

Математическое моделирование термогидродинамических процессов в пласте
для определения структуры околоскважинной зоны

Л.А. Гайдуков¹, А.В. Новиков², Д.В. Посвянский³, Р.Р. Тухватуллина³

¹ОАО «НК «Роснефть»

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

³Роксар Технолоджис АС

Одна из основных проблем при разработке месторождений углеводородов заключается в высокой неопределённости параметров коллектора. Различные технологические процессы (бурение, перфорация, кислотная обработка) вносят дополнительную неопределённость, изменяя характеристики околоскважинной зоны (ОЗ). Для оценки фильтрационных характеристик пласта и ОЗ проводят комплекс ГДИС, который, однако, не в состоянии дать нам полную информацию относительно проницаемости и размеров ОЗ. Между тем эти данные позволяют более точно оценивать продуктивность скважины и принимать решения относительно использования методов интенсификации добычи.

В данной работе описывается метод, позволяющий оценить характеристики ОЗ пласта. Метод основан на использовании математического моделирования термогидродинамических процессов в пласте и последующей адаптации модели к скважинным данным – забойному давлению и температуре.

Основы описания термодинамических явлений в пористых средах были заложены более полувека тому назад (см. например [5]). Однако лишь в последние десятилетия появились и стали активно использоваться в промысловых исследованиях высокоточные температурные датчики с разрешением 0,001-0,01 °С. Это дало толчок к исследованиям температурных полей в коллекторах [2, 4] и попыткам интерпретации данных температуры [1, 3].

Нами была взята за основу модель двухфазного течения газированной нефти и газа с фазовыми переходами в неоднородном коллекторе, основные уравнения которой:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{mS}{B_o} \right) = \operatorname{div} \left(\frac{Kk_{ro}}{\mu_o B_o} \nabla p \right), \\ \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{m(1-S)}{B_g} + \frac{mSR_s}{B_o} \right) = \operatorname{div} \left(\frac{Kk_{rg}}{\mu_g B_g} \nabla p + \frac{Kk_{ro}R_s}{\mu_o B_o} \nabla p \right), \\ c_n \frac{\partial T}{\partial t} + qL - c\eta \frac{\partial p}{\partial t} + c\bar{v}\nabla T + c\varepsilon\bar{v}\nabla p = \operatorname{div}(\lambda_n \nabla p), \end{cases} \quad (1)$$

где первые два уравнения отвечают ЗСМ газа и нефти, а последнее – ЗСЭ. Параметры, входящие в уравнение на энергию – эффективные характеристики потока, с индексом n – всей среды. Член qL отвечает за поглощение энергии при разгазировании.

Решая систему (1) в случае плоско-радиальной симметрии, задав все граничные и начальные условия, с указанной проницаемостью пористой среды: $k = k(r)$, мы получили профили давления и температуры.

Адаптируя полученное решение к данным по забойному давлению можно получить скин-фактор s , связанный с параметрами ОЗ:

$$s = \left(\frac{k}{k_s} - 1 \right) \ln \left(\frac{r_s}{r_w} \right), \quad (2)$$

где k_s , r_s – проницаемость и радиус ОЗ. Отдельно выделить эти характеристики из данных по давлению не представляется возможным. На рис. 1а представлены рассчитанные кривые для давления с одинаковым скин-фактором и различных значениях радиуса и проницаемости. Из этих кривых видно, что давление не отражает изменение этих величин.

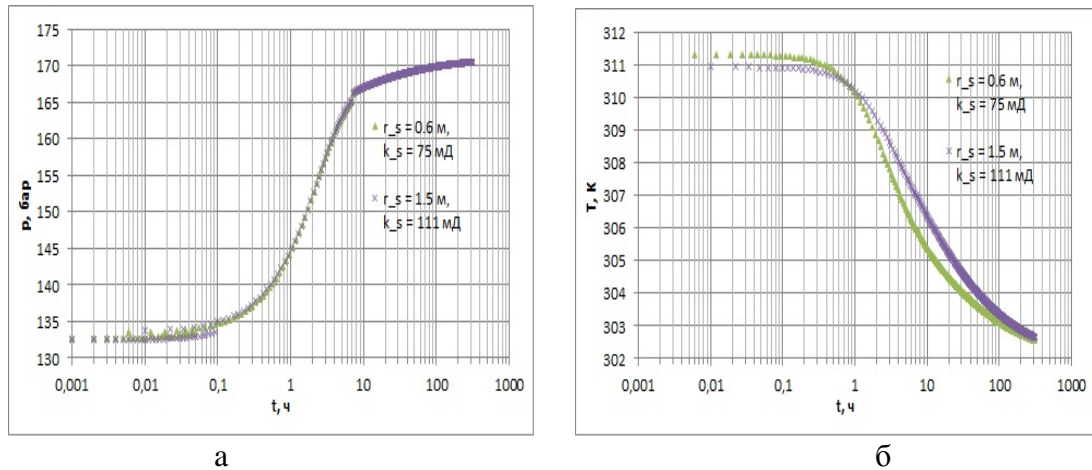


Рис. 1. Динамика забойных давления (а) и температуры (б) при одинаковом скин-факторе и различных k_s , r_s .

На рис. 1б изображены аналогичные кривые для температуры. Как можно видеть, динамика забойной температуры чувствительна к параметрам k_s , r_s . Этот факт обуславливается низкой скоростью протекания тепловых процессов, по сравнению со скоростью гидродинамических. На рис. 2 показан пример адаптации расчётной модели к данным по забойной температуре при остановке скважины на ГДИ. Отклонение графиков в области 0,1-5 часов обуславливается послепритоком, т.е. перераспределением флюидов в стволе скважины при её остановке.

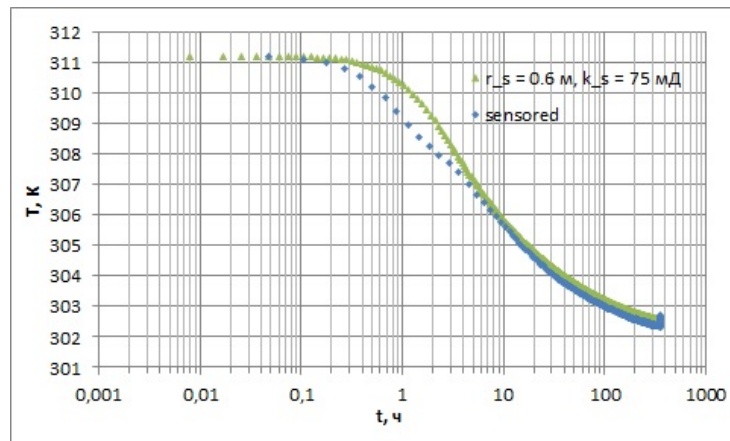


Рис. 2. Пример адаптации расчётной модели к скважинным данным по температуре.

Литература

1. *Posvyanskii D.V., Gaidukov L.A., Tukhvatullina R.R.* Estimating Bottom Hole Damage Zone Parameters Based on Mathematical Model of Thermo-hydrodynamic Processes // ECMOR XIV. – 2014.
2. *Рамазанов А.Ш.* Теоретические основы термогидродинамических методов исследования нефтяных пластов / Автореф. дис. докт. техн. наук . - Уфа, 2004.
3. *Ramazanov A.Sh., Valiullin R.A., Sadretdinov A.A., Shako V.V., Pimenov V.P., Fedorov V.N., Belov K.V.* Thermal Modeling for Characterization of Near Wellbore Zone and Zonal Allocation. SPE 136256, Moscow: SPE Russian Oil and Gas Conference and Exhibition, 2010.
4. *Рамазанов А.Ш., Паршин А.В.* Температурное поле в нефте-водонасыщенном пласте с учётом разгазирования нефти // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2006. №1. URL: http://ogbus.ru/authors/Ramazanov/Ramazanov_1.pdf.
5. *Чекалюк Э.Б.* Термодинамика нефтяного пласта. - М.: Недра, 1965.- 238 с.