УДК 622

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЛАНИРОВАНИЯ ГДИС ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

[1]Воробьева Е.С., [2]Севастьянов А.А.

[1]Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть», Тюмень, e-mail: VorobevaES@tmn.lukoil.com;

[2]ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: contact@ogtcentre.ru

В данной работе представлено обоснование необходимости применения комплекса гидродинамических исследований скважин (ГДИС). Приведены этапы планирования и задачи гидродинамических исследований. Выявлены наиболее характерные осложнения при проведении гидродинамических исследований скважин на нестационарных режимах фильтрации. Произведен анализ основных методик оценки времени наступления радиального притока для вертикальных скважин. На основе фактических данных выполнена сравнительная оценка прогнозируемого времени начала радиального притока жидкости в скважину по представленным методикам с использованием различных программных комплексов. Рассмотрена взаимосвязь времени наступления радиального притока от дебита, на котором скважина работала перед КВД. Разработана методика для оперативного планирования гидродинамических исследований скважин на стадии поисково-разведочных работ или на начальной стадии разработки месторождений.

Ключевые слова: гидродинамические исследования скважин (ГДИС), поисково-разведочные работы, КВД, время наступления радиального притока, правило Чена и Бригхэма

OPTIMIZATION OF THE PLANNING PROCESS HYDRODYNAMIC STUDIES FOR THE CONDUCT OF EXPLORATION

[1]Vorobeva E.S., [2]Sevastyanov A.A.

[1]Branch of OOO «LUKOIL-Engineering» «Kogalymnipineft Tyumen», Tyumen, e-mail: VorobevaES@tmn.lukoil.com;

[2]Federal Budget Educational Institution of Higher Education «Tyumen Industrial University», Tyumen, e-mail: contact@ogtcentre.ru

This paper presents the rationale for applying a set of wells hydrodynamic research (whdr). Given the planning stages and objectives of well testing. The most typical complications during well testing on unsteady filtration modes. Analysis of the main methods of estimating the time of onset of radial inflow to vertical wells. Evidence-based comparative assessment of the predicted start time of a radial inflow of fluid into the well according to the presented methods using various software packages. To investigate the relationship between time of occurrence of radial inflow from the flow rate at which the well is worked prior to KVD. Developed a methodology for operational planning of well testing at the stage of exploration or at the initial stage of field development.

Keywords: hydrodynamic investigations of wells (well testing), exploration, KVD, the time of onset of the radial inflow, the rule of Chen and Brigham

Одним из условий получения достоверных данных по результатам гидродинамических исследований скважин (ГДИС) является планирование и соблюдение технологии проведения исследований. Планирование ГДИС включает выбор метода и технологии исследований, компоновки оборудования, способа дренирования пласта, оценку длительности работы скважины перед остановкой на исследование [1].

При проведении поисково-разведочных работ имеются ограниченные сведения о свойствах пласта, пластовом давлении и насыщающих его флюидов. Зачастую в такой ситуации планирование исследований не проводится, что в свою очередь снижает качество ГДИС и приводит к ошибкам в определении фильтрационно-ёмкостных свойств (ФЕС) пласта.

Основными задачами при планировании исследования являются обеспечение выхода скважины на установившийся режим и длительность КВД, обеспечивающая регистрацию данных на радиальном режиме фильтрации.

При решении данных задач необходимо учесть основные факторы, определяющие качество ГДИС:

- геологический – особенности строения пласта, свойства флюида, режим залежи, режим эксплуатации скважины [3], система разработки;
- технический – состояние внутрискважинного оборудования, корректность работы исследовательского оборудования;
- технологический – технология проведения ГДИС.

Технологический фактор является наиболее распространенным, к нему можно отнести недовосстановленность до пластового давления, т.е. недостаточную длительность исследования.

Критерием восстановленности является наступление радиального притока, характеризующего работу пласта, и на стадии разведки, и начальной стадии эксплуатации время его не известно.

Невосстановленные исследования можно условно разделить на три категории:

– исследования с достаточной продолжительностью регистрации давления на радиальном режиме. По этим исследованиям возможно достоверно или оценочно определить фильтрационно-емкостные свойства пласта и пластовое давление;

– кратковременные исследования являются некондиционными и отбраковываются на начальном этапе;

– промежуточные категории исследований, на наш взгляд, не стоит отбраковывать, по ним возможно смоделировать поведение давления в скважине с помощью известных симуляторов. И на вероятном уровне оценить фильтрационно-емкостные свойства и пластовое давление.

Для решения задачи в условиях неопределенности рассмотрим метод аналогий с использованием накопленного опыта проведения ГДИС в условиях аналогичных коллекторов, который подразумевает:

а) использование исходных параметров по аналогии;

б) адаптацию результатов фактических исследований и ретроспективных данных ГДИ скважин с аналогичными горно-геологическими условиями.

В статье на примере ряда месторождений, приуроченных к одному району, представлен анализ адаптации результатов интерпретации фактических и ретроспективных результатов ГДИ (КВД, КВУ и КПД):

1. Анализ существующих методик расчета наступления радиального притока.

2. Апробация методики определения времени наступления радиального притока жидкости в скважину на примере КВД.

Существует ряд методик по расчету времени наступления и окончания радиального притока, характеризующего работу пласта. Однако при его расчете возникают сложности в учете: проницаемости, множественных разломов, локальной трещиноватости, высокой расчлененности, пониженного пластового давления, наличия газовой шапки и многого другого.

В работе рассмотрены основные методики оценки времени наступления радиального притока для вертикальных скважин:

1. Приближенная формула, учитывающая коэффициент влияния ствола скважины и коэффициент продуктивности, представленная в [1]:

$$t_r \approx 680\frac{C}{K_{\text{прод}}}, \qquad (1)$$

где t_r – время начала участка радиального течения на диагностическом графике, ч; C – коэффициент влияния ствола скважины, м^3/атм; $K_{\text{прод}}$ – коэффициент продуктивности, (м^3/сут)/атм.

2. Эмпирические приближения, предложенные в [2] для бесконечного радиального пласта, в зависимости от знака ± скин фактора:

$$t_r = \frac{C\mu}{kh}\cdot F(S) = \begin{cases} 9973(S+10), & S \geq 0; \\ 26497(S+4{,}3), & -3 < S < 0, \end{cases} \qquad (2)$$

где S – скин фактор, ед.; k – проницаемость, мД; h – эффективная толщина пласта, м; μ – вязкость, мПа·с.

3. Безразмерное выражение для исследований методом падения давления в добывающих скважинах (КСД – кривая стабилизации давления), а также при закачке, представленное в [2]:

$$t_D = (60 + 3{,}5S)C_D, \qquad (3)$$

где t_D – безразмерное время наступления радиального притока; C_D – безразмерный коэффициент влияния ствола скважины.

4. Правило Рамея (Ramey HJ Jr):

$$t_r = \frac{(26526 + 1547S)C}{\left(kh/\mu\right)}. \qquad (4)$$

Безразмерное выражение для исследований методом восстановления давления, представленное в [5]:

$$t_D = 50C_D e^{0{,}14S}. \qquad (5)$$

5. Правило Чена и Бригхэма (Chen and Brigham):

$$t_r = \frac{22105Ce^{0{,}14s}}{\left(kh/\mu\right)}. \qquad (6)$$

Дополнительная формула [5] для скважин после ГРП с учетом размеров трещины после гидроразрыва пласта:

$$t_r = \frac{2X_f^2\phi\mu c_t}{0{,}00036k}, \qquad (7)$$

где X_f – полудлина вертикальной трещины, м; ϕ – пористость, д.ед.; c_t – общая сжимаемость, 1/атм.

6. Формула [4] для скважин с трещиной ГРП конечной проводимости с учетом безразмерной проводимости и размеров трещины:

$$t_r = \frac{5e^{\left(-0,5\pi F_{cd}\right)^{-0,6}} X_f^2 \phi \mu c_t}{0,00036k}, \qquad (8)$$

где F_{cd} – безразмерная проводимость трещины

$$F_{cd} = \frac{k_f w}{X_f k}, \qquad (9)$$

где k_f – проницаемость трещины, мД; w – ширина трещины, м; X_f – полудлина вертикальной трещины, м.

Проведена сравнительная оценка прогнозируемого времени начала радиального притока жидкости в скважину по представленным методикам (таблица). Из расчета были исключены методы 3, 4 и 5: методы 3 и 4 предназначены для исследований КСД и КПД, 5 метод – для расчета безразмерного времени наступления притока.

Использовались фактические кривые восстановления давления с закрытием на устье фонтанных скважин с предварительно отработанных на штуцерах. Интерпретация КВД проводилась с помощью компьютерных программ ПО Saphir Kappa Engineering, Мониторинг-ГДИС Ресурсы и Технологии.

Из таблицы следует, что минимальная погрешность между фактическим и прогнозируемым временем начала радиального притока жидкости в скважину получена по методике (6) Чена и Бригхэма (Chen and Brigham). Таким образом, для условий рассматриваемого района можно пользоваться (6). Если месторождение находится на стадии разведки либо на начальной стадии эксплуатации, то формулой (6) можно пользоваться, взяв параметры (коэффициент влияния ствола скважины, скин фактор, проницаемость, динамическая вязкость) по аналогии с соседними объектами, при этом надежность оценки напрямую будет зависеть от корректности аналогии.

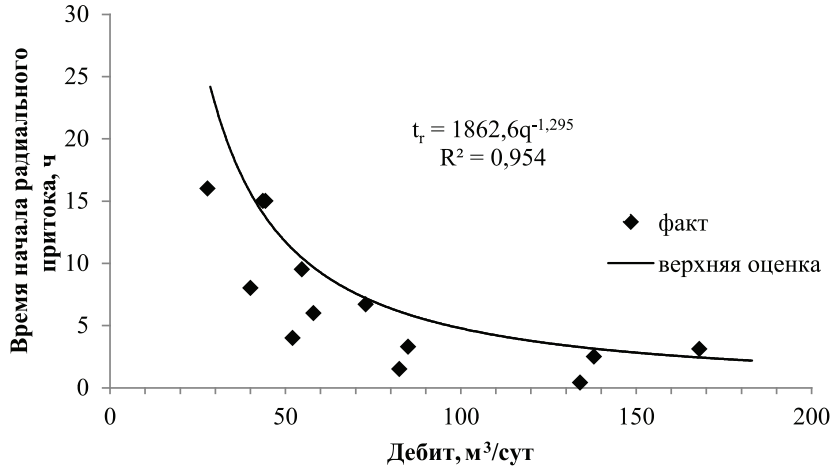
Рассмотрев взаимосвязь времени наступления радиального притока от дебита, на котором скважина работала перед КВД (рисунок), следует отметить наличие степенной зависимости. Рекомендуется использовать верхнюю оценку t_r (10) и оптимизировать время исследования по методу (6) с появлением достоверных данных.

$$t_r = 1862,6q^{-1,295}. \qquad (10)$$

Таким образом, уравнение (10) можно использовать на стадии разведки и начальной эксплуатации при планировании ГДИС для условий рассматриваемого района, т.е. при минимальных сведениях о скважине и пласте. Данная степенная зависимость справедлива для дебита в интервалах от 25 до 170 м^3/сут.

Сравнение расчетов нахождения времени начала радиального притока жидкости в скважину по разным методикам

№ п/п	Дебит, м^3/сут	k, мД	S, ед.	μ, мПа·с	$h_{эфф.н/н}$, м	C, м^3/атм	Время исследования, ч	t_r, факт, ч	Расчет времени начала радиального притока жидкости в скважину по методикам					Погрешность, %
									1	2	6	7	8	
1	82,5	64,8	5	1,70	17,8	0,03	12,7	1,5	5,9	5,9	1,8	–	–	18
2	54,7	28,9	–3	1,92	8,4	0,08	35,9	9,5	41,8	22,8	9,5	–	–	0,5
3	85,0	93,4	–3,5	2,20	11,6	0,08	9,1	3,3	6,6	–	2,1	0,1	0,2	36,8
4	40,0	48,5	–4,4	1,92	8,0	0,15	31,7	8,0	41,4	–	8,6	4,9	9,9	7,7
5	168,0	112,7	–3,7	1,38	6,4	0,10	12,5	3,1	8,4	–	2,7	–	–	13,6
6	27,8	7,6	–3	1,55	10,6	0,06	19,7	16,0	44,1	–	16,1	–	–	0,6
7	43,6	35,5	5,3	1,15	8,1	0,09	25,6	15,0	69,9	54,7	16,9	–	–	12,9
8	44,3	8,1	5	0,74	16,2	0,06	25,6	15,0	63,5	50,0	15,1	–	–	0,7
9	52,0	127,0	–3,4	3,14	2,6	0,03	23,7	4,0	5,6	–	4,4	–	–	8,7
10	72,9	28,1	–5	2,00	3,1	0,03	29,5	6,7	15,5	–	6,4	122,5	201,4	5,1
11	138,0	28,6	–2	2,15	17,7	0,03	25,9	2,5	7,1	6,7	1,9	–	–	26,1
12	58,0	53,0	4	2,16	8,9	0,03	23,7	6,0	23,2	21,5	6,0	–	–	0,6
13	134,0	872,0	2,3	1,99	7,2	0,04	13,0	0,4	1,6	1,4	0,3	–	–	14,3



Зависимости реального времени начала радиального притока от дебита скважины

Предлагаемая зависимость применима для оперативной оценки времени наступления радиального притока для вертикальных поисково-разведочных скважин, на которых была проведена кратковременная отработка (время закрытия скважины на КВД меньше в 5 раз времени отработки).

В случаях исследования скважин с использованием оборудования для закрытия скважины на забое, либо при длительной эксплуатации скважины перед проведением исследования на нестационарных режимах фильтрации с периодом более чем в 5 раз превышающим время КВД применимость метода не рассматривалась.

Список литературы

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. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1987. – 840 с.

3. Медведский Р.И., Севастьянов А.А. Комплексная оценка упругого запаса нефтяной залежи с учетом законтурной воды // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 1998. – № 3. – С. 33–42.

4. Технический стандарт ТНК-ВР. Гидродинамические исследования скважин. – М., 2011.

5. Эрлагер Роберт мл. Гидродинамические исследования скважин. Перевод с английского А.В. Щебетова / под ред. д.т.н., профессора М.М. Хасанова. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006. – 512 с.