

УДК 51.001.57

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ НЕФТИ И ГАЗА

Шырын Бексултан

Bexultan.shyryn@gmail.com

Студент 1-го курса факультета «Информационной технологии» ЕНУ им. Л.Гумилева,
Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – Муханбеткалиева А.К.

В работе исследованы вопросы разработки математических моделей и моделирование неоднородных коллекторов нефти и газа, предложены основные формулы для математического описания объекта и задачи исследования.

При решении многих задач проектирования разработки и эксплуатации нефтяных месторождений делаются попытки учесть их неоднородное строение. Наиболее часто пласт представляется в виде сочетания двух сообщающихся или разделенных непроницаемыми границами пропластков с различными коллекторскими и фильтрационными свойствами. Всякий неоднородный коллектор можно представить в виде двойных пористых сред, размещенных одна в другой: в преобладающем пространстве пород с меньшей проницаемостью, залегают разности с повышенными емкостными и фильтрационными свойствами.

При этом возникает задача определения геометрических и фильтрационных характеристик, схематизирующих реальный коллектор. Они обычно оцениваются на основе методов теории вероятностей и математической статистики в предположении, что все параметры пласта представляют совокупность величин, изменяющихся во всех направлениях в объеме пласта по законам случайных величин или случайных функций. При этом

предполагается, что керновый материал, отобранный из изучаемого пласта, или результаты геофизических измерений свойств пород представляют собой выборку, свойства и состав которой в достаточной степени отображают общие статистические показатели исследуемых параметров всей генеральной совокупности пород коллектора.

Рассмотрим вопросы разработки математических моделей и моделирования неоднородных коллекторов нефти. Числовые характеристики неоднородности и осредненных свойств пород пропластков оцениваются с помощью функций распределения этих свойств. По результатам многочисленных исследований установлено, что распределение свойств пород и параметров коллекторов может описываться различными законами: нормальными, логарифмически-нормальными, гамма-распределением, законом Максвелла и его видоизменениями, предложенными Б.Т. Баишевым [1], М.М. Саттаровым [2], распределением Пирсона и т.д. [3,4].

Предварительно функция распределения определяется по геометрии гистограммы. По ее виду выбирается вероятностная бумага и на ней проводится подбор теоретической плавной кривой распределения. При правильном выборе закона распределения диаграмма квантилей, построенная на вероятностной бумаге, соответствующей данной функции распределения, совпадает с линейной зависимостью. Степень согласия теоретического и статистического распределений может быть установлена с помощью различных критериев (например, А.Н. Колмогорова).

По диаграмме квантилей находят также и другие числовые характеристики распределения (математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение, дисперсию и др.). Разделение общей эффективной толщины по пропласткам проводится с помощью кривой плотности распределения, являющейся первой производной функции распределения:

$$f(x) = \frac{dE(x)}{dx}. \quad (1)$$

Если представить пласт в виде двух различных пропластков одинаковой толщины, то средние значения проницаемостей k_1 и k_2 каждого из пропластков при этом могут быть найдены как математические ожидания случайных их значений в каждой из обеих групп, границы которых определяются медианой M - абсциссой точки, в которой площадь, ограниченная кривой плотности распределения $f(x)$, делится пополам. Значения k_1 и k_2 определяются следующими выражениями:

$$k_1 = \frac{\int_{k_v}^M kf(k)dk}{\int_{k_v}^M f(k)dk}; k_2 = \frac{\int_M^{k_b} kf(k)dk}{\int_M^{k_b} f(k)dk}, \quad (2)$$

где k_1, k_2 - средние значения проницаемости пропластков соответственно с пониженными и повышенными фильтрационными свойствами; k_m, k_{σ} - наименьшее и наибольшее значения проницаемости пород в исследуемом распределении; M - медиана распределения; $f(k)$ - значение функции распределения.

Величина медианы определяется подбором по формуле

$$\int_{k_m}^M f(k)dk = \int_M^{k_{\sigma}} f(k)dk.$$

В ряде случаев толщину моделируемых пропластков нельзя считать одинаковой. Так, при расчете объема реагента, необходимого для нагнетания в пласт при изоляции обводнившихся прослоев, необходимо знать их суммарную толщину. Последняя может быть найдена, например, по данным геофизических измерений. Распределение общей эффективной толщины пласта между пропластками h_1 и h_2 может быть произведено по формуле (1); при этом значение $M = M'$ на кривой плотности распределения соответствует точке максимального значения проницаемости обводнившихся пропластков. При отсутствии достаточных геофизических данных значением M' приходится задаваться, исходя из целесообразного в каждом отдельном случае значений проницаемости пород, которые следует закрыть для доступа воды.

Приведенные формулы (1), (2) и формулы определения медианы являются основой для создания математических моделей коллекторов. Приведенный способ моделирования неоднородного пласта имеет ряд недостатков, и его следует применять при дефиците информации о пласте (приходится задаваться значением M' , неизвестна степень соответствия полноты свойств выборки свойствам и строению генеральной совокупности и др.). Одним из эффективных решением данной проблемы является формализация и применение нечеткой информации (знание и опыт специалистов-экспертов) на основе методов теорий нечетких множеств и возможностей [5]

Наиболее полно свойства и строение пласта освещаются по данным его гидропрослушивания. Метод определения характеристик моделей по данным гидропрослушивания коллекторов позволяет оценить геометрию пропластков двухслойной модели и их фильтрационные свойства, схематизировать на двухслойной модели пласта основные гидродинамические процессы, протекающие в реальном коллекторе при эксплуатации скважины, что увеличивает подобие проектируемых операций и реально протекающих в пласте.

Если толщина пропластков равна h_1 и h_2 при их абсолютной проницаемости k_1 и k_2 ($k_1 > k_2$) торезультаты гидропрослушивания такого двухслойного пласта могут быть представлены в виде соотношения

$$\ln \frac{P(R, t_0)}{F(t_0)t^{1/4}} = \ln \frac{\mu}{2\pi kh} \sqrt{\frac{\pi}{2R}} \sqrt{\frac{\chi}{\lambda} - \frac{R\sqrt{\lambda}}{\chi_1 t_0}}, \quad (3)$$

где $P(R, t_0)$, $F(t_0)$ - изображение, по Лапласу, функций давления и дебита; t_0 - величина, обратная параметру преобразований Лапласа; χ_1 - пьезопроводность первого (с повышенной проницаемостью) пласта; χ - пьезопроводность всего пласта; R - расстояние между реагирующей и возмущающей скважинами; k , h - абсолютная проницаемость и эффективная толщина пласта; λ - параметр, характеризующий соотношение неоднородностей фильтрационных, упругих и емкостных свойств пород пропластков.

Считается, что максимальное значение λ_{\max} зависит от соотношения емкостных и упругих характеристик пород пропластков:

$$\left. \begin{aligned} \lambda_{\max} - 1 + \frac{\beta_{\text{пр.2}} m_2 h_2}{\beta_{\text{пр.1}} m_1 h_1} &= 1 + C \\ C &= \frac{\chi_1}{\chi_{\text{пр}}} - 1 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $\beta_{gh} = \beta_i + \beta^* + l m$, $\beta_{\text{пр}}$ - коэффициент сжимаемости жидкости с учетом деформационных свойств пористой среды; β^* - коэффициент упругоэластичности пласта;

$\beta_{ж}, \beta_n$ - коэффициенты сжимаемости жидкости и породы; $\beta_n = \beta_c / m$, β_n - коэффициент сжимаемости скелета породы; m - пористость.

Как следует из соотношения (3), графики гидропрослушивания в координатах $\ln P(R, t_0) / F(t_0) - l / \sqrt{t_0}$ в слоистом пласте теоретически должны представлять собой линейные зависимости во всем диапазоне исследования. Фактически из-за неоднородности свойств пород начальные и конечные участки графиков гидропрослушивания оказываются криволинейными.

Вначале импульс давления достигает реагирующей скважины по трещинам или по пропласткам с повышенной проницаемостью. Поэтому начальный участок кривой гидропрослушивания формируется под влиянием пористых сред с повышенной пьезопроводностью и характеризует их свойства. Конечные участки кривой относятся к породам с меньшей пьезопроводностью. Следовательно, аппроксимация начальных участков кривых гидропрослушивания позволяет оценить пьезопроводность χ_1 прежде всего высокопроницаемого пропластка в слоистом пласте или пьезопроводность трещин в трещинно-пористой среде. При включении в процесс пропластков с пониженной проницаемостью пьезопроводность пласта в целом сокращается до приведенных ее значений $\chi_{пр}$ и со временем распределяется и гидропроводность пласта kh / μ .

Из соотношения (4) следует, что коэффициент λ_{max} , характеризующий неоднородность пород пропластков, может быть представлен в виде

$$\lambda_{max} = \frac{\chi_1}{\chi_{пр}}$$

Значения χ_1 и $\chi_{пр}$ и гидропроводность пород с высокой и низкой проницаемостью могут быть найдены стандартными способами обработки (например, интегральным методом) кривых гидропрослушивания - по углу наклона касательных, проведенных к начальному и конечному участкам кривых гидропрослушивания. Кривая гидропрослушивания при интегральном способе обрабатывается по формуле, действительной для однородного пласта:

$$\ln \psi(t) = l \frac{q \mu \chi}{\pi k h R^2} - \frac{R^2}{4 \chi t}, \quad (5)$$

$$\psi(t) = \int_{P_3(0)}^{P_3(t)} \frac{dP_3}{t},$$

где R - расстояние между возмущающей и реагирующей скважинами; q - дебит скважины до остановки; t - время начала возмущения; μ - динамическая вязкость пластовой нефти; h - эффективная толщина пласта.

Как следует из формулы (5), для однородного пласта зависимость $\ln \varphi(t) - 1/t$ на всем протяжении представляет прямую, уклон которой $i = \operatorname{tg} \alpha$ характеризует средние параметры пласта.

Как было упомянуто, из-за неоднородности свойств пород начальные участки зависимости $\ln \psi = f(1/t)$ получают искривление.

Построив кривую гидропрослушивания в координатах $\ln \psi = f(1/t)$, проводят касательные к ее начальному и конечному участкам. По углу наклона касательных $\operatorname{tg} \alpha$ и отрезкам B , отсекаемым на оси ординат, рассчитывают искомые параметры пласта:

$$\chi_i = -\frac{R^2}{4tg\alpha_j} \left(\frac{kh}{\mu} \right)_j = \frac{q\chi_j}{\pi R^2 \exp(-B_j)}$$

Гидропроводность первой среды ($j = 1$) соответствует значению (kh/μ) которое находят по отрезку B_1 , отсекаемому на оси абсцисс касательной к конечному участку кривой распределения гидропроводности.

По известным значениям $\chi_1, \chi_{np}, (kh/\mu)_1$, коэффициентам упругоэластичности пород пропластков можно оценить их проницаемость k_1 и k_2 распределение толщин h_1 и h_2 . Из смысла понятия пьезопроводности, коэффициента λ_{max} , а также из соотношения (1) следует

$$\left. \begin{aligned} h_1 &= D \frac{1}{m_1 \beta_{np.1}} = \left(\frac{kh}{\mu} \right)_1 \frac{1}{\chi_1} \frac{1}{m_1 \beta_{np.1}} \\ \chi &= \frac{k}{\mu \beta^*}; k = \chi_1 \mu \beta^* \end{aligned} \right\}$$

$$h_2 = D \frac{1}{m_2 \beta_{np.2}} = \left(\frac{kh}{\mu} \right)_1 \frac{1}{\chi_1} \frac{1}{m_2 \beta_{np.2}},$$

где удельная гидропроводность первой среды

$$D = \left(\frac{kh}{\mu} \right)_1 \frac{1}{\chi_1} = (mh)_1 \beta_{np.};$$

$$k_1 h_1 + k_2 h_2 = kh, k_2 = \frac{kh - k_1 h_1}{h_2};$$

k, h — средняя проницаемость и толщина всего пласта.

Выводы: Рассмотренная методика может использоваться для математического описания неоднородных коллекторов нефти и газа и их моделирования, что должно положительным образом сказаться на эффективности воздействия на ПЗС за счет построения более рациональных технологий обработки.

Список использованных источников

1. Баишев Б.Т. Функции распределения проницаемости и учет неоднородности при проектировании разработки нефтяных месторождений// Тр ВНИИ –1990, –С. 38-66
2. Самтаров М.М. О функциях распределения коэффициента проницаемости нефтеносного пласта // Изв. вузов. Нефть и газ. –1982. –С. 55-60.
3. Аширов К.Б. Палий П.А., Кашацев В.Е. и др. Опыт борьбы с отложением гипса в скважинах//М.: Гипрвостокнефть, –1973, –С. 225-232.
4. Берман Л.Б. Нейман В.С. Исследование газовых месторождений и подземных хранилищ газа методами промысловой геофизики// М.: Недра, –2005. –С.216.
5. Рыков А.С., Оразбаев Б.Б. Методы исследования систем и разработка математических моделей в нечеткой среде//М.: МИСИС, –1995. –С.112.