

ОБРАБОТКА КРИВОЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ ПРИТОКА

Куштанова Г.Г., Galya.Kushtanova@ksu.ru

Казанский государственный университет

При обработке реальных кривых восстановления давления (КВД) первое, что необходимо учитывать – это наличие притока из пласта после остановки скважины, который, как правило, неизвестен. Поэтому информацию о дебите пытаются получить из динамики давления. В литературе известен ряд таких методов. Наверное, самый простой из них - метод поправочного коэффициента [1]. Метод предполагает дифференцирование (численное) кривой изменения давления во времени. Для большинства реальных ситуаций это только вид кривой изменения дебита, а для расчета конкретных значений необходимо получить поправочный коэффициент путем экстраполяции на значение времени равное нулю. Автор данной статьи попытался протестировать его на модельных примерах, но был не достаточно удовлетворен. При попытке внести некоторые улучшения, появился метод, который, видимо, можно называть модификацией метода поправочного коэффициента или методом максимальной линеаризации. Для тестирования метода использовались модельные решения восстановления давления в пласте с учетом притока. Использование модельных примеров имеет свои преимущества, так как позволяет исключить все другие факторы и вычленить более ярко влияние изучаемых.

Модель содержит обычно используемые допущения об однородности пласта, плоской поверхности его границ и т.п. Приток из пласта задавался экспоненциальной функцией достаточно близкой к реальным кривым дебита притока после остановки скважины.

Математическая формулировка задачи в рамках классического упругого режима фильтрации выглядит следующим образом

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\kappa}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial p}{\partial r} \right), \quad r_c < r < R_k, \quad t > 0$$

$$t = 0, \quad p = p_0,$$

$$r = r_c, \quad 0 < t < t_0, \quad \left(r \frac{\partial p}{\partial r}\right) = \frac{\mu q_0}{2\pi k h},$$

$$r = r_c, \quad t \geq t_0, \quad \left(r \frac{\partial p}{\partial r}\right) = \frac{\mu q_0}{2\pi k h} \exp(-0.0003(t - t_0))$$

$$r = R_k, \quad \left(r \frac{\partial p}{\partial r}\right) = 0$$

где t - время, r - радиальная координата, t_0 - момент остановки скважины, k - коэффициент проницаемости, p - давление.

Используемые параметры: радиус скважины r_c – 10 см, радиус контура питания R_k – 3000 м, проницаемость k - 0.5 мкм², вязкость нефти μ – 3 спз, коэффициент упругости $\beta=4*10^{-5}$ 1/ат, начальное пластовое давление $p_0=100$ ат, дебит q_0 - 10 см³/с, дебит притока $q_0 * \exp(-0.0003t)$, скважина 300 суток работала в стационарном режиме, была остановлена и 10 – суток регистрировалось восстанавливаемое давление.

Результаты были обработаны несколькими способами: без учета притока, с учетом того притока, который заложен в самой задаче (т.е. наиболее точный для данного примера), методом поправочного коэффициента. Графики представлены на рисунке 1. Обращает на себя внимание прямая, которая свидетельствует, что при учете точного дебита преобразованная зависимость является идеально линейной с первых же точек КВД. Указанное свойство и предлагается положить в основу обработки.

В данном примере метод поправочного коэффициента проявил себя не с лучшей стороны. Рассчитанный указанным способом дебит уже на времени 600 с имеет отклонение 21% от истинного и далее это отклонение быстро растет и доходит до 100%. По сути дела реально используется для определения гидродинамических параметров тот же диапазон точек, что и для метода без учета притока.

С целью улучшения точности определения притока по кривой давления было предложено следующее.

Во-первых, сгладить кривую изменения давления во времени, аппроксимировав полиномом, можно при этом использовать логарифмический

характер кривой давления после остановки скважины и аппроксимировать кривую давления в координатах $(P, \lg t)$.

Особое внимание необходимо уделить участку, расположенному до линейной части кривой. Главная задача состоит в линейризации более ранних точек. Однако вряд ли необходимо тратить время на линейризацию самых первых точек где-то до 10 мин. Это может оказаться даже невозможно.

Во-вторых, продифференцировать полученный полином аналитически, полученная кривая тоже будет гладкой.

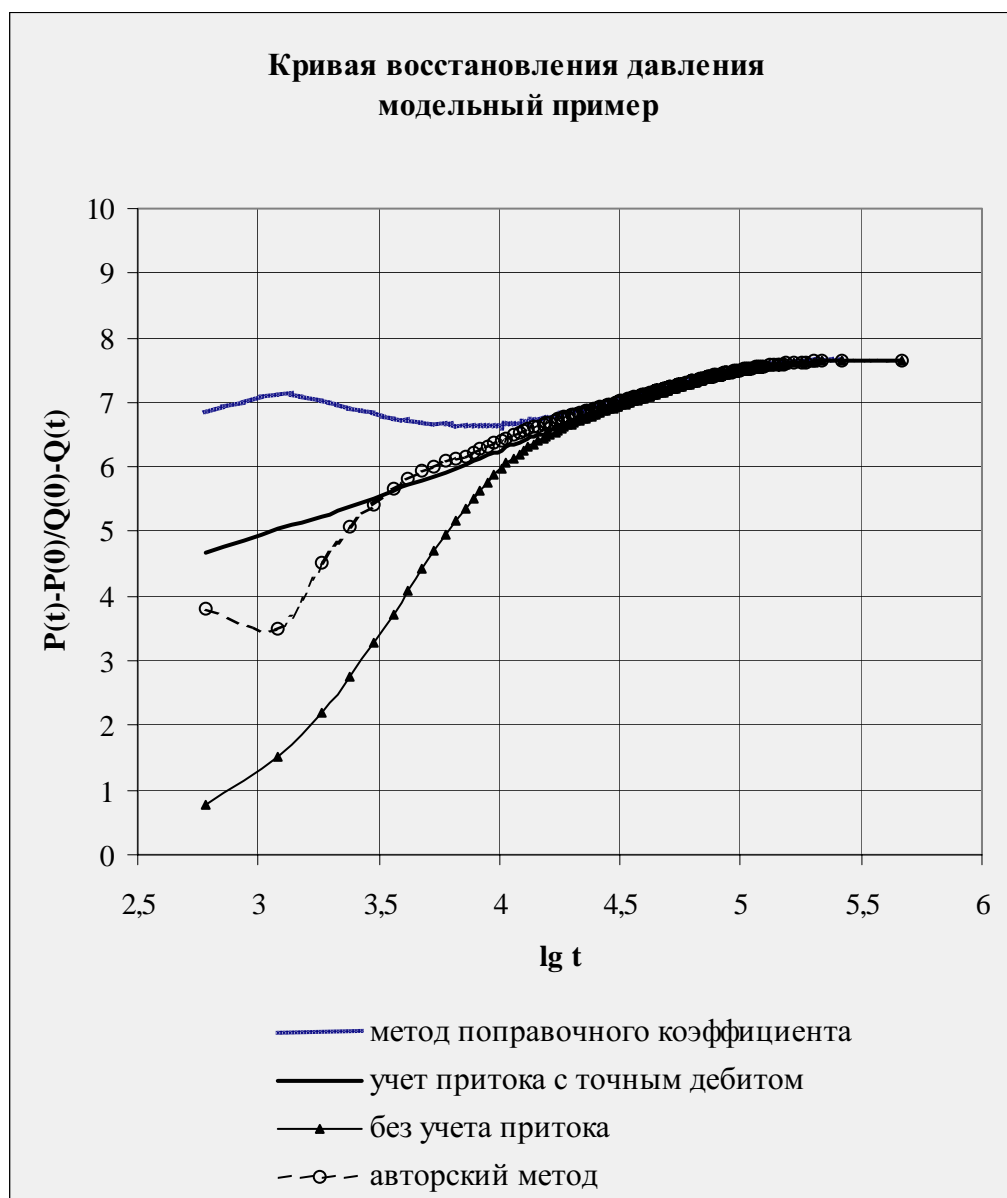


Рисунок 1

В-третьих, остается только подобрать поправочный коэффициент для преобразования последней кривой в реальный дебит. В данном случае предлагается подбирать его исходя из наилучшей линейризации КВД, построенной с учетом этого притока. Поскольку точный дебит, участвующий в преобразовании дает графически прямую линию, как это наглядно видно из приведенного графика.

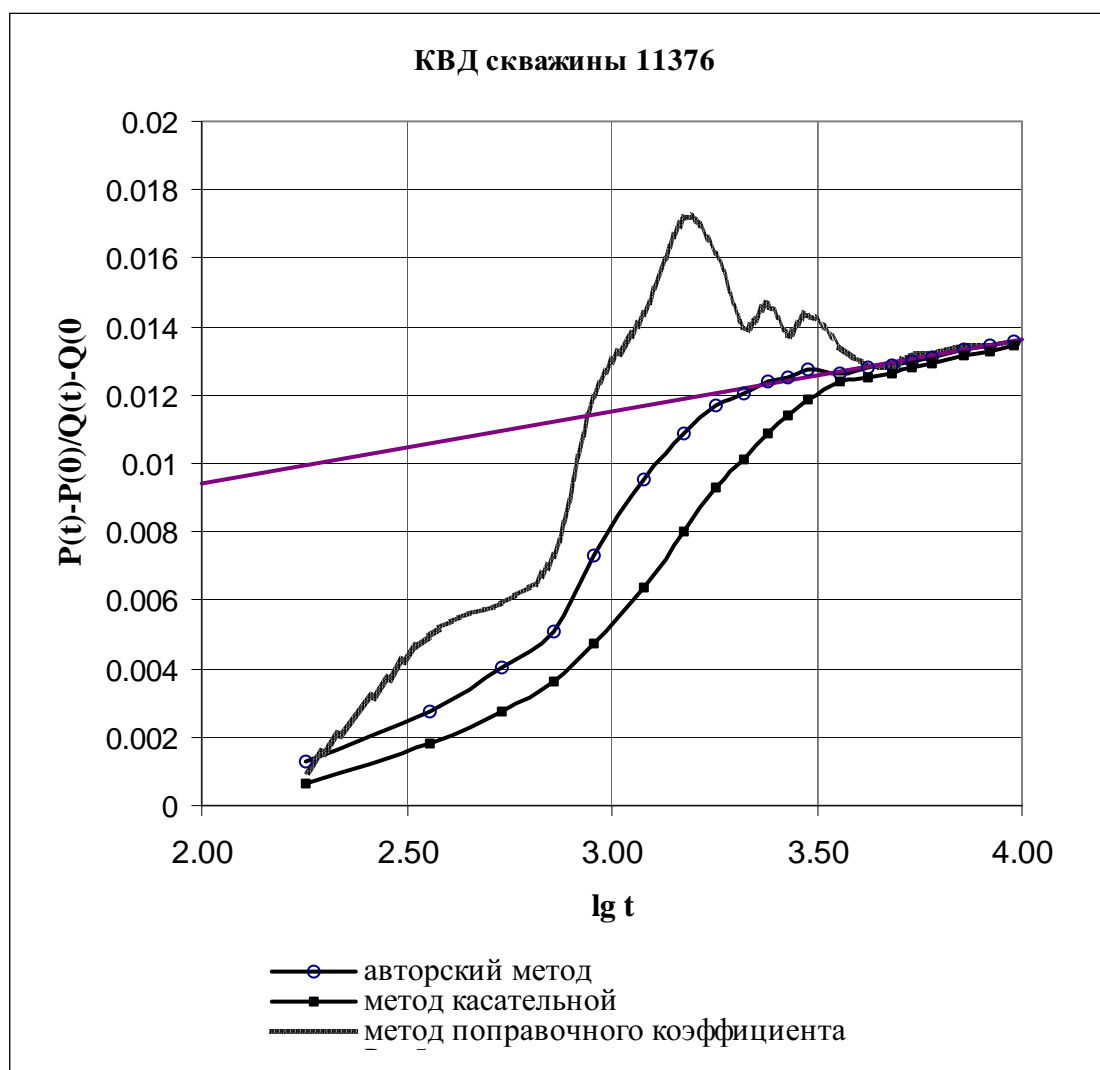


Рисунок 2

Звучит это гораздо сложнее, чем делается. Достаточно выполнять обработку в табличном редакторе Excel с любым коэффициентом в полученной функции притока и построить график, после чего любое изменение коэффициента

будет наглядно демонстрировать конечный график и можно визуально определять линейность. Для более серьезного подтверждения рекомендуется провести линейную линию тренда, вывести на график величину достоверности аппроксимации и ориентироваться на нее как на количественную оценку линейности.

Наилучшую линеаризацию даст наиболее точно подобранный, оставим за ним то же название, поправочный коэффициент.

В модельном примере линейный участок при такой обработке начинается ранее 2 часов после остановки скважины. Хотелось бы также обратить внимание, что в данном примере мы использовали точки с шагом 10 мин, что соответствует реальной возможности измерений.

Для примера обработки реальной КВД использованы данные, опубликованные в упомянутой работе [1]. Автор очень благодарен коллективу авторов работы [1] за представление результатов в табличном виде, что облегчает сопоставление методов. Все виды КВД (зарегистрированная и обработанная двумя методами) приведены на рисунке 2. Из графика видно, что предлагаемый метод по сравнению с методом поправочного коэффициента обеспечивает меньшую осцилляцию и большую уверенность в значении углового коэффициента, естественно возрастает величина достоверности аппроксимации. При этом интервал линейности кривой увеличивается в сторону меньших времен.

Литература

1. Гидродинамические исследования скважин и методы обработки результатов измерений / Хисамов Р.С., Сулейманов Э.И., Фархуллин Р.Г. и др.- М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 1999.-227с.