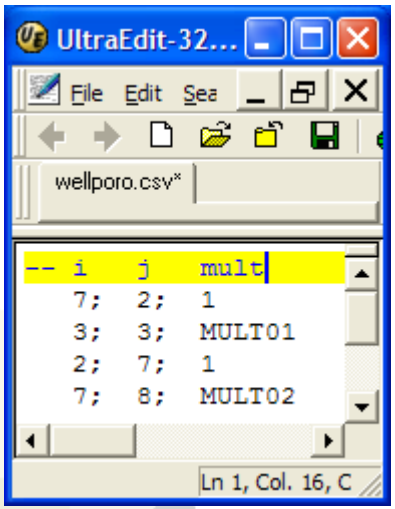


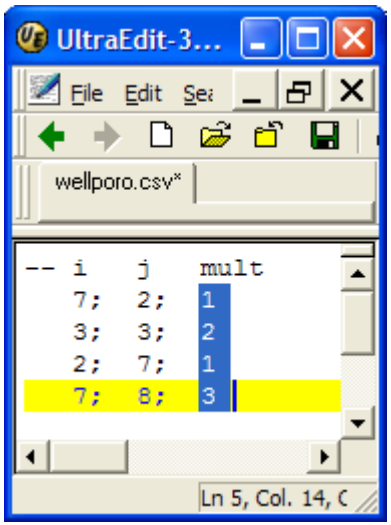


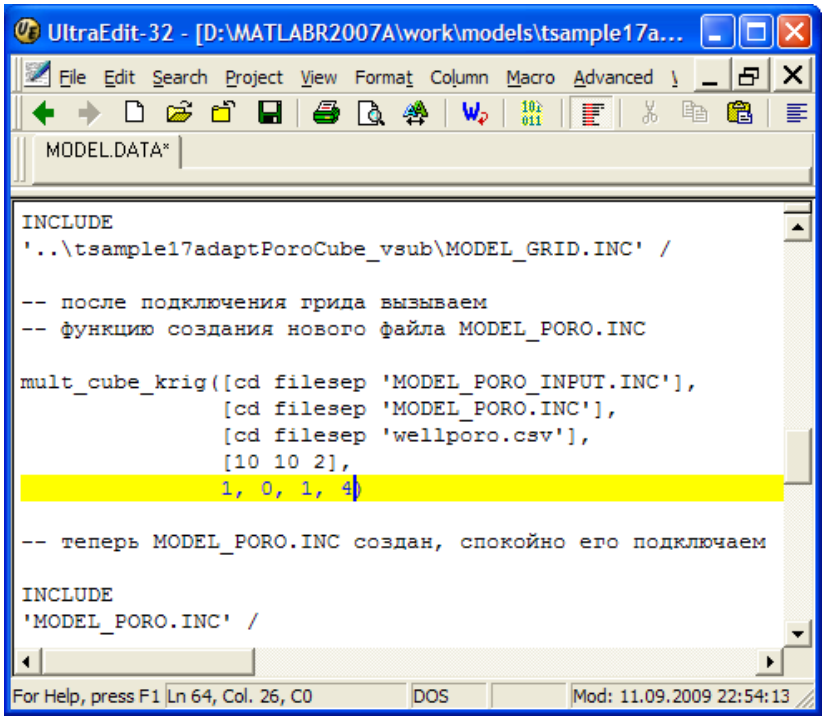


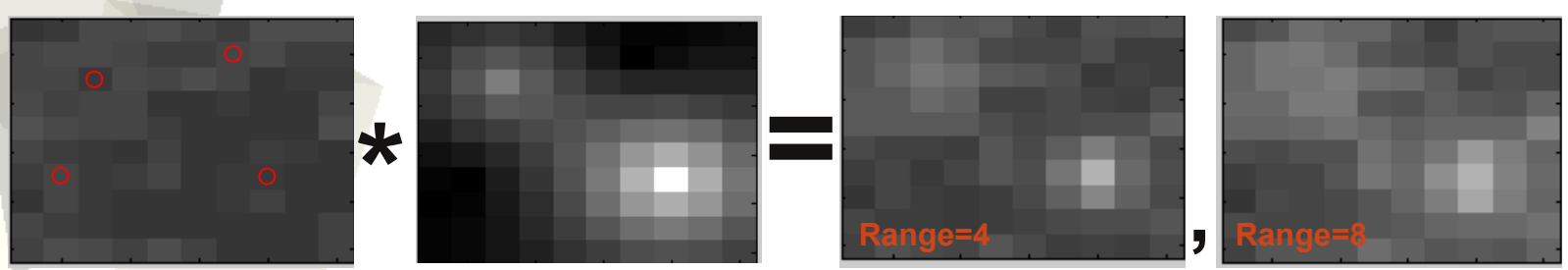
Эксперимент 4

- подбор значений пористости во всех ячейках трехмерного куба путем умножения его на карту множителей, получаемую кригинг-интерполяцией множителей между скважинами
- пример генерации подключаемых кубов «на лету»



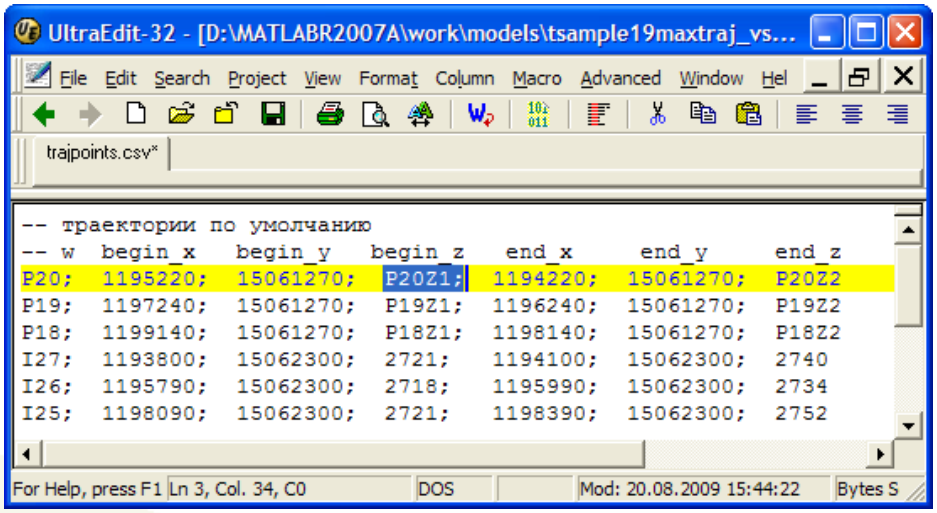


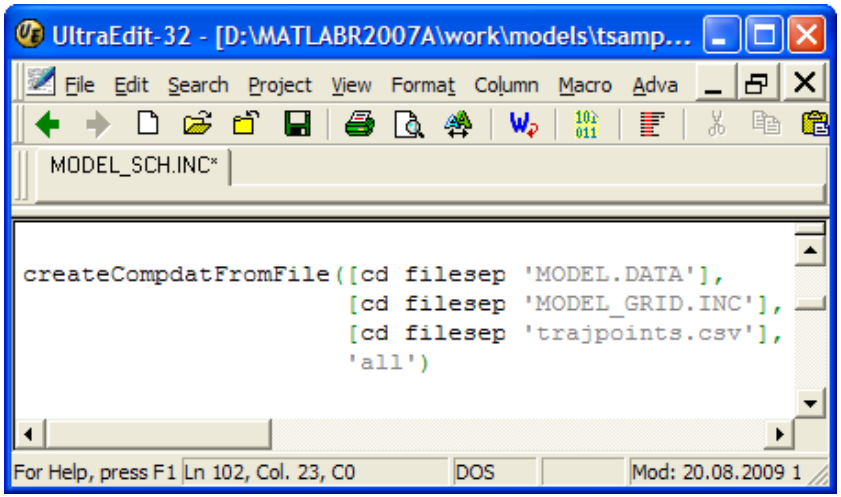


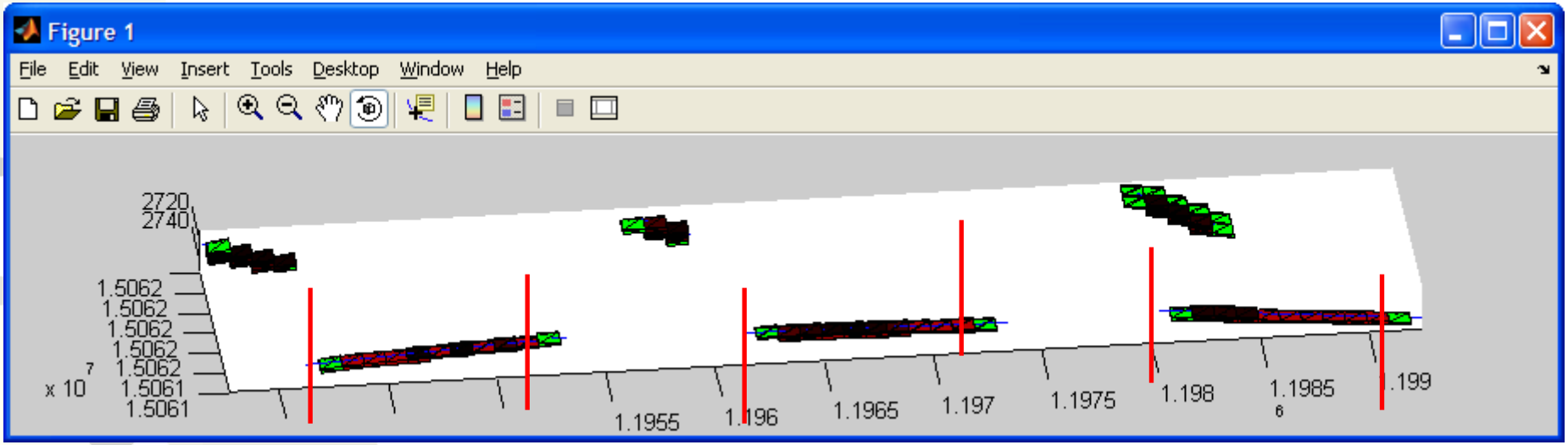


Эксперимент 5

- максимизация добычи нефти
- различные постановки задачи выбора местоположения и траектории скважины
- планируется создание расписания из DEV-EV-файлов







Выводы

- Использование кластерных вычислений позволяет эффективно решать разнообразные обратные задачи при идентификации параметров ГДМ путем решения множества прямых задач
- Использование разработанных алгоритмов оптимизации позволяет существенно сократить количество требуемых приближений
- Разработанная система идентификации параметров ГДМ успешно используется сотрудниками РН-УфаНИПИнефть для настройки параметров моделей реальных месторождений и в исследовательских целях

Спасибо за внимание!