

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

MSc Programs Магистерские программы



Reservoir Simulation Gridding and Well Modelling

Sergey Kurelenkov 2011 (after Ken Sorbie)



Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

MSc Programs Магистерские программы

Outline

- Gridding in Reservoir Simulation
- Calculation of Block to Block Flows in Reservoir Simulators
- Wells in Reservoir Simulation



MSc Programs

Магистерские программы

Reservoir Simulation Model

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела

- grid block model of a petroleum reservoir...
- Gridding
 - process of dividing up a reservoir into grid blocks (spatial discretization)
- Discretization
 - process of dividing up a continuous quantity into discrete intervals



Δx, Δy, Δz φ, k, c, S, p PVT

Δt (timestep)













MSc Programs

Магистерские программы

• 1D Cartesian (Linear) Grids

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

- Horizontal
 - Buckley-Leverett type water displacement



- Vertical
 - gravity drainage
 - gravity stable gas displacement of oil



Х



MSc Programs

Магистерские программы

2D Cartesian Grids
 – Cross-sectional (x/z)

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

- vertical sweep efficiency
- water/oil displacements in geostatistically generated



- generation of pseudo-relative permeabilities (2 phase upscaling)
- mechanism of gas displacement (importance of gravity)



MSc Programs

Магистерские программы

2D Cartesian Grids

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела

- Areal (x/y)
 - areal sweep efficiency (water/gas flooding)
 - benefits of infill drilling in an areal pattern flood



• near-miscible gas injection in a homogeneous layer



MSc Programs

Магистерские программы

3D Cartesian Grids
 Default grid type

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела

- easy to set up
- less time consuming simulat (equations are derived for th)
- wide range of field wide reservou production processes (full field simulation of water/gas flooding and etc.)







2

Gridding in Reservoir Simulation

MSc Programs

Магистерские программы

- Radial Grids
 - 1D
 - pressure front propagation

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела



- 2D (r/z), 3D
 - near wellbore processes (water/gas coning)





MSc Programs

Магистерские программы

- Radial Grids
 - pressure change near well is stee
 - $\Delta P(r) \sim \ln \left(\frac{r}{r_w}\right)$ logarithmically-spaced grid

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

grid is divided such that

$$\Delta r_i = r_i - r_{i-1}$$

$$P(r_i) - P(r_{i-1}) - \text{const}$$

$$P(r_i) - P(r_{i-1}) \sim \ln\left(\frac{r_i}{r_{i-1}}\right)$$





3D

Distorted



MSc Programs

Магистерские программы

- Distorted grids
 - Corner Point

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

account structure features (faults)



Corner Point Geometry



8 corners



Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

MSc Programs Магистерские программы

Gridding in Reservoir Simulation

- Distorted grids
 - Perpendicular Bisector (PEBI), Voronoi
 - account structure features (faults)
 - horizontal well modelling







MSc Programs

Магистерские программы

Local Grid Refinement (LGR)

- Simple grid refinement

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела





MSc Programs

Магистерские программы

Local Grid Refinement (LGR)

Local Grid Refinement

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела





Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

MSc Programs Магистерские программы

Gridding in Reservoir Simulation

- Local Grid Refinement (LGR)
 - Hybrid Grid Local Grid Refinement





MSc Programs

Магистерские программы

• Local Grid Refinement (LGR)

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

- Hybrid Grid Local Grid Refinement





MSc Programs

Магистерские программы

- Distorted grids
 - Faults modelling

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

Non-neighbor connections (NNC)







1.0

Sw

23

P2



Ax

X -



P2

HERIOT



MSc Programs

Магистерские программы

Numerical Dispersion

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела







MSc Programs

Магистерские программы

Numerical Dispersion

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела







MSc Programs

Магистерские программы

Numerical Dispersion

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела







MSc Programs

Магистерские программы

Numerical Dispersion

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела







MSc Programs

Магистерские программы

Numerical Dispersion

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела





Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

MSc Programs Магистерские программы

Gridding in Reservoir Simulation

Numerical Dispersion





MSc Programs

Магистерские программы

Numerical Dispersion

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела

- Methods of reducing
 - Grid refinement (increase in number of grid blocks)
 - Use of Pseudo-relative permeabilities (2 phase upscaling)
 - Use of alternative simulation scheme
 (Streamline simulation)





Numerical problems

MSc Programs

Магистерские программы

Numerical dispersion

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела



Grid orientation





MSc Programs

Магистерские программы

Grid Orientation effect

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела

arises when the fluid flow both oriented with the principal and diagonal grid direction





MSc Programs

Магистерские программы

Grid Orientation effect

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела

- Methods of reducing
 - Grid refinement (increase in number of grid blocks)
 - Use of distorted grids (PEBI)



• Use of improved numerical schemes (9-point)







Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

MSc Programs Магистерские программы

Gridding in Reservoir Simulation

Streamline Simulation

Pressure **Streamlines** Saturation



MSc Programs

Магистерские программы

- Issues in Choosing Reservoir Simulation Grid
 - Grid Dimension
 - 1D, 2D, 3D?

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

- Grid Geometry/Structure
 - Cartesian, Distorted, LGR?
- Grid Fineness/Coarseness
 - Grid block size (number of grid blocks) ?

should be related to the simplicity/complexity of the problem


Issues in Choosing Reservoir Simulation Grid

MSc Programs

Магистерские программы



Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела





Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела

Issues in Choosing Reservoir Simulation Grid

MSc Programs

Магистерские программы





MSc Programs

Магистерские программы

- Issues in Choosing Reservoir Simulation Grid
 - Example 1

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела





MSc Programs

Магистерские программы

- Issues in Choosing Reservoir Simulation Grid
 - Example 2

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела



40



Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

MSc Programs Магистерские программы

Outline

- Gridding in Reservoir Simulation
- Calculation of Block to Block Flows in Reservoir Simulators
- Wells in Reservoir Simulation



HERIOT



MSc Programs

Магистерские программы

• Averaging k-A Product, kA

Petroleum Learning Centre





центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела Calculation of Block to Block Flows in Reservoir Simulators

MSc Programs

Магистерские программы

Averaging k-A Product, kA

Petroleum Learning Centre





MSc Programs

Магистерские программы

Averaging k-A Product, kA

Petroleum Learning Centre





центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела Calculation of Block to Block Flows in Reservoir Simulators

MSc Programs

Магистерские программы

Averaging k-A Product, kA

Petroleum Learning Centre





центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела Calculation of Block to Block Flows in Reservoir Simulators

MSc Programs

Магистерские программы

Averaging k-A Product, kA

Petroleum Learning Centre



$$Q = -\frac{1}{\mu} \cdot \left(\frac{2}{\frac{\Delta x_{i-1}}{(k \cdot A)_{i-1}} + \frac{\Delta x_i}{(k \cdot A)_i}} \right)^{-1} + \frac{Q\mu}{(k \cdot A)_i} \cdot \left(\frac{\Delta x_{i-1}}{(P_i - P_{i-1}^2)} + \frac{\Delta x_i}{(k \cdot A)_{i-1}} + \frac{\Delta x_i}{(k \cdot A)_i} \right)^{-1} + \frac{\Delta x_i}{(k \cdot A)_i} \right)$$
47



MSc Programs

Магистерские программы

Averaging k-A Product, kA

Petroleum Learning Centre





Центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела Магистерские программы Саlculation of Block to Block Flows in Reservoir Simulators

MSc Programs

• Averaging k-A Product, kA

Petroleum Learning Centre





Harmonic average



Центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела Магистерские программы Calculation of Block to Block Flows in Reservoir Simulators

MSc Programs

Averaging k-A Product, kA

Petroleum Learning Centre







MSc Programs

Магистерские программы

• Averaging Two-Phase Mobility, λ_p

Petroleum Learning Centre





MSc Programs

Магистерские программы

• Averaging Two-Phase Mobility, λ_p

Petroleum Learning Centre

- Physically





MSc Programs

Магистерские программы

• Averaging Two-Phase Mobility, λ_n

Harmonic average (k_h)?

Petroleum Learning Centre





MSc Programs

Магистерские программы

• Averaging Two-Phase Mobility, λ_n

— Arithmetic average (k_a) ?

Petroleum Learning Centre





MSc Programs

Магистерские программы

• Averaging Two-Phase Mobility, λ_{p}

- Upstream value ?

Petroleum Learning Centre





MSc Programs

Магистерские программы

• Averaging Two-Phase Mobility, λ_p – Upstream value ? \checkmark

Petroleum Learning Centre





MSc Programs

Магистерские программы

Summary

Petroleum Learning Centre





Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

MSc Programs Магистерские программы

Outline

- Gridding in Reservoir Simulation
- Calculation of Block to Block Flows in Reservoir Simulators
- Wells in Reservoir Simulation



Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

MSc Programs Магистерские программы

Wells in Reservoir Simulation

Basic Idea of Well Model







Well Models for Single and Two Phase Flow





MSc Programs

Магистерские программы

Well Models for Single and Two Phase Flow

Petroleum Learning Centre





MSc Programs

Магистерские программы

Well Models for Single and Two Phase Flow

Petroleum Learning Centre





MSc Programs

Магистерские программы

Well Models for Single and Two Phase Flow

Petroleum Learning Centre





MSc Programs

Магистерские программы

Well Models for Single and Two Phase Flow

Peaceman Equivalent radius, r_a

Petroleum Learning Centre







MSc Programs Магистерские программы

Wells in Reservoir Simulation

- Well Models for Single and Two Phase Flow
 - Peaceman Equivalent radius, r_e

$$\ln\left(\frac{r_{ij}}{r_e}\right) = \ln\left(\frac{r_{ij}}{\Delta x} \cdot \frac{\Delta x}{r_e}\right) = \ln\left(\frac{r_{ij}}{\Delta x}\right) - \ln\left(\frac{r_e}{\Delta x}\right)$$
$$\frac{P_{ij} - P_o}{\frac{Q\mu}{kh}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \ln\left(\frac{p_{ij}}{r_{Q\mu}}\right) - \frac{P_o}{r_{Q\mu}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \left[\ln\left(\frac{r_{ij}}{\Delta x}\right) - \ln\left(\frac{r_e}{\Delta x}\right)\right]$$



MSc Programs

Магистерские программы

- Well Models for Single and Two Phase Flow
 - Peaceman Equivalent radius, r_e

Petroleum Learning Centre







Petroleum Learning Centre

Wells in Reservoir Simulation

MSc Programs

- Well Models for Single and Two Phase Flow
 - Peaceman Equivalent radius, r_e







MSc Programs

Магистерские программы

- Well Models for Single and Two Phase Flow
 - Peaceman Equivalent radius, r

Petroleum Learning Centre





MSc Programs

Магистерские программы

- Well Models for Single and Two Phase Flow
 - Peaceman Equivalent radius, r_e

Petroleum Learning Centre

$$(\Delta x \neq \Delta y) \qquad (k_x \neq k_y)$$

$$r_e \approx 0.28 \frac{\left[\left(\frac{k_y}{k_x} \right) \cdot \varDelta x^2 + \left(\frac{k_x}{k_y} \right) \cdot \varDelta y^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{k_y}{k_x} \right)^{\frac{1}{4}} + \left(\frac{k_x}{k_y} \right)^{\frac{1}{4}}}$$





MSc Programs

Магистерские программы

Well Models for Single and Two Phase Flow

Petroleum Learning Centre





MSc Programs

Магистерские программы

- Well Models for Single and Two Phase Flow
 - Two phase flow

Petroleum Learning Centre






MSc Programs

Магистерские программы

• Well Modelling in a Multi-Layer System

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела





74

Wells in Reservoir Simulation

MSc Programs

Магистерские программы

• Well Modelling in a Multi-Layer System

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела







MSc Programs

Магистерские программы

• Well Modelling in a Multi-Layer System

For each layer (k=1..4)

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

$$Q_{ok} = PI_{ok} \cdot (\overline{P_k} - P_{wfk})$$

$$Q_{wk} = PI_{wk} \cdot (\overline{P_k} - P_{wfk})$$

$$Q_{Tk} = (PI_{ok} + PI_{wk}) \cdot (\overline{P_k} - P_{wfk})$$

$$Q_o = \sum_{k=1}^{4} PI_{ok} \cdot (\overline{P_k} - P_{wfk})$$
$$Q_w = \sum_{k=1}^{4} PI_{wk} \cdot (\overline{P_k} - P_{wfk})$$
$$Q_T = \sum_{k=1}^{4} (PI_{ok} + PI_{wk}) \cdot (\overline{P_k} - P_{wfk})$$

Total

For simplicity

$$P_{wf1} = P_{wf2} = P_{wf3} = P_{wf4}$$
 75



Modelling Horizontal Wells

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела



MSc Programs

Магистерские программы



Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

MSc Programs Магистерские программы

Wells in Reservoir Simulation

Modelling Horizontal Wells





MSc Programs

Магистерские программы

- Hierarchies of Wells and Well Controls
 - Well Controls
 - Rate constrained injection

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела

Pressure constrained production





MSc Programs

Магистерские программы

- Hierarchies of Wells and Well Controls
 - Well Controls

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела

- Rate or Pressure constrained production
- Voidage replacement (injection)





MSc Programs

Магистерские программы

- Hierarchies of Wells and Well Controls
 - Well Controls

Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки

специалистов нефтегазового дела

- Rate or Pressure constrained production
- Voidage replacement (injection)





Petroleum Learning Centre

центр профессиональной переподготовки специалистов нефтегазового дела

MSc Programs Магистерские программы



Thank you for attention!

Reservoir Simulation Gridding and Well Modelling Sergey Kurelenkov 2011