

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОФАЗНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В НЕФТЕГАЗОВОМ ПЛАСТЕ ПРИ ЕГО ЗАВОДНЕНИИ**

**Д.ф.-м.н., с.н.с. Бурнашев Владимир Фитратович,**

**магистрант Салимов Жамшид обид ўғли**

Самаркандский государственный университет имени Ш. Рашидова

Факультет «Цифровые технологии», кафедра «Математическое моделирование»

### **Аннотация**

Актуальность задачи обусловлена развитием и широким внедрением технологий интенсификации добычи нефти и газа с использованием заводнения. Этот метод сейчас применяется практически во всех нефтегазодобывающих регионах мира. Накопленный опыт применения данного метода, а также теоретические исследования показывают, что эффективность метода в большей степени зависит от правильного выбора объекта и соответствующей технологии его применения. Поэтому выбор объектов и соответствующей технологии заводнения является актуальной научно-технической задачей, которая должна решаться на основе теоретических достижений в этой области. Практический интерес представляет прогноз динамики многофазного течения в нефтегазовом пласте при его заводнении, включающем в качестве составных элементов собственно нефтегазовый пласт и водонапорный пласт. При движении газированной жидкости в пластах содержатся обычно три фазы компонента смеси: нефть, газ и вода. В таком случае имеем поток многофазной жидкости. Сложность подобной задачи наряду с проблемами расчета процессов многофазной фильтрации усиливается нетривиальностью геометрии. Наиболее достоверную информацию о влиянии значимых факторов на конечный результат (полученные из пласта нефть и газ) можно получить только в результате математического моделирования. К

настоящему времени разработано множество математических моделей, вычислительных алгоритмов и программных комплексов для различных задач процессов фильтрации в газовых и водоносных пластах. Тем не менее, проблемы разработки компьютерных моделей, позволяющих исследовать и прогнозировать сложные процессы фильтрации в пластовых системах, изучены недостаточно полно.

### **Annotatsiya**

Vazifaning dolzarbligi suv toshqini yordamida neft va gaz qazib olishni jadallashtirish texnologiyalarini ishlab chiqish va keng joriy etish bilan bog'liq. Bu usul hozir dunyoning deyarli barcha neft va gaz qazib oluvchi mintaqalarida qo'llaniladi. Ushbu usulni qo'llash bo'yicha to'plangan tajriba, shuningdek, nazariy tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, usulning samaradorligi ko'p jihatdan ob'ektni to'g'ri tanlash va uni qo'llash uchun mos texnologiyaga bog'liq. Shuning uchun ob'ektlar va tegishli suv toshqini texnologiyasini tanlash dolzarb ilmiy-texnikaviy vazifa bo'lib, uni ushbu sohadagi nazariy yutuqlar asosida hal qilish kerak. Amaliy qiziqish shundaki, neft va gaz kollektorining suv toshqini paytida ko'p fazali oqim dinamikasini bashorat qilish, neft va gaz omborining o'zi va suv omborini tarkibiy elementlar sifatida o'z ichiga oladi. Gazlangan suyuqlik harakat qilganda, rezervuarlar odatda aralashma komponentining uch fazasini o'z ichiga oladi: neft, gaz va suv. Bunday holda, biz ko'p fazali suyuqlik oqimiga egamiz. Bunday vazifaning murakkabligi, ko'p fazali filtrlash jarayonlarini hisoblash muammolari bilan birga, geometriyaning ahamiyatsizligi bilan kuchayadi. Muhim omillarning yakuniy natijaga ta'siri to'g'risidagi eng ishonchli ma'lumotni (kollektordan olinadigan neft va gaz) faqat matematik modellashtirish natijasida olish mumkin. Bugungi kunga qadar gaz va suvli qatlamlarda filtratsiya jarayonlarining turli muammolari uchun ko'plab matematik modellar, hisoblash algoritmlari va dasturiy ta'minot tizimlari ishlab chiqilgan. Shunga qaramay, rezervuar tizimlarida murakkab filtrlash jarayonlarini tekshirish va bashorat qilish imkonini beradigan kompyuter modellarini ishlab chiqish muammolari to'liq o'rganilmagan.

### Annotation

The relevance of the task is due to the development and widespread introduction of technologies for intensifying oil and gas production using waterflooding. This method is now used in almost all oil and gas producing regions of the world. The accumulated experience of applying this method, as well as theoretical studies, show that the effectiveness of the method largely depends on the correct choice of the object and the appropriate technology for its application. Therefore, the choice of objects and the appropriate waterflooding technology is an urgent scientific and technical task, which should be solved on the basis of theoretical achievements in this area. Of practical interest is the prediction of the dynamics of a multiphase flow in an oil and gas reservoir during its flooding, which includes the oil and gas reservoir itself and the water reservoir as constituent elements. When a carbonated liquid moves, the reservoirs usually contain three phases of the mixture component: oil, gas, and water. In this case, we have a multiphase fluid flow. The complexity of such a task, along with the problems of calculating the processes of multiphase filtration, is enhanced by the non-triviality of the geometry. The most reliable information about the influence of significant factors on the final result (oil and gas obtained from the reservoir) can only be obtained as a result of mathematical modeling. To date, many mathematical models, computational algorithms and software systems have been developed for various problems of filtration processes in gas and aquifers. Nevertheless, the problems of developing computer models that make it possible to investigate and predict complex filtration processes in reservoir systems have not been fully studied.

**Ключевые слова:** вода, вычислительный эксперимент, газ, модель, математическое моделирование, насыщенность, нефтегазовый пласт, фаза, фильтрация, численный метод.

**Kalit so'zlar:** suv, hisoblash tajribasi, gaz, model, matematik modellashtirish, to'yinganlik, neft va gaz kollektori, faza, filtrlash, raqamli usul.

**Key words:** water, computational experiment, gas, model, mathematical modeling, saturation, oil and gas reservoir, phase, filtration, numerical method.

Для описания фильтрации нефтегазоводной смеси используется следующий подход: нефтегазоводную смесь представим как трехфазную систему, состоящую из водяной, конденсатной и газовой фаз. Причем воду и нефть считаем нелетучими жидкостями, газ - растворимым в жидкостях. При этом предполагается, что вода - смачивающая фаза, нефть имеет промежуточную смачиваемость, а газ - не смачивающая фаза. Пластовые жидкости рассматриваются как раствор, состоящий из двух компонент: жидкости и газ при стандартных нормальных условиях. Предполагается так же, что флюиды в пласте находятся при постоянной температуре и в состоянии термодинамического равновесия. При таких условиях зависимость давление - объем - температура может быть представлена с помощью объемных коэффициентов [1]:

Математическая модель многофазной фильтрации, когда углеводородная система может быть аппроксимирована двумя компонентами: нелетучим (жидкостью) и летучим (газом), растворимым в жидких фазах можно представить в виде.

Представим зависимость давление - объем - температура с помощью объемных коэффициентов:

$$B_1 = \frac{[V_1]_{ny}}{[V_1]_{cy}},$$

$$B_2 = \frac{[V_2 + V_{21}]_{ny}}{[V_2]_{cy}},$$

$$B_3 = \frac{[V_3 + V_{31}]_{ny}}{[V_3]_{cy}}$$

где  $[V_\alpha]_{ny}$  - объем занятый фиксированной массой фазой  $\alpha$  ( $\alpha = 1, 2, 3$ , индекс 1 соответствует газовой фазе, 2 - водяной фазе, 3 - нефтяной фазе);  $[V_\alpha]_{cy}$  - объем



занятый фазой  $\alpha$  при нормальных условиях;  $[V_{21}]_{\text{ны}}$ ,  $[V_{31}]_{\text{ны}}$  - объемы растворенного газа соответственно в воде и нефти в пластовых условиях.

Массообмен между жидкостями и газом учитывается с помощью коэффициентов растворимости газа в жидкостях

$$R_2 = \frac{[V_{21}]_{\text{ны}}}{[V_2]_{\text{cy}}}, R_3 = \frac{[V_{31}]_{\text{ны}}}{[V_3]_{\text{cy}}}.$$

Плотности фаз в пластовых условиях отнесенные к плотностям в нормальных условиях представим в виде

$$\rho_1 = \frac{1}{B_1}(\rho_{1\text{cy}}),$$

$$\rho_2 = \frac{1}{B_2}(\rho_{2\text{cy}} + R_2\rho_{1\text{cy}}),$$

$$\rho_3 = \frac{1}{B_3}(\rho_{3\text{cy}} + R_3\rho_{1\text{cy}}).$$

Тогда система дифференциальных уравнений описывающих фильтрацию нефтегазоводной смеси имеет вид [2]

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{mS_1}{B_1} + \frac{mS_2R_2}{B_2} + \frac{mS_3R_3}{B_3} \right] + \nabla \cdot \left[ \frac{W_1}{B_1} + \frac{W_2R_2}{B_2} + \frac{W_3R_3}{B_3} \right] = Q_1,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{mS_2}{B_2} \right] + \nabla \cdot \left[ \frac{W_2}{B_2} \right] = Q_2,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{mS_3}{B_3} \right] + \nabla \cdot \left[ \frac{W_3}{B_3} \right] = Q_3$$

где: индексы 1, 2, 3 - соответствуют газу, воде, и нефти;  $S_\alpha$ ,  $B_\alpha$ ,  $Q_\alpha$ , ( $\alpha = \overline{1,3}$ ) - насыщенности, объемные коэффициенты и суммарный дебит скважин,  $m$  - пористость пласта,  $R_2$ ,  $R_3$  - растворимость газа в воде, нефти и конденсате,  $t$  - время,  $W_\alpha$  - вектор фазовых скоростей

$$W_\alpha = -\frac{Kf_\alpha}{\mu_\alpha}(\nabla p_\alpha - \gamma_\alpha \nabla Z),$$

$K$  - абсолютная проницаемость пласта;  $f_\alpha$  - относительные фазовые проницаемости;  $\mu_\alpha$  - вязкость;  $\gamma_\alpha$  - удельный вес;  $p_\alpha$  - вектор фазовых давлений.

Для замыкания этой системы кроме вытекающих из определений соотношения

$$\sum_{\alpha=1}^3 S_\alpha = 1,$$

и зависимостей

$$f_\alpha = F_\alpha(S_1, S_2, S_3)$$

требуется знание сложных многопараметрических зависимостей

$$B_\alpha = F_\alpha(p, S_1, S_2, S_3),$$

$$\mu_\alpha = F_\alpha(p, S_1, S_2, S_3),$$

$$R_\alpha = F_\alpha(p, S_1, S_2, S_3).$$

Система дифференциальных уравнений с замыкающими соотношениями и соответствующими начальными и граничными условиями представляет собой математическую модель трехмерной фильтрации.

Предлагаемая математическая модель позволяет исследовать процессы многофазной фильтрации происходящие в нефтегазовом пласта при его заводнении с учетом различного расположения систем нагнетательных и добывающих скважин.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Вахитов М.Л., Сургучев М.Л. и др. Методика расчета технологических расчетов разработки нефтяных и нефтегазовых залежей // В сб. Разработка нефтегазовых и нефтегазоконденсатных месторождений. -М.Наука.1978. с.21-52.
2. Khuzhayorov B.Kh., Burnashev V.F. Modelling the multiphase flow of an oil-gas-condensate system in porous media // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2001. 29. 67-82.