

**СОЗДАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ВЕРСИИ ПРОГРАММЫ ДЛЯ
МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ
РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ DVM-СИСТЕМЫ**

Автор(ы): В.А. Бахтин¹, А.В. Королёв², Н.В. Поддержюгина¹

¹Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук, ²Научно-исследовательский институт системных исследований

Российской академии наук, Москва

Композиционные модели фильтрации используются при подробном моделировании залежей, содержащих легкие углеводороды (конденсат и газ), а также когда необходимо более точно описывать массообмен между фазами, например, при изучении методов увеличения нефтеотдачи при закачке азота, углекислого газа, газов высокого давления.

Система уравнений изотермической фильтрации представляет собой комбинацию уравнений материального баланса отдельных компонентов, составляющих пластовые флюиды и закачиваемые через нагнетательные скважины вытесняющие агенты, обобщенного закона Дарси и некоторых ограничений, связывающих основные переменные:

$$\frac{\partial}{\partial t} [\phi(\xi_o S_o x_i + \xi_g S_g y_i)] + \text{div} \left(\xi_o x_i \vec{W}_o + \xi_g y_i \vec{W}_g \right) - q_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N_c, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} [\phi \xi_w S_w] + \text{div} \left(\xi_w \vec{W}_w \right) - q_w = 0, \quad (2)$$

$$\vec{W}_\alpha = -k k_{r\alpha} \mu_\alpha^{-1} (\text{grad} P_\alpha + \rho_\alpha g \text{grad} D), \quad \alpha = o, g, w, \quad (3)$$

$$f_i^o - f_i^g = 0, \quad i = 1, 2, \dots, N_c, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^{N_c} x_i = 1, \quad \sum_{i=1}^{N_c} y_i = 1, \quad (5)$$

$$S_o + S_g + S_w = 1, \quad (6)$$

$$P_o - P_w = P_{cwo}, \quad P_g - P_o = P_{cog}, \quad P_g - P_w = P_{cwo} + P_{cog}, \quad (7)$$

здесь N_c - общее число компонентов в нефтяной и газовой фазах, k и ϕ - соответственно абсолютная проницаемость и пористость пласта, t - время, P_α - давление в фазе α , S_α - насыщенность фазой α , x_i и y_i - мольная концентрация i -ого компонента соответственно в нефтяной и газовой фазе, ξ_α , μ_α , ρ_α - мольная плотность, динамическая вязкость, массовая плотность фазы α , P_{cwo} , P_{cog} - капиллярные давления в системе нефть-вода и в системе нефть-газ соответственно, $k_{r\alpha}$ - относительная проницаемость для фазы α , q_i , q_w - плотность источников и стоков для компонентов и воды, $D(x, y, z)$ - превышение точки пласта над некоторой горизонтальной плоскостью, g - ускорение силы тяжести, f_i^o и f_i^g - летучести компонентов в нефтяной и газовой фазах.

Эти уравнения могут быть преобразованы и скомбинированы таким образом, что одно уравнение системы может рассматриваться в качестве уравнения для давления, другие представлять баланс компонентов в пластовой системе «вода-нефть-газ». При таком представлении удобно применять вычислительную схему IMPES (неявное давление, явные концентрации компонентов и насыщенности). Уравнение для давления нелинейно

относительно P . Для его решения применяется неявная разностная схема (с линеаризацией по Ньютону). Затем по явной схеме определяются мольные концентрации компонентов в смеси, которая с помощью методов расчета фазовых равновесий при известных T и P расщепляется на нефтяную и газовую фазы с определением x_i и y_i . Система дифференциальных уравнений и ограничений, описывающих изотермическую композиционную модель фильтрации нефти, газа и воды, решается при заданных начальных и граничных условиях. Применение уравнений состояния для описания поведения многокомпонентной смеси позволяет получить внутренне согласованные равновесные составы и плотности фаз. В данной работе используются наиболее «популярные» в нефтегазовой отрасли уравнения состояния Пенга-Робинсона, Редлиха-Квонга, Соаве-Редлиха-Квонга.

Равновесные составы, удовлетворяющие уравнениям (4), определяются с помощью последовательного применения аппарата констант равновесия, уточняемых итерационно с использованием значений летучести компонентов в фазах, и метода минимальных переменных, обеспечивающего более быструю квадратичную сходимость в окрестности решения.

В докладе будут рассмотрены основные этапы разработки параллельной версии программы многокомпонентной фильтрации с использованием DVM-системы[1].

Литература

1. Бахтин В.А, Крюков В.А, Четверушкин Б.Н, Шильников Е.В. Расширение DVM-модели параллельного программирования для кластеров с гетерогенными узлами // Доклады Академии наук. 2011. Том 441, № 6. С. 734-736.