

УДК 532.685

Исследование процессов массопереноса в коллекторах с двойной пористостью

Ю.О. Бобренёва¹, А.Я. Давлетбаев², И.М. Губайдуллин¹

Институт нефтехимии и катализа Российской академии наук¹,
Башкирский государственный университет²

Аннотация: Рассматривается процесс фильтрации жидкости в коллекторах трещиновато-порового типа. Фильтрация описывается с помощью модели двойной пористости, в которой присутствуют сеть естественных трещин и поровый пласт (матрица) с различными фильтрационно-емкостными свойствами.

Ключевые слова: трещиновато-поровый коллектор, фильтрация жидкости, сеть трещин, модель двойной пористости, уравнение пьезопроводности.

Изучение свойств продуктивного пласта, как правило, осуществляется путем промыслово-геофизических, лабораторных и гидродинамических методов исследования. Промыслово-геофизические исследования позволяют определить средние свойства продуктивного пласта всего лишь на небольшом расстоянии от стенки скважины (до ~ 0.3 м), лабораторные исследования керн позволяют исследовать образцы породы с размерами до ~ 0.04 м. Гидродинамические методы исследования скважин позволяют определить средние значения параметров продуктивного пласта на значительном расстоянии от скважины (до ~ 200 м). Как правило, коллектора трещиновато-порового типа имеют очень сложное строение пустотного пространства, свойства продуктивного пласта могут значительно меняться от скважины к скважине.

В настоящее время разработка карбонатных пластов с коллектором трещиновато-порового типа является актуальной задачей. Продуктивные пласты с коллектором данного типа, как правило, мало изучены по сравнению с обычным песчаником в терригенных пластах [1-2]. Для выбора эффективной технологии извлечения нефти из данных пластов необходимо изучение процессов массопереноса в коллекторах трещиновато-порового типа.

В процессе фильтрации в коллекторах трещиновато-порового типа необходимо учитывать обмен флюидов между низкопроницаемыми порами и сетью естественных трещин [3]. Для исследования системы такого характера, как правило, используется модель Уоррена-Рута [4]. В предлагаемой модели поровый коллектор (в дальнейшем матрица) схематизируются одинаковыми прямоугольными параллелепипедами, которые обладают высокой пористостью и низкой проницаемостью. Низкопроницаемая матрица разделена сетью естественных трещин, которые обладают высокой проницаемостью и низкой пористостью. Считается, что движение жидкости к скважине осуществляется по системе трещин, а матрица является емкостью, которая непрерывно питает всю сеть естественных

трещин. Перераспределение флюида между матрицей и трещинами зависит от формы и размеров блоков матрицы, чем блоки меньше, тем легче осуществляется переток флюида между ними. В модели двойной пористости матрица и трещина имеют индивидуальные свойства и характеризуются собственными значениями проницаемости, сжимаемости и пористости.

Для описания механизма фильтрации в системе «сеть трещин-матрица» используются следующие уравнения математической физики:

$$\begin{aligned} \varphi_f c_{tf} \frac{\partial P_f}{\partial t} &= \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{k_f}{\mu} r \frac{\partial P_f}{\partial r} \right) - S \frac{k_m}{\mu} (P_f - P_m), \\ \varphi_m c_{tm} \frac{\partial P_m}{\partial t} &= S \frac{k_m}{\mu} (P_f - P_m). \end{aligned} \quad (1)$$

Начальные и граничные условия имеют вид:

$$\begin{aligned} P_f|_{r=0} &= P_0 - \Delta P, & P_f|_{r=r_e} &= P_0, \\ P_f|_{t=0} &= P_0, & P_m|_{t=0} &= P_0, \end{aligned} \quad (2)$$

$$2\pi h \frac{k_f}{\mu} \left(r \frac{\partial P_f}{\partial r} \right)_{r=r_w} = Q(t);$$

$$S = \frac{4 * n * (n + 2)}{L^2}, \quad (3)$$

$$L = \frac{3 * a * b * c}{a * b + b * c + c * a}. \quad (4)$$

где, φ_f – пористость сети трещин (д.ед), φ_m – пористость матрицы (д.ед), c_{tf} – сжимаемость сети трещин (1/Па), c_{tm} – сжимаемость матрицы (1/Па), k_f – проницаемость сети трещин (м2), k_m – проницаемость матрицы (м2), μ – вязкость нефти (Па*с), P_f – пластовое давление в сети трещин (МПа), P_m – пластовое давление в матрице (МПа), h – эффективная мощность пласта, Q - дебит жидкости (м3/сут), $\pi \approx 3,14$, S – коэффициент трещиноватой породы (1/м2), n – число взаимно перпендикулярных групп трещин, L – размер блоков (м2), a – длина стороны блока матрицы (м), b – ширина стороны блока матрицы (м), c – высота стороны блока матрицы (м).

В отличие от модели однородного пласта, модель двойной пористости характеризуется двумя дополнительными параметрами: коэффициентом доли трещинно-кавернозной емкости ω и удельным коэффициентом проводимости λ . ω – характеризует долю трещин в общей системе пласта, чем выше коэффициент, тем больше в пласте трещинно-кавернозной емкости.

$$\omega = \frac{\varphi_f c_f}{\varphi_f c_f + \varphi_m c_m}, \quad (5)$$

λ - характеризует способность фильтрации из матрицы в трещины. Данный коэффициент зависит от размеров и геометрии матричных блоков. При увеличении коэффициента увеличивается способность матрицы участвовать в фильтрации системы. Матрицы низкой проницаемости характеризуются меньшими значениями коэффициента.

$$\lambda = \alpha \frac{k_m}{k_f} r_w^2, \quad (6)$$

Система уравнений (1) с краевыми условиями (2) решалась методом конечных разностей по неявной схеме. Результаты численного моделирования удовлетворительно согласуются с точным аналитическим решением [4].

Литература

1. Денк С.О. Проблемы трещиноватых продуктивных объектов. Пермь: Электронные издательские системы, 2004. 334 с.
2. Байков В.А., Емченко О.В., Зайнулин А.В., Давлетбаев А.Я. 2007. Интерпретация и анализ результатов исследований коллектора трещиновато-кавернозно-порового типа. Научно-технический вестник «НК Роснефть», № 5. С. 30-33.
3. Баренблатт Г. И., Ентов В. М., Рыжик В. М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. М.: Недра. 1984. 211 с.
4. Голф-Рахт Т.Д. Основы нефтепромысловой геологии и разработки трещиноватых коллекторов. М.: Недра, 1986. 608 с.

MSC 76S05

Research of fluid flow processes in the reservoir with dual porosity

Yu.O. Bobreneva ¹, A.Ya. Davletbaev ², I.M. Gubaydullin ¹

Institute of Petrochemistry and Catalysis of the Russian Academy of Sciences¹, Bashkir State University²

Abstract: Authors consider processes of fluid flow in the fracture-porous reservoir. Fluid flow is defined by dual porosity model which has natural fracture system and matrix porosity with different reservoir properties.

Keywords: fracture-porous reservoir, fluid flow, natural fracture system, dual porosity model

References

1. Denk S.O. Problemy treschinovatyih produktivnyih ob'ektov. Perm: Elektronnyie izdatelskie sistemyi, 2004. 334 p.
2. Baikov V.A., Emchenko O.V., Zainulin A., Davletbaev A. 2007. Interpretation and analysis of research for reservoir including porous matrix, fractures, vuggy zones. Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik «NK «Rosneft» No. 5. P. 30-33.
3. Barenblatt G. I., Entov V. M., Ryzhik V. M. Dvizhenie zhidkostey i gazov v prirodnyih plastah. M.: Publishing of the Nedra, 1984, 211 p.
4. Golf-Raht T.D. Osnovy neftepromyilovoy geologii i razrabotki treschinovatyih kollektorov. M.: Publishing of the Nedra, 1986. 608 p.