УДК 622.276

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАЗРАБОТКИ ОДНОРОДНОГО ПЛАСТА ПО МОДЕЛИ РАПОПОРТА-ЛИСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КРИВЫХ КАПИЛЛЯРНОГО ДАВЛЕНИЯ

CALCULATING THE DEVELOPMENT PERFORMANCE OF A HOMOGENEOUS RESERVOIR USING THE RAPOPORT-LIS MODEL AND EXPERIMENTAL CAPILLARY PRESSURE CURVES

Мугатабарова Альбина Акрамовна
кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений,
Уфимский государственный нефтяной технический университет
mugatabarova@mail.ru

Хашимов Фаил Фаритович
магистрант,
Уфимский государственный нефтяной технический университет
khashimov.fail@mail.ru

Городилов Илья Алексеевич
магистрант,
Уфимский государственный нефтяной технический университет
gorodilov.ilya28@gmail.com

Аннотация. Изучение модели двухфазной фильтрации и расчеты для различных сеток скважин показали, что модель несмешивающегося вытеснения Баклей-Леверетта позволяет аналитическим методом достоверно спрогнозировать технологические показатели разработки месторождения. Принимаемое в модели Баклей-Леверетта допущение об отсутствии капиллярного скачка давления на границе подвижных фаз позволяет упростить исходную систему уравнений, однако приводит к необходимости введения фронта разрыва насыщенности. Более полной моделью несмешивающейся фильтрации является модель Рапопорта-Лиса, учитывающее влияние капиллярных сил. Зависимость капиллярного давлениях от водонасыщенности P(S) породы определяется в лаборатории снятием кривых P(S) методом полупроницаемой мембраны на групповом капилляриметре.

Ключевые слова: капиллярное давление, водонасыщенность, горная порода, модель Рапопорта-Лиса, функция Леверетта, показатели разработки, нефтяное месторождение.

Mugatabarova Albina Akramovna
Ph. D., Associate Professor
of the Department of Development and Operation of Gas and Gas Condensate Fields,
Ufa State Petroleum Technological University
mugatabarova@mail.ru

Khashimov Fail Faritovich
Undergraduate,
Ufa State Petroleum Technological University
khashimov.fail@mail.ru

Gorodilov Ilya Alekseevich
Undergraduate,
Ufa State Petroleum Technological University
gorodilov.ilya28@gmail.com

Annotation. The study of the two-phase filtration model and calculations for various grids of wells showed that the Buckley-Leverett immiscible displacement model makes it possible to reliably predict the technological parameters of field development using an analytical method. The assumption made in the Buckley-Leverett model about the absence of a capillary pressure jump at the boundary of the mobile phases makes it possible to simplify the initial system of equations, but leads to the need to introduce a saturation discontinuity front. A more complete model of immiscible filtration is the Rapoport-Lees model, which takes into account the influence of capillary forces. The dependence of capillary pressure on water saturation P(S) of the rock is determined in the laboratory by recording P(S) curves using the semipermeable membrane method on a group capillarimeter.

Keywords: capillary pressure, water saturation, rock, Rapoport-Lis model, Leverett function, development indicators, oil field.

Изучение модели двухфазной фильтрации и расчеты показателей разработки однородного пласта нефтяного месторождения для различных сеток скважин показали, что модель несмешивающегося вытеснения Баклей-Леверетта позволяет аналитическим методом достоверно спрогнозировать технологические показатели разработки: графики изменения темпа разработки, коэффициента нефтеотдачи, значения обводненности по элементам разработки и месторождения в целом. На основе сравнения значений нефтеотдачи и обводненности, полученных при решении задачи Баклей-Леверетта, для трех систем разработки нефтяного месторождении можно сделать вывод о рекомендации использования на месторождении определенной схемы расположении скважин [1].

Принимаемое в модели Баклей-Леверетта допущение об отсутствии капиллярного скачка давления на границе подвижных фаз позволяет упростить исходную систему уравнений, однако приводит к необходимости введения фронта разрыва насыщенности, впервые описанного Баклей и Левереттом [2].

Более полной моделью несмешивающейся фильтрации является модель Рапопорта-Лиса, учитывающее влияние капиллярных сил, что приводит к замене предположения о равенстве парциальных давлений следующим, разность парциальных давлений зависит от водонасыщенности $S_1 = S$.

$$P_2 - P_1 = P(S). \quad (1)$$

Зависимость капиллярного давлениятот водонасыщенности P(S) породы определяется в лаборатории снятием кривых P(S) методом полупроницаемой мембраны, который является одним из самых распространенных способов количественной оценки водонасыщенности. Лабораторные опыты выполняются на групповом капилляриметрес набором полупроницаеммых мембран (рис. 1) в соответствии с требованиями ГОСТ 39-204-96. По полученным результатам строятся графики и находится зависимость капиллярного давлениятот водонасыщенности образцов горной породы P(S) [3–4].

Рисунок 1 – Капилляриметр групповой

Функция P(S) известная, зависимая от свойств пористой среды, а также свойств обеих фаз. Следовательно, можно получить систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m\frac{\partial S}{\partial t} = k\frac{f_1(S)}{\mu_1}\Delta P_1 + k\frac{f_1'(S)}{\mu_1}(\nabla S, \nabla P_1), \\ B(S)\Delta P_1 + \frac{k}{\mu_2}\left(f_2(1-S)P''(S) + f_2'(1-S)P'(S)\right)|\nabla S|^2 + . \\ \quad + \frac{k}{\mu_2}f_2(1-S)P'(S) + B'^{(S)P'}(\nabla S, \nabla P_1) = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Уравнения (2) называются уравнениями Рапопорта-Лиса. Для одной пространственной переменной уравнение Рапопорта-Лиса принимает вид:

$$m\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial f_w(S)}{\partial x} + \varepsilon\frac{\partial}{\partial x}\left(k(S)f_w(S)\frac{\partial J(S)}{\partial x}\right) = 0, \quad (3)$$

где ε – числовой параметр, зависящий геометрических свойств пористой среды и свойств фаз;
k(S) – коэффициент относительной проницаемости;
J(S) – функция Леверетта.

Учёт влияния капиллярных сил позволяет описать так называемую стабилизированную зону, возникающую вблизи границы раздела фаз. Протяженность этой зоны обратно пропорциональна скорости вытеснения. Подобный подход справедлив при малых скоростях вытеснения [5].

Модель Раппопорта-Лиса не имеет такой неоднозначности, что позволяет получить более точныетехнологические показатели разработки месторождения.

Литература:

1. Хашимов Ф.Ф., Мугатабарова А.А. Расчет технологических показателей разработки однородного пласта с использованием модели непоршневого вытеснения нефти водой для различных сеток скважин // Рассохинские чтения. – 2022.
2. Баренблатт Г.И. Нелинейная фильтрация: прошлое, настоящее и будущее // Проблемы теории фильтрации и механика процессов повышения нефтеотдачи. – М. : Наука, 1987.
3. Тульбович Б.И. Методы изучения пород-коллекторов нефти и газа. – М. : Недра, 1979.
4. Лысенко В.Д. Теория разработки нефтяных месторождений. – М. : Недра, 1993.
5. Rapoport L., Leas W. Properties oflinearwaterflood // AIME Trans. – 1953.

References:

1. Khashimov F.F., Mugatabarova A.A. Calculation of technological indicators for the development of a homogeneous reservoir using a model of non-reciprocating oil displacement by water for various well grids // Rassokhinskie Readings. – 2022.
2. Barenblatt G.I. Nonlinear filtration: past, present and future // Problems of the theory of filtration and mechanics of enhanced oil recovery processes. – M. : Nauka, 1987.
3. Tulbovich B.I. Methods for studying reservoir rocks of oil and gas. – M. : Nedra, 1979.
4. Lysenko V.D. Theory of development of oil fields. – M. : Nedra, 1993.
5. Rapoport L., Leas W. Properties of linear water flood // AIME Trans. – 1953.