УДК 622

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДИАГРАММ ПОВЕДЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭТАЛОННЫХ КРИВЫХ РЕМИ И ДРУГИХ МЕТОДОВ В НЕФТЯНЫХ СКВАЖИНАХ

INTERPRETATION OF PRESSURE BEHAVIOR DIAGRAMS USING REMI'S STANDARD CURVES AND OTHER METHODS IN OIL WELLS

Мохаммед Джавад Зейн Аль-Абидин, Фаик Саад, М. Л. Карнаухов, Ш. Ж. Мирбобоев
Mohammed Jawad Zein Al-Abideen, Caad Faiq, M. L. Karnaukhov, Sh. J. Mirboboev

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень
Киркукский университет, г. Киркук, Ирак

Ключевые слова: ***ИПТ (Испытатель пластов на трубах); типовые кривые; диаграммы давления; безразмерное давление; безразмерная скорость притока; проницаемость; скин-фактор***
Key words: ***formation tester on pipes; standard curves; dimensionless pressure; dimensionless inflow rate; Permeability; skin-factor***

Разработка теоретических и методологических проблем — одно из перспективных направлений в науке, занимающихся разработкой и эксплуатацией нефтяных и газовых месторождений. Большой процент неудачных работ с ИПТ (испытатель пластов на трубах) связан с нарушением технологических процессов при управлении забойным оборудованием, которые, в свою очередь, являются результатом погрешностей в интерпретации показателей давления.

Процедура анализа эталонных кривых метода Реми полагается на метод Эрлаугера и используется для интерпретации данных, полученных при работе с ИПТ или slugtest. Процедура анализа такова.

1. Строятся полулогарифмические и логарифмические графики для

$$p_б = f(ts), \qquad p_б = f(t_б/C_б)$$

и логарифмические графики для функции

$$q_б = 1 - p_б f(t_б/C_б).$$

Наносится график либо на кальку, либо на полулогарифмическую и логарифмическую бумагу с таким же масштабом, как и у кривых притока.

2. Графики с данными испытания совмещаются с соответствующими типовыми кривыми (функциями) (рис. 1–3), и находится кривая (функция), которая наиболее совпадает с графиком фактической кривой. Рис. 1. позволяет получить высокую точность расчета как начального, так и позднего времени замера, в то время как рис. 2 и 3 более подходят для анализа только позднего или только начального времени испытания соответственно.

Заметим, что $p_б$ и $q_б$ имеют значения между нулем и единицей и не зависят от дебита скважины и свойств пласта. Следовательно, мы просто подбираем одинаковые значения $p_б$ или $q_б$ для теоретических кривых (функций) и фактических кривых по сдвигам графиков по горизонтали относительно друг друга до совпадения соответствующих кривых. Чтобы уменьшить неоднозначность расчетов параметров, связанных с анализом кривых, рекомендуется одновременное сопоставление $p_б$ или $q_б$ со сравнением совпадений по всем трем графикам.

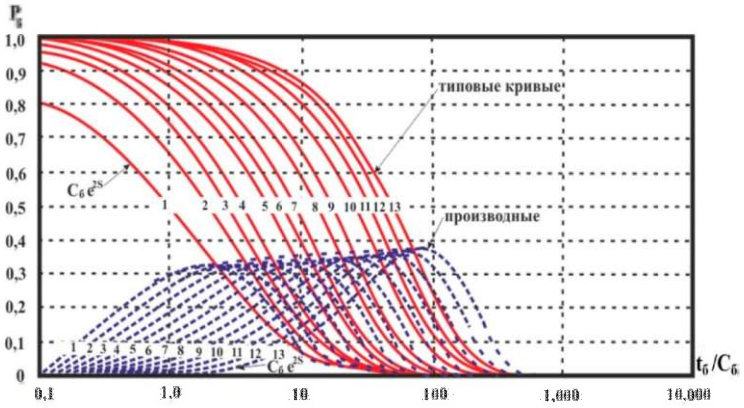

Рис. 1. ***Полулогарифмические кривые Реми и др. [1] для анализа ранних и поздних данных по притоку во время испытания пласта***

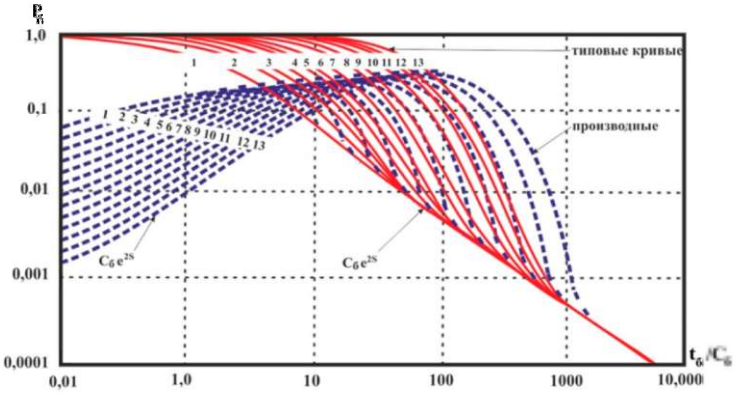

Рис. 2. ***Логарифмические кривые Реми и др. [1] для поздних данных по притоку во время испытания пласта***

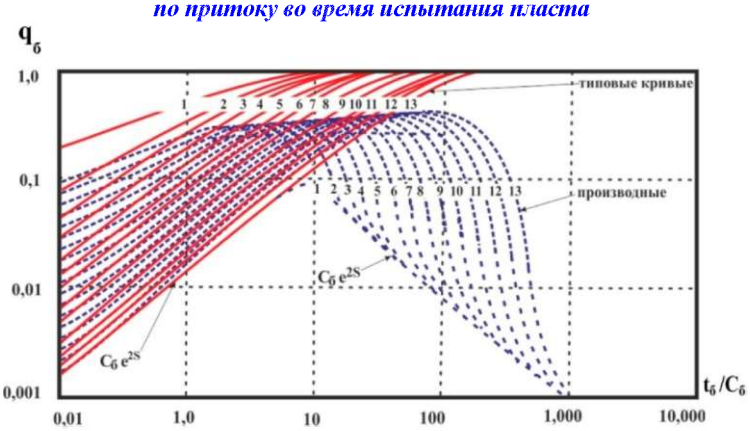

Рис. 3. ***Логарифмические кривые Реми и др. [1] для анализа ранних данных по притоку во время испытания пласта***

3. После нахождения совпадающих кривых записывается значение параметра корреляции $C_б e^{2s}$. Значение этого параметра для обоих $p_б$ и $q_б$ должно совпадать.

4. Из наиболее полного совпадения кривых на графиках выбирается наиболее подходящий и отмечается $(p, t_б/C_б)_{МР}$.

5. Вычисляется коэффициент емкости скважины по формуле

$$C = \frac{A_{cb}}{\rho_c}. \quad (1)$$

6. Вычисляется безразмерный коэффициент емкости скважины $C_б$, определяемый из уравнения

$$C_б = \frac{C}{\varphi c_t h r_c^2}. \quad (2)$$

7. Рассчитывается проницаемость по значению временной точки (пункт 4) и коэффициента емкости скважины (пункт 5). При значении времени в часах получим зависимость

$$\kappa = \frac{\mu C}{h}\left(\frac{t_б/C_б}{t}\right) MP. \quad (3)$$

Оценивается скин-эффект из параметра $C_б e^{2s}$ и безразмерный коэффициент скважины $C_б$.

$$S = 0{,}5 \ln\left[\frac{\varphi c_t r_w^2 (C_б e^{2s}) MP}{C}\right] = 0{,}5 \ln\left[\frac{(C_б e^{2s}) MP}{C_б}\right]. \quad (4)$$

Кривые Реми и др. [1] разработаны для однородных однопластовых залежей [2], но подобные кривые подходят для пластов с двойной пористостью, для скважин с ГРП [3] и многослойных залежей [4]. В случае данного исследования представлен анализ данных ИПТ на бурильной колонне по кривым Реми.

Анализ данных испытания скважины испытателем пластов на бурильной колонне по кривым Реми. Исследование скважины испытателем пластов включало в себя период притока жидкости в скважину (5 часов) и период восстановления пластового давления после остановки скважины (6 часов). Данные давления и времени для кривой притока приведены в табл. 1, расчеты по Реми и др. [1] выполнены для анализа данных и вычисления проницаемости, скин-фактора и безразмерного коэффициента емкости скважины.

$P_{пл} = 22{,}85749841$ МПа

$\varphi = 0{,}13$

$h = 7{,}0104$ *м*

$\mu = 0{,}00043$ *Па.с*

$P_o = 1{,}814010567$ МПа

$r_c = 0.111252$ м

$C = 3{,}71 * 10^{-7} м^3/Па$

$c_t = 2{,}132 * 10^{-9} Па^{-1}$

Таблица 1

Данные по давлению и времени при регистрации кривой притока при ИПТ

t,час	pз(t) МПа
0,0506	2,444880832
0,0675	2,642070882
0,090	2,899934794
0,120	3,23570946
0,160	3,669389675
0,213	4,227175517
0,285	4,938024963
0,379	5,835032849
0,506	6,948536105
0,675	8,305424282
0,90	99,16728993
1,20	11,76521334
1,60	13,79502981
2,13	15,89793069
2,85	17,91809449
3,79	19,67832595
5,06	21,03383518

Таблица 2

Графики функций безразмерных давления и дебита

t, час	$p_б$	$q_б$	$t_{pб}$
0,0506	0,970020642	0,029979358	–
0,0675	0,960650044	0,039349956	0,0376
0,090	0,948396186	0,051603814	0,0490
0,120	0,932439959	0,067560041	0,0635
0,160	0,911831198	0,088168802	0,0821
0,213	0,885324858	0,114675142	0,1045
0,285	0,851544838	0,148455162	0,1326
0,379	0,80891845	0,19108155	0,1664
0,506	0,756004063	0,243995937	0,2034
0,675	0,691523869	0,308476131	0,2449
0,90	0,614953638	0,385046362	0,2857
1,20	0,52711248	0,47288752	0,3203
1,60	0,430654304	0,569345696	0,3423
2,13	0,330723109	0,669276891	0,3394
2,85	0,234723633	0,765276367	0,3118
3,79	0,151076308	0,848923692	0,2579
5,06	0,086661643	0,913338357	–

Предлагается следующее решение.

1. Применим полулогарифмические и логарифмические графики для безразмерного давления $p_б$ от $t_з$ и логарифмические графики для безразмерного расхода $q_б = 1 - p_б$ от $t_з$ в том же масштабе, что и у типовых кривых. В табл. 2 приведены данные графиков. Например, при времени притока $t = 0{,}0506$ ч $p_б$ и $q_б$ будут равны

$$p_б = \frac{p_{пл} - p_з(t)}{p_{пл} - p_0} = \frac{22{,}85749841 - 2{,}444880{,}832}{22{,}85749841 - 1{,}814010567} = 0{,}9700, \quad (5)$$

$$q_б = 1{,}0 - p_б, \quad (6)$$

$$q_б = 1{,}0 - 0{,}9700 = 0{,}0300,$$

при времени притока 0,0675 ч

$$t_{p_б} = \frac{p_{б1} - p_{б2}}{\ln t1 - \ln t2} = -\frac{0{,}9700 - 0{,}9484}{[\ln(182{,}16) - \ln(324)]} = -0{,}0376.$$

2. Графики фактических кривых сравним с соответствующими подходящими типовыми графиками и выявим типовую кривую, которая наиболее полно совпадает с эталонной. Заметим, что $p_б$ и $q_б$ имеют значения между 0,0 и 1,0 на обоих графиках, поэтому достаточно выровнять вертикальные оси и сдвинуть графики данных по горизонтали до совпадения. Из рис. 4–6 получаем хорошее совпадение для $C_б e^{2s}$.

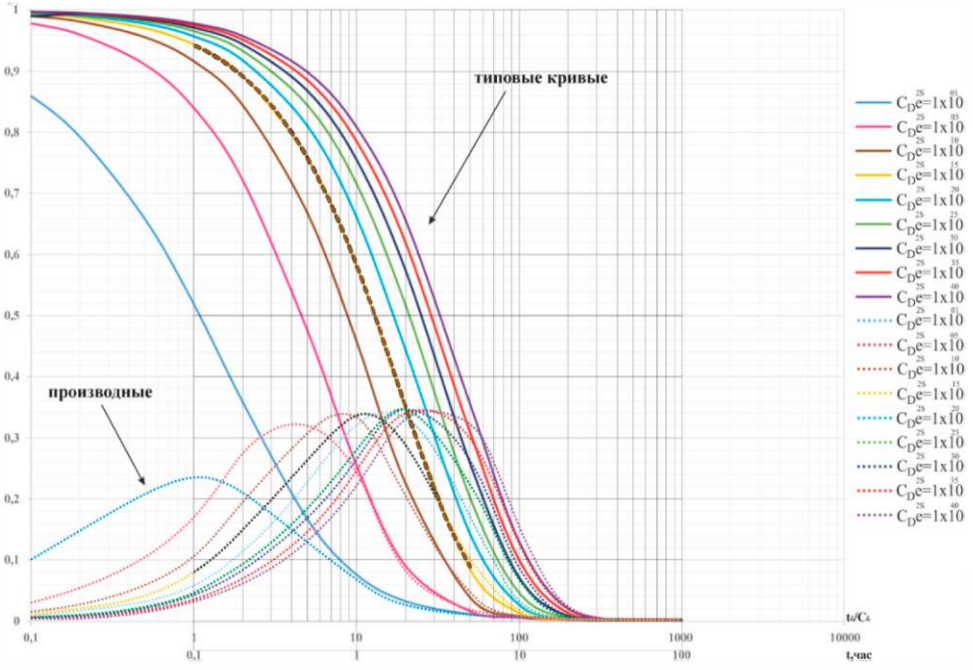

Рис. 4. ***Полулогарифмические кривые Реми и др. [1] для анализа ранних и поздних данных притока***

3. Интерполируя кривые, получаем параметр корреляции кривых $C_б e^{2s} = 1X10^{15}$ по рис. 4, 5, 6.

4. Выбираем временную точку $(t, t_б/C_б)_{МР}$; $t = 1$ час (рис. 6) и $(t_б/C_б) = 10{,}0$.

5. Вычисляем безразмерный коэффициент емкости скважины $C_б$, который определяется уравнением

Pc

(3,71 * 1(Г⁷)

(pc,hr$_c^2$ (0Д3)(2Д32 * 10-⁹)(7,0104)(0Д11252)^2 15427,1216.

6. Рассчитываем проницаемость по значению временной точки и коэффициенту емкости скважины из 5 пункта

h \ t '

при t = $_{c_6}$ 10, $C_e e^{2s}$ = 1X10^{15} k = 2,275619 X 1(Г⁷м²

7. Оцениваем скин-фактор с помощью параметра корреляции кривой $C_6 e^{2s}$ из пункта 3 и безразмерного коэффициента емкости скважины C_6, рассчитанного в пункте 5.

S = 0,5 $_{\ln}$ f(C$_6$e^{2s})MPl

при $C_6 e^{2S}$ = 1xlO^{15} (см. рис. 6) 5 = 12.

Сце-lxfo

C,e- Lx 10

C^НлЙ

C,£=1x|Ь

СцС 1x1<>

L[/=lxlO

QjcHxfo

C^lxfo

C^-lxfo

Cpe=1x1o

CDP=lX1'6

C^lxft

C^rlxft

CDP=lX10

Cp^lxlO

CoP=иГо

Рис. 5. ***Логарифмические кривые Реми и др. [1] для анализа поздних данных притока***

Основные выводы и рекомендации

- Реми и др. исследователями были предложены различные эталонные кривые для анализа испытания скважин, но этот метод был разработан для коллекторов с однородным строением, с наличием одного пласта или однопластовой системы однослойных пластов.
- Предложенный метод для эталонных кривых учитывает давление, параметры которого находятся в диапазоне от нуля до одного и зависят от скорости потока и других свойств.
- Использование метода эталонных кривых уменьшает дополнительные шаги, которые необходимы для получения параметров любого уравнения.