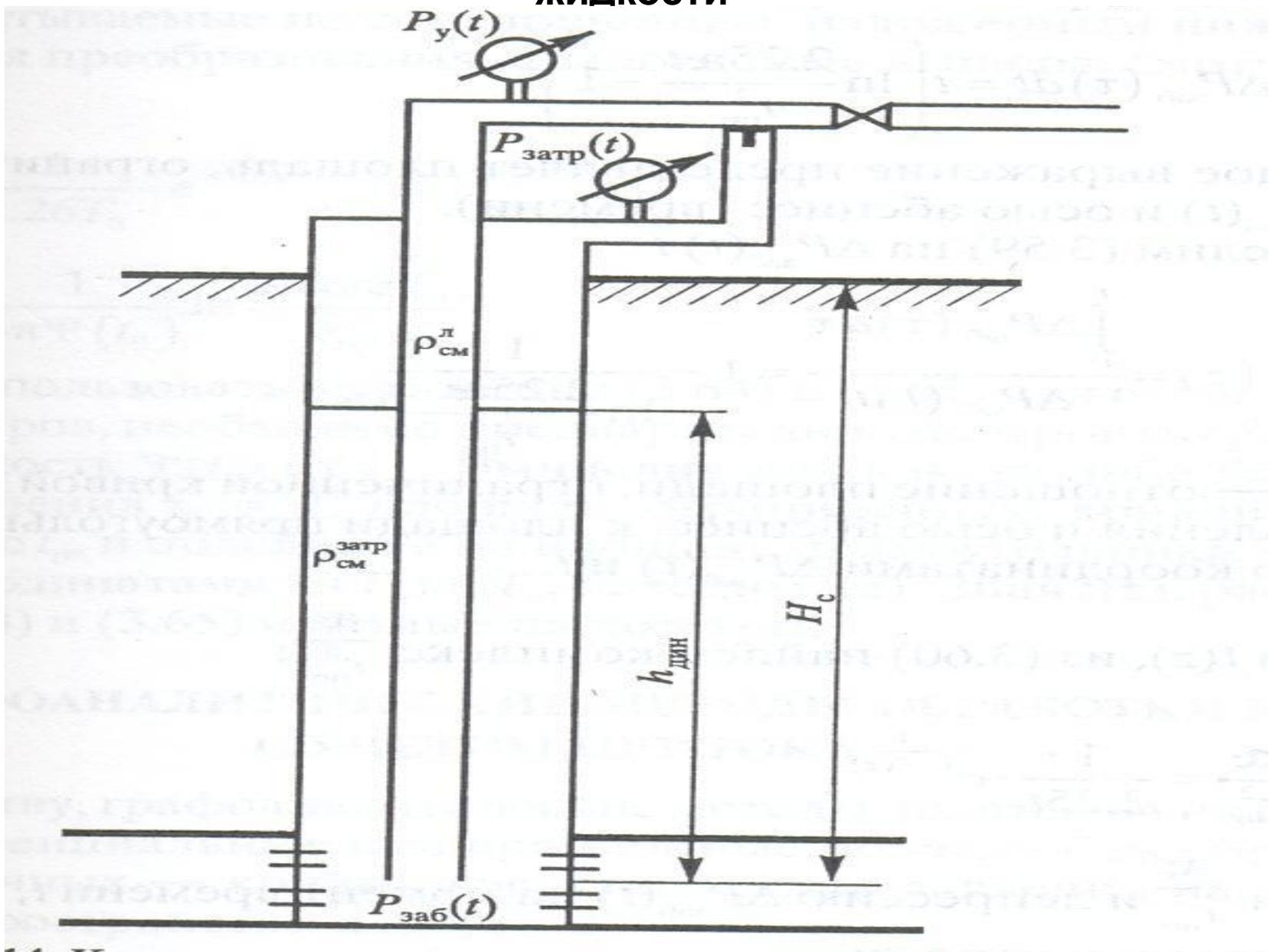


ЛЕКЦИЯ 4

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ И
ИНТЕГРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ
ОБРАБОТКИ КВД С УЧЕТОМ
ПРИТОКА**

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПЗ

Схема скважины для расчета последующего притока жидкости



Расчетная зависимость определения последующего притока

$$q = \frac{f_{затр.}}{\rho_{см.затр.}g} (\Delta P_{заб.} - \Delta P_{затр.}) + \frac{f_{нкт}}{\rho_{см.л.}g} (\Delta P_{заб.} - \Delta P_y)$$

$f_{затр}$, $f_{нкт}$ — площадь поперечного сечения затрубного пространства и колонны НКТ (лифта), м²;

$\rho_{см.затр}$, $\rho_{см.л.}$ — плотность ГЖС в затрубном пространстве и лифте, кг/м³;

$\Delta P_{заб}$, $\Delta P_{затр}$, ΔP_y — разности давлений забойного, затрубного и устьевого, МПа,

В процессе притока продукции в скважине происходит сепарация свободного газа, (в затрубном пространстве и в лифте). Это приводит к изменению плотности смеси в этих элементах, т.е. $\rho_{см.затр} = \rho_{см.затр}(t)$

Методы обработки КВД с учетом притока

- **Дифференциальные** – результаты исследования обрабатываются с помощью графического дифференцирования
- **Интегральные** – результаты исследования обрабатываются при помощи численного или графического интегрирования
- Интегральные методы предпочтительны, так как свободны от

ИНТЕГРАЛЬНЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ КВД С УЧЕТОМ ПРИТОКА

$$\frac{J(t)}{Q \cdot t - q} = \frac{\mu}{4\pi kh} \left(\ln \frac{2,25 \chi t}{r_{np}^2} + \Psi(t) \right)$$

- $J(t)$ — **импульс депрессии**, численно равный площади, ограниченной КВД и осью абсцисс (вычисляется планиметром или рассчитывается аналитически любым методом численного интегрирования, например, по формуле трапеций, МПа с);

$$J(t) = \int_0^t \Delta P_{заб}(t) dt$$

- Q — стационарный дебит скважины до остановки, м³/с;
- q — суммарный приток продукции в скважину после ее остановки, м³
- **Функция $\Psi(t)$** — зависит от последующего притока

Порядок обработки КВД интегральным методом

1. Интервал интегрирования $0-t$ разбивается на «n» частей для определения последующего притока и получения прироста забойного давления в различные моменты времени (с учетом значений предыдущего шага) и вычисляется функция $\Psi(t)$

$$\Psi(t) = \frac{Qt \cdot (\ln t - 1)}{Qt - q} - \frac{1}{Qt - q} \int_0^{t-1} \frac{q}{t - \tau} d\tau$$

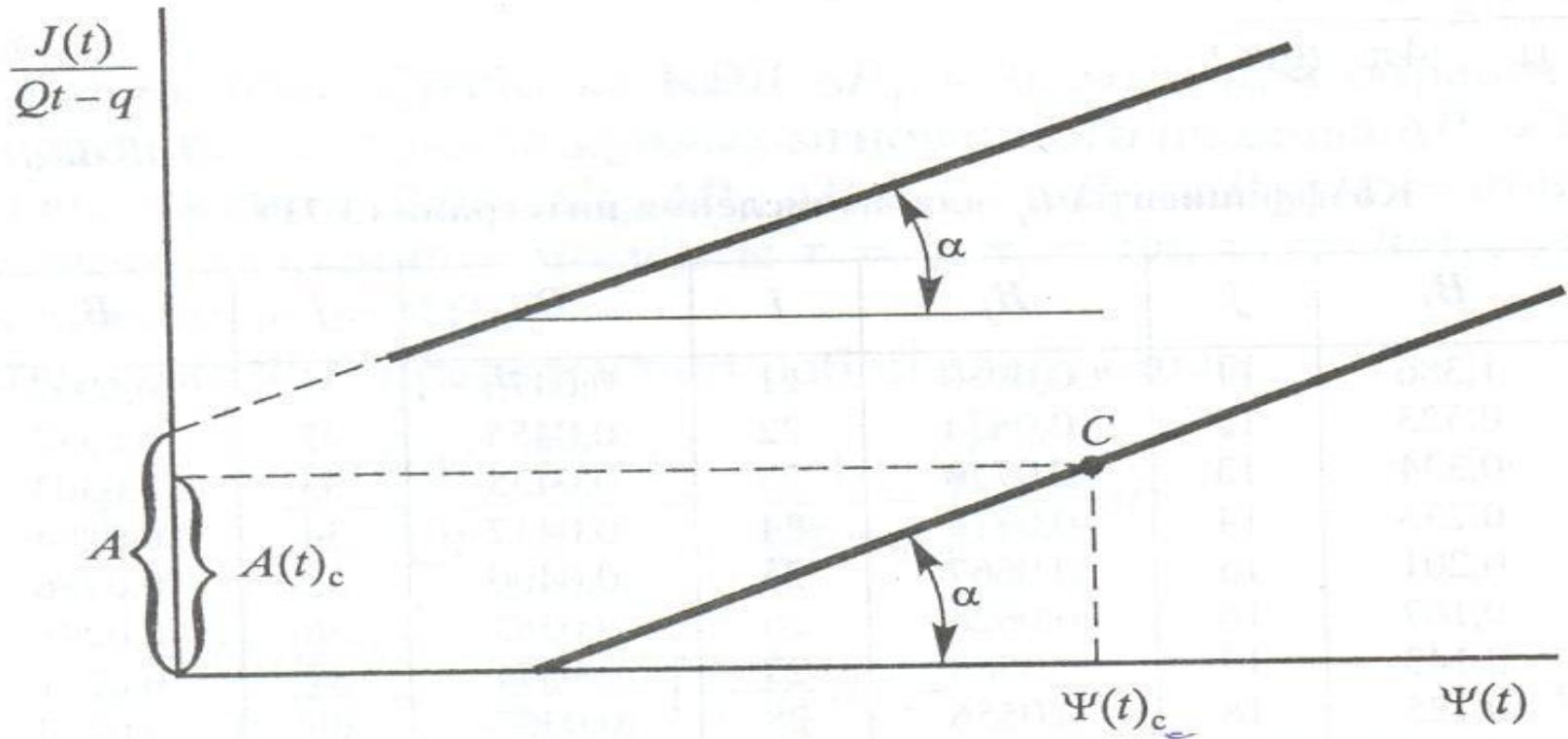
2. Для этого вычисляется интеграл по формуле:

$$S(t) = \sum_{i=1}^{n-1} q_{i.c.p.} B_i + q_n B_n$$

3. Коэффициенты B определяются по таблицам в зависимости от импульса депрессии
4. Строится КВД в координатах $[J(t) / Qt - q] - \Psi(t)$

5. Определив угловой коэффициент $\operatorname{tg}\alpha$ и отрезок A , находят следующие параметры:

$$\frac{kh}{\mu} = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} \quad \frac{\chi}{r_{np.}^2} = \frac{1}{2,25} \cdot e^{A/\operatorname{tg}\alpha}$$



6. Далее определяют коэффициент подвижности, коэффициент пьезопроводности, коэффициент проницаемости, приведенный радиус скважины, скин-эффект, параметр ОП

- Если график преобразованной КВД таков, что нельзя измерить отрезок A , то параметр α/r^2_{np} можно вычислить, выбрав на КВД любую точку и, определив ее координаты

$$\frac{\chi}{r^2_{np.}} = \frac{1}{2,25 \cdot \Psi(t)} \cdot e^{A(t)/tg\alpha}$$

- $A(t)$ и $\Psi(t)$ - координаты любой точки прямой (точка С)

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ КВД С УЧЕТОМ ПРИТОКА

- используется зависимость

$$\frac{\Delta P(t)}{Q - q(t)} = \frac{\mu}{4\pi kh} \left(\ln \frac{2,25 \chi t}{r_{np}^2} + \varphi(t) \right)$$

$$\varphi(t) = \frac{Q \cdot \ln t - \sigma(t)}{Q - q(t)} \quad \sigma(t) = \int_0^{t-1} \frac{q(\tau)}{t - \tau} d\tau$$

- Q — стационарный дебит скважины до ее остановки, м³/с
- $q(t)$ — переменный во времени приток в скважину после ее остановки, м³/с

Порядок обработки КВД дифференциальным методом

1. Интервал интегрирования $0-t$ разбивается на «n» частей для определения последующего притока и получения прироста забойного давления в различные моменты времени (**без учета значений предыдущего шага**)
2. Вычисляется $[\Delta P(t)/ Q - q(t)]$, интеграл $\sigma(t)$ и функция $\phi(t)$
3. Строится КВД в координатах $[\Delta P(t)/ Q - q(t)] - \phi(t)$
4. По угловому коэффициенту КВД в координатах $[\Delta P(t)/ Q - q(t)] - \phi(t)$ и отрезку **A** вычисляют:
 kh/μ и α/r^2 _{пр}
коэффициент подвижности,
коэффициент пьезопроводности,
коэффициент проницаемости
приведенный радиус скважины
скин-эффект
параметр ОП

- Сложность данного метода заключается в необходимости вычисления $q(t)$, а также интеграла $\sigma(t)$, который вычисляется аналогично вычислению $S(t)$ в интегральном методе

Исследование скважины, работающей в НР

- **инструмент контроля за рациональной РМ - даёт информацию, позволяющую оперативно принимать соответствующие решения**
- **позволяет фиксировать потери энергии в ПЗС и оценивать степень её загрязнения по величине скин-фактора и параметра ОП**

Потери энергии в ПЗС происходят из-за
кольматации

- **Кольматация** - **процесс**
загрязнения
фильтрационных каналов
механическими частицами
- Декольматация – **процесс** очистки **фильтрационных**
каналов

Кольматация ПЗС может происходить

- **В процессе первичного вскрытия и последующего цементирования**
 - фильтрат применяемых растворов при бурении
 - частицы дисперсной фазы цементного раствора при цементировании
- **В процессе эксплуатации ДС**
 - облитерация - разрушение цементирующего вещества терригенного коллектора в ПЗС
 - отложения АСП компонентов нефти, солей
- **В процессе эксплуатации НС**
 - отложение в ПЗС ТВЧ, поступающих с закачиваемой для ППД водой
 - отложение солей, продуктов коррозии труб
 - Отрицательное влияние кольматации на фильтрационные характеристики системы может быть снижено различными технологиями

Скин-эффект

безразмерная депрессия на пласт, которая расходуется на преодоление дополнительных фильтрационных сопротивлений в ПЗ, обладающей худшими фильтрационными свойствами

Скин-эффект впервые был введен в решение уравнения пьезопроводности Ван Эвердингом и Херстом

$$\Delta P(t) = \frac{Q\mu b}{4\pi kh} \ln \frac{2,25 \chi t}{r_{np}^2} + 2S'$$

S' – численная величина, характеризующая дополнительные фильтрационные сопротивления при движении флюида в ПЗС

Несовершенство скважин и изменение проницаемости в ПЗ сказываются только на начальных участках КВД, т.е. при времени $\gg 1$ часа скин-эффект на дальнейший ход кривых не влияет

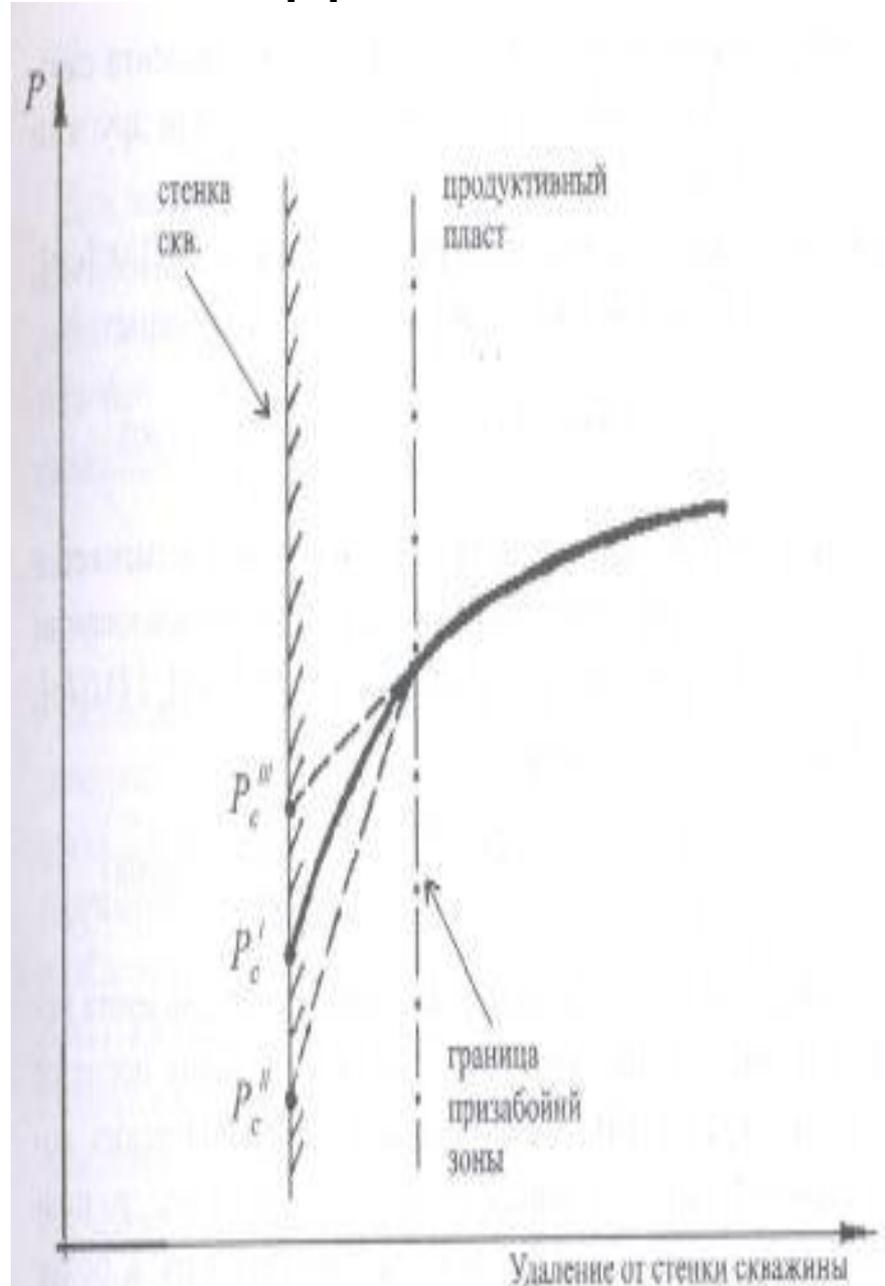
Механизм действия скин-эффекта

Количество притекающей жидкости с забоем скважины зависит от свойств пласта, свойств самой жидкости, состояния ПЗ и создаваемой депрессии $\Delta P' = P_{пл} - P_c'$ для несовершенной скважины, а также при изменении свойств пласта в ПЗ, для сохранения того же притока необходимо создание иной величины депрессии

В случае снижения проницаемости ПЗ по сравнению с проницаемостью пласта, для поддержания притока необходимы дополнительные затраты пластовой энергии $P_c'' < P_c'$ и $\Delta P'' > \Delta P'$

В случае повышения проницаемости ПЗ по сравнению с проницаемостью пласта, необходимый приток сохраняется при меньших величинах депрессии

$P_c''' > P_c'$ и $\Delta P''' < \Delta P'$



Определение скин-эффекта по результатам исследований на НР

$$S = 1,15 \left[\frac{P_{3600}}{i} - \lg \frac{\chi}{r_c^2} - 3,908 \right]$$

- P_{3600} – забойное давление через 1 час после остановки скважины;
- i – угол наклона КВД
- **Величина S положительна, если проницаемость ПЗ меньше проницаемости пласта и отрицательна, если наоборот**

Определение скин-эффекта по результатам исследований на НР

- Если нет сведений о величине пьезопроводности или комплексного параметра, то вместо пьезопроводности подставляют её составляющие

$$S = 1,15 \left[\frac{P_{3600}}{i} - \lg \frac{k}{\mu \cdot m \cdot \beta_{жс} \cdot r_c} - 3,908 \right]$$

- Необходимые значения пористости, вязкости и коэффициента сжимаемости определяют из лабораторных экспериментов

Параметр ОП для определения свойств ПЗ

- **отношение фактической продуктивности к потенциальной**

$$ОП = \frac{\Delta P - \Delta P_s}{\Delta P}$$

ΔP – депрессия, МПа; ΔP_s – **скиновый перепад давления**, МПа;

- ΔP_s определяется через **скин-эффект S**:

$$\Delta P_s = \frac{S \cdot Q_0}{2\pi\varepsilon}$$

- Q_0 - дебит скважины, м³/с; S - скин-эффект, безразмерный;
 ε - гидропроводность, м²м/(Па·с); ΔP_s - скиновый перепад давления, МПа

Преимущество параметра ОП

в отличие от скин-эффекта **позволяет наглядно оценить потерю или выигрыш продуктивности за счет изменения свойств ПЗ**

при **ОП=0,78** скважина теряет 22% продуктивности за счет ухудшенных свойств ПЗ

- При $OP=1$ и $S=0$ свойства призабойной и удаленной зон одинаковы, фактическая продуктивность равна потенциальной
- При $OP>1$ и $S<0$ свойства призабойной зоны лучше по сравнению с удаленной зоной пласта
- при $OP<1$ и $S>0$ свойства призабойной зоны обладают худшими фильтрационными параметрами по сравнению со свойствами удаленной зоны пласта