

### **Основные выводы и рекомендации**

В работе выявлено, что для условий терригенных, низкопроницаемых, порово-трещиноватых коллекторов месторождений ТПП «Урайнефтегаз», для определения времени наступления радиального притока жидкости в скважину применим метод расчета по правилу Чена и Бригхэма (Chen and Brigham).

Построена зависимость дебита от реального и расчетного времени начала радиального притока, на основании которой получено уравнение для оперативного планирования ГДИС на стадии поисково-разведочных работ или на начальной стадии разработки месторождений, приуроченных к ТПП «Урайнефтегаз». Применимость предложенного метода подтверждена расчетами реальных КВД, а также с помощью моделирования в ПО Saphir Kappa Eng.

### *Литература*

1. *Корпоративное* методическое руководство по проведению и интерпретации гидродинамических исследований скважин для условий терригенных и карбонатных пластов месторождений группы «ЛУКОЙЛ». Редакция 1.0. М.: ОАО «ЛУКОЙЛ», 2012.
2. *Эрлагер Роберт мл.* Гидродинамические исследования скважин: пер. с англ. А.В. Щebetова; под ред. М.М. Хасанова. Москва; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006. 512 с.
3. *Регламент* приемки, контроля качества ГДИ и формирования баз данных гидродинамических исследований скважин в организациях группы «ЛУКОЙЛ». М.: ОАО «ЛУКОЙЛ», 2012.

### **ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТОВ, ОБУСЛОВЛИВАЮЩИХ НЕЛИНЕЙНЫЙ ХАРАКТЕР ИНДИКАТОРНЫХ ДИАГРАММ В КАРБОНАТНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ С ЗОНАЛЬНО-НЕОДНОРОДНЫМ СТРОЕНИЕМ ПЛАСТА**

*В.Н. Федоров, Э.М. Салимгареева, А.В. Чудинова  
(ООО «БашНИПИнефть»)*

Карбонатные месторождения с естественной трещиноватостью являются сложными объектами для изучения [1], требуют собственных подходов при моделировании [2] и разработке. Такие месторождения часто характеризуются высокими темпами падения пластового давления и добычи уже в первые годы эксплуатации в режиме

истощения [3]. Данное поведение может быть обусловлено особенностями строения коллекторов такого типа, а именно: неоднородным распределением трещинно-каверновых зон в пространстве по латерали [4] (рис. 1) или изменением раскрытости трещин при падении пластового давления [5]. Два данных эффекта могут быть обнаружены в процессе проведения гидродинамических исследований по нелинейному характеру зависимости дебита от давления на индикаторных диаграммах (ИД). Целью настоящей работы было нахождение алгоритма разделения двух описанных эффектов.

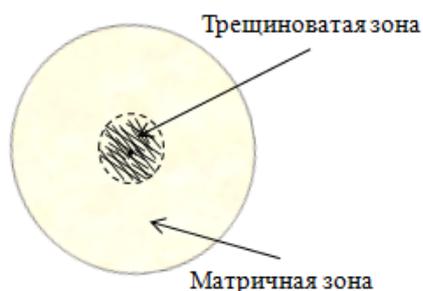


Рис. 1. Зонально-неоднородная модель строения пласта

В ходе работы были изучены особенности определения коэффициента продуктивности по данным ГДИС на установившихся отборах в условиях ограниченности простираия трещинно-каверновых зон, пересекающих скважину, в пространстве по латерали в матричной среде (см. рис. 1), что хорошо описывается зонально-неоднородной моделью строения пласта [4, 6]. В ходе работы было выявлено, что за время проведения исследования на установившихся отборах в такой системе возможно падение коэффициента продуктивности, связанное с быстрым истощением трещинно-каверновых зон и со все большим вовлечением в работу матричной среды, что приводит к нелинейной зависимости дебита от забойного давления.

Разделение описанного эффекта и эффекта «схлопывания» трещин авторами предложено производить по следующему алгоритму: необходимо произвести расчет давления на границе смены коллекторских свойств для каждого из режимов по зависимости изменения пластового давления на границе смены свойств от накопленного отбора, далее построить скорректированную ИД по депрессии, рассчитанной от этого пластового давления. Если полученная скорректиро-

ванная индикаторная диаграмма примет линейный вид, то процесс «схлопывания» трещин не происходит, нелинейность ИД вызвана особенностями строения пласта.

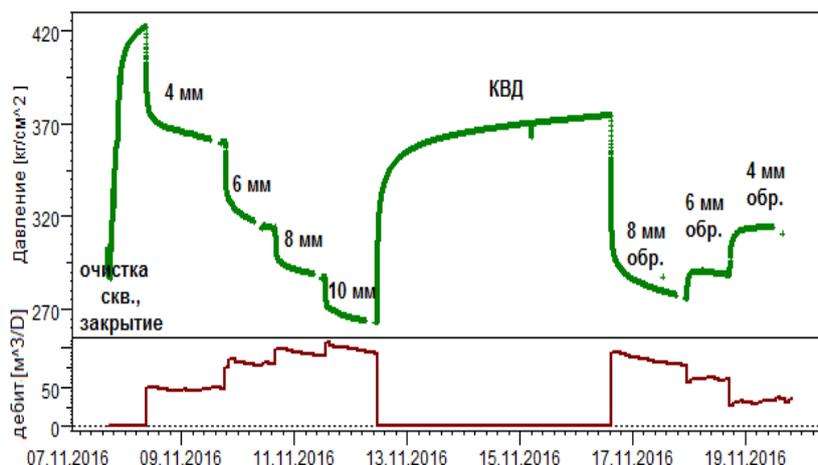


Рис. 2. Ход исследования

В настоящей работе в качестве примера использования предложенного подхода приводится анализ реального исследования скважины № 1 карбонатного месторождения А ПАО АНК «Башнефть», ход которого представлен на рис. 2. Показано, что нелинейность ИД вызвана особенностями строения пласта в окрестности скважины, а не «схлопыванием» трещин. На рис. 3 представлена зависимость пластового давления на границе смены свойств от накопленного отбора. Начальная и скорректированная индикаторные диаграммы представлены на рис. 4. Полученная с учетом изменения пластового давления на границе смены свойств индикаторная диаграмма имеет линейный вид и характеризует ближнюю к скважине зону. Также отсутствие эффекта «схлопывания» трещин подтверждается данными промыслово-геофизических исследований скважины (ПГИС): работающая толщина остается постоянной при изменении депрессии на разных режимах работы скважины (рис. 5).



Рис. 3. Зависимость пластового давления на границе смены свойств от накопленной добычи

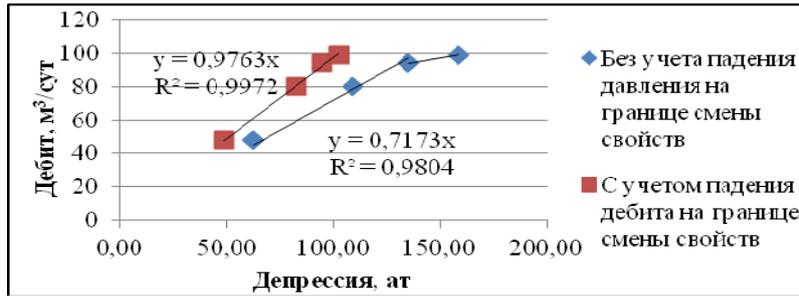


Рис. 4. Пример индикаторных диаграмм с корректировкой и без корректировки

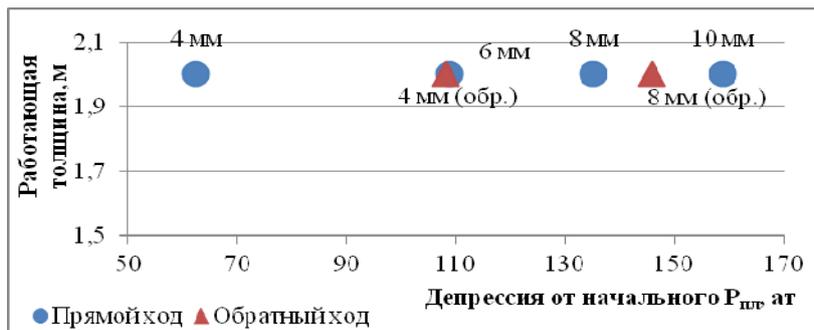
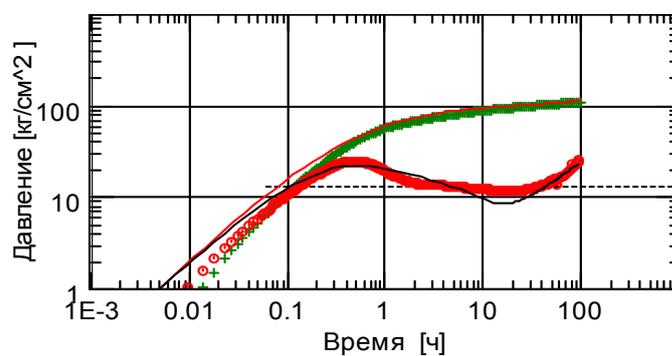


Рис. 5. Работающая толщина, определенная по результатам ПГИС, проведенных на разных режимах работы скважины

Обработка и интерпретация КВД, зарегистрированной в данной скважине после проведения исследования на установившихся отборах, также подтвердили, что система «скважина–пласт» хорошо описывается моделью с зонально-неоднородным строением пласта (рис. 6).



А)

0

Скважина = Вертикальная  
 Пласт = Радиальная композитная  
 Граница = Бесконечн.  
 $P_i = 422 \text{ кг/см}^2$   
 $k.h = 87.8 \text{ md.m}$   
 $k = 43.9 \text{ md}$   
 $M = 56$   
 $D = 180$   
 $R_i = 240 \text{ м}$   
 Скин = -3.75  
 $C = 0.027 \text{ м}^3/\text{бар}$

Б)

Рис. 6. Диагностический график и модельная кривая – А;  
 Б – результаты интерпретации

Предложенный в работе подход дает возможность выявить причину снижения продуктивности пласта, а также выбрать оптимальный режим работы скважины, исключая потерю добычи, так как когда имеет место эффект изменения апертуры трещин, требует-

ся определение максимальной депрессии, в пределах которой исключается снижение продуктивности пласта. Если данный эффект не наблюдается, то в качестве минимального забойного давления может служить давление насыщения – при снижении забойного давления ниже давления насыщения происходит выделение свободного газа и снижение фазовой проницаемости по нефти, что ведет к потере продуктивности.

Предложенный авторами алгоритм активно применяется на практике для обработки реальных исследований. На примере исследования скважины № 1 карбонатного месторождения А ПАО АНК «Башнефть» показано, что эффект «схлопывания» трещин отсутствует, падение коэффициента продуктивности происходит по причине быстрого истощения трещинно-каверновых зон и все большего вовлечения в работу матричной среды.

#### *Литература*

1. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа. М.: Недра, 1972. 288 с.
2. Баренблатт Г.И., Желтов Ю.П., Кочина И.Н. Об основных представлениях теории фильтрации однородных жидкостей в трещиноватых породах // Прикладная математика и механика. 1960. Т. 24, вып. 5.
3. *Naturally Fractured Reservoirs Characterization* / W. Narr, D.W. Schlechter, L.B. Thompson. SPE monography, 2006.
4. Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидромеханика. М.: Недра, 1993. 416 с.
5. Николаевский В.Н. Геомеханика и флюидодинамика. М.: Недра, 1996. 447 с.
6. *Pressure Behavior of a Limited Circular Composite Reservoir* / R.D. Carter. SPE. December 1966.