

Глава 4

Типовые кривые

Содержание

4.1 Введение

4.2 Безразмерные переменные

4.3 Решение уравнения пьезопроводности в безразмерных переменных

4.4 Типовые кривые Gringarten

4.5 Анализ данных КПД с помощью типовых кривых

4.6 Анализ данных КВД с помощью типовых кривых

4.7 Преимущества и ограничения метода типовых кривых

4.1 Введение

70-е годы

Типовая кривая – графическое представление решения $P(t)$ для определенной конфигурации «скважина-пласт» в безразмерных координатах

- Типовые кривые Agarwal
- Типовые кривые McKinley
- Типовые кривые Earlougher и Kersch
- *Типовые кривые Gringarten*

4.1 Введение

- Впервые типовые кривые появились в литературе в 70-х годах
- Существует несколько видов типовых кривых, которые используются для анализа данных ГДИС в случае бесконечного гомогенного пласта. Среди них:
 - Типовые кривые Agarwal
 - Типовые кривые McKinley
 - Типовые кривые Earlougher и Kersch
 - Типовые кривые Gringarten
- Типовые кривые - графическое представление давления как функции от времени для определенных конфигураций «скважина-пласт». Они вычисляются на основе существующих аналитических моделей и выражаются в безразмерных переменных.
- Типовые кривые Gringarten наиболее совершенны и удобны для применения. Также они наиболее широко применяются в нефтяной индустрии

4.2 Безразмерные переменные

$$P_D = \frac{kh}{18.41qB\mu} \cdot \Delta P$$

$$t_D = \frac{0.00036k}{\phi\mu c_t r_w^2} \cdot t$$

$$C_D = \frac{0.159}{h\phi c_t r_w^2} \cdot C_s$$

S

4.2 Безразмерные переменные

- Безразмерные переменные вводятся следующим образом:

Безразмерное давление

$$P_D = \frac{kh}{18.41qB\mu} \cdot \Delta P$$

Безразмерное время

$$t_D = \frac{0.00036k}{\phi\mu c_t r_w^2} \cdot t$$

Безразмерный коэффициент ВСС

$$C_D = \frac{0.159}{h\phi c_t r_w^2} \cdot C_s$$

Скин-фактор

$$S$$

- k – проницаемость [миллидарси]; h – мощность [м]; q – дебит, [м³/сут]; B – объемный коэффициент; μ – вязкость [спз]; t – время, [часы]; ΔP – депрессия, [атм]; ϕ – пористость; c_t – общая сжимаемость [1/атм]; r_w – радиус скважины [м]; C_s – коэффициент влияния объема ствола скважины, [м³/атм]
- Смысл безразмерных переменных - в исключении из уравнения пьезопроводности параметров пласта для того, чтобы найти общее решение, из которого путем перехода к размерным переменным получается решение для конкретной системы с определенными параметрами

4.3 Решение уравнения пьезопроводности в безразмерных переменных

Период радиального течения

$$P_D = \frac{1}{2} (\ln t_D + 0.81 + 2S)$$

Период доминирования ВСС

$$P_D = \frac{t_D}{C_D}$$

4.3 Решение уравнения пьезопроводности в безразмерных переменных

- Решение уравнения диффузии можно переписать с использованием безразмерных переменных:

- Для периода радиального течения решение примет вид:

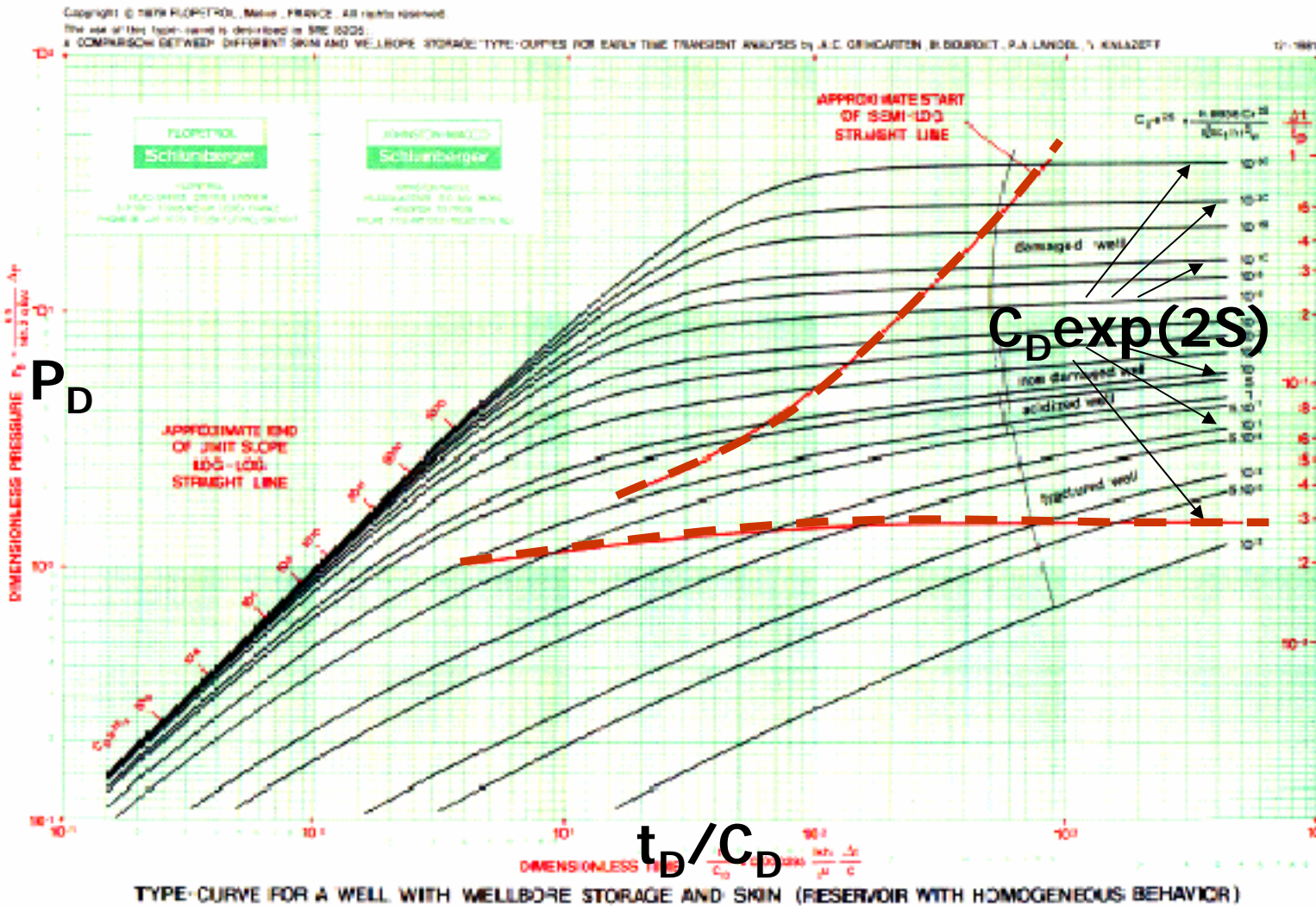
$$P_D = \frac{1}{2}(\ln t_D + 0.81 + 2S)$$

- Для периода доминирования ВСС решение примет вид:

$$P_D = \frac{t_D}{C_D}$$

- Т.е. все типовые кривые в период доминирования ВСС ведут себя как прямые линии единичного наклона, проходящие через «начало координат»

4.4 Типовые кривые Gringarten



4.4 Типовые кривые Gringarten

- В вертикальной скважине, находящейся в бесконечном однородном пласте изменение давления зависит от трех величин: времени, ВСС и скин-фактора:

$$P_D = P_D(t_D, C_D, S)$$

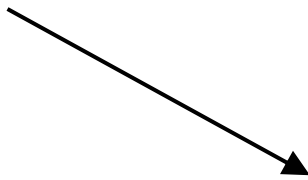
- Gringarten P_D представил в виде:

$$P_D = P_D\left(\frac{t_D}{C_D}, C_D \exp(2S)\right)$$

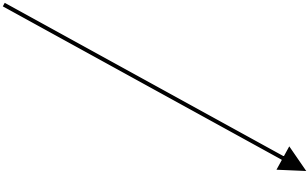
- Таким образом, типовые кривые Gringarten'a – набор кривых – зависимостей давления P_D от t_D/C_D в билогарифмических координатах; каждая кривая соответствует определенному значению параметра $C_D \exp(2S)$
- Пунктирные линии показывают конец периода ВСС: верхняя кривая соответствует типовым кривым, для которых $C_D \exp(2S) > 1$, нижняя кривая – для $C_D \exp(2S) < 1$

4.4 Типовые кривые Gringarten

$$P_D = \frac{kh}{18.41qB\mu} \cdot \Delta P$$


$$\log P_D = \log(\Delta P) + \log\left(\frac{kh}{18.4qB\mu}\right)$$

$$\frac{t_D}{C_D} = \frac{0.00226kh}{\mu C_s} \cdot t$$


$$\log\left(\frac{t_D}{C_D}\right) = \log t + \log\left(\frac{0.00226kh}{\mu C_s}\right)$$

4.4 Типовые кривые Gringarten

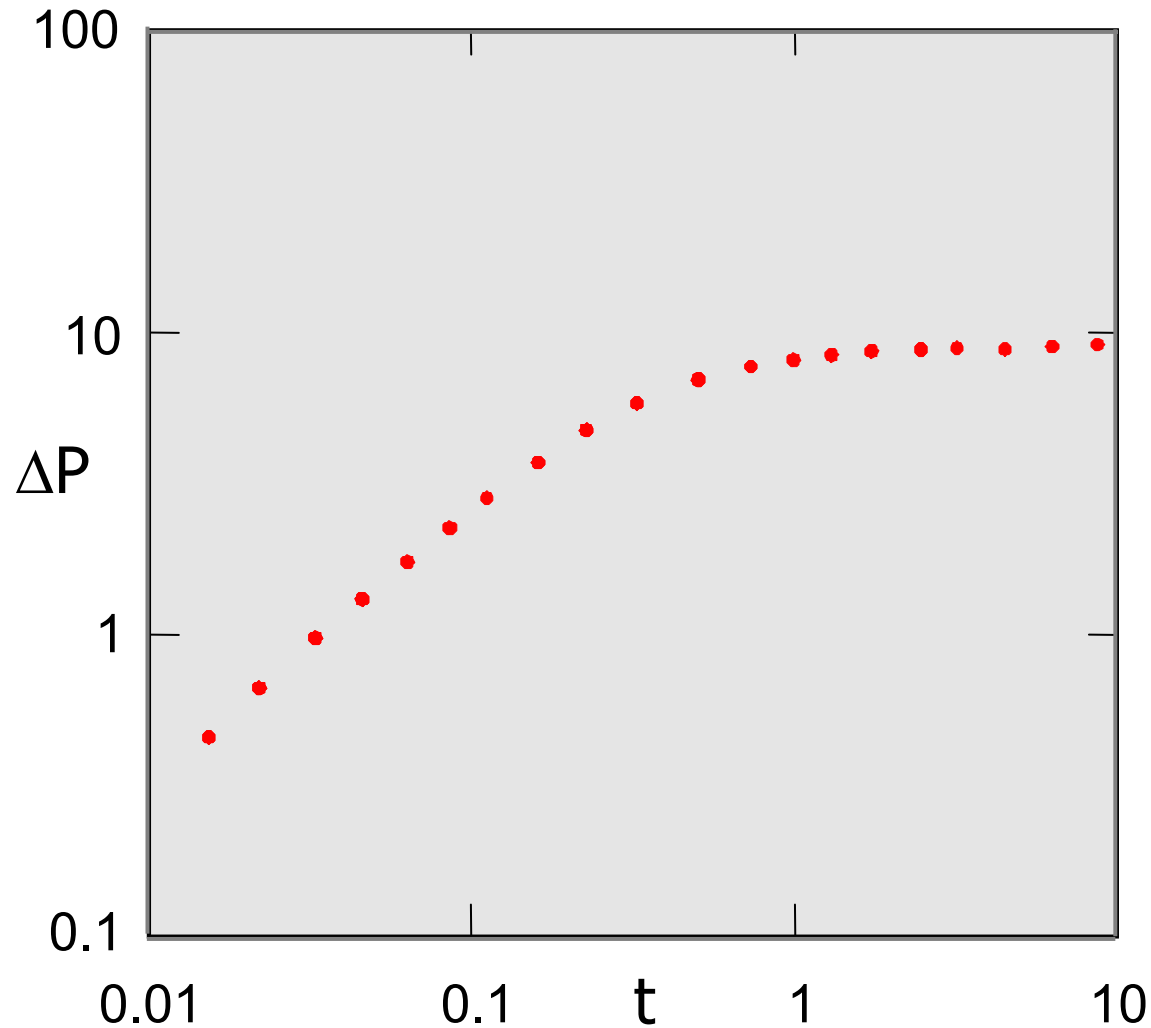
- В основе метода типовых кривых лежит прямолинейная зависимость между размерными и безразмерными величинами и свойство логарифма:

$$P_D = \frac{kh}{18.41qB\mu} \cdot \Delta P \quad \longrightarrow \quad \log P_D = \log(\Delta P) + \log\left(\frac{kh}{18.41qB\mu}\right)$$

$$\frac{t_D}{C_D} = \frac{0.00226kh}{\mu C_s} \cdot t \quad \longrightarrow \quad \log\left(\frac{t_D}{C_D}\right) = \log t + \log\left(\frac{0.00226kh}{\mu C_s}\right)$$

- Таким образом, билогарифмический график с реальными данными и типовая кривая имеют одну и ту же форму, только сдвинуты по осям на постоянные значения. Зная величины этих сдвигов можно оценить параметры пласта

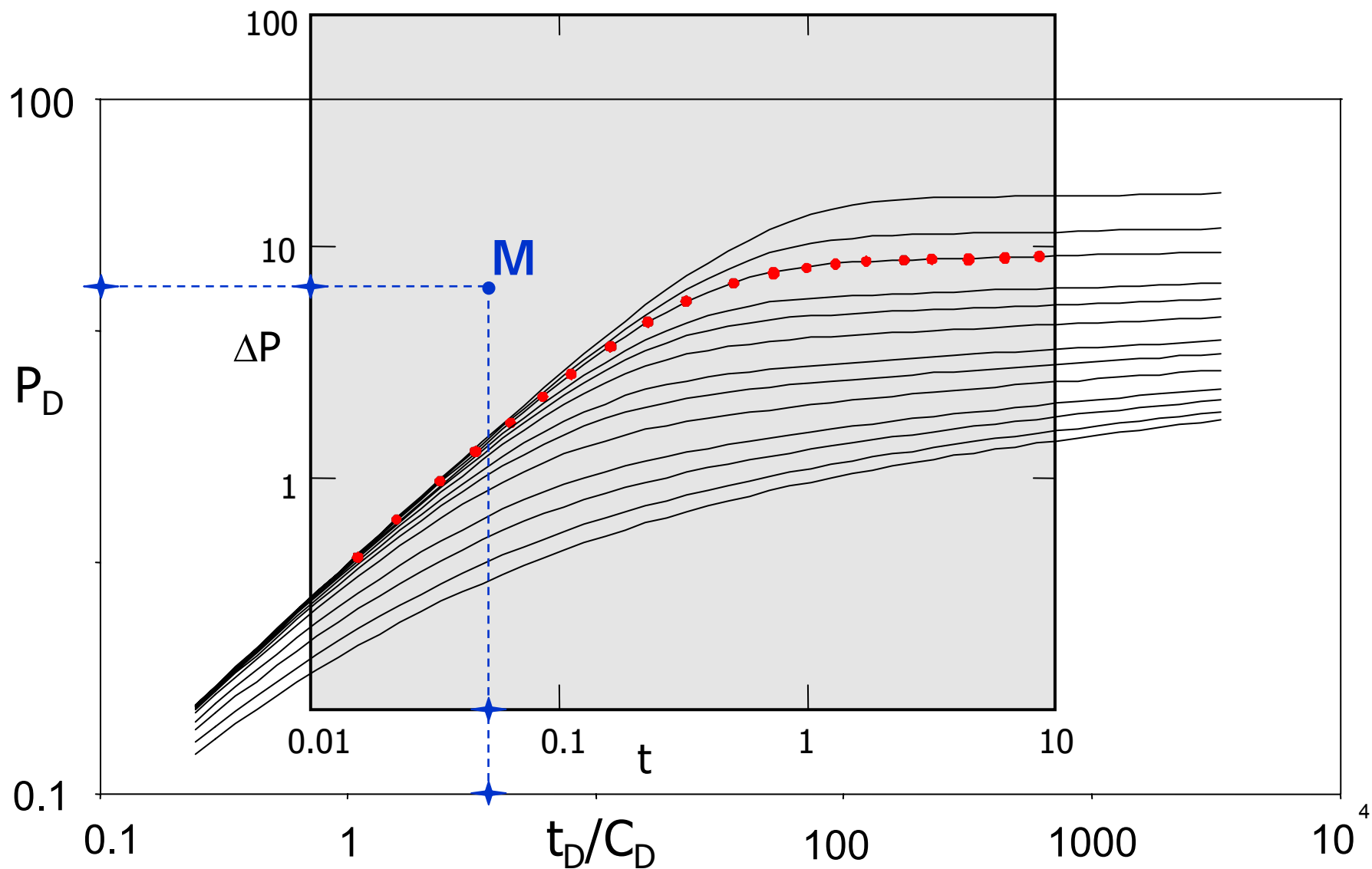
4.5 Анализ данных КПД с помощью ТИПОВЫХ КРИВЫХ



4.5 Анализ данных КПД с помощью ТИПОВЫХ КРИВЫХ

- Процедура анализа состоит из следующих шагов:
- Нанести данные по давлению на график в виде $\Delta P(t)$ в билогарифмическом масштабе. Обязательно масштаб осей должен совпадать с масштабом осей типовых кривых!

4.5 Анализ данных КПД с помощью ТИПОВЫХ КРИВЫХ



4.5 Анализ данных КПД с помощью ТИПОВЫХ КРИВЫХ

- Накладывая график с данными на типовые кривые, подобрать наиболее подходящую типовую кривую, которая дает наилучшее совмещение с реальными данными. Перемещение возможно только параллельно осям!
- Выбор определенной кривой соответствует фиксированному значению параметра $C_D \exp(2S)$
- Выбрать любую точку М на графике (необязательно на кривой) и снять ее координаты с обоих графиков: $([t]_M, [\Delta P]_M)$ и $([t_D / C_D]_M, [P_D]_M)$

4.5 Анализ данных КПД с помощью ТИПОВЫХ КРИВЫХ

$$kh = 18.41 qB\mu \frac{[P_D]_M}{[\Delta P]_M}$$

$$C_S = \frac{0.00226 kh}{\mu} \frac{[\Delta t]_M}{[t_D/C_D]_M}$$

$$S = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{[C_D \exp(2S)]}{C_D} \right)$$

4.5 Анализ данных КПД с помощью ТИПОВЫХ КРИВЫХ

- Совмещение по оси давления позволяет определить произведение проницаемости на мощность, kh :

$$kh = 18.41 q B \mu \frac{[P_D]_M}{[\Delta P]_M}$$

- Совмещение по оси времени позволяет определить коэффициент ВСС, C_S :

$$C_S = \frac{0.00226 kh}{\mu} \frac{[\Delta t]_M}{[t_D/C_D]_M}$$

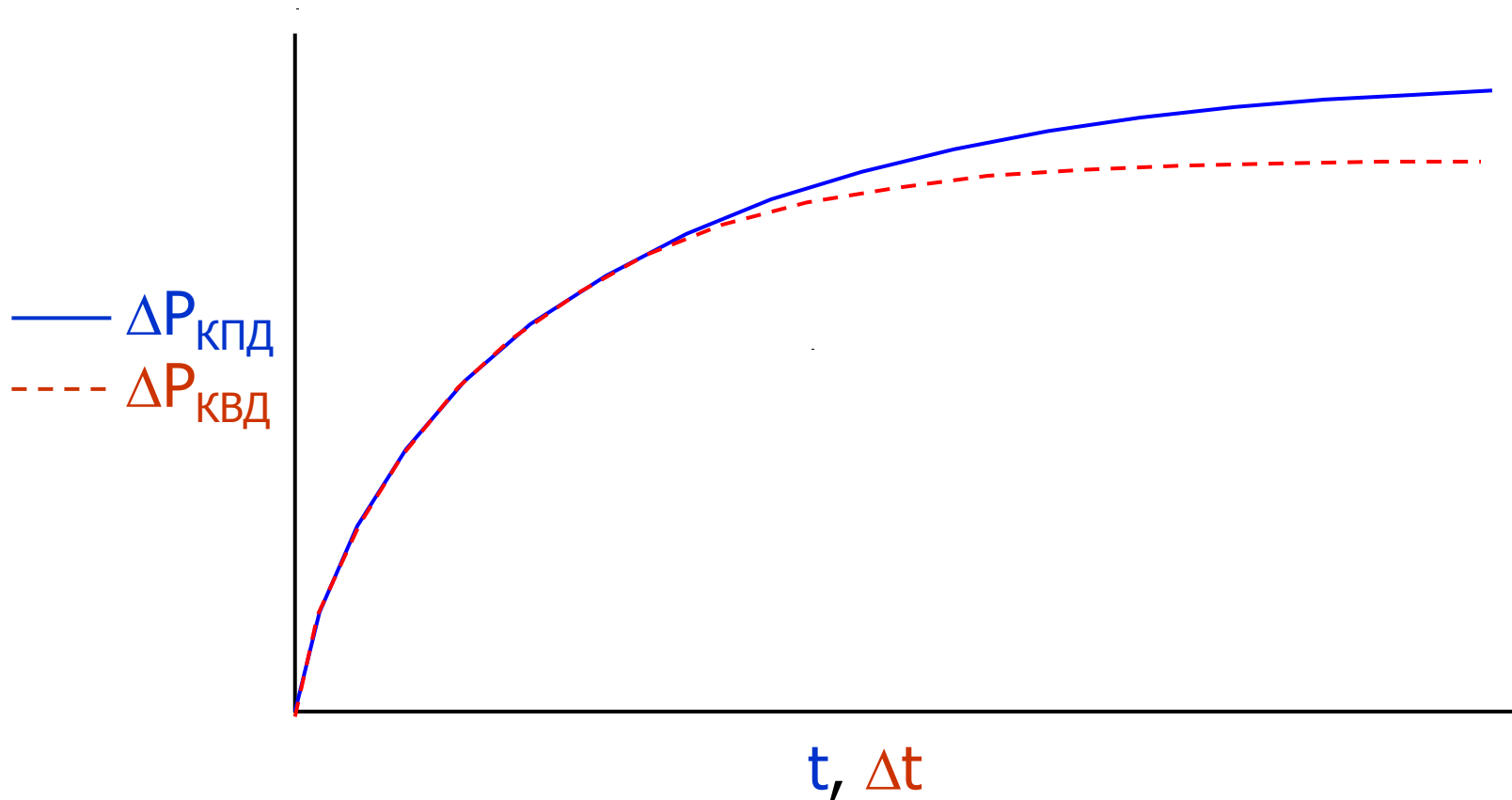
- Выбранный параметр $C_D \exp(2S)$ позволяет определить скин-фактор:

$$S = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{[C_D \exp(2S)]}{C_D} \right)$$

где

$$C_D = \frac{0.159}{h \phi c_t r_w^2} \cdot C_s$$

4.6 Анализ данных КВД с помощью ТИПОВЫХ КРИВЫХ



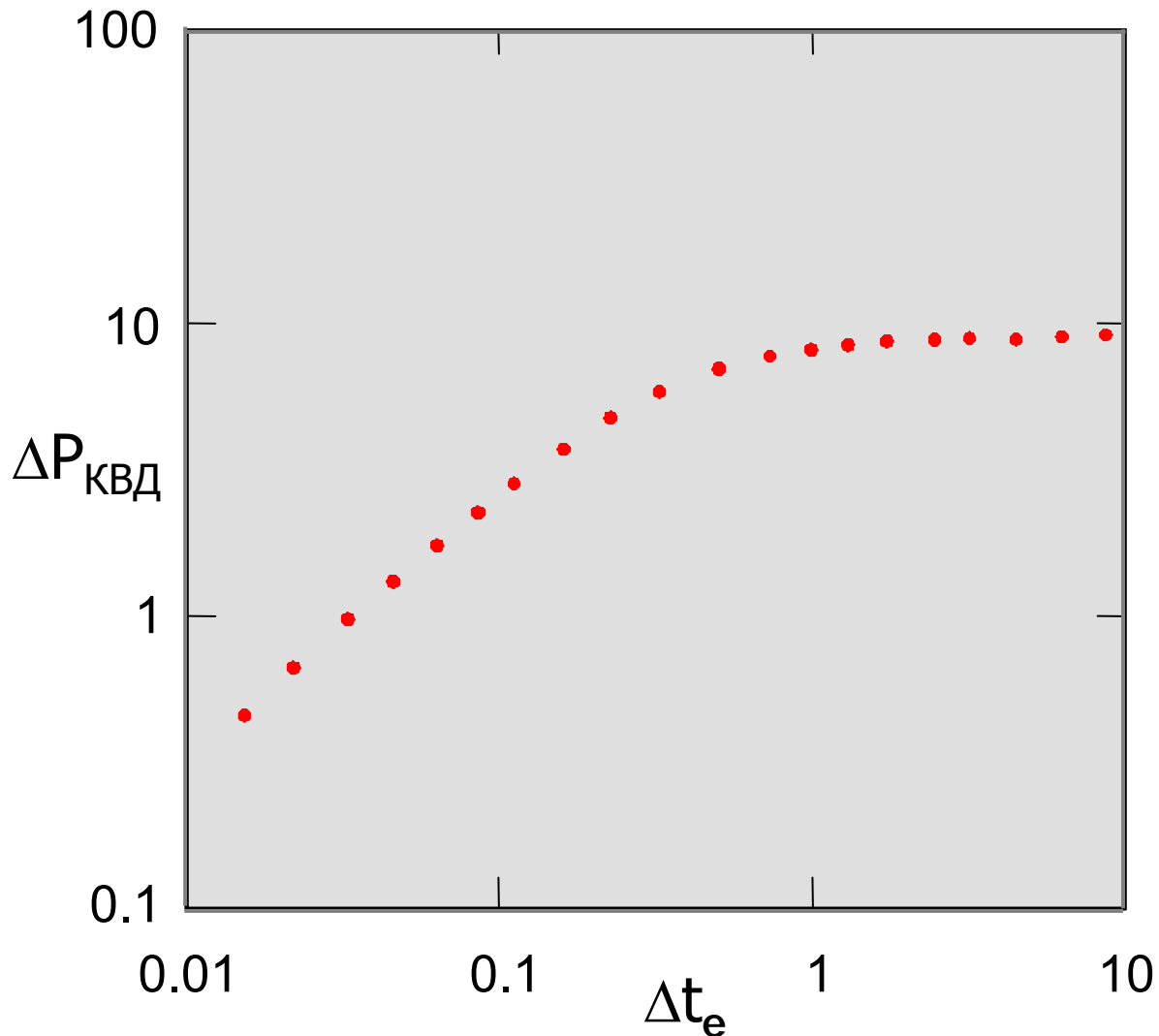
$$\Delta P_{\text{кпд}} = P_i - P_{\text{wf}}$$

$$\Delta P_{\text{квд}} = P_{\text{ws}} - P_{\text{ws}} (\Delta t = 0)$$

4.6 Анализ данных КВД с помощью ТИПОВЫХ КРИВЫХ

- Типовые кривые – решения для исследования по методу КПД
- Эти типовые кривые могут быть использованы для анализа данных исследования по КВД в случае если $\Delta t \ll t_p$ (Δt – время закрытия скважины, t_p – время работы скважины до ее закрытия)
- Эффект малого времени отбора проявляется в быстром выполаживании кривой: чем меньше отобрали из пласта, тем быстрее восстановилось давление
- Если условие $\Delta t \ll t_p$ не выполняется, то использовать типовые кривые для анализа данных КВД напрямую нельзя

4.6 Анализ данных КВД с помощью ТИПОВЫХ КРИВЫХ



Эквивалентное
время Агарвала

$$\Delta t_e = \frac{\Delta t}{1 + \frac{\Delta t}{t_p}}$$

4.6 Анализ данных КВД с помощью ТИПОВЫХ КРИВЫХ

- Использование эквивалентного времени Агарвала, Δt_e , позволяет применять типовые кривые для анализа данных КВД

$$\Delta t_e = \frac{\Delta t}{1 + \frac{\Delta t}{t_p}}$$

- Анализ аналогичен описанному выше. Единственное различие: реальные данные по давлению наносятся на график в виде $\Delta P_{\text{КВД}}(\Delta t_e)$ в билогарифмическом масштабе
- Данный подход может быть использован, если пласт ведет себя как бесконечный, как при падении давления, так и при восстановлении давления, и в момент времени t_p скважина вышла на радиальный приток

4.7 Преимущества и ограничения метода ТИПОВЫХ КРИВЫХ

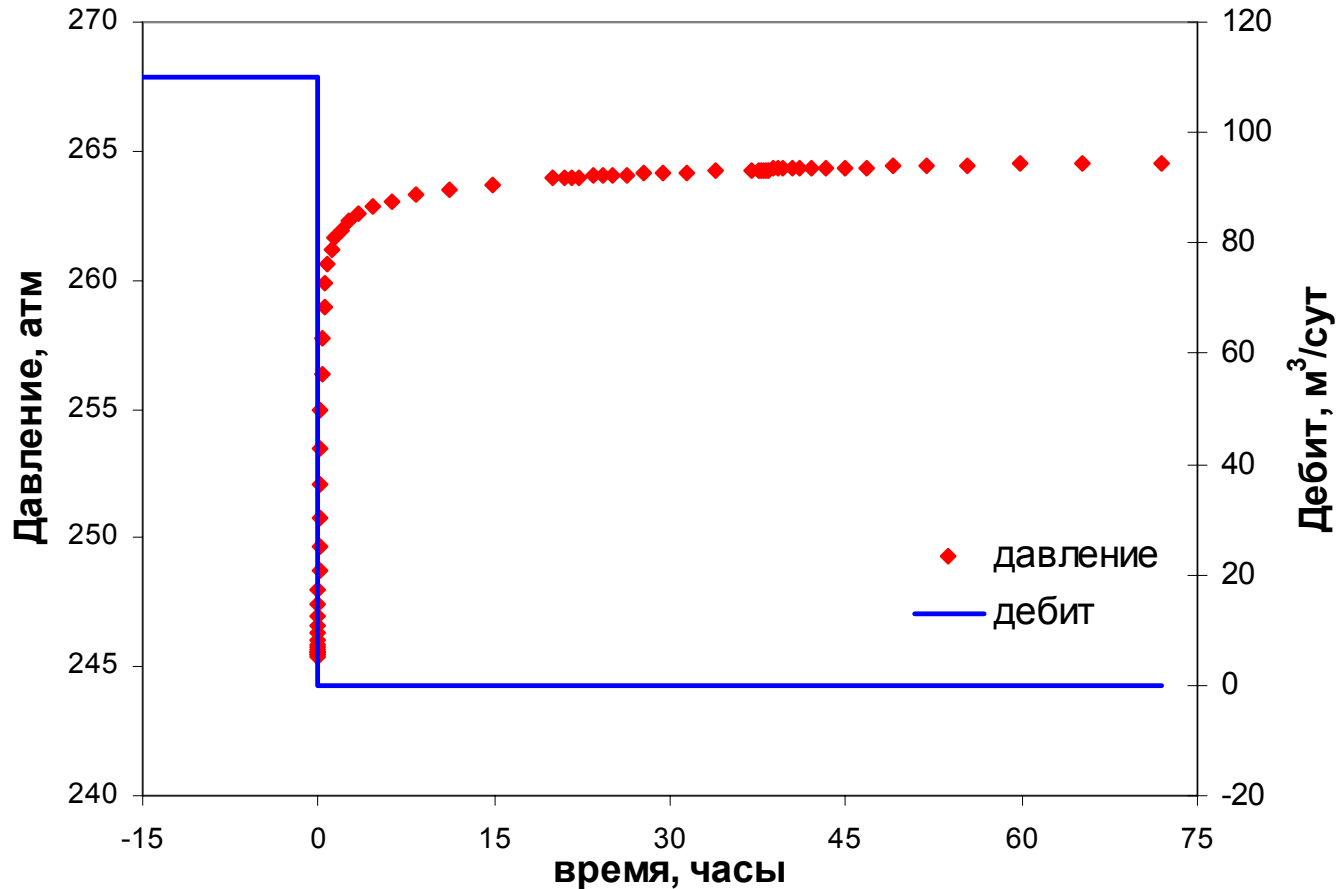
- + Диагностика
- + Выделение режимов течения
- Коэффициент ВСС постоянен
- КПД-решение

4.7 Преимущества и ограничения метода ТИПОВЫХ КРИВЫХ

- Преимущества:
 - Использование типовых кривых полезно для определения конфигурации системы «скважина-пласт(-граница)»
 - Помогает в выборе точек, участвующих в традиционном анализе
- Два важных ограничения типовых кривых (для случая бесконечного пласта):
 - Коэффициент ВСС в типовых кривых постоянен
 - Типовые кривые построены для данных КПД
 - Логарифмическая шкала скрадывает небольшие изменения в давлении в поздние времена. Использование типовых кривых с производной давления полностью справляется с этой проблемой

Упражнение 1

Было проведено исследование по КВД. Данные давления представлены на рисунке



Задание: Проанализируйте данные методом типовых кривых. Определите коэффициент ВСС, проницаемость и скин-фактор

Упражнение 1

Исходные данные

Пористость	φ	0.2
Продуктивная толщина	h	80 м
Радиус скважины	r_w	0.08 м
Объемный коэффициент нефти	B	1 м ³ /м ³
Вязкость нефти	μ	1 сПз
Общая сжимаемость	c_t	2.20E-04 1/атм
Время работы скважины	t_p	48 час
Дебит	q	110 м ³ /сут
$p(\Delta t = 0)$		245.4 атм

Контрольные вопросы к главе 4

1. Дайте определение типовой кривой
2. Для чего нужны безразмерные переменные?
3. Почему в билогарифмических координатах типовая кривая (конечно, в случае, когда модель системы выбрана верно) и кривая размерного давления имеют одинаковый вид?
4. Какой параметр системы определяется из величины смещения по вертикальной оси?
5. Какой параметр системы определяется из величины смещения по горизонтальной оси?
6. Какой параметр системы определяется из параметра типовой кривой $C_D \exp(2S)$?
7. Типовые кривые построены для данных КПД. Как обрабатывать данные КВД с помощью метода типовых кривых?
8. Назовите основные преимущества и недостатки метода типовых кривых