

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, см³/сек;

A – площадь поперечного сечения (перпендикулярно потоку), см²;

μ – 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, м³/сут;

μ – вязкость, сПз;

k – проницаемость, мД;

h - продуктивная толщина пласта, м;

r_w - радиус скважины, м;

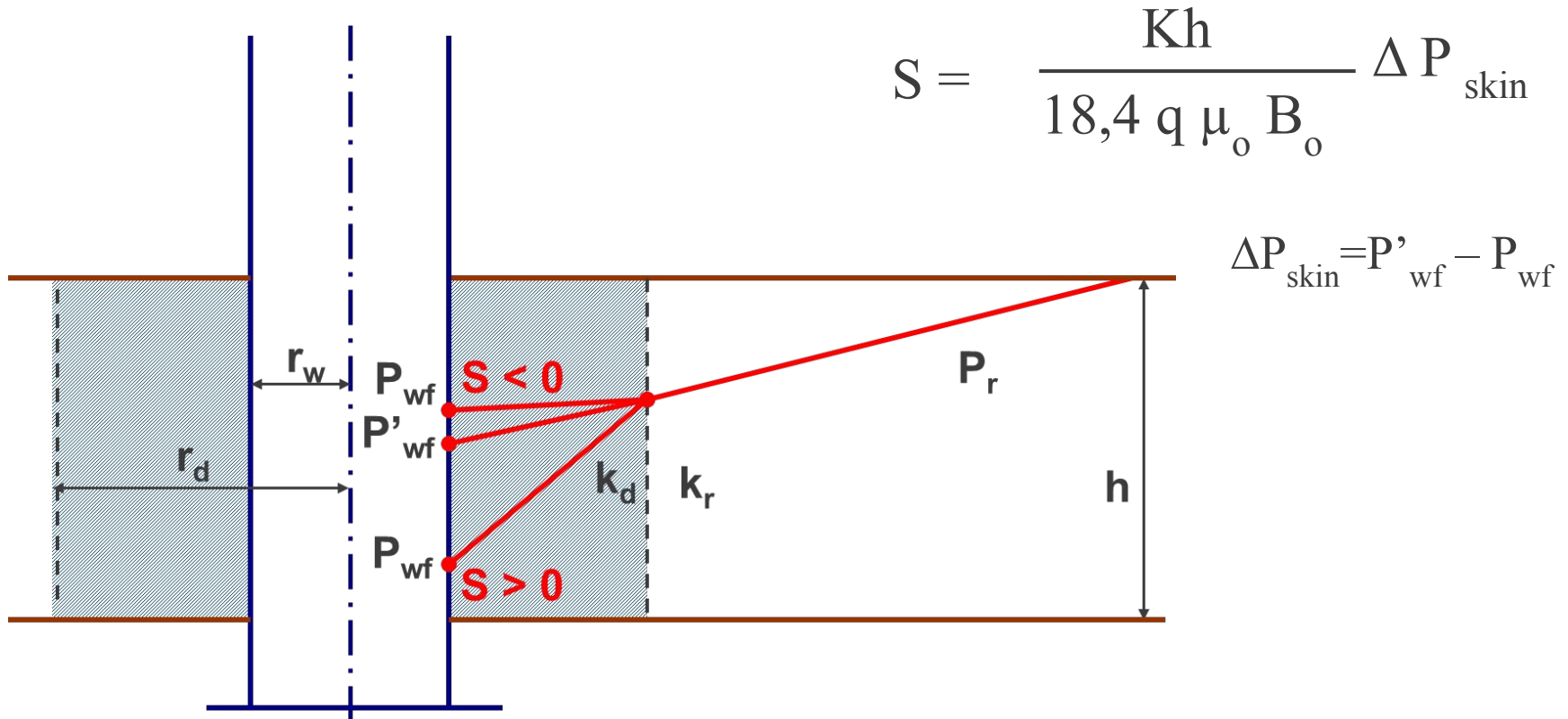
r_e - расстояние от скважины до границы пласта или до границы зоны дренирования скважины, м

Скин - фактор

В случае наличия скин - эффекта формула Дюпюи выглядит так

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

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:

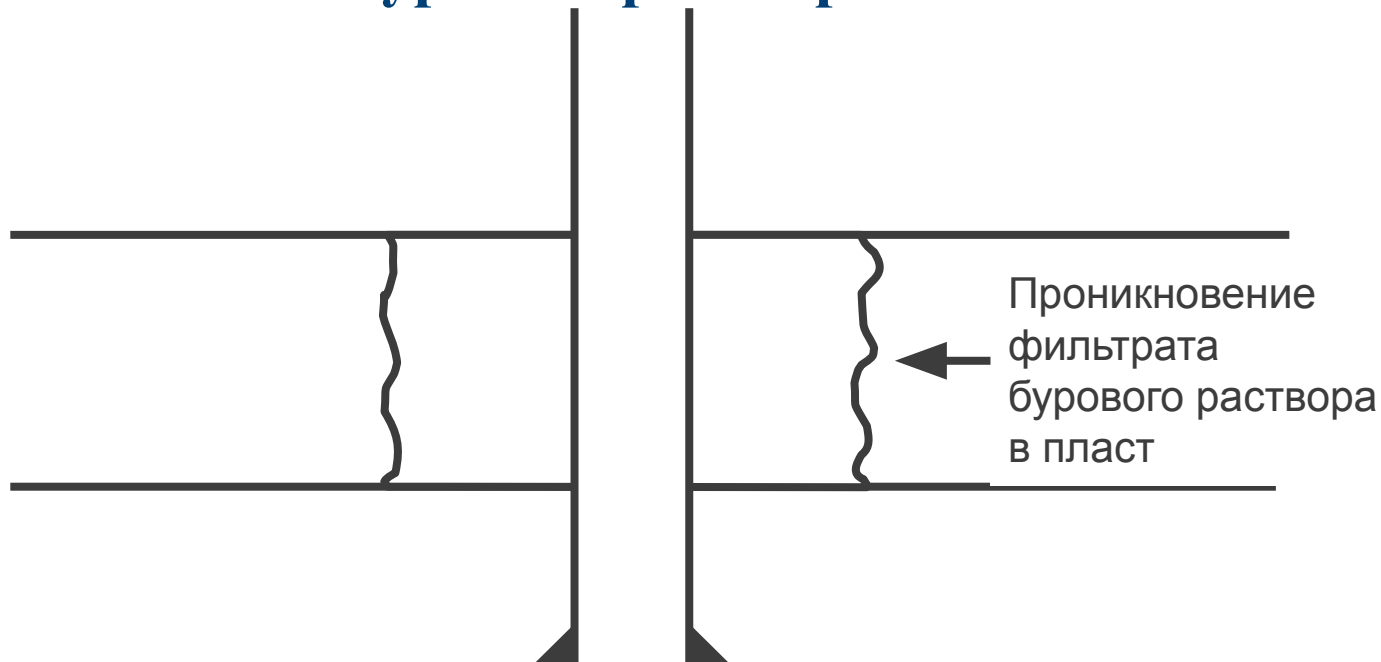
1. Кольматирование буровым раствором
2. Осаждение солей из-за несовместимости пластовой и нагнетаемой воды
3. Разрушение естественного цемента пласта и вынос его в призабойную зону
4. Гидроразрыв пласта
5. Проведение кислотных обработок
6. Возникновение уплотненной зоны меньшей проницаемости при перфорации

Другие причины:

1. Частичное вскрытие пласта
2. Отклонение скважины от вертикали

Причины возникновения скин – эффекта. Влияние бурового раствора.

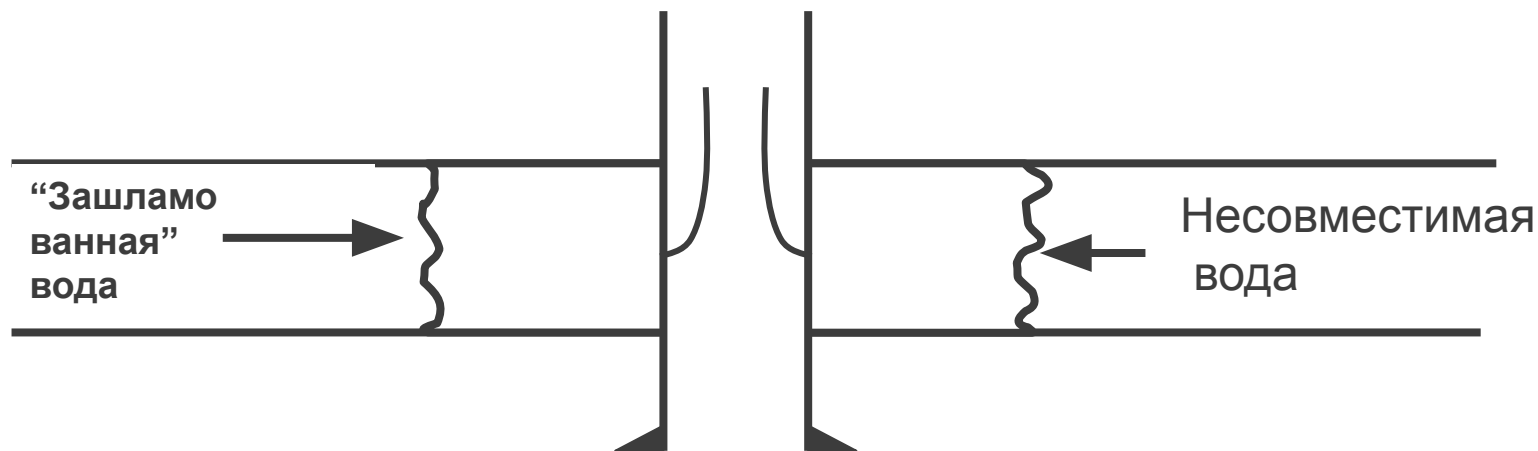
Повреждения, вызванные закачкой бурового раствора



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

Причины возникновения скин – эффекта. Влияние закачки.

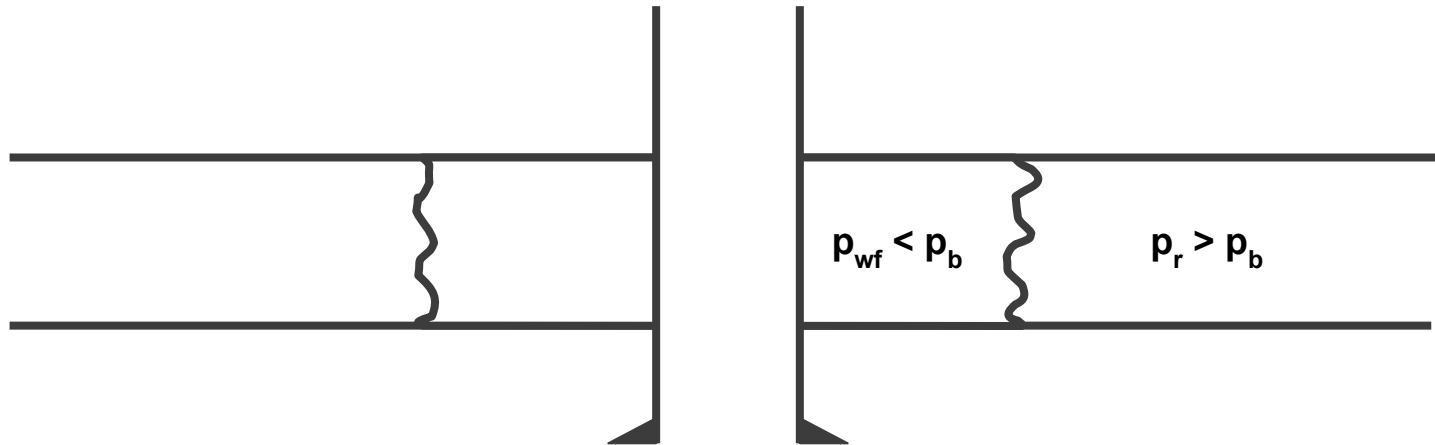
Повреждения при закачке



- **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

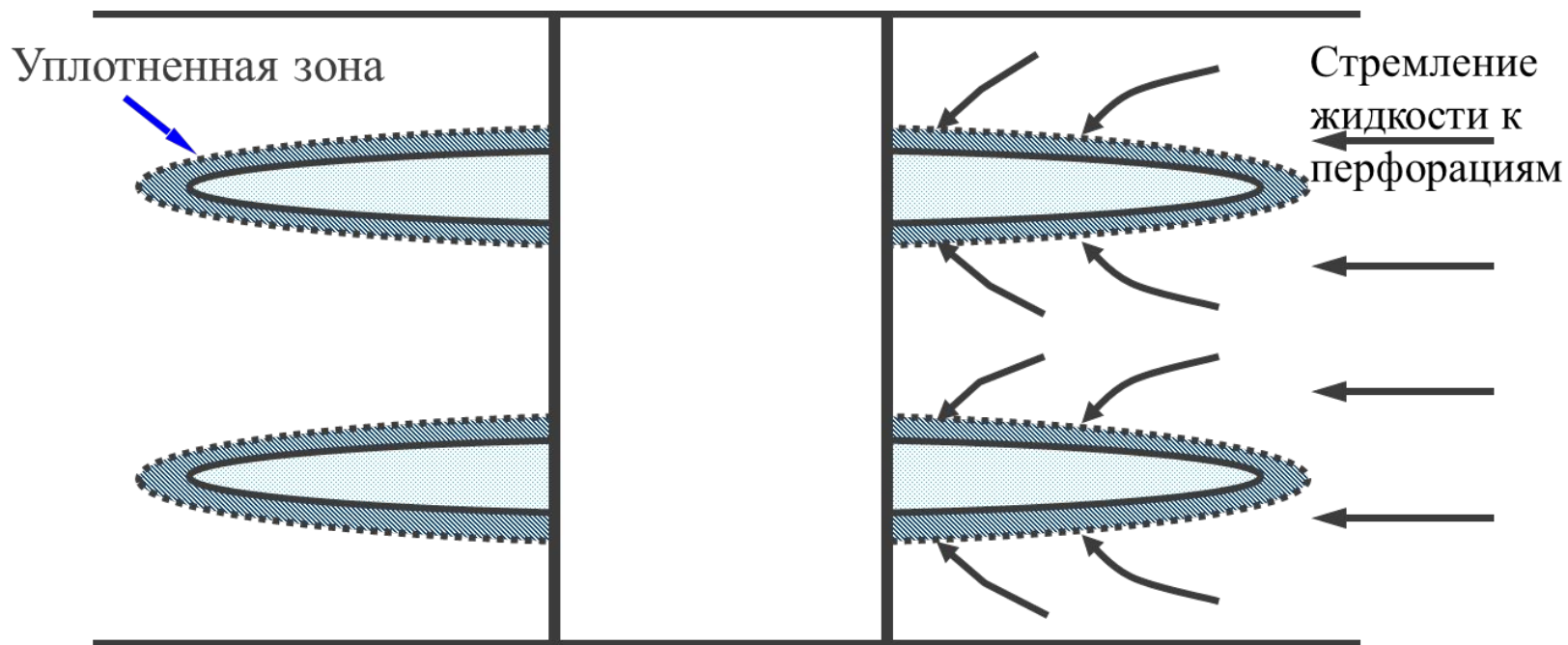


- В нефтеносном пласте околоскважинное давление может быть ниже давления насыщения. При этом происходит выделение свободного газа, который снижает эффективную проницаемость по нефти в околоскважинной зоне.
- В ретроградном газоконденсатном коллекторе околоскважинное давление может быть ниже точки росы.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

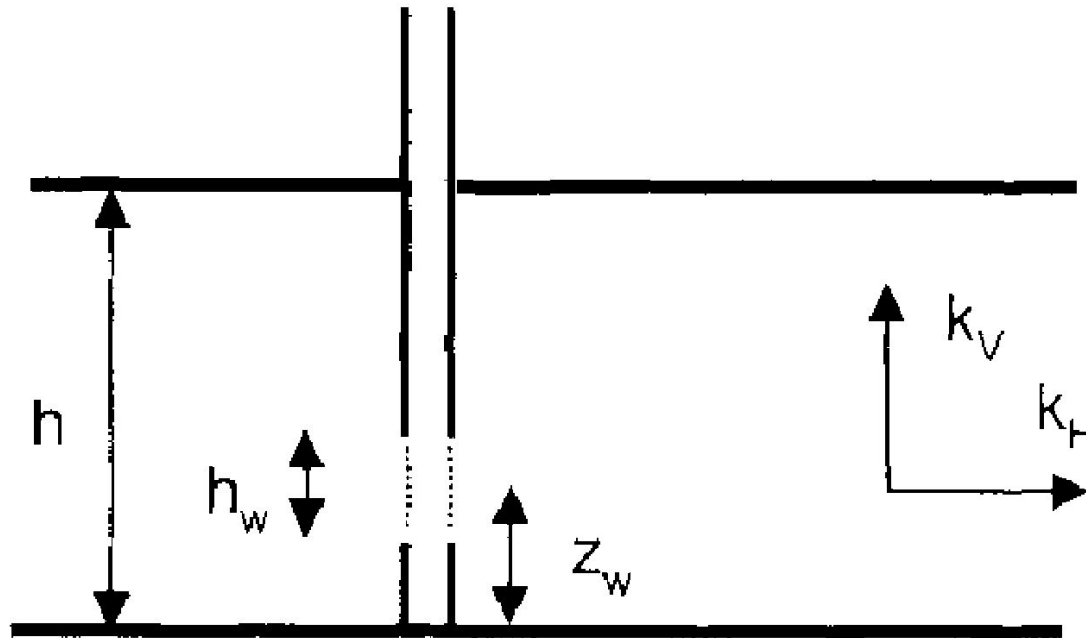
S_p – скин-фактор, учитывающий геометрию перфорации (+)



Причины возникновения скин – эффекта. Влияние частичного вскрытия.

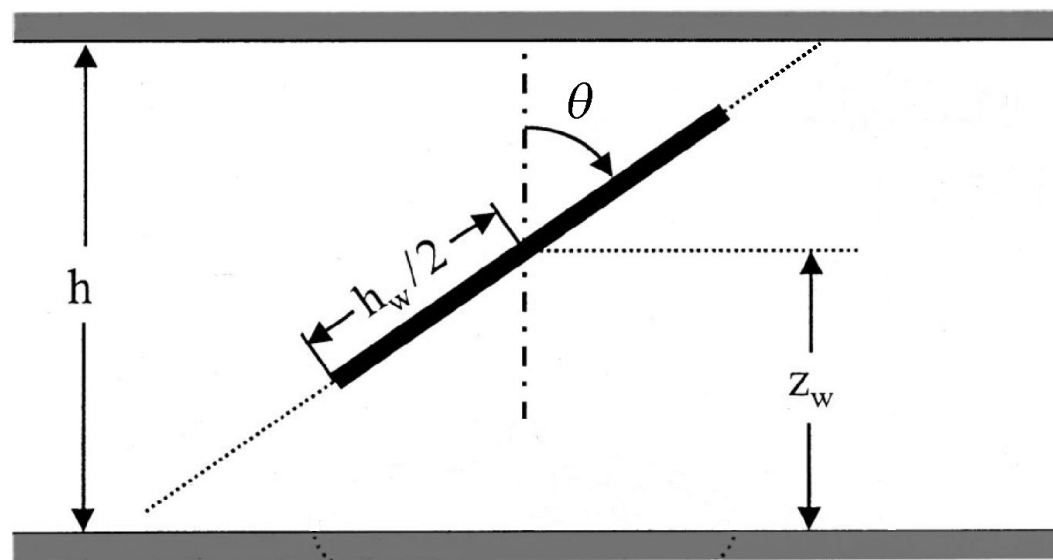
S_{pp} скин-фактор за счет частичного вскрытия (+)

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 (+)

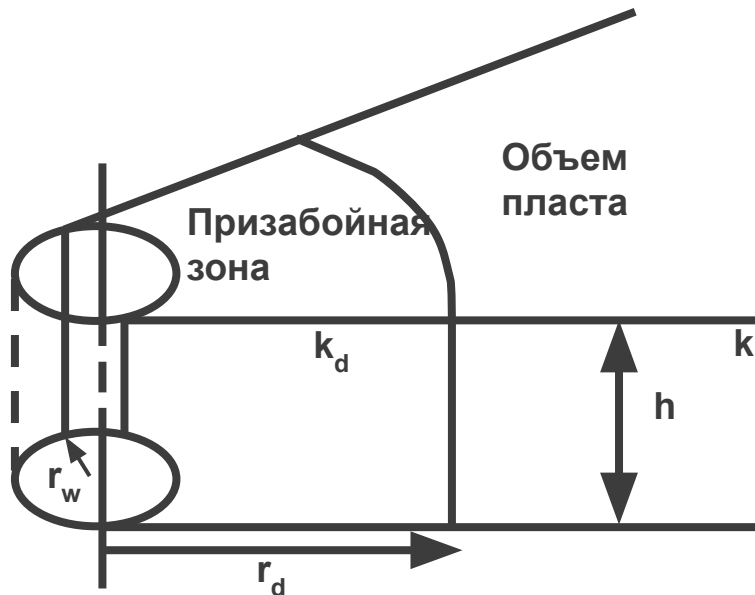
S_θ – геометрический скин-фактор, возникающий за счет отклонения ствола скважины от вертикали (-)

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](#)

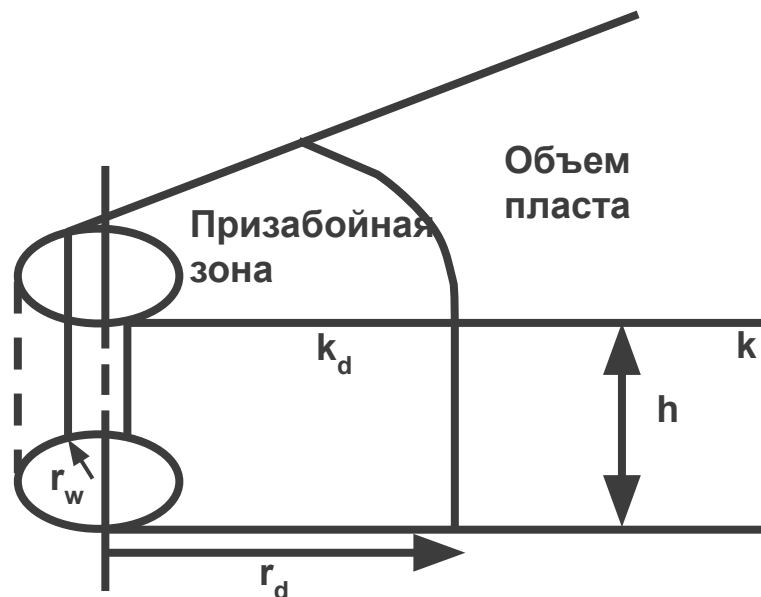
Задача

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, м³/сут;

μ – вязкость, сПз;

k – проницаемость, мД;

h – продуктивная толщина пласта, м;

r_w – радиус скважины, м;

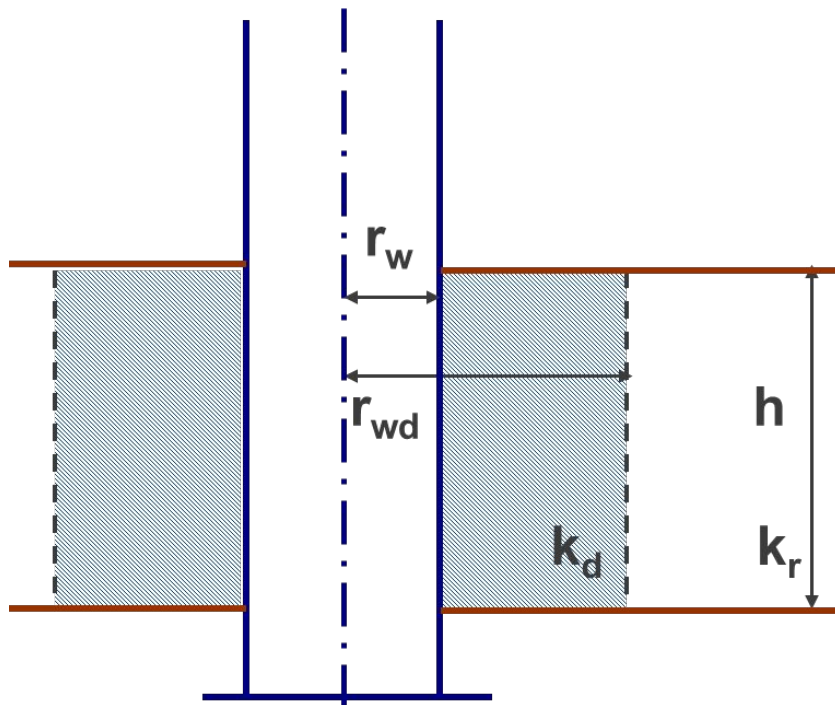
r_e – расстояние от скважины до границы пласта или до границы зоны дренирования скважины, м;

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

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

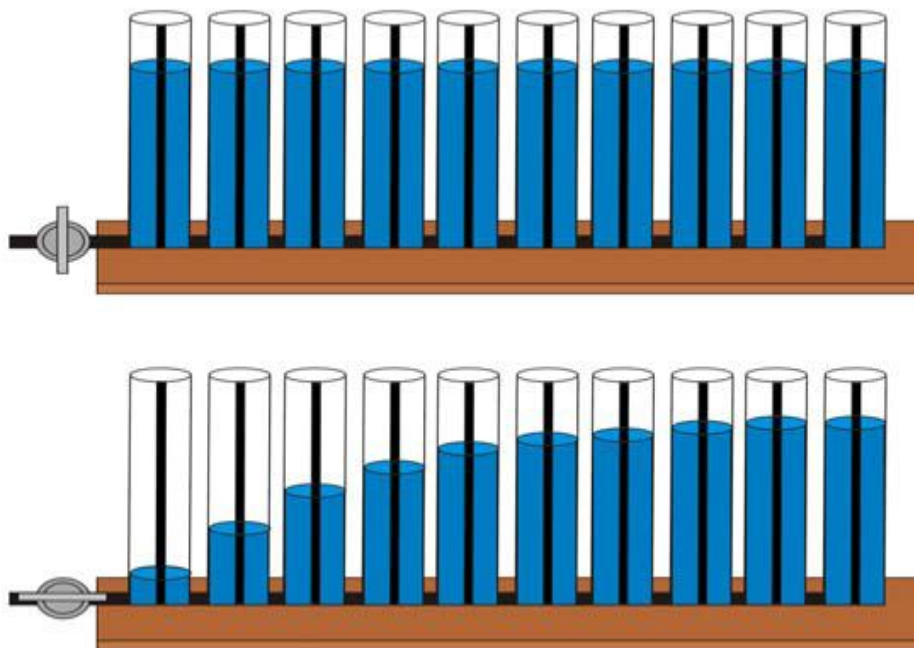
Пример:

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

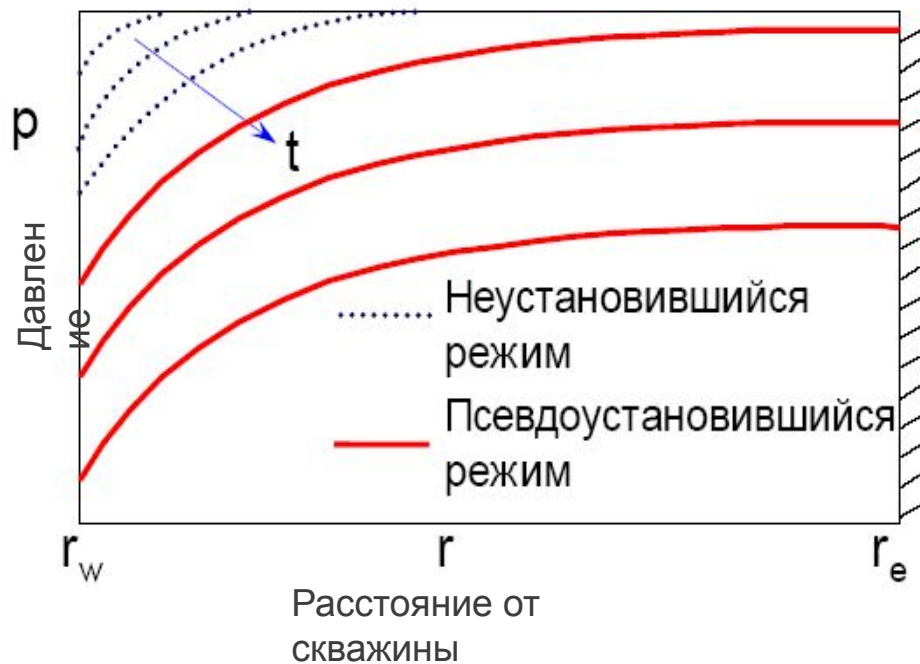
Различные режимы притока

Режимы притока

Линейная модель коллектора



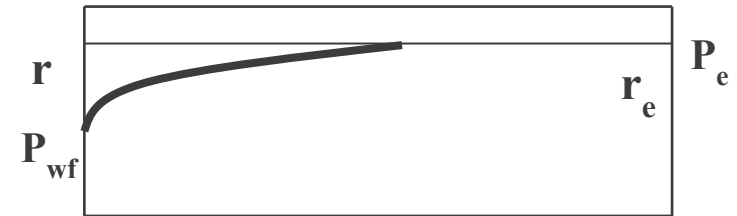
Профиль давления



Типы потока в пласте

Неустановившийся

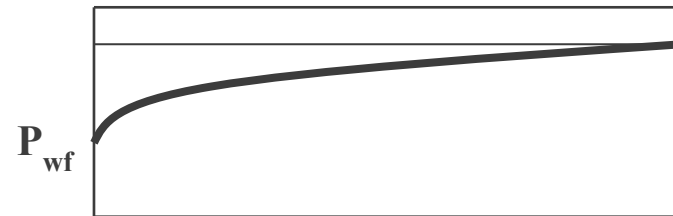
“волна депрессии на пласт еще не достигла границ пласта”



Установившийся

“пластовые давления не меняются”

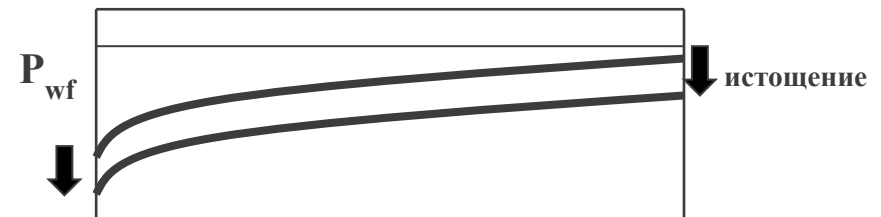
- поддержание пластового давления, т.е. волна давления достигла, по крайней мере, одной границы пласта



Псевдоустановившийся

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

- забойное давление снижается при снижении давления на контуре



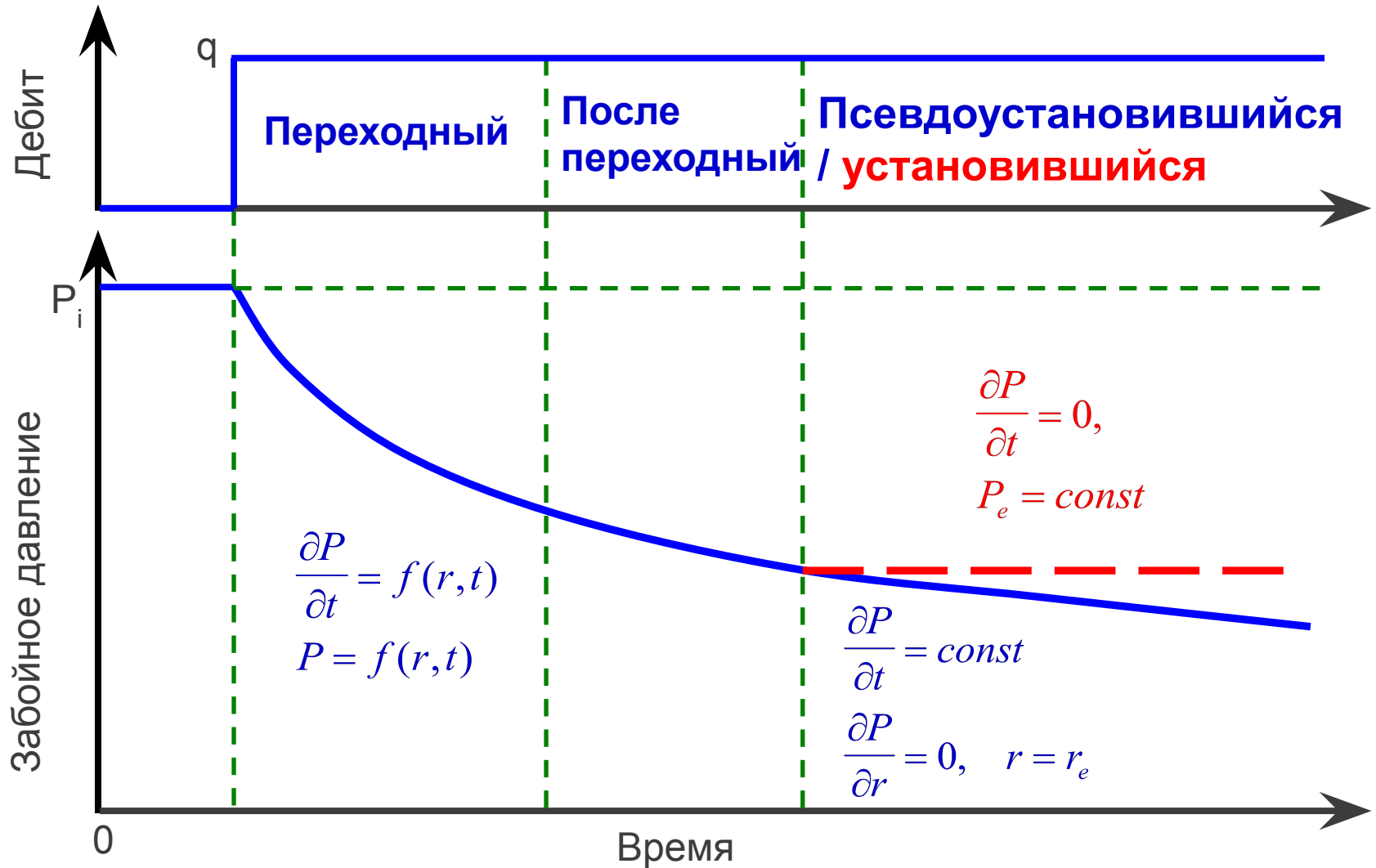
Поток, определяемый граничными эффектами

“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

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

ϕ – 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

μ – 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](#)