

ISSN 2010-7242

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI

O'ZBEKISTON ALOQA VA AXBOROTLASHTIRISH  
AGENTLIGI

**INFORMATIKA va ENERGETIKA  
MUAMMOLARI  
O`zbekiston jurnali**

---

**Узбекский журнал  
ПРОБЛЕМЫ  
ИНФОРМАТИКИ и ЭНЕРГЕТИКИ**

---

**Uzbek Journal  
OF THE PROBLEMS OF  
INFORMATICS and ENERGETICS**

**1  
2010**

ЎЗБЕКИСТОН RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI  
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
ЎЗБЕКИСТОН ALOQA VA AXBOROTLASHTIRISH AGENTLIGI  
УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ

INFORMATIKA  
VA ENERGETIKA  
MUAMMOLARI

1·2010

---

ПРОБЛЕМЫ  
ИНФОРМАТИКИ  
И ЭНЕРГЕТИКИ

*Журнал под таким названием издается с января 1992 г.  
по 6 номеров в год*

ТАШКЕНТ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ФАН» АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
2010

$$0 \leq \delta_s \leq 1, \quad \sum_{s=0}^{\infty} \delta_s = \infty, \quad \sum_{s=0}^{\infty} \delta_s^2 < \infty, \quad \rho_s / \delta_s \rightarrow 0 \text{ при } s \rightarrow \infty. \quad (11)$$

3. Используя свойства обобщенного гармонического ряда и (10)-(11), величины  $\rho_s, \delta_s$  можно выбирать из соотношений

$$\rho_s = \frac{1}{(1+s)^\alpha}, \quad \delta_s = \frac{1}{(1+s)^\beta}, \quad \alpha > \beta \text{ и } \frac{1}{2} < \alpha \leq 1, \quad \frac{1}{2} < \beta \leq 1.$$

При каждой новой реализации  $\lambda_k$  итерационный процесс осуществляется формулой (7) и находится оптимальное решение задачи (5)-(6). Для определения оптимального решения в ходе итерации используется необходимое условие максимума в виде следующей оценки:

$$(z^s, (\bar{x}^s - x^s)) \leq 0 \quad (12)$$

4. После определения оптимального решения итерацию продолжим с новой реализацией  $\lambda_k$ . На практике необходимое количество итерации по усреднению определяется в диалоговом режиме.

При решении многокритериальной задачи предлагаемый способ вычисления весовых коэффициентов  $\lambda_k$ , из-за случайности выбора, позволяет в зависимости от количества итерации задействовать различные значения  $\lambda_k$  в отрезке  $[0,1]$  и анализировать их влияние в диалоговом режиме. При этом количество вычислений будет намного меньше по сравнению со способом вычисления с помощью сетки в пространстве весовых коэффициентов. Кроме того, операция усреднения стабилизирует значения целевой функции, обеспечивая сходимость к среднему значению, и фильтрует «шумы».

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука, 1982.- 256 с.
2. Ермольев Ю.М. Методы стохастического программирования. М.: Наука, 1976. - 176 с.

Нукусский филиал ТУИТ

Дата поступления  
21.10.2009

УДК 681.03

Ф.Б. АБУТАЛИЕВ, Э.Ш. НАЗИРОВА

### ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ФИЛЬТРАЦИИ ТРЕХФАЗНОЙ ЖИДКОСТИ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ

Ф.Б. Абуталиев, Э.Ш. Назирова

Ғовак мухитларда уч фазали суюкликларнинг филтрланиш масаласини ечишни хисоблаш алгоритми

Макола ғовак мухитларда нефть-газ-сув тизими учун икки ўлчамли филтрация масаласини ечишнинг хисоблаш алгоритмини яратишга бағишланган. Нефть ва нефть-газ конлари ишлашининг асосий кўрсаткичларини башорат қилиш бўйича хисоблаш тажрибаларининг натижалари келтирилган.

Computing algorithm of the decision of the problems to filtering to three-phase liquid in porous ambience

Work is dedicated to development of the computing algorithm of the decision of the problems to two-dimensional filtering in system oil - a gas - water in porous ambience. Happen to the result computing experiment on fore castings of the leading indexes of the development oil and oil gas field.

Двумерная фильтрация в системе нефть - газ - вода. Математическая модель задачи в случае двумерной трехфазной нестационарной фильтрации в пористой среде описывается системой дифференциальных уравнений параболического типа в частных производных[1,2]:

$$\left\{ \begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda_w \left( \frac{\partial P_w}{\partial x} - \gamma_w \frac{\partial z}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \lambda_w \left( \frac{\partial P_w}{\partial y} - \gamma_w \frac{\partial z}{\partial y} \right) \right] = \frac{\partial}{\partial t} (m \rho_w S_w) + q_w \\ & \frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda_o \left( \frac{\partial P_o}{\partial x} - \gamma_o \frac{\partial z}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \lambda_o \left( \frac{\partial P_o}{\partial y} - \gamma_o \frac{\partial z}{\partial y} \right) \right] = \frac{\partial}{\partial t} [m \rho_o (1 - S_w - S_g)] + q_o \\ & \frac{\partial}{\partial x} \left[ R_s \lambda_o \left( \frac{\partial P_o}{\partial x} - \gamma_o \frac{\partial z}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ R_s \lambda_o \left( \frac{\partial P_o}{\partial y} - \gamma_o \frac{\partial z}{\partial y} \right) \right] + \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda_g \left( \frac{\partial P_g}{\partial x} - \gamma_g \frac{\partial z}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \lambda_g \left( \frac{\partial P_g}{\partial y} - \gamma_g \frac{\partial z}{\partial y} \right) \right] = \\ & = \frac{\partial}{\partial t} [m R_s \rho_o (1 - S_w - S_g) + m \rho_g S_g] + R_s q_o + q_g \\ & P_{cow} = P_o - P_w = f_1(S_w, S_g) \\ & P_{cog} = P_g - P_o = f_2(S_w, S_g) \\ & S_o + S_g + S_w = 1 \end{aligned} \right. \quad (1)$$

со следующими начальными и граничными условиями:

$$\left\{ \begin{aligned} & P_o(x, y, 0) = P_o^H(x, y), \quad P_g(x, y, 0) = P_g^H(x, y), \quad P_w(x, y, 0) = P_w^H(x, y), \\ & S_o(x, y, 0) = S_o^H(x, y), \quad S_g(x, y, 0) = S_g^H(x, y), \quad S_w(x, y, 0) = S_w^H(x, y). \end{aligned} \right. \quad (2)$$

$$\frac{\partial P_o}{\partial n} \Big|_{\Gamma} = 0; \quad \frac{\partial P_g}{\partial n} \Big|_{\Gamma} = 0; \quad \frac{\partial P_w}{\partial n} \Big|_{\Gamma} = 0. \quad (3)$$

Здесь  $\lambda_l = \frac{K_l}{\mu_l} K \rho_l$  ( $l=0, g, w$ ) - проводимость  $l$ -й фазы;  $K_l$  - относительная проницаемость для  $l$  - фазы;  $K$  - абсолютная проницаемость;  $m$  - пористость пласта;  $\mu_l$  - вязкость для  $l$  - фазы;  $\rho_l$  - плотность  $l$  - фазы;  $P_n$  - характерное значение давления;  $q_l$  - объем  $l$  - фазы, отбираемый при стандартных условиях в единицу времени из единичного объема пласта;  $S_n$  - характерное значение насыщенности;  $\gamma_l$  - удельный вес для  $l$  - фазы.

Капиллярное давление между нефтью и газом  $P_{cog}$ , нефтью и водой  $P_{cow}$  определяется по опытным данным, как функция насыщенности воды и газа, т.е.

$$P_{cog} = P_{cog}(S_w, S_g),$$

$$P_{cow} = P_{cow}(S_w, S_g)$$

Допустим, что нефть и вода несжимаемы, т.е.  $\rho_o = const$ ,  $\rho_w = const$ , а газ сжимаем, плотность которого определяется уравнением состояния, т.е.  $\rho_g = P_g / (RTZ)$ .

При численном решении системы уравнений (1) необходимо переходить к безразмерным переменным, при этом оставляя прежние переменные.

Определение безразмерных переменных в записи (1)-(3) осуществляется по формулам:

$$\begin{aligned} x &= x^* \cdot L, & y &= y^* \cdot L, & P_o &= P_o^* \cdot P_H, & P_w &= P_w^* \cdot P_H, & P_g &= P_g^* \cdot P_g, \\ S_o &= S_o^* \cdot S_H, & S_w &= S_w^* \cdot S_H, & S_g &= S_g^* \cdot S_H, & \mu_o &= \mu_o^* \cdot \mu_H, & \mu_w &= \mu_w^* \cdot \mu_H, \\ \mu_g &= \mu_g^* \cdot \mu_H, & k &= k^* \cdot k_H, & \tau &= t \frac{k_H \cdot P_H}{\mu_H \cdot L^2 \cdot \pi}, & q &= q \frac{\mu_H}{k_H \cdot h \cdot P_H \cdot \pi}, \end{aligned}$$

где  $L$  – характерная длина пласта;

$P_H$  – некоторое характерное значение давления;

$S_H$  – некоторое характерное значение насыщенности;

$h$  – мощность пласта;

$q = R_s q_o + q_g + q_w$  – суммарный дебит скважины.

(1)

Так как на скважинах задан суммарный дебит, уравнения относительно давления в газовой фазе необходимо перевести в суммарный поток. Для этого сложим три уравнения рассматриваемой системы и после несложных преобразований получаем следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} & \frac{\mu_o \rho_w}{\mu_w \rho_o} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[ K_w \left( \frac{\partial P_g}{\partial x} - \frac{\partial P_{cog}}{\partial x} - \frac{\partial P_{cow}}{\partial x} - \gamma_w \frac{L}{P_g} \frac{\partial z}{\partial x} \right) \right] + \right. \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left[ K_w \left( \frac{\partial P_g}{\partial y} - \frac{\partial P_{cog}}{\partial y} - \frac{\partial P_{cow}}{\partial y} - \gamma_w \frac{L}{P_g} \frac{\partial z}{\partial y} \right) \right] + \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left[ K_o \left( \frac{\partial P_g}{\partial x} - \frac{\partial P_{cog}}{\partial x} - \frac{\gamma_o L}{P_H} \frac{\partial z}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ K_o \left( \frac{\partial P_g}{\partial y} - \frac{\partial P_{cog}}{\partial y} - \frac{\gamma_o L}{P_H} \frac{\partial z}{\partial y} \right) \right] + \\ & + \frac{\partial}{\partial x} \left[ R_s K_o \left( \frac{\partial P_g}{\partial x} - \frac{\partial P_{cog}}{\partial x} - \frac{\gamma_o L}{P_H} \frac{\partial z}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ R_s K_o \left( \frac{\partial P_g}{\partial y} - \frac{\partial P_{cog}}{\partial y} - \frac{\gamma_o L}{P_H} \frac{\partial z}{\partial y} \right) \right] + \\ & + \frac{\mu_o}{\mu_g} \frac{P_H}{\rho_o RTZ} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left[ K_g P_g \left( \frac{\partial P_g}{\partial x} - \frac{\gamma_g L}{P_g} \frac{\partial z}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ K_g P_g \left( \frac{\partial P_g}{\partial y} - \frac{\gamma_g L}{P_g} \frac{\partial z}{\partial y} \right) \right] \right\} = \\ & = \frac{P_H}{\rho_o RTZ} \frac{\partial (P_g S_g)}{\partial \tau} + \frac{\partial}{\partial \tau} \left[ R_s (1 - S_g - S_w) + \frac{\partial}{\partial \tau} R (1 - S_g - S_w) \right] + \\ & + \frac{\rho_w}{\rho_o} \frac{\partial S_w}{\partial \tau} + \frac{\mu_o L^2}{K \rho_o P_H} (R_s q_o + q_g + q_w + q_w) \end{aligned}$$

Для решения уравнения применим метод продольно-поперечного направления. В продольном направлении получим следующую систему алгебраических уравнений для каждой прямой  $y = y_j$  ( $j = 1, M, -1$ ) при  $t = t_{k+1/2}$ :

$$\begin{cases} A_i^{(r-1)} P_{gij}^{(r)} - B_i^{(r-1)} P_{gij}^{(r)} + C_i^{(r-1)} P_{gij}^{(r)} = -F_{ij}^{(r-1)}, & i = \overline{1, M_x - 1} \\ 4P_{gij}^{(r)} - 3P_{gij}^{(r)} - P_{g2j}^{(r)} = 0, \\ 3P_{gij}^{(r)} - 4P_{gM_x-1,j}^{(r)} + P_{gM_x-2,j}^{(r)} = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Здесь

$$P_{ij} = P_g(x_i, y_j, t_{k+1/2}),$$

$$A_i^{(r-1)} = \frac{\mu_o}{\mu_w} \frac{\rho_w}{\rho_o} K_{wi-0.5j}^{\bar{m}} + K_{oi-0.5j}^{\bar{m}} + (R_s K_o)_{i-0.5j}^{\bar{m}} + \frac{\mu_o}{\mu_g} \frac{P_H}{\rho_o RTZ} (K_g P_g)_{i-0.5j}^{\bar{m}};$$

$$C_i^{(r-1)} = \frac{\mu_o}{\mu_w} \frac{\rho_w}{\rho_o} K_{wi+0.5j}^{\bar{m}} + K_{oi+0.5j}^{\bar{m}} + (R_s K_o)_{i+0.5j}^{\bar{m}} + \frac{\mu_o}{\mu_g} \frac{P_H}{\rho_o RTZ} (K_g P_g)_{i+0.5j}^{\bar{m}};$$

$$B_i^{(r-1)} = A_i^{(r-1)} + C_i^{(r-1)} + \frac{h_1^2}{\tau/2} \frac{P_H}{\rho_o RTZ} S_{ij}^{\bar{m}}.$$

$$\begin{aligned} F_i^{(r-1)} = & \frac{h_1^2}{\tau/2} \left\{ \frac{P_H}{\rho_o RTZ} (P_g S_g)_{ij}^m - [R_s (1 - S_g - S_w)_{ij}^m - R_s (1 - S_g - S_w)_{ij}^m] - \right. \\ & - \left. [(1 - S_w - S_g)_{ij}^m - (1 - S_w - S_g)_{ij}^m] - \frac{\rho_w}{\rho_o} (S_{w\bar{ij}}^m - S_{w\bar{ij}}^m) \right\} + \\ & + \frac{h_1}{h_2} \frac{\mu_o}{\mu_w} \frac{\rho_w}{\rho_o} \left\{ K_{wij+0.5}^m \left[ P_{gij+1}^m - P_{gij}^m - (P_{cogij+1}^m - P_{cogij}^m) - (P_{cowij+1}^m - P_{cowij}^m) - \gamma_w \frac{L}{P_H} (Z_{ij+1}^m - Z_{ij}^m) \right] - \right. \\ & - K_{wij-0.5}^m \left[ P_{gij}^m - P_{gij-1}^m - (P_{cogij}^m - P_{cogij-1}^m) - (P_{cowij}^m - P_{cowij-1}^m) - \gamma_w \frac{L}{P_H} (Z_{ij}^m - Z_{ij-1}^m) \right] \left. \right\} + \\ & + \frac{h_1}{h_2} \left\{ K_{oij+0.5}^m \left[ P_{gij+1}^m - P_{gij}^m - (P_{cogij+1}^m - P_{cogij}^m) - \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{ij+1}^m - Z_{ij}^m) \right] - \right. \\ & - K_{oij-0.5}^m \left[ P_{gij}^m - P_{gij-1}^m - (P_{cogij}^m - P_{cogij-1}^m) - \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{ij}^m - Z_{ij-1}^m) \right] \left. \right\} + \\ & + (R_s K_o)_{ij+0.5}^m \left[ P_{gij+1}^m - P_{gij}^m - (P_{cogij+1}^m - P_{cogij}^m) - \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{ij+1}^m - Z_{ij}^m) \right] - \\ & - (R_s K_o)_{ij-0.5}^m \left[ P_{gij}^m - P_{gij-1}^m - (P_{cogij}^m - P_{cogij-1}^m) - \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{ij}^m - Z_{ij-1}^m) \right] + \frac{\mu_o}{\mu_g} \frac{P_H}{\rho_o RTZ} \cdot \\ & \cdot \left\{ (K_g P_g)_{ij+0.5}^m \left[ P_{gij+1}^m - P_{gij}^m - \gamma_g \frac{L}{P_H} (Z_{ij+1}^m - Z_{ij}^m) \right] - \right. \\ & \left. (K_g P_g)_{ij-0.5}^m \left[ P_{gij}^m - P_{gij-1}^m - \gamma_g \frac{L}{P_H} (Z_{ij}^m - Z_{ij-1}^m) \right] \right\} - \end{aligned}$$

(4)

$$\begin{aligned}
& -h_1^2 \frac{\mu_o L^2}{K \rho_o P_H} (q_o + q_w + R_s q_o + q_g) - \\
& - \frac{\mu_o \rho_w}{\mu_w \rho_o} \left\{ K_{wi+0.5j}^{\bar{m}} \left[ P_{cogi+1j}^{\bar{m}} - P_{cogij}^{\bar{m}} + P_{cowi+1j}^{\bar{m}} - P_{cowij}^{\bar{m}} + \gamma_w \frac{L}{P_H} (Z_{i+1j}^{\bar{m}} - Z_{ij}^{\bar{m}}) \right] - \right. \\
& - K_{wi-0.5j}^{\bar{m}} \left[ P_{cogij}^{\bar{m}} - P_{cogi-1j}^{\bar{m}} + P_{cowij}^{\bar{m}} - P_{cowi-1j}^{\bar{m}} + \gamma_w \frac{L}{P_H} (Z_{ij}^{\bar{m}} - Z_{i-1j}^{\bar{m}}) \right] - \\
& - K_{oi+0.5j}^{\bar{m}} \left[ P_{cogi+1j}^{\bar{m}} - P_{cogij}^{\bar{m}} + \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{i+1j}^{\bar{m}} - Z_{ij}^{\bar{m}}) \right] + \\
& + K_{oi-0.5j}^{\bar{m}} \left[ P_{cogij}^{\bar{m}} - P_{cogi-1j}^{\bar{m}} + \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{ij}^{\bar{m}} - Z_{i-1j}^{\bar{m}}) \right] - \\
& - (R_s K_o)_{i+0.5j}^{\bar{m}} \left[ P_{cogi+1j}^{\bar{m}} - P_{cogij}^{\bar{m}} + \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{i+1j}^{\bar{m}} - Z_{ij}^{\bar{m}}) \right] + \\
& (R_s K_o)_{i-0.5j}^{\bar{m}} \left[ P_{cogij}^{\bar{m}} - P_{cogi-1j}^{\bar{m}} + \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{ij}^{\bar{m}} - Z_{i-1j}^{\bar{m}}) \right] - \\
& \left. - \frac{\mu_o}{\mu_g} \frac{P_H}{\rho_o RTZ} \left\{ (K_g P_g)_{i+0.5j}^{\bar{m}} \left[ \gamma_g \frac{L}{P_H} (Z_{i+1j}^{\bar{m}} - Z_{ij}^{\bar{m}}) \right] - (K_g P_g)_{i-0.5j}^{\bar{m}} \left[ \gamma_g \frac{L}{P_H} (Z_{ij}^{\bar{m}} - Z_{i-1j}^{\bar{m}}) \right] \right\} \right\}
\end{aligned}$$

В поперечном направлении решаем следующую систему уравнений в каждой прямой  $x = x_i$ :

$$\begin{cases}
A_j^{(r-1)} P_{g_{i,j-1}}^{(r)} - B_j^{(r-1)} P_{g_{ij}}^{(r)} + C_j^{(r-1)} P_{g_{i,j+1}}^{(r)} = -F_j^{(r-1)}, & y = \overline{1, M_y - 1}; \\
4P_{g_{i1}}^{(r)} - 3P_{g_{i0}}^{(r)} - P_{g_{i2}}^{(r)} = 0, \\
3P_{g_{iM_y}}^{(r)} - 4P_{g_{iM_y-1}}^{(r)} - P_{g_{iM_y-2}}^{(r)} = 0.
\end{cases} \quad (5)$$

Здесь

$$P_{g_{ij}} = P(x_i, y_j, t_{k+1}),$$

$$A_j^{(r-1)} = \frac{\mu_o \rho_w}{\mu_w \rho_o} K_{wij-0.5}^{m+1} + K_{oj-0.5}^{m+1} + (R_s K_o)_{j-0.5}^{m+1} + \frac{\mu_o}{\mu_g} \frac{P_H}{\rho_o RTZ} (K_g P_g)_{ij-0.5}^{m+1};$$

$$C_j^{(r-1)} = \frac{\mu_o \rho_w}{\mu_w \rho_o} K_{wij+0.5}^{m+1} + K_{oj+0.5}^{m+1} + (R_s K_o)_{j+0.5}^{m+1} + \frac{\mu_o}{\mu_g} \frac{P_H}{\rho_o RTZ} (K_g P_g)_{ij+0.5}^{m+1};$$

$$B_j^{(r-1)} = A_j^{(r-1)} + C_j^{(r-1)} + \frac{h_1^2}{\tau/2 \rho_o RTZ} S_{g_{ij}}^{m+1}.$$

$$\begin{aligned}
P_j^{n+1} = & \frac{k_g}{\tau \Delta z} \left[ \frac{P_w}{\rho_o RTZ} (P_g S_g)_{ij}^m - \left[ R_s (1 - S_g - S_w)_{ij}^{m+1} - R_s (1 - S_g - S_w)_{ij}^m \right] - \right. \\
& \left. - \left[ 1 - S_g - S_w \right]_{ij}^m - (1 - S_w - S_g)_{ij}^m \right] - \frac{\rho_w}{\rho_o} (S_{wij}^{m+1} - S_{wij}^m) \left. \right\} + \\
& + \frac{k_g k_o \rho_o}{k_g k_o \rho_o} \left\{ K_{oi+0.5j}^m \left[ P_{gi+1j}^m - P_{gij}^m - (P_{cog+1j}^m - P_{cogij}^m) - (P_{cow+1j}^m - P_{cowij}^m) - \gamma_w \frac{L}{P_H} (Z_{i+1j}^m - Z_{ij}^m) \right] - \right. \\
& - K_{oi-0.5j}^m \left[ P_{gi-1j}^m - P_{gij}^m - (P_{cogij}^m - P_{cog+1j}^m) - (P_{cowij}^m - P_{cow+1j}^m) - \gamma_w \frac{L}{P_H} (Z_{ij}^m - Z_{i-1j}^m) \right] \left. \right\} + \\
& + \frac{k_g}{k_o} \left\{ K_{oi+0.5j}^m \left[ P_{gi+1j}^m - P_{gij}^m - (P_{cog+1j}^m - P_{cogij}^m) - \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{i+1j}^m - Z_{ij}^m) \right] - \right. \\
& - K_{oi-0.5j}^m \left[ P_{gi-1j}^m - P_{gij}^m - (P_{cogij}^m - P_{cog+1j}^m) - \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{ij}^m - Z_{i-1j}^m) \right] \left. \right\} + \\
& + (R_s K_o)_{i+0.5j}^m \left[ P_{gi+1j}^m - P_{gij}^m - (P_{cog+1j}^m - P_{cogij}^m) - \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{i+1j}^m - Z_{ij}^m) \right] - \\
& - (R_s K_o)_{i-0.5j}^m \left[ P_{gi-1j}^m - P_{gij}^m - (P_{cogij}^m - P_{cog+1j}^m) - \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{ij}^m - Z_{i-1j}^m) \right] + \frac{\mu_o}{\mu_g} \frac{P_H}{\rho_o RTZ} \cdot \\
& \cdot \left\{ (K_g P_g)_{i+0.5j}^m \left[ P_{gi+1j}^m - P_{gij}^m - \gamma_g \frac{L}{P_H} (Z_{i+1j}^m - Z_{ij}^m) \right] - (K_g P_g)_{i-0.5j}^m \left[ P_{gi-1j}^m - P_{gij}^m - \gamma_g \frac{L}{P_H} (Z_{ij}^m - Z_{i-1j}^m) \right] \right\} - \\
& - h_2^2 \frac{\mu_o L^2}{K_o \rho_o P_H} (R_s q_o + q_g + q_o + q_w) - \frac{\mu_o \rho_w}{\mu_w \rho_o} \left\{ K_{wij+0.5}^{m+1} \left[ P_{cogij+1}^{m+1} - P_{cogij}^{m+1} + P_{cowij+1}^{m+1} - P_{cowij}^{m+1} + \gamma_w \frac{L}{P_H} (Z_{ij+1}^{m+1} - Z_{ij}^{m+1}) \right] - \right. \\
& - K_{wij-0.5}^{m+1} \left[ P_{cogij}^{m+1} - P_{cogij+1}^{m+1} + \gamma_w \frac{L}{P_H} (Z_{ij}^{m+1} - Z_{ij-1}^{m+1}) \right] - \\
& - K_{oij+0.5}^{m+1} \left[ P_{cogij+1}^{m+1} - P_{cogij}^{m+1} + \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{ij+1}^{m+1} - Z_{ij}^{m+1}) \right] + K_{oij-0.5}^{m+1} \left[ P_{cogij}^{m+1} - P_{cogij+1}^{m+1} + \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{ij}^{m+1} - Z_{ij-1}^{m+1}) \right] - \\
& - (R_s K_o)_{ij+0.5}^{m+1} \left[ P_{cogij+1}^{m+1} - P_{cogij}^{m+1} + \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{ij+1}^{m+1} - Z_{ij}^{m+1}) \right] + (R_s K_o)_{ij-0.5}^{m+1} \left[ P_{cogij}^{m+1} - P_{cogij+1}^{m+1} + \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{ij}^{m+1} - Z_{ij-1}^{m+1}) \right] - \\
& \left. - \frac{\mu_o}{\mu_g} \frac{P_H}{\rho_o RTZ} \left\{ (K_g P_g)_{ij+0.5}^{m+1} \left[ \gamma_g \frac{L}{P_H} (Z_{ij+1}^{m+1} - Z_{ij}^{m+1}) \right] - (K_g P_g)_{ij-0.5}^{m+1} \left[ \gamma_g \frac{L}{P_H} (Z_{ij}^{m+1} - Z_{ij-1}^{m+1}) \right] \right\} \right.
\end{aligned}$$

Система алгебраических уравнений (4) и (5) решается методом прогонки в каждом итерационном шаге. Итерационный процесс прекращается при выполнении заданного критерия.

$$\max_{\substack{0 \leq i \leq M_x \\ 0 \leq j \leq M_y}} |P_{gij}^{(k)} - P_{gij}^{(k-1)}| \leq \varepsilon_p,$$

где  $\varepsilon_p$  - точность итерационного процесса.

Для определения нефтенасыщенности и водонасыщенности, давления в нефтяной и водной фазах проводим вычисление по следующим формулам:

$$P_o = P_g - P_{cog}, \quad P_w = P_g - (P_{cog} + P_{сow}).$$

Исходя из этих давлений, по закону Дарси определяем долю нефти и воды в общем потоке по следующим формулам:

$$q_o = \frac{KK_o}{\mu_o} \left\{ \frac{\partial P_o}{\partial n} - \gamma_o \frac{\partial z}{\partial n} \right\}, \quad q_w = \frac{KK_w}{\mu_w} \left\{ \frac{\partial P_w}{\partial n} - \gamma_w \frac{\partial z}{\partial n} \right\}.$$

После аппроксимации первого и второго уравнений системы (1) для определения водонасыщенности и нефтенасыщенности используем выражения

$$S_{wij}^{m+1} = S_{wij}^m + \frac{\tau}{h \cdot h_1} \cdot \frac{\mu_o \tau}{\mu_w} \left\{ K_{wi+0.5j} \left[ P_{wi+1j} - P_{wij} - \gamma_w \frac{L}{P_H} (Z_{i+1j} - Z_{ij}) \right] - K_{wi-0.5j} \left[ P_{wij} - P_{wi-1j} - \gamma_w \frac{L}{P_H} (Z_{ij} - Z_{i-1j}) \right] \right\} + \frac{\tau}{h \cdot h_2} \cdot \frac{\mu_o \tau}{\mu_w} \left\{ K_{wij+0.5} \left[ P_{wij+1} - P_{wij} - \gamma_w \frac{L}{P_H} (Z_{i+1} - Z_{ij}) \right] - K_{wij-0.5} \left[ P_{wij} - P_{wij-1} - \gamma_w \frac{L}{P_H} (Z_{ij} - Z_{i-1}) \right] \right\} - \frac{\mu_w L^2}{K \rho_w P_H} q_w.$$

$$S_{oij}^{m+1} = S_{oij}^m + \frac{\tau}{h \cdot h_1} \left\{ K_{oi+0.5j} \left[ P_{oi+1j} - P_{oij} - \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{i+1j} - Z_{ij}) \right] - K_{oi-0.5j} \left[ P_{oij} - P_{oi-1j} - \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{ij} - Z_{i-1j}) \right] \right\} + \frac{\tau}{h \cdot h_2} \left\{ K_{oij+0.5} \left[ P_{oij+1} - P_{oij} - \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{i+1} - Z_{ij}) \right] - K_{oij-0.5} \left[ P_{oij} - P_{oij-1} - \gamma_o \frac{L}{P_H} (Z_{ij} - Z_{i-1}) \right] \right\} - \frac{\mu_o L^2}{K \rho_o P_H} q_o.$$

Критерием прекращения итерационного процесса берем соотношение

$$\max \left\{ \max_{\substack{0 \leq i \leq M_x \\ 0 \leq j \leq M_y}} |S_{oij}^{(m)} - S_{oij}^{(m-1)}|, \max_{\substack{0 \leq i \leq M_x \\ 0 \leq j \leq M_y}} |S_{wij}^{(m)} - S_{wij}^{(m-1)}| \right\} \leq \varepsilon_s,$$

где  $\varepsilon_s$  - точность итерационного процесса.

Газонасыщенность определяем по формуле

$$S_{gij} = 1 - S_{wij} - S_{oij}, \quad (i = 0, M_x; \quad j = 0, M_y).$$

В такой же последовательности определяются эти параметры в последующих временных слоях.

На основе этих вычислительных схем разработаны компьютерный алгоритм и программа расчета определения основных показателей нефтегазовых месторождений на языке Delphi.

Рассмотрим следующие тестовые примеры. Представим газовую залежь в виде прямоугольника, который разрабатывается единой центральной скважиной с постоянными суммарными дебитами  $q$ . Исходные данные параметры пласта следующие: число узлов сетки по абсциссе  $N=21$ ; число узлов сетки по ординате  $M=21$ ; количество скважин (шт.)  $N_q=1$ ; шаг по времени (сутки)  $\tau=4$ ; конечное время вычисления (сутки)  $T_{кон}=1080$ ; протяженность пласта (м)  $L_x=10000$ ; ширина пласта (м)  $L_y=10000$ ; мощность пласта (м)  $h=20$ ; пористость пласта  $m=0.1$ ; абсолютная проницаемость (Дарси)  $K=0.2$ ; характерное значение давления (атм.)  $P^H=300$ ; вязкость нефти (спз)  $\mu_o=3$ ; вязкость газа (спз.)  $\mu_g=0.01$ ; коэффициент сверхсжимаемости жидкости  $K_z=1$ ; плотность нефти ( $кг/м^3$ )  $\rho_o=0.87$ ;

плотность газа ( $\text{кг}/\text{м}^3$ )  $\rho_g = 0.8$ ; удельный вес нефти ( $\text{кг}$ )  $\gamma_o = 0.8$ ; удельный вес газа ( $\text{кг}$ )  $\gamma_g = 0.7$ ; суммарный дебит скважины  $q = 500000 \text{ м}^3/\text{сут}$ ; точность итерации по давлению  $\varepsilon_p = 0.0001$ ; точность итерации по насыщенности  $\varepsilon_s = 0.0001$ .

На основе этих данных проведены вычислительные эксперименты, результаты которых даны в виде графиков, представленных на рис. 1 и 2. На рис. 1 приведено распределение полей давления при сечениях  $y=0.5$  по изменению переменной  $x$  при различном временном шаге, а на рис. 2 - падение давления в скважине во времени.

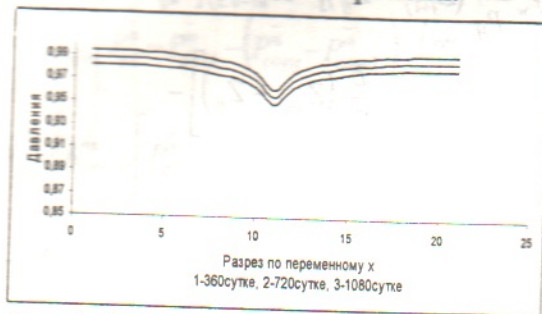


Рис. 1. Падение давления в пласте во времени

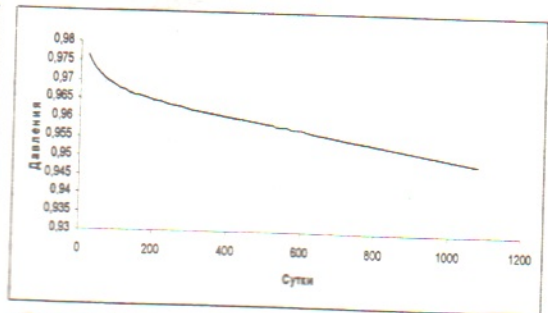


Рис. 2. Падение давления в скважине во времени

Предложенные математические модели, алгоритмы и программные средства можно использовать для проведения вычислительных экспериментов при анализе и прогнозировании основных показателей разработки нефтяных и нефтегазовых месторождений.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Азиз Х., Саттари Э. Математическое моделирование пластовых систем. М.: Недра, 1982. – 507 с.
2. Закиров С.Н., Лапук Б.Б. Проектирование и разработка газовых месторождений. М.: Наука, 1974. – 373 с.

Ташкентский университет информационных технологий

Дата поступления  
26.11.2009

УДК 531.1:62-5:681:5

Б.М. АЗИМОВ, Л.Ф. СУЛЮКОВА, Ж.Х. ИГАМБЕРДИЕВ

### МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ, УПРАВЛЕНИЯ И МИНИМИЗАЦИИ МАТЕРИАЛЬНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Б.М. Азимов, Л.Ф. Сулюкова, Ж.Х. Игамбердиев

Механик тизимларни лойихалаш жараёнида моделлаштириш, бошқариш ва материал-энергия сарфини минималлаштириш усуллари

. Маколада лойихалаш жараёнида материал-энергия сарфини камайтириш мақсадида механик тизимлар ҳаракатини моделлаштириш ва бошқариш усуллари кўрилган.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Информатика и управление

Т.Т. Оморов, Б.О. Джолдошев. Синтез цифровой многомерной системы в условиях параметрической неопределённости.....	3
Д.Т. Мухамедиева, Б.Т.Солиева, Х.А.Примова. Определение зависимости факторов риска с помощью нечеткой базы знаний и нейронных сетей .....	10
Г. Насриддинов. Связь производственных функций с дифференциальными уравнениями в частных производных.....	16
Ш.А. Назиров, С.Ж.Менглиева. Математическое моделирование критериев качеств при оценке результатов успеваемости студентов по предметам.....	25
Н.У. Утеулиев, Ш.А. Бурханов, Б. Мнажев, З.Мадреймова. Диалоговая процедура для решения многокритериальных задач.....	32
Ф.Б.Абуталиев, Э.Ш.Назирова. Вычислительный алгоритм решения задач фильтрации трехфазной жидкости в пористых средах.....	35
Б.М. Азимов, Л.Ф. Сулюкова, Ж.Х. Игамбердиев. Методы моделирования, управления и минимизации материально-энергетических затрат в процессе проектирования механических систем.....	42

### Энергетика

Р.А. Захидов, А.И. Анарбаев, А. Мансуров. Выбор газотурбинной установки для теплоэлектрической станции.....	51
И.С. Лейтес, В.Е. Валицкий, Э.Н. Нуралиев, С.К. Исмаходжаев, П.Г. Сотников, В.А. Мокрушев. Результаты испытаний котла ТГМ-84 при сжигании смеси природного и факельного газов.....	56
Б.Х.Ражабов, Ж.М.Абдуллаев, Ш.М.Мирзаев. Методы расчета размеров опреснительных установок некоторых видов с учетом аккумулирования солнечной энергии .....	59

### Информационные и телекоммуникационные технологии

Х.Н.Исматуллаев. К распознаванию финитных функций.....	64
Ш.Х. Саидахмедов. Формализация спецификации протоколов на основе их логической и процедурной характеристики и элементов сетей Петри.....	70
Г.Н. Туйчиев. Функциональная сеть Фейстеля.....	77
Н. Бабаходжаева. Интерактивный учебно-методический комплекс в поддержку предмета "Теория алгоритмов".....	81
Р.А.Абдикаримов. Алгоритмизация нелинейных задач динамики вязкоупругих систем с переменной жесткостью.....	88