

УДК: 532. 546 +517.519.9

DOI: [https://doi.org/10.52754/16948645_2024_1\(4\)_20](https://doi.org/10.52754/16948645_2024_1(4)_20)

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ФИЛЬТРАЦИИ ФЛЮИДОВ В ТРЕХСЛОЙНОЙ СРЕДЕ

Каюмов Шукур, к.ф.-м.н., доцент
Арзикулов Голибжон Пардаевич, PhD, доцент
Бекчанов Шерзад Эшжанович, ст.преподаватель,
sherzodbekjonov@gmail.com
Хусанов Элбек Абдурасул угли, ассистент
elbekhusanov02@gmail.com
Ташкентский государственный технический университет,
Ташкент, Узбекистан

Аннотация: Работа посвящена к построение математической модели процесса нелинейной фильтрации структурированных флюидов в слоистых средах. Изучена количество перетоков между слоями в зависимости от характеристики пласта и флюида. Разработан численные алгоритмы для проведения вычислительного эксперимента.

Ключевые слова: пористая среда, фильтрация, многослойность, структурированность, математическая модель, алгоритмы, численные решения.

MATHEMATICAL MODELS OF FLUID FILTRATION IN A THREE-LAYER MEDIUM

Kayumov Shukur, Ph.D., Associate Professor
Arzikulov Golibjon Pardaevich, PhD, Associate Professor
Bekchanov Sherzad Eshzhanovich, senior lecturer,
sherzodbekjonov@gmail.com
Khusanov Elbek Abdurasul ugli, assistant
Tashkent State Technical University,
Tashkent, Uzbekistan

Annotation: The work is devoted to the construction of a mathematical model of the process of nonlinear filtration of structured fluids in layered media. The number of flows between the layers depending on the characteristics of the formation and fluid has been studied. Numerical algorithms for carrying out a computational experiment have been developed.

Keywords: porous medium, filtration, multilayeredness, structuredness, mathematical model, algorithms, numerical solutions.

Изучение задачи процесса фильтрации в многослойных средах имеет определенные истории [1-3], и в основном посвящены к процессам движение ньютоновских флюидов однофазных и многофазных случаях. Пористые среды содержащую в себе флюидов обладающими с различными линейными и нелинейными характеристиками изучаются математическими моделированием, описывающие процесс изменение состояние движущихся флюидов и влияние их, на структуры сплошной среды.

Реальные пористые среды рассматривается как многослойные, состоящие из изолированных (гидродинамически несвязанных), и неизолированных (связанных) сред.

Гидродинамически связанные среды моделируются как многослойные, где происходит перетоки между пластами. В процессе разработки этих месторождений величины перетоков влияют на объемы добычи извлекаемых флюидов. Несвязанных пластах не происходит перетоки между пластами, а связь между ними происходит по стволу вертикальной скважины. Если в этих пластах начально пластовые давление резко отличается то в стволе скважины могут происходить перераспределение величины дебитов идущих от этих слоев. Поэтому математические модели процесса фильтрации в многослойных пластах будет различными и каждый из построенных моделей имеет своего назначения. Существует различные способы моделирование этих пластов и они описаны в работах [2-4]. Эти модели отличаются друг от друга тем, что, фильтрации вследствие характеристики пористой среды и движущего в нем флюида, сильно отличаются в каждом слое по отношению к соседнем пластам. Процесс фильтрации нефти и газа в многопластовых системах изучена и работах [5-7]. Существует ещё многочисленны работы, обзор которых можно найти в работах [7-10].

Метод. Рассмотрим слоистый (трехслойный) пласт состоящей из хорошо проницаемого (область Ω_2), с соседствующие (снизу и сверху) плохо проницаемыми пластами (области Ω_1 и Ω_3). Предполагаем что в области Ω_2 характеристики горизонтальной проницаемости, преобладает на несколько порядок чем вертикальные, а в соседних верхних и нижних пластах имеет обратные характеристики, что позволяет считать что в области Ω_2 движение флюида происходит по горизонтали а в областях Ω_1 и Ω_3 по вертикали. Пусть в области Ω_2 имеется структурированный флюид [11] а в Ω_1 и Ω_3 ньютоновский неструктурированный флюид.

Задачу можно математически моделировать так: необходимо найти непрерывные функции $U_i(x, z, t)$ ($i=1,3$) и $U_2(x, t)$ а также неизвестные границы подвижных зон $R_1(x, t)$ и $R_2(x, t)$ из следующей системы дифференциальных уравнений.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left(\kappa_e (|\nabla U_2|, \beta_e) \frac{\partial U_2}{\partial x} \right) + \varphi_1 \frac{\partial U_1}{\partial z} \Big|_{z=h_1} - \varphi_2 \frac{\partial U_3}{\partial z} \Big|_{z=h_2} = \\ = M_e \frac{\partial U_2}{\partial z}, \quad x \in \Omega_2, \quad z \in (\Omega_1; \Omega_3), \quad t > 0, \quad e = \overline{1,3} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\varphi_{2\gamma-1}(z) \frac{\partial U_{2\gamma-1}}{\partial z} \right) = M_{2\gamma-1} \frac{\partial U_{2\gamma-1}}{\partial t}, \quad z \in (\Omega_1, \Omega_3); \quad \gamma = \overline{1,2}; \quad t > 0, \quad (2)$$

с начальными

$$U_2(x, 0) = U_0(x), \quad U_{2\gamma-1}(x, z, 0) = U_0(x, z), \quad (\gamma = \overline{1,2}), \quad (3)$$

и граничными

$$a_1 \kappa_1 (|\nabla U_2|, \beta_1) \frac{\partial U_2}{\partial x} \Big|_{x=x_0} + b_1 U_2(x, t) \Big|_{x=x_0} = \psi_0(t), \quad (4)$$

$$a_2 \kappa_1 (|\nabla U_2|, \beta_3) \frac{\partial U_2}{\partial x} \Big|_{x=L} + b_2 U_2(x, t) \Big|_{x=L} = \psi_1(t), \quad (5)$$

$$a_0 \varphi_1(z) \frac{\partial U_1}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0, \quad a_3 \varphi_3(z) \frac{\partial U}{\partial z} \Big|_{z=H_3} = 0, \quad x \in [x_0, L] \quad (6)$$

а также условиями на границах зон:

$$\aleph_1 (|\nabla U_2|, \beta_1) \frac{\partial U_2}{\partial x} \Big|_{x=R_1-0} = \aleph_2 (|\nabla U_2|, \beta_2) \frac{\partial U_2}{\partial x} \Big|_{x=R_1+0}, \quad (7)$$

$$\aleph_2 (|\nabla U_2|, \beta_2) \frac{\partial U_2}{\partial x} \Big|_{x=R_2-0} = \aleph_3 (|\nabla U_2|, \beta_3) \frac{\partial U_2}{\partial x} \Big|_{x=R_2+0}, \quad (8)$$

$$U_2(x, z, t) \Big|_{x=R_e-0} = U_2(x, z, t) \Big|_{x=R_e+0}, \quad e = \overline{1, 2}; \quad (9)$$

где

$$\begin{aligned} \aleph_e (|\nabla U_2|, \beta_e) &= \{k_2 / \mu_2 (1 - \beta_2 \gamma_0 / |\nabla U_2|), x \in (x_0; R_1 - 0); \\ &(k_2 \cdot |\nabla U_2|) / (\mu_2 (\beta_2 + |\nabla U_2|)), x \in (R_1 + 0; R_2 - 0); \quad k_2 / \mu_3, x \in (R_2 + 0; L)\}. \\ a_1 &= \{1; 0\}, b_1 = \{0; 1\} \quad a_2 = \{1; 0\}, b_2 = \{0; 1\}, |a_1| + |b_1| \neq 0, |a_2| + |b_2| \neq 0, \\ \varphi_{2\gamma-1}(z) &= \overline{\varphi_0} (\beta_{2\gamma-1} + |\nabla U_{2\gamma-1}|) / (\nabla U_{2\gamma-1}), \end{aligned}$$

$\overline{\varphi_0}$ - функция содержит в себе коэффициенты проницаемости, мощности и вязкости флюида для плохо проницаемых пластах [8-11].

Краевая задача (1)-(9) является квазилинейными и аналитическое решение построит почти невозможно. Для построения численного решения сначала нелинейные члены линеаризуются путем построения итерационного процесса, далее применяется метод прямых по переменному t и численный метод-поточковой вариант разностной прогонки [12-14]. В следствие ограничения на объём статью вычислительные алгоритмы и последовательности их вычислений здесь не приводим.

Разработанные вычислительные алгоритмы апробирован на следующих гипотетических данных: $a_1 = 1, b_1 = 0, \psi_0(t) = \{50T/c; 100T/c\}, \psi_1 = 0, k_1 = k_3 = 0,005, k_2 = 0,15; \mu = \{0,01; 0,1\}; \nu = \{0,018; 0,016\}; m_1 = 0,017, m_2 = 0,27, m_3 = 0,017, u_0 = 1$. Отдельные результаты расчета приведены на рис. 1, 2 и 3, где дано кривые изменения давления и функции перетока в верхнем плохо проницаемом пласте, а также в таблице 1 и 2. В таблице 1 дано изменение давления в области Ω_2 а в таблице 2 приведена значение перетока из Ω_3 в области Ω_2 .

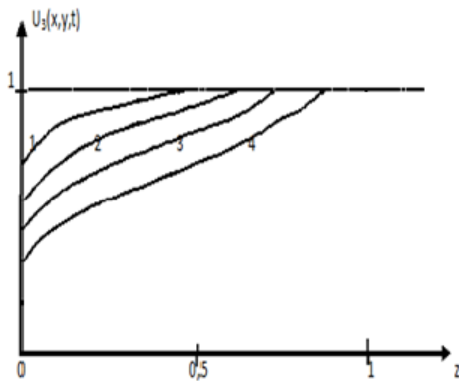


Рис. 1

Динамика изменения давление в перемычке (область Ω_3) $t = \{0,1; 0,2; 0,3; 0,4\}$

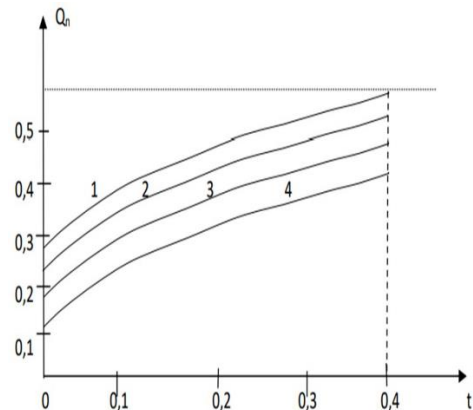


Рис. 2

Динамика изменение функции перетока из области Ω_3 в области Ω_2 при $t = \{0,1; 0,2; 0,3; 0,4\}$

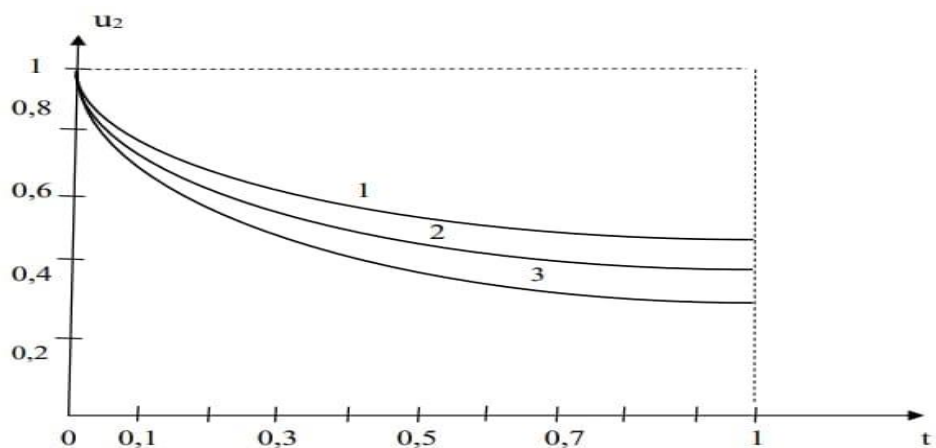


Рис 3. Кривые выражающие темпа уменьшение давление в области Ω_2

Таблица 1.

$x \backslash t$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,1	0,8453	0,8543	0,8715	0,8905	0,9101	0,9302
0,2	0,7914	0,8118	0,8314	0,8705	0,8840	0,8911
0,3	0,7421	0,7716	0,8021	0,8212	0,8416	0,8677
0,4	0,7115	0,7344	0,7711	0,7910	0,8121	0,8332

Таблица 2.

$t \backslash \beta$	$\beta = 0$	$\beta = 10^{-4}$	$\beta = 10^{-2}$	$\beta = 10^{-1}$
0,01	0,13143	0,10145	0,08327	0,06511
0,05	0,19314	0,15321	0,12425	0,10241
0,1	0,22314	0,17221	0,15372	0,13712
0,15	0,26231	0,18762	0,17221	0,15014

Необходимо отметить, что при структурированном законе фильтрации в области Ω_2 в зоне с большим градиентом давлений происходит быстрое увеличение перетоков флюида из области Ω_1 и Ω_3 . Регулируя величинами перетока между пластами можно достичь наибольшую отбор из области Ω_2 .

Анализ результатов проведенных численных расчетов показывает, что построенные математические модели и вычислительные алгоритмы можно использовать для определения промысловых данных, на этапе проектирования при эксплуатации реальных месторождений имеющие такие же характеристики как в исходной задаче.

Литература

1. аренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Теория нестационарный фильтрации жидкости и газа. М. : Недра. 1972. 288 с.

2. Шелкачев В.Н., Гусейнзаде М.А. Влияние проницаемости кровли и подошвы пласта на движение в нем жидкости. «Нефтяное хозяйство», 1953, №12. С.15-19.
3. Гусейнзаде М.А. Колосовская А.К. Упругий режим в однопластовых и многопластовых системах. М.: «Недра». 1972. 312с.
4. Хантуш М.С. Новое в теории перетекания. Сб. Вопросы гидрогеологических расчетов. М. «Мир». 1964. С. 25-32.
5. Мухидинов Н. Методы расчета показателей разработки многопластовых месторождений нефти и газа. Ташкент. ФАН. 1978, 117 с.