

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДЛЯ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ НЕФТИ И ГАЗА

А. Ю. Быдзан, к. т. н., ст. преп., ЦППС НД ТПУ
В. П. Меркулов, к. г.-м. н., доцент, ЦППС НД ТПУ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДЛЯ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ НЕФТИ И ГАЗА

Анизотропия горизонтальной (латеральной) проницаемости коллекторов нефти и газа является широко распространенным явлением и оказывает существенное влияние на гидродинамические процессы при разработке месторождений. Одной из причин анизотропии являются особенности осадконакопления при формировании коллектора, а именно преимущественная ориентация зерен в породе. Анизотропные коллекторы, как правило, при заводнении обнаруживают более ранний прорыв воды в некотором направлении, что нередко сопровождается формированием областей с неизвлеченными запасами. Подобный характер течения флюидов в пласте оказывает влияние как на охват залежи заводнением, так и на коэффициент извлечения нефти и экономические показатели разработки месторождения в целом. В связи с этим необходимость учета анизотропии при управлении разработкой месторождения вполне очевидна.

В настоящее время основной методикой определения анизотропии горизонтальной проницаемости является комплексное гидропрослушивание (рис. 1).

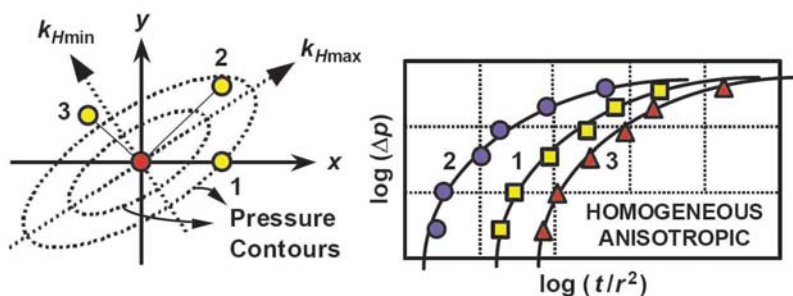


Рис. 1. К пояснению методики гидропрослушивания (Papadopoulos, Ramey)

Данная методика (Papadopoulos [1], Ramey [2]), позволяющая определять как ориентацию, так и величину анизотропии, основана на регистрации изменений давления одновременно в нескольких наблюдательных скважинах, расположенных вокруг активной скважины. Такие исследования являются дорогостоящими,

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДЛЯ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ НЕФТИ И ГАЗА

продолжительными (особенно в случае низкопроницаемых коллекторов) и проводятся сравнительно редко. По этой причине для получения информации об анизотропии необходима другая методика – менее дорогостоящая и более доступная. Определение анизотропии горизонтальной проницаемости вполне возможно на основе более доступных источников информации, в частности данных ГИС, литологического анализа [3, 4], а также гидродинамического моделирования и истории разработки месторождения.

В качестве объекта настоящего исследования была выбрана часть нефтяной залежи в пласте Ю1 Крапивинского нефтяного месторождения (рис. 2).

На выбранном участке коллектор сложен песчаниками, сформированными в условиях прибрежно-морской обстановки осадконакопления. Песчаники подобного типа во многих случаях анизотропны по проницаемости вдоль поверхности залегания пласта. Это объясняется, прежде всего, преимущественной ориентацией зерен породы, возникающей вследствие волноприбойной деятельности моря при накоплении осадочного материала. Целью исследования было определение ориентации и величины анизотропии проницаемости в рассматриваемом пласте.

Согласно литологическому анализу [3, 4] коллектор сформирован преимущественно аркозовыми и мезомиктовыми песчаниками, для которых характерна выраженная преимущественная ориентация зерен кварца (рис. 3). На ориентированном керне, полученном с применением палеомагнитного метода, были проведены литологические исследования, в результате которых установлено, что большая часть зерен породы имеет упорядоченную ориентацию в северо-восточном направлении (азимут $\sim 40^\circ$).

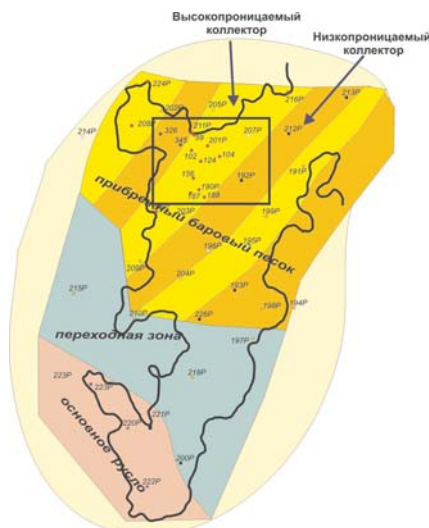


Рис. 2. Фаціальная карта
Крапивинської площини
(прямокутником показана
область дослідження)

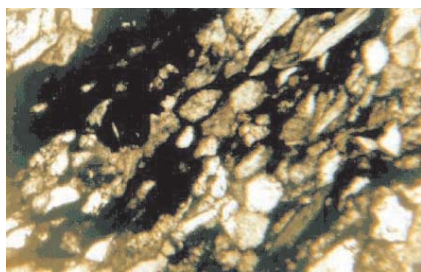


Рис. 3. Песчаник с преимущественной
ориентацией зерен кварца в С-В

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДЛЯ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ НЕФТИ И ГАЗА

С целью определения ориентации анизотропии в различных точках пласта осуществляли картирование проницаемости. Для расчета проницаемости были использованы данные интерпретации стандартного комплекса ГИС (акустический, нейтронный, гамма- и ПС - каротажи) по 18 соседним скважинам. Пласт был разделен на слои, для которых были построены карты проницаемости. Было установлено, что в наиболее проницаемой части пласта (0-9 м от кровли пласта) изолинии проницаемости закономерно ориентированы в северо-восточном направлении, образуя азимут $\sim 40^\circ$ (рис. 4).

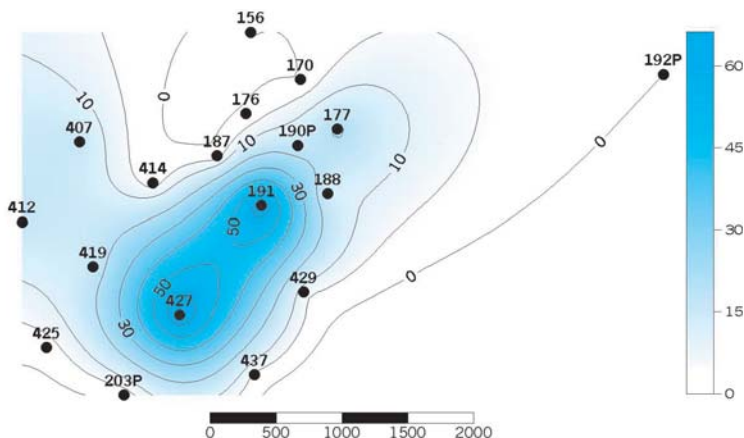


Рис. 4. Карта проницаемости для верхней части пласта (0-2 м от кровли)

В низкопроницаемой части пласта (9-23 м от кровли пласта) ориентация изолиний приобретает неупорядоченный характер. Фактически ориентация изолиний проницаемости идентична ориентации древней береговой линии согласно фациальному анализу (рис. 2), а также преимущественной ориентации зерен кварца согласно литологическому анализу (рис. 3). Таким образом, ориентация анизотропии в различных точках пласта соответствует ориентации изолиний проницаемости в высокопроницаемом слое.

Величина анизотропии проницаемости была оценена с применением двух методик. В основе первой методики было проведение лабораторных измерений проницаемости на ориентированном керне [2]. Для этого были выпилены образцы в двух взаимно-перпендикулярных направлениях параллельно и перпендикулярно направлению преимущественной ориентации зерен кварца. Величина анизотропии была оценена как соотношение максимальной и минимальной проницаемостей, измеренных на керне. Все исследованные образцы коллекции (13 образцов) обнаружили значения величины анизотропии больше единицы. Достигая значения

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДЛЯ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ НЕФТИ И ГАЗА

6.96, большая часть значений легла в область между 1.13 и 2.0 при среднем арифметическом 1.62

В основе второй методики определения величины анизотропии была адаптация гидродинамической модели на основе данных истории разработки месторождения на исследуемом участке. Для того чтобы предусмотреть в модели ориентацию анизотропии, сетка модели была переориентирована в северо-восточном направлении (азимут $\sim 40^\circ$). В качестве анализируемого параметра для адаптации модели использовали обводненность добывающих скважин на участке, охваченном заводнением, основываясь на том, что прорыв воды происходит быстрее в направлении $k_{H\max}$. В качестве адаптируемого параметра использовали величину анизотропии:

$$\frac{k_{H\max}}{k_{H\min}} = \text{var} \quad (1)$$

При адаптации в целях сохранения исходного распределения проницаемости в модели эффективную проницаемость в каждой ячейке фиксировали постоянной:

$$k_e = \sqrt{k_{H\max} k_{H\min}} = \text{const} \quad (2)$$

При гидродинамических расчетах с разными значениями $k_{H\max}/k_{H\min}$ для каждой анализируемой скважины получали расчетную обводненность, которую сравнивали с фактической. Сущность методики заключалась в том, чтобы определить величину анизотропии $k_{H\max}/k_{H\min}$, при которой погрешность D в расчете обводненности добывающих скважин была бы минимальной. Для оценки величины анизотропии на рассматриваемом участке месторождения была выбрана группа скважин (1 нагнетательная и 6 добывающих вокруг нее), в которой на момент исследования прорыв воды произошел ко всем добывающим скважинам (рис. 5).

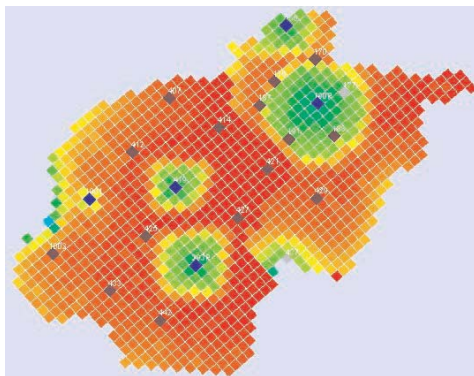


Рис. 5. Фрагмент гидродинамической модели Крапивинского м/р

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДЛЯ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ НЕФТИ И ГАЗА

Как показано на рис. 6, минимальная погрешность в расчете обводненности была получена при значениях $k_{Hmax}/k_{Hmin} = 1.69, 1.52$ и 1.96 , среднее арифметическое 1.72 . Следует отметить, что полученные значения величины анизотропии оказались достаточно близкими к значениям, полученным на ориентированном керне.

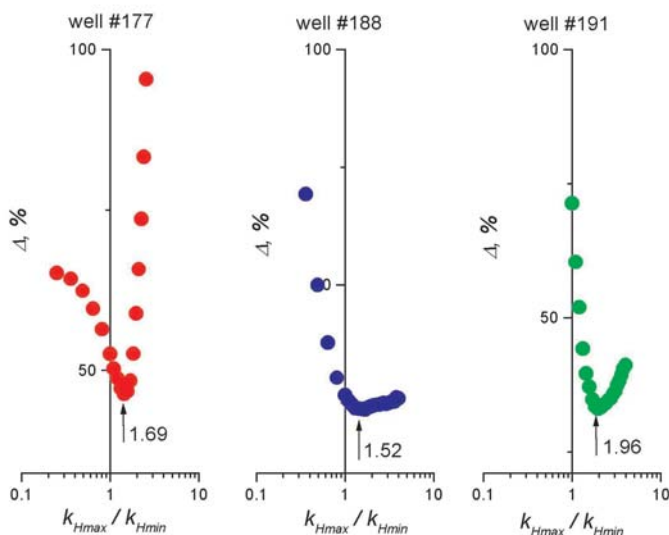


Рис. 6. Погрешность в расчете обводненности при различных значениях

На основе полученных результатов нами предлагается новая методика определения анизотропии горизонтальной проницаемости на основе данных ГИС, лабораторных исследований керна, а также гидродинамической модели и истории разработки месторождения. Данная методика может быть применима к коллекторам с межзерновым типом пористости, анизотропным вследствие преимущественной ориентации зерен в породе. Предлагаемая методика включает:

- 1) определение ориентации анизотропии на основе картирования проницаемости высокопроницаемой части пласта;
- 2) определение величины анизотропии по лабораторным измерениям на ориентированном керне либо путем адаптации гидродинамической модели по обводненности продукции.

Учет анизотропии проницаемости может обеспечить построение более точной гидродинамической модели месторождения и послужить задачам управления разработкой, в частности управления заводнением, размещения скважин, уплотняющего бурения, задания азимута горизонтальных скважин, выбора

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ АНИЗОТРОПИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ
ДЛЯ ПЕТРОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ НЕФТИ И ГАЗА**

кандидатов для проведения ГРП. При решении данных задач информация об анизотропии проницаемости традиционно имеет большое значение.

Литература

1. *Papadopoulos, I.S.*: Nonsteady Flow to a Well in an Infinite Anisotropic Aquifer: Dubrovnik Symposium on the Hydrology of Fractured Rocks. Dubrovnik, Yugoslavia, 1965.
2. *Ramey, H.J.*: Interference Analysis for Anisotropic Formations A Case History. J. Petrol. Tech. (Oct. 1975) 1290-1298; Trans., AIME, 259.
3. Меркулов В.П., Краснощекова Л.А. Исследование пространственной литолого-петрофизической неоднородности продуктивных коллекторов месторождений нефти и газа.// Известия ТПУ, Т. 305, вып. 6, 2002, С. 296 - 303
4. Александров Д.В., Меркулов В.П., Краснощёкова Л.А., и др. Методика и результаты изучения анизотропии верхнеюрских коллекторов (на примере Крапивинского месторождения углеводородов).// Геофизические методы при разведке недр и экологических исследованиях. Материалы Всерос. Науч.-техн. Конф. Томск, 2003. С.114-120