

Скин-фактор.  
Различные режимы притока.  
Уравнение притока.

# Повторение

---

# Повторение (лекция 8 за 10 класс)

---

Линейная форма закона Дарси

$$\frac{q}{A} = - \frac{k}{\mu} \frac{dp}{dx}$$

$q$  – объемная скорость потока, см<sup>3</sup>/сек;

$A$  – площадь поперечного сечения (перпендикулярно потоку), см<sup>2</sup>;

$\mu$  – вязкость флюида, сП;

$\frac{dp}{dx}$  – перепад давления на единицу длины (градиент), атм/см;

$k$  – проницаемость, Д

Формула Дюпюи

$$q = \frac{kh(P_e - P_w)}{18.41\mu B \ln \frac{r_e}{r_w}}$$

$P_e$  - давление на границе пласта (на расстоянии  $r_e$  от скважины) или на границе зоны дренирования скважины, атм;

$P_w$  - забойное давление в скважине, атм;

$q$  – дебит скважины в пластовых условиях, м<sup>3</sup>/сут;

$\mu$  – вязкость, сПз;

$k$  – проницаемость, мД;

$h$  - продуктивная толщина пласта, м;

$r_w$  - радиус скважины, м;

$r_e$  - расстояние от скважины до границы пласта или до границы зоны дренирования скважины, м

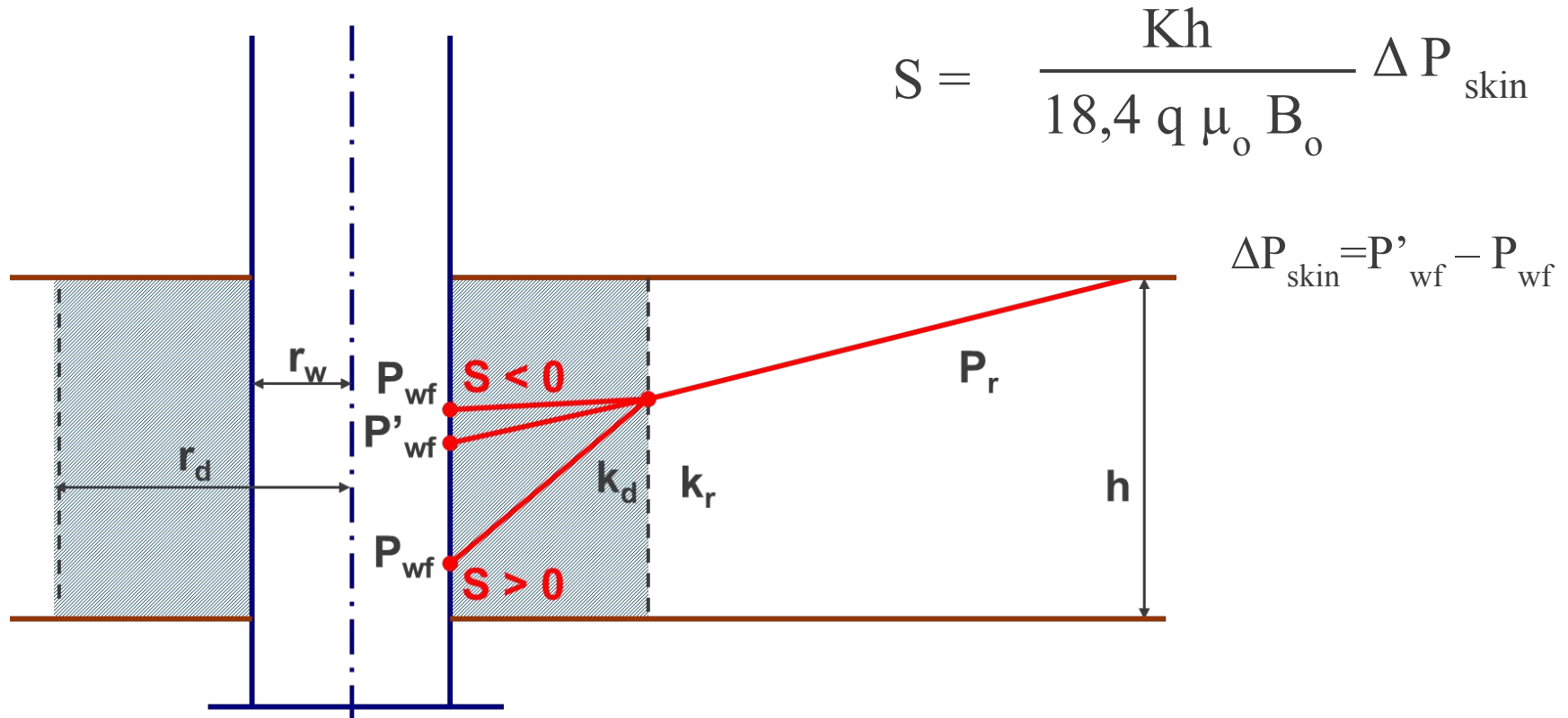
## Скин - фактор

---

В случае наличия скин - эффекта формула Дюпюи выглядит так

$$q = \frac{kh(P_e - P_w)}{18.41\mu B * (\ln \frac{r_e}{r_w} + S)}$$

# Модель скин-эффекта



**Скин-эффект** – дополнительное падение давления за счет изменения проницаемости призабойной зоны.

**Скин-фактор** – безразмерная величина, связывающая изменение давления в прискважинной зоне, дебит и гидропроводность породы.

# Причины возникновения скин - эффекта

---

## Причины, связанные с изменением фильтрационных свойств призабойной зоны:

1. Кольматирование буровым раствором
2. Осаждение солей из-за несовместимости пластовой и нагнетаемой воды
3. Разрушение естественного цемента пласта и вынос его в призабойную зону
4. Гидроразрыв пласта
5. Проведение кислотных обработок
6. Возникновение уплотненной зоны меньшей проницаемости при перфорации

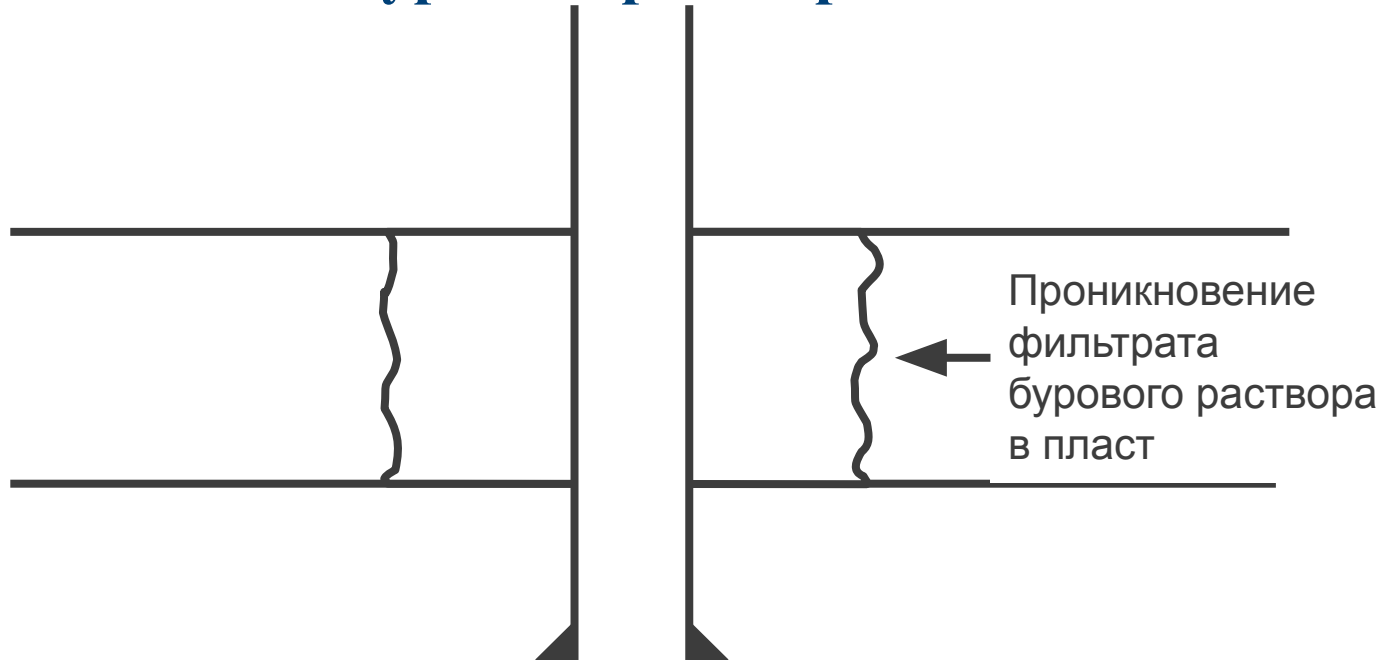
## Другие причины:

1. Частичное вскрытие пласта
2. Отклонение скважины от вертикали

# Причины возникновения скин – эффекта. Влияние бурового раствора.

---

## Повреждения, вызванные закачкой бурового раствора

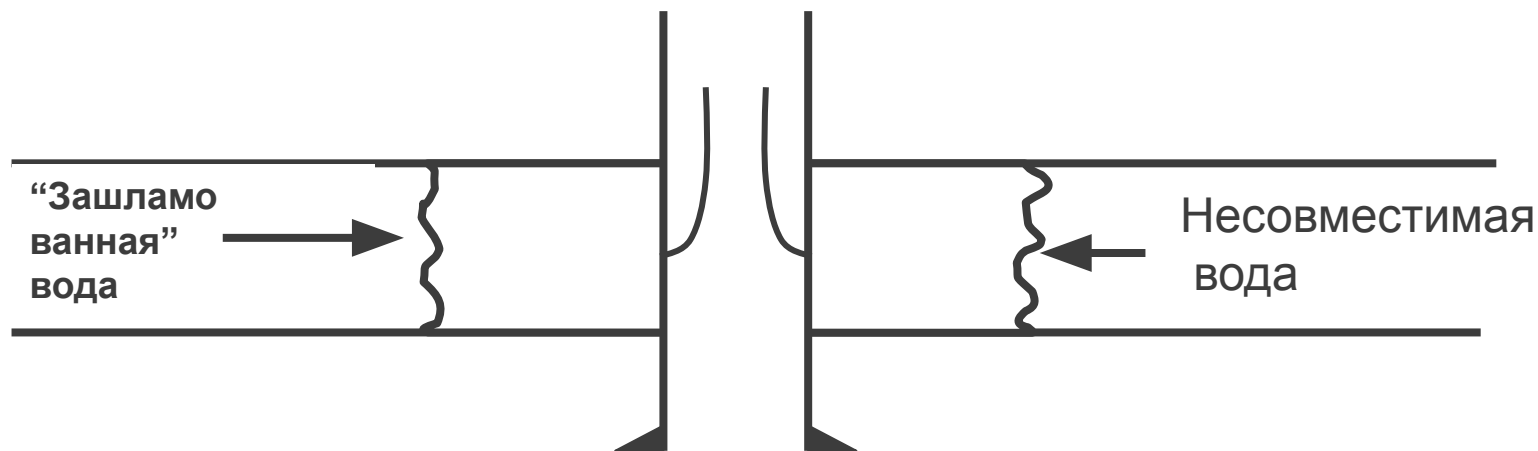


- Проникновение фильтрата бурового раствора сокращает эффективную проницаемость в призабойной зоне.

# Причины возникновения скин – эффекта. Влияние закачки.

---

## Повреждения при закачке



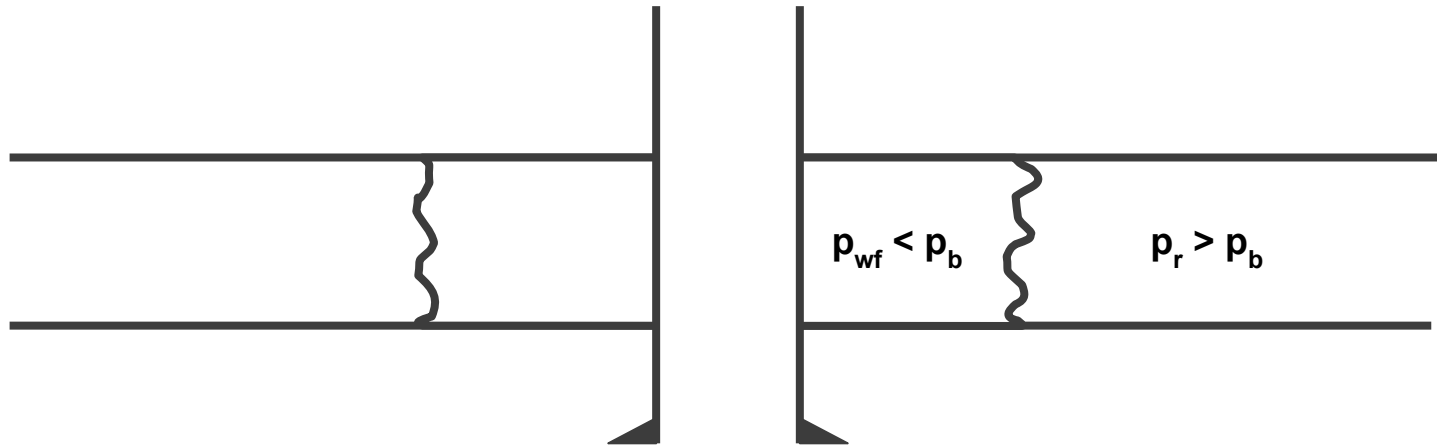
- **Закачиваемая вода может быть «грязной» – мелкие частицы могут закупорить поровые каналы.**
- **Закачиваемая вода может быть несовместимой с пластовой водой – может вызвать образование осадков и закупорить поровые каналы.**
- **Закачиваемая вода может оказаться несовместимой с глинистыми минералами пласта; вода может дестабилизировать некоторые глины, вызывая движение мелких частиц и закупоривая поровые каналы.**



# Причины возникновения скин – эффекта. Влияние процесса добычи.

---

## Повреждения в результате добычи

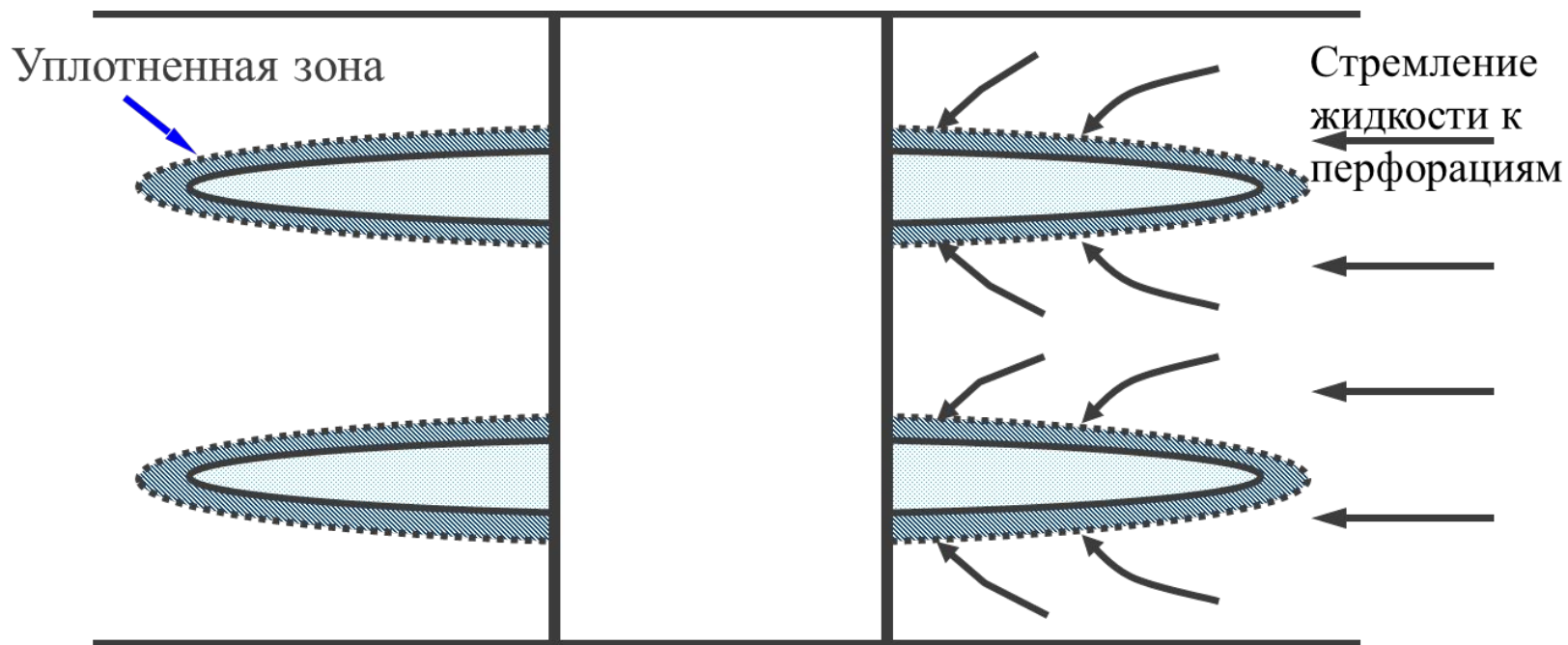


- В нефтеносном пласте околоскважинное давление может быть ниже давления насыщения. При этом происходит выделение свободного газа, который снижает эффективную проницаемость по нефти в околоскважинной зоне.
- В ретроградном газоконденсатном коллекторе околоскважинное давление может быть ниже точки росы. При этом образуется неподвижное конденсатное кольцо, что снижает эффективную проницаемость по газу в околоскважинной зоне.

# Причины возникновения скин – эффекта. Влияние перфорации.

Вследствие воздействия кумулятивной струи на породу, вокруг перфорационного канала образуется уплотненная зона уменьшенной проницаемости.

$S_p$  – скин-фактор, учитывающий геометрию перфорации (+)

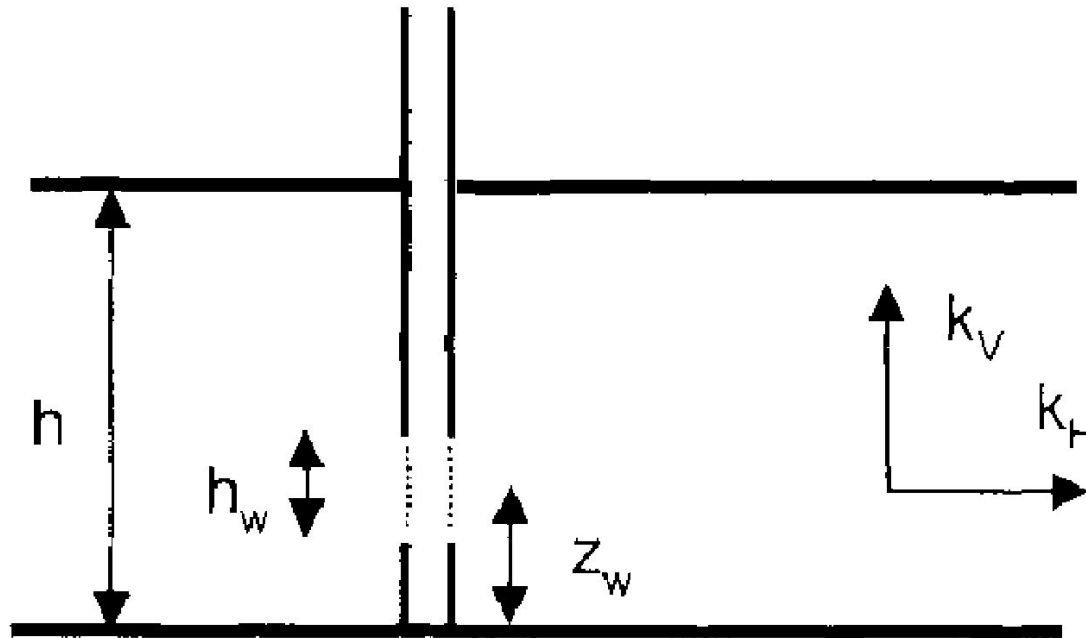


# Причины возникновения скин – эффекта. Влияние частичного вскрытия.

---

$S_{pp}$  скин-фактор за счет частичного вскрытия (+)

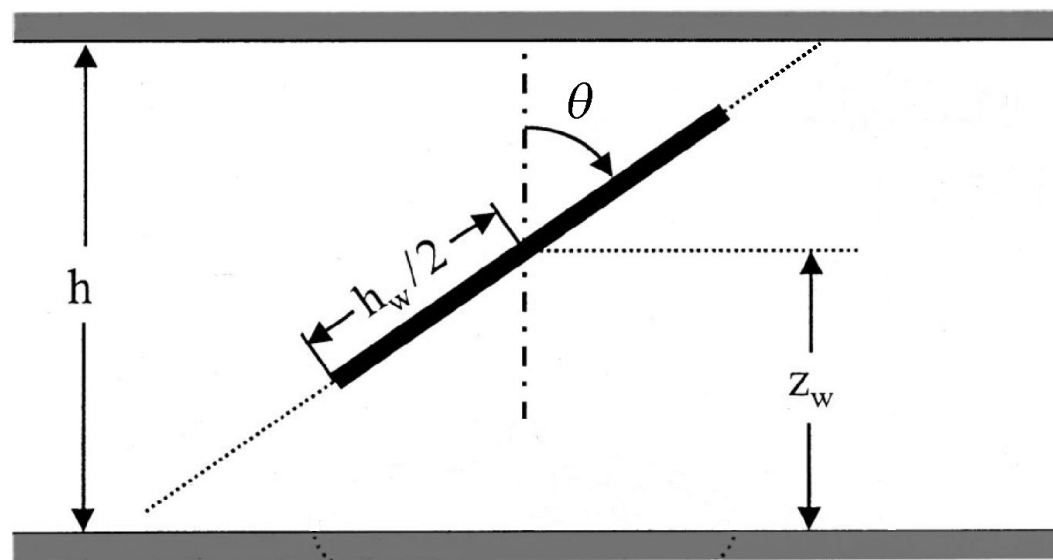
В результате перфорации пласт вскрыт не полностью. Из всей толщины  $h$  работает лишь  $h_w$ .



# Причины возникновения скин – эффекта. Влияние отклонения скважины от вертикали.

---

По сравнению с вертикальной скважиной продуктивность наклонно-направленной скважины оказывается выше за счет увеличения площади поверхности, доступной для притока пластового флюида. Этот эффект учитывают с помощью введения геометрического скин-фактора  $S_{\theta} < 0$ .



# Суммарный скин-фактор

---

**S** – суммарный скин-эффект – совокупность скин-эффектов, возникших по различным причинам:

$$S = S_d + S_p + S_{pp} + S_{sz} + S_\theta + S_f + \dots$$

$S_d$  – механический скин-фактор, возникающий за счет изменения фильтрационных свойств в призабойной области вокруг скважины, которое происходит, например, вследствие кольматации бурового раствора в пласт (+)

$S_p$  – скин-фактор за счет перфорации. Возникает из-за несовершенства скважины по характеру вскрытия и отражает влияние на продуктивность обсаженной скважины эффект создания перфорационных каналов, по которым осуществляется приток флюида из продуктивного пласта в ствол скважины (+)

$S_{pp}$  – скин-фактор за счет частичного вскрытия. Возникает из-за несовершенства скважины по степени вскрытия (то есть за счет неполного вскрытия стволом скважины всей мощности продуктивного пласта) (+)

$S_{sz}$  – скин-фактор за счет образования зоны разрушения. Возникает из-за несовершенства скважины по характеру вскрытия и отражает влияние на продуктивность обсаженной скважины эффекта уплотнения породы в области вокруг перфорационных каналов (+)

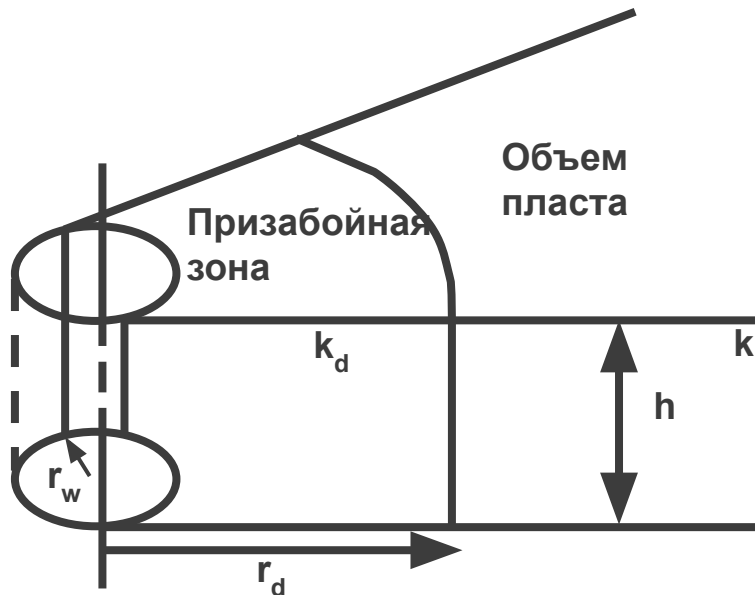
$S_\theta$  – геометрический скин-фактор, возникающий за счет отклонения ствола скважины от вертикали (-)

$S_f$  – скин-фактор, возникающий за счет создания трещин гидравлического разрыва пласта (ГРП) (-)

...

# Скин-фактор. Формула Хокинса.

Используя концепцию скина как кольцеобразной зоны вокруг скважины с измененной проницаемостью, Хокинс построил модель скважины, как показано на рисунке. Скин-фактор может быть вычислен с помощью свойств призабойной зоны.



$$s_d = \left( \frac{k}{k_d} - 1 \right) \ln \left( \frac{r_d}{r_w} \right)$$

$k$  – проницаемость коллектора

$k_d$  – проницаемость измененной зоны

$r_d$  – радиус измененной зоны

$r_w$  – радиус скважины

Если  $k_d < k$  (повреждение), скин-фактор является положительным.

Если  $k_d > k$  (интенсификация), скин-фактор является отрицательным.

Если  $k_d = k$ , скин-фактор равен 0.

[Посмотреть  
вывод  
формулы](#)

# Задача

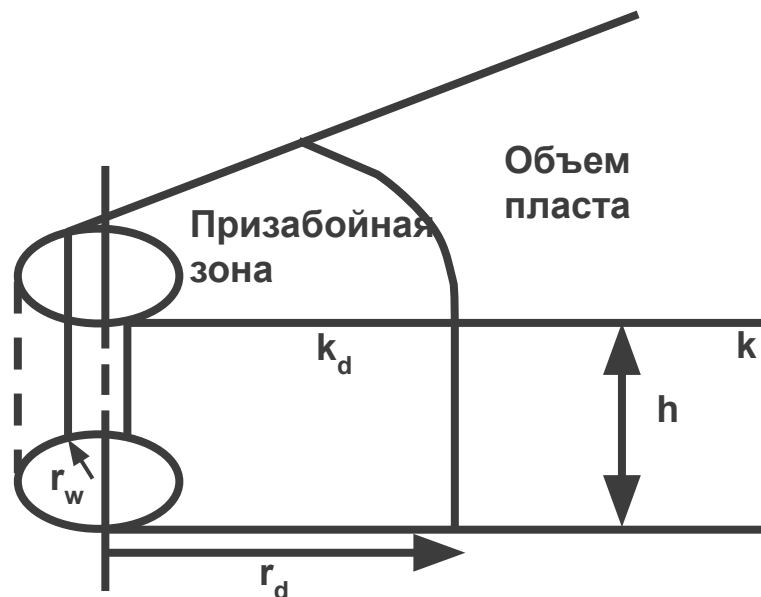
---

В процессе глушения скважины, отфильтровавшаяся в призабойную зону жидкость, изменила проницаемость со 100 мД до 60 мД в радиусе 0,6 м. Радиус скважины – 0,108 м.

Для очистки призабойной зоны применили кислотную обработку при этом проницаемость восстановилась до 80% от исходной.

Вычислить скин – фактор до и после очистки призабойной зоны.

# Решение



$$s_d = \left( \frac{k}{k_d} - 1 \right) \ln \left( \frac{r_d}{r_w} \right)$$

$k$  – проницаемость коллектора

$k_d$  – проницаемость измененной зоны

$r_d$  – радиус измененной зоны

$r_w$  – радиус скважины

$$s_d = \left( \frac{k}{k_d} - 1 \right) \ln \left( \frac{r_d}{r_w} \right) = \left( \frac{100}{60} - 1 \right) \ln \left( \frac{0.6}{0.108} \right) = 1.143$$

$$s_d = \left( \frac{k}{k_d} - 1 \right) \ln \left( \frac{r_d}{r_w} \right) = \left( \frac{100}{80} - 1 \right) \ln \left( \frac{0.6}{0.108} \right) = 0.429$$



# Формула Дюпюи с учетом скин-фактора

---

$$q = \frac{kh(P_e - P_w)}{18.41\mu B * (\ln \frac{r_e}{r_w} + S)} \quad \Rightarrow \quad q = \frac{kh(\bar{P}_r - P_w)}{18.41\mu B * (\ln \frac{r_e}{r_w} + S - 0,5)}$$

$$S = S_d + S_p + S_{pp} + S_{sz} + S_q + S_f + \dots$$

$P_e$  – давление на границе пласта (на расстоянии  $r_e$  от скважины) или на границе зоны дренирования скважины, атм;

$\bar{P}_r$  – среднее пластовое давление, атм;

$P_w$  – забойное давление в скважине, атм;

$q$  – дебит скважины в пластовых условиях, м<sup>3</sup>/сут;

$\mu$  – вязкость, сПз;

$k$  – проницаемость, мД;

$h$  – продуктивная толщина пласта, м;

$r_w$  – радиус скважины, м;

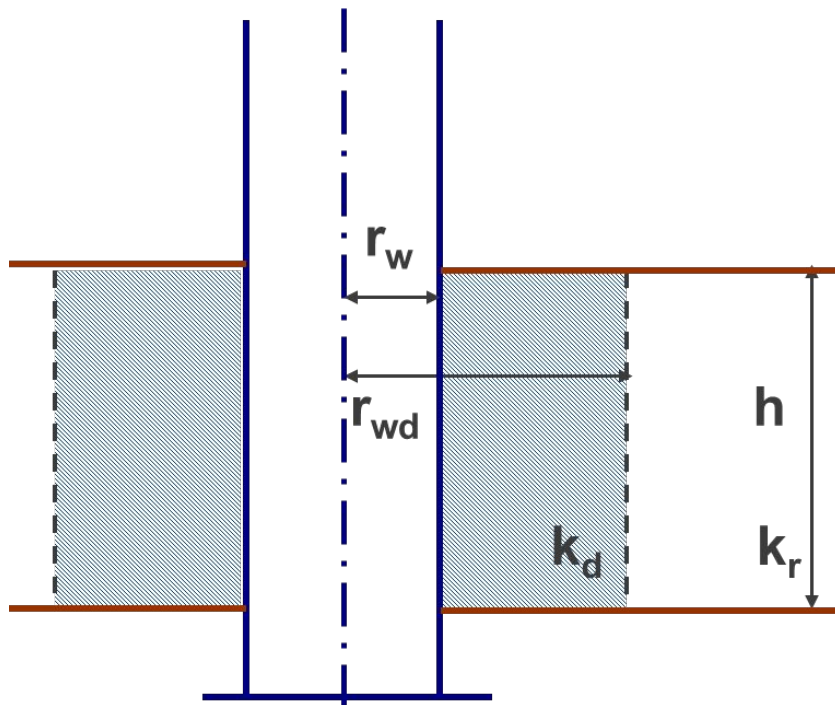
$r_e$  – расстояние от скважины до границы пласта или до границы зоны дренирования скважины, м;

$S$  – скин-фактор, безразмерный.

# Эффективный радиус скважины

Если проницаемость в зоне изменения  $k_d$  намного выше, чем проницаемость пласта  $k_r$ , то скважина будет вести себя как скважина с вероятным радиусом  $r_{wd}$  - эффективный радиус скважины.

$r_{wd}$  может быть вычислен на основе реального радиуса и скин-фактора:



$$S = -\ln\left(\frac{r_{wd}}{r_w}\right)$$

$$r_{wd} = r_w e^{-S}$$

# Минимальный скин-фактор

---

$$q = \frac{kh(P_e - P_w)}{18.41\mu B * (\ln \frac{r_e}{r_w} + S)}$$

(максимально отрицательный скин-фактор) достигается при условии  $r_{wd} = r_e$ ,

где  $r_{wd}$  - эффективный радиус скважины

$r_e$  - радиус зоны дренирования

$$S_{\min} = -\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right)$$

**Пример:**

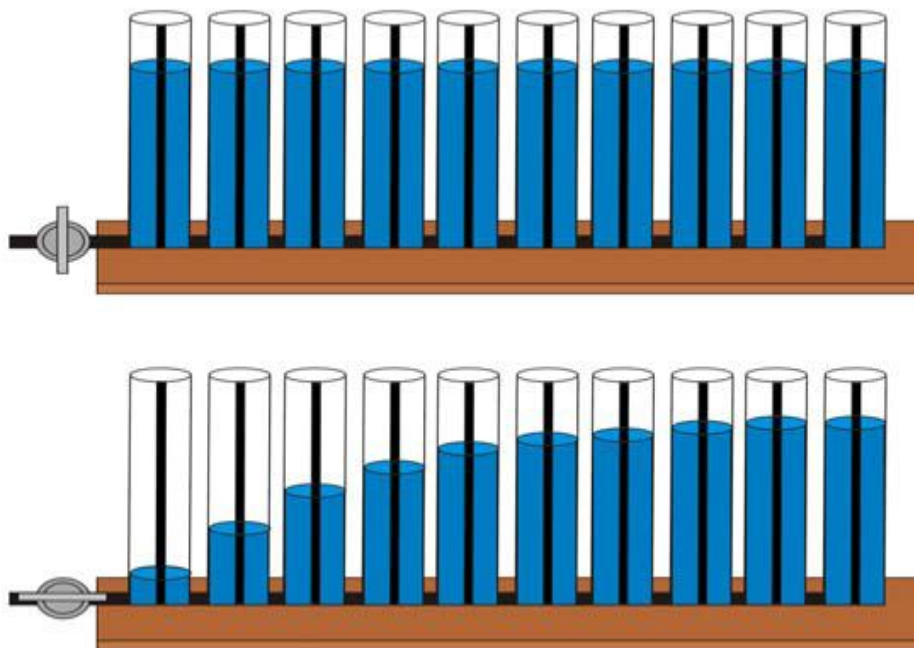
$$S_{\min} = -\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) = -\ln\left(\frac{250}{0.108}\right) = -7.8$$

## Различные режимы притока

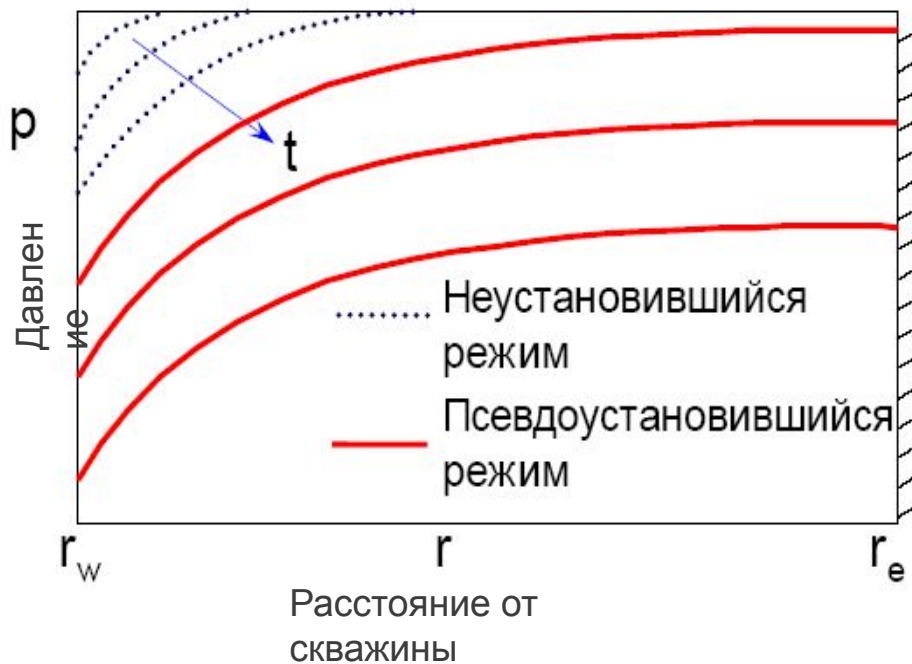
---

# Режимы притока

Линейная модель коллектора



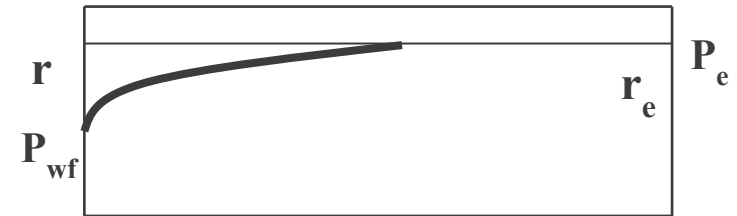
Профиль давления



# Типы потока в пласте

## Неустановившийся

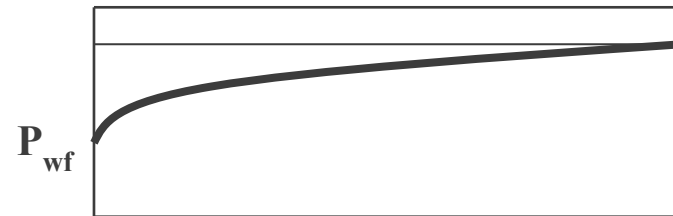
“волна депрессии на пласт еще не достигла границ пласта”



## Установившийся

“пластовые давления не меняются”

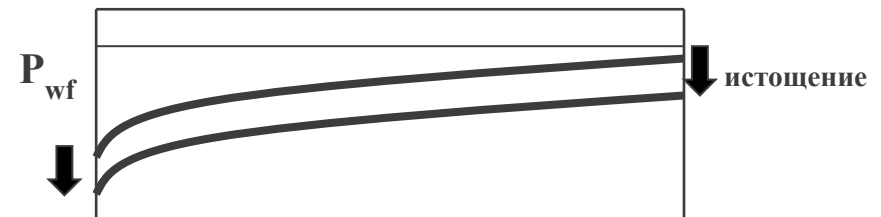
- поддержание пластового давления, т.е. волна давления достигла, по крайней мере, одной границы пласта



## Псевдоустановившийся

“волна давления достигла **всех** границ пласта” – замкнутый коллектор, постоянный дебит

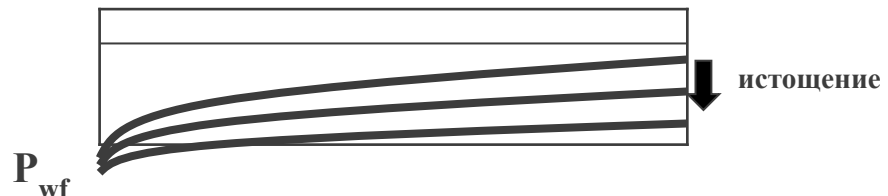
- забойное давление снижается при снижении давления на контуре



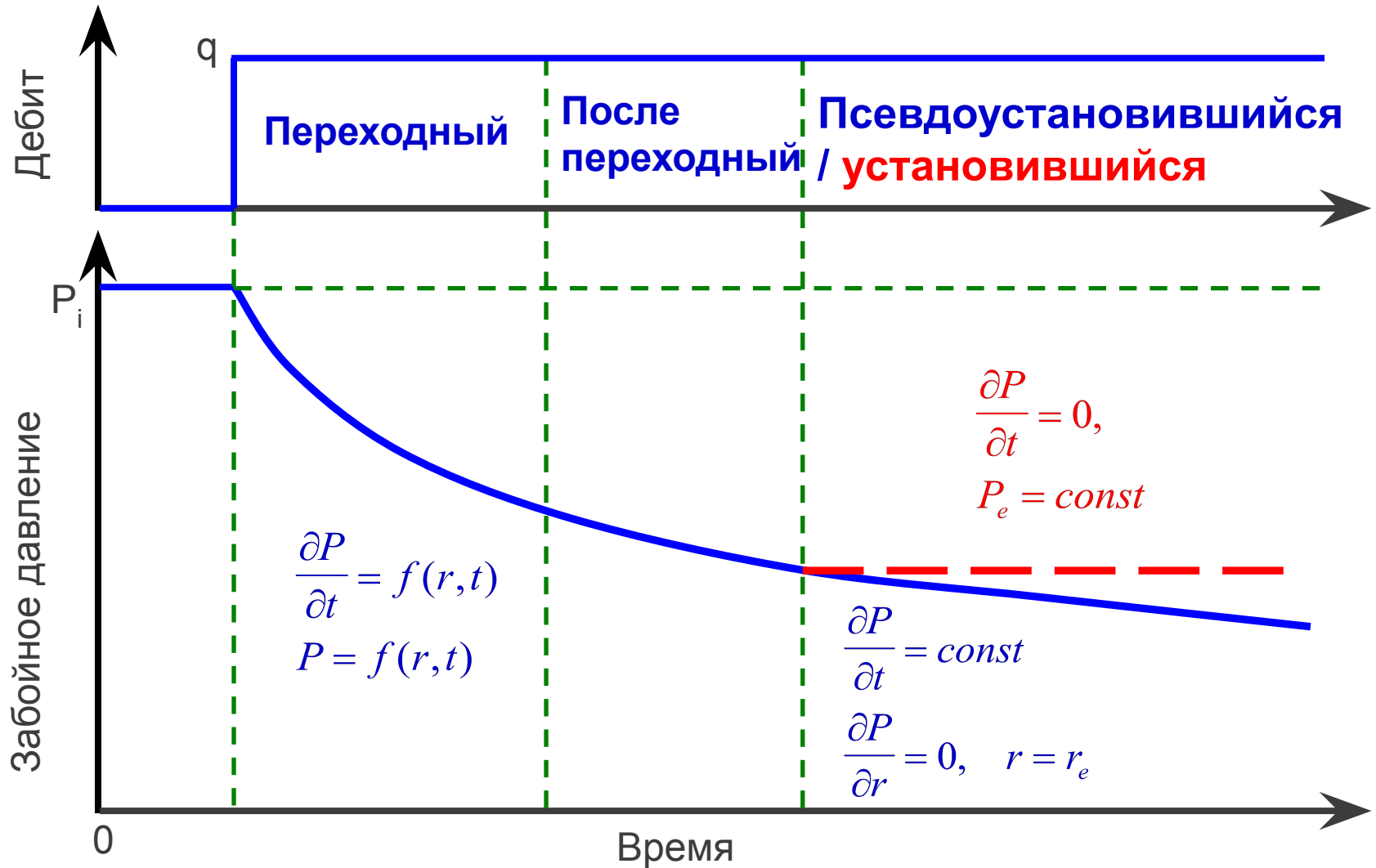
## Поток, определяемый граничными эффектами

“волна давления достигла всех границ”

- дебит при постоянном забойном давлении снижается при истощении пласта



# Режимы притока



# Уравнения притока

Неустановившийся:

$$q = \frac{kh(\bar{P} - P_{wf})}{C\mu B \left( \ln\left(\frac{kt}{\phi\mu c_r r_w^2}\right) + S \right)}$$

Псевдоустановившийся:

$$q = \frac{kh(\bar{P} - P_{wf})}{C\mu B \left( \ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - \frac{3}{4} + S \right)}$$

Установившийся:

$$q = \frac{kh(\bar{P} - P_{wf})}{C\mu B \left( \ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - \frac{1}{2} + S \right)}, \text{ где}$$

Коэффициент продуктивности

$$PI = \left( \frac{q}{(\bar{P} - P_{wf})} \right), \left[ \frac{m^3}{сут * атм} \right]$$

$\phi$  – пористость

$Ct$  – сжимаемость, 1/атм

$q$  – дебит, м3/сут

$\bar{P}$  – среднепластовое давление, атм

$P_{wf}$  – забойное давление, атм

$k$  – эффективная фазовая проницаемость, мД

$h$  – мощность, м

$B$  – объемный коэффициент, м3/м3

$\mu$  – вязкость, сПз

$S$  – скин-фактор

$r_w$  – радиус скважины, м

$r_e$  – радиус контура питания, м

$C$  – константа, для России принято 18.41



# Задача

---

«Расчёт стационарного дебита скважины, расположенной в центре круговой зоны дренирования»

Пусть:  $R_e = 160 \text{ м}$

$$R_w = 0.1 \text{ м}$$

$$\mu = 1.5 \text{ сП} = 1.5 \text{ мП} \cdot \text{с}$$

$$k = 20 \text{ мД}$$

$$h = 10 \text{ м}$$

$$P_e = 250 \text{ бар} \approx 250 \text{ атм}$$

$$P_w = 100 \text{ бар} \approx 100 \text{ атм}$$

$$B = 1.13$$

Найдите дебит скважины при  $S=0$  и при  $S=2$

# Решение

---

$$R_e = 160 \text{ м}$$

$$R_w = 0.1 \text{ м}$$

$$\mu = 1.5 \text{ сПз} = 1.5 \text{ мП} \cdot \text{с}$$

$$k = 20 \text{ мД}$$

$$h = 10 \text{ м}$$

$$P_e = 250 \text{ бар} \approx 250 \text{ атм}$$

$$P_w = 100 \text{ бар} \approx 100 \text{ атм}$$

$$B = 1.13$$

$$1) S = 0$$

$$2) S = 2$$

Найти

$$q = ?$$

$$q = \frac{kh(P_e - P_w)}{18.41\mu B * (\ln \frac{r_e}{r_w} + S)}$$
$$= \frac{20 * 10(250 - 100)}{18.41 * 1.5 * 1.13 * (\ln \frac{160}{0,1} + S)}$$

$$1) 130 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}}$$

$$2) 103 \frac{\text{м}^3}{\text{сут}}$$

# После этой лекции я должен знать

---

- Что такое скин-эффект и скин-фактор?
- Причины возникновения скин-эффекта
- Как учесть влияние сразу нескольких скин-эффектов?
- Формула Хокинса
- Формула Дюпюи с учетом скин-фактора
- Как скин-фактор влияет на дебит скважины?
- Какие значения может принимать скин-фактор?
- Что такое эффективный радиус скважины? Для чего он нужен?
- Три режима притока к скважине. Чем отличаются?
- Уравнение притока (дебита) для различных режимов.

## Дополнительные слайды

---

# Скин-фактор. Вывод формулы Хокинса.

## Вывод формулы Хокинса

$$\begin{aligned}\Delta P_{\text{общ}} &= \Delta P_{\text{нач}} + \Delta P_{\text{скин}} = \frac{18,41 \cdot q \bar{\mu} B}{kh} \ln\left(\frac{r_e}{r_d}\right) + \frac{18,41 \cdot q \bar{\mu} B}{k_d h} \ln\left(\frac{r_d}{r_w}\right) = \\ &= \frac{18,41 \cdot q \bar{\mu} B}{h} \left( \frac{1}{k} \ln\left(\frac{r_e}{r_d}\right) + \frac{1}{k_d} \ln\left(\frac{r_d}{r_w}\right) \right) = \\ &= \frac{18,41 \cdot q \bar{\mu} B}{hk} \left( \ln\left(\frac{r_e}{r_d}\right) + \frac{k}{k_d} \ln\left(\frac{r_d}{r_w}\right) \right) = \\ &= A \left( \ln\left(\frac{r_e}{r_d}\right) + \ln\left(\frac{r_d}{r_w}\right) - \ln\left(\frac{r_d}{r_w}\right) + \frac{k}{k_d} \ln\left(\frac{r_d}{r_w}\right) \right) = \\ &= A \left( \ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) + \left( \frac{k}{k_d} - 1 \right) \ln\left(\frac{r_d}{r_w}\right) \right)\end{aligned}$$

Введем обозначения

$$\left( \frac{k}{k_d} - 1 \right) \ln\left(\frac{r_d}{r_w}\right) = S$$

- скин-фактор, то формула Дюпюи может быть записана в виде:

$$q = \frac{kh}{18,41 \cdot \mu B \left( \ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) + S \right)} (P_e - P_w)$$

[Вернуться к презентации](#)