ГЕОЛОГИЯ

Модификация уравнения Арчи для определения водонасыщенности нефтяного месторождения Восточный Багдад

АЛЬ-ОБЕЙДИ СУАД ХАМИД

Практическая ценность этой работы заключается в повышении эффективности разведки нефтяных и газовых месторождений в Восточном Багдаде за счет оптимизации и сокращения комплекса каротажа скважин, отбора керна, отбора проб и испытаний пластов пластов и компьютеризации данных интерпретации для обеспечения необходимой точности и надежности определения петрофизических параметров, которые позволят уточнить и увеличить доказанные запасы месторождений углеводородов в Восточном Багдаде. Для расчета наиболее точных значений водонасыщенности для каждого интервала Зубайрской пласты была разработана конкретная модифицированная форма уравнения Арчи, соответствующая этой формации.

Ключевые слова: Арчи, Пористость, Каротаж, Водонасыщенность.

Введение

Эффективность разведки нефтяных и газовых месторождений во многом определяется уровнем и объемом сейсмических работ, методами и приемами каротажа скважин. Решение задачи, безусловно, основано на данных ГИС для выделения несущих зон и определения их параметров, которые затем используются для подсчета запасов нефти и газа. Для характеристики водонасыщенности пород-коллекторов используется коэффициент водонасыщенности (S_w). Водонасыщенность пласта определяется как отношение объема пор, заполненных водой, к общему объему порового пространства. Для определения S_w необходимо знать многие другие петрофизические параметры, которые могут быть получены при каротажном исследовании ствола скважины или лабораторными измерениями керна. Наиболее распространенным из методов, используемых для определения S_w , является знаменитая формула Арчи:

$$S_w = \sqrt[n]{\frac{a R_w}{\phi^m R_t}} \quad (1)$$

фактор извилистости
водонасыщенность
показатель насыщения
пористость
удельное сопротивление пластовой воды
коэффициент цементирования
удельное сопротивление пласта

Для чистых зернистых песчаников общепринятые значения следующие: $n = m = 2$, $a = 1$ и (1) становится;

$$S_w = \sqrt{\frac{R_w}{\phi R_t}} \quad (2)$$

Методология

Поскольку формула Арчи в этой форме дает хорошие результаты только в Чистых терригенных пластах [1 , 2], в данной работе предлагается модифицированная форма формулы Арчи, в которой использовались конкретные значения «m» и «a». Эта модифицированная форма позволяет использовать формулу Арчи как в чистых, так и в глинистых пластах, особенно для месторождений Восточного Багдада. Как видно из уравнения Арчи, важным для точного определения насыщения является определение коэффициента пористости (ϕ) [3].

Пористость Пласта

Пористость различных интервалов Зубаирской пласты (Восточно-багдадское месторождение, территория Ирака) рассчитывалась по нескольким методикам с целью выбора наиболее точного значения пористости, которое используется при определении насыщенности коллектора. В связи со значительным влиянием пористости на расчет водонасыщенности (S_w) были рассмотрены следующие методы определения пористости [4]:

- Метод нейтронного каротажа (НГК);
- Метод регистрации плотности (ГГК-П);
- Метод построения кросс-плотов на комплексе (НГК)- (ГГК-П);
- Акустический (акустический каротаж) метод, использующий среднее время

уравнение (АК).

В качестве эталонных значений пористости (для корректировки результатов интерпретации этих методов) использовались значения пористости, определенные по керну. В результате сравнения значений пористости, полученных в соответствии с комплексом этих методов, и измеренных значений пористости пласта из анализа керна, было обнаружено, что наиболее приемлемыми параметрами корреляции по сравнению с другими используемыми методами является интегрированный метод построения кросс- плот (с использованием метод треугольника, см. Таблицу1). Наиболее предпочтительным в задаче определения пористости пласта является использование метода треугольника, поскольку, согласно статистическому анализу, коэффициент корреляции для этого метода самый высокий, а погрешность в процентах - самая низкая. Эти рассчитанные значения пористости затем используются при определении водонасыщенности с использованием уравнения Арчи.

Таблица 1: Параметры корреляции для метода НГК, ГГК-П и АК как индивидуальных индикаторов, так и комбинационных индикаторов при определении пористости пласта.

Метод	Средняя процентная ошибка, %	Абсолютная средняя ошибка, %	Ошибка стандартного отклонения, %	Коэффициент корреляции
НГК	+1.699	4.870	6.853	0.906
ГГК-П	+1.262	5.648	7.4931	0.883
НГК, ГГК-П метод кросс-плот (с использованием метод треугольника)	+2.276	4.591	6.244	0.923
НГК, ГГК-П кросс-плот (использование стандартных диаграмм)	+13.096	13.096	14.739	0.884
АК	-11.555	11.576	12.511	0.922

Сравнение значений пористости пласта, рассчитанных разными методами каротажа, с измеренными значениями пористости представлено графически на рис.3. Этот Рис. Подтверждает результат Таблицы 1. Он показывает, что наиболее точные значения пористости пласта рассчитаны методом кросс-плотов ((методом треугольника).

Факторы Цементации И Изивочности

Основные значения степени цементации m и коэффициента извилистости a (постоянной, зависящей от состояния горных пород) принимают следующие значения: $m = 2,0$ и $a = 1,0$.

Эти значения широко используются в различных исследованиях как наиболее типичные значения этих параметров. Однако, как отмечают многие авторы, значения этих параметров могут различаться для разных типов залежей и существенно влиять на определение насыщенности пластов, особенно при интерпретации данных ГИС с использованием таких методов, как метод, основанный на использовании уравнений Арчи [5].

Рис. 1: Влияние m , a и n на расчетные значения водонасыщенности, $(Sw)_{\text{кал.}}$ (где Sw_{meas} - водонасыщенность, измеренная лабораторно).

Установлено, что параметр m оказывает большее влияние на расчет коэффициента водонасыщенности, чем параметр a , как видно из Рис. 1. Таким образом, коэффициент цементации m следует рассматривать как более информативный параметр [6]. Теоретическую основу применяемого метода можно легко установить при логарифмическом представлении уравнения Арчи, когда классическое значение, принятое для n , равно 2.

$$\log R_t = -m \log \phi + \log a R_w - 2 \log S_w \quad (3)$$

Описанный выше метод обеспечивает графическое определение значений удельного сопротивления пластовой воды R_w и коэффициента водонасыщения S_w . Для определения R_w , как видно из уравнения 3, при значении $S_w = 100\%$ (в водоносных зонах при 100% - ном водонасыщении) существует линейная зависимость между удельным сопротивлением и пористостью следующим образом:

$$\log R_t = -m \log \phi + \log R_w \quad (4)$$

Линия, определяемая этим уравнением, должна проходить через нижние точки удельного сопротивления на логарифмической диаграмме ($\log R_t$) и ($\log \phi$) для водоносных зон. Эта линия представляется наиболее точной для всего диапазона значений. Наклон этой прямой численно равен m , Как видно из уравнения 4, а ее пересечение с осью $\phi = 100\%$ определяет значения R_w и следующим образом:

$$\log (\text{intersection point}) - \log (a R_t) \quad (5)$$

Для определения конкретных значений m и a , характерных для пласта Зубайр, было использовано значение $R_w = 0,018$ Ом-м. Это значение было рассчитано по кажущемуся удельному сопротивлению по данным каротажа скважин и результатам лабораторных измерений. Для наиболее точных значений водонасыщенности для каждого интервала Зубайрской пласти, основанных на модифицированной форме уравнения Арчи, как показано на Рис.2, были получены следующие значения $m = 1,917$ и $a = 0,583$.

Специфическое Модифицированное Уравнение Арчи

Подстановка значений $m = 1,917$ и $a = 0,583$ в уравнение 3 приводит к следующему виду уравнения Арчи:

$$\log R_t = -1,917 \log \phi + \log R_w - 2 \log S_w + \log 0,583$$

$$S_w = \sqrt{\frac{0,010}{\phi_{tr}^{1,917} R_t}} \quad (6)$$

Где: ϕ_{tr} - пористость, полученная методом треугольника [7].

Рис. 2. Зависимость R_t от ϕ

Table 2 : Значения S_w , полученные по модифицированным и стандартным уравнениям Арчи и по результатам лабораторных измерений для ряда выбранных интервалов залежи зубаир.

Номер скважины	Глубина, м	R_t ом.м	ϕ_{tr} %	$S_w\%$ Модифицированная формула Арчи	$S_w\%$ Стандартная формула Арчи	$S_w\%$, рассчитанный
ЕВ-55	3400	20	13.0	16.1	23	15-7
	3457	20	16.3	13.0	18.4	14
ЕВ-79	3030	30	6.0	27.7	40.8	26-1
	3070	17	10.5	21.5	30.9	20-9
ЕВ-77	3135	30	5.5	30.1	44.5	32-4
ЕВ-55	3007	5.5	16.3	24.8	35.1	22-8
	3150	6	15	25.7	36.5	27-5
ЕВ-15	3558	4	10.5	44.4	63.3	48-5
	3720	80	7.3	13.9	26.5	15
ЕВ-18	3505	18	5.3	40.3	59.6	43-6
	3855	1.7	14.1	51.2	72.9	53

Значения удельного сопротивления пласта (R_t) определены по данным индукционного каротажа. Оценка точности значений водонасыщенности, рассчитанных в соответствии с модифицированным уравнением Арчи и стандартным уравнением Арчи, проводилась по результатам тестирования продуктивности нефти из исследованных пластов на буровых трубах [8 , 9]. Сравнение данных (таблица 2) показывает, что значения водонасыщенности, полученные по модифицированному уравнению Арчи, лучше согласуются с результатами испытания скважины, чем значения водонасыщенности, полученные с использованием стандартного уравнения Арчи.

Рис. 3: Сравнение измеренной пористости ($\phi_{\text{Керн}}$) с расчетной пористостью ($\phi_{\text{каротаж}}$) для скважины № (ЕВ-56).

Выводы

На основе статистического анализа корреляционных параметров различных методов каротажа скважин, используемых для расчета эффективной пористости пласта, достоверность более точных результатов повышается за счет использования комплексных методик, состоящих из нейтронного и плотностного каротажей с использованием технологии кросс-плота. Выведена конкретная и модифицированная форма известного уравнения Арчи для определения водонасыщенности пласта.

Данное уравнение позволяет повысить точность определения коэффициентов нефтегазонасыщенности S_o и S_g . Как известно, точное определение коэффициентов нефте-и газонасыщенности приводит к более точной оценке запасов пласта.

Литература

- [1] Schlumberger log Interpretation Principles. Schlumberger Ltd., 1991.
- [2] Al-Obaidi, Sudad H., and АЛЬ О. С. ХАМИД (1996). "Разработка Методики И Технологии Обработки Данных ГИС И Керна Для Определения Подсчетных Параметров Нефтегазовых Месторождений Ирака : На Прим. Месторождения Вост. Багдад." OSF Preprints, 10.31219/osf.io/f6vka.

- [3] Heslop. Porosity in shaly - sands. SPWLA, 1974.
- [4] Robert. Encyclopedia of well logging, 1984.
- [5] Al-Obaidi, Sudad H., and АЛЬ О. С. ХАМИД.(1996). “Определение Глинистости Продуктивных Пластов Месторождений Нефти И Газа Восточного Багдада.” OSF Preprints,10.31219/osf.io/dmw9c.
- [6] Poupon et al. Log analysis in formation with complex lithologies. J.Pet Tech., August, 1971.
- [7] Al-Obaidi, Sudad H.(1996). “Разработка Методики И Технологии Обработки Данных ГИС.” OSF Preprints,10.31219/osf.io/e68us.
- [8] Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources: An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries Outside the United States / U.S. E.I.A. – June 2013.
- [9] Al-Obaidi, Sudad H. (1990). “Comparison of Different Logging Techniques for Porosity Determination to Evaluate Water Saturation”.Baghdad University, 10.31224/osf.io/fvj9u.