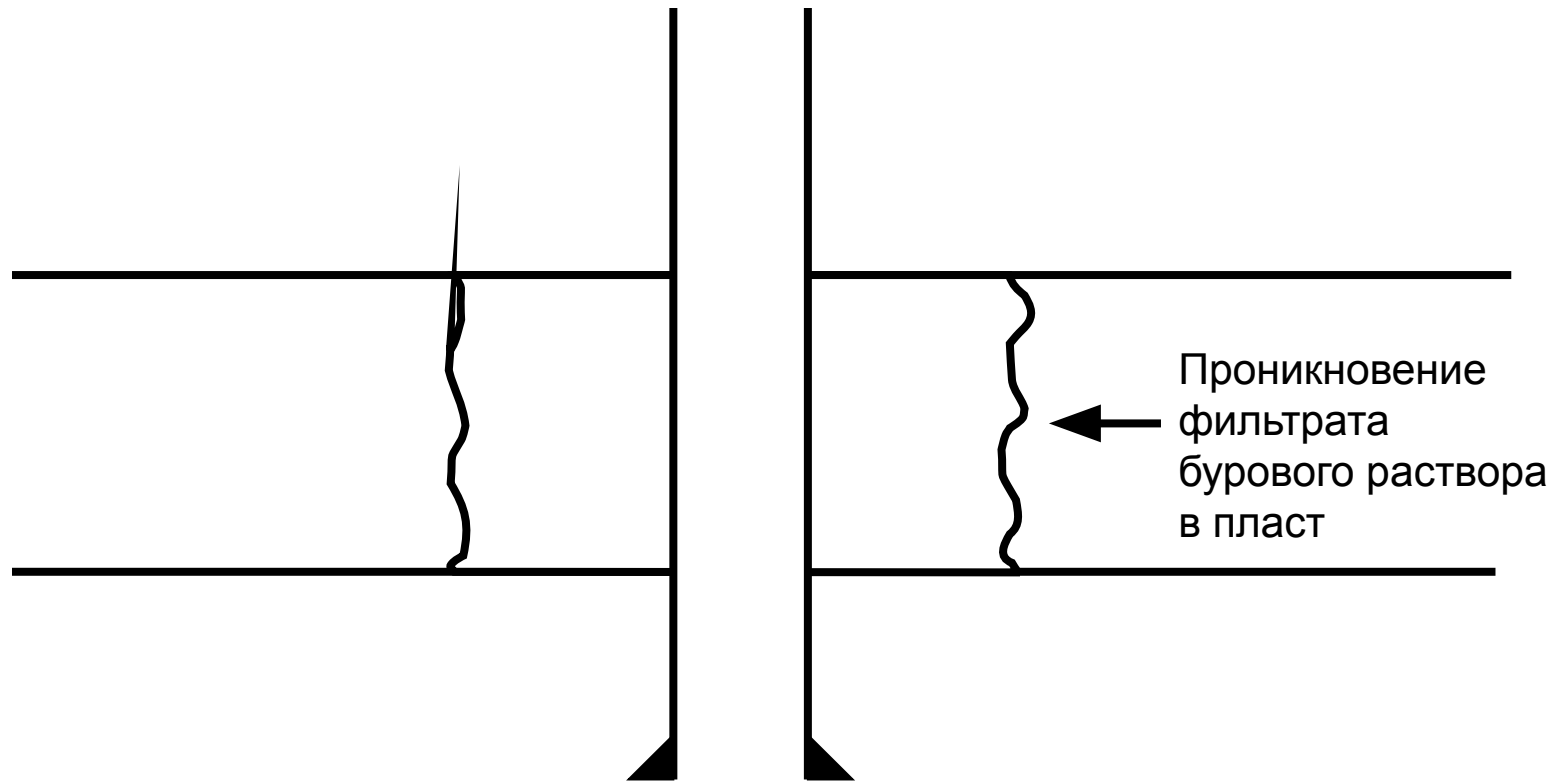


СКИН - фАКТОР

Причины изменения фильтрационных свойств призабойной зоны:

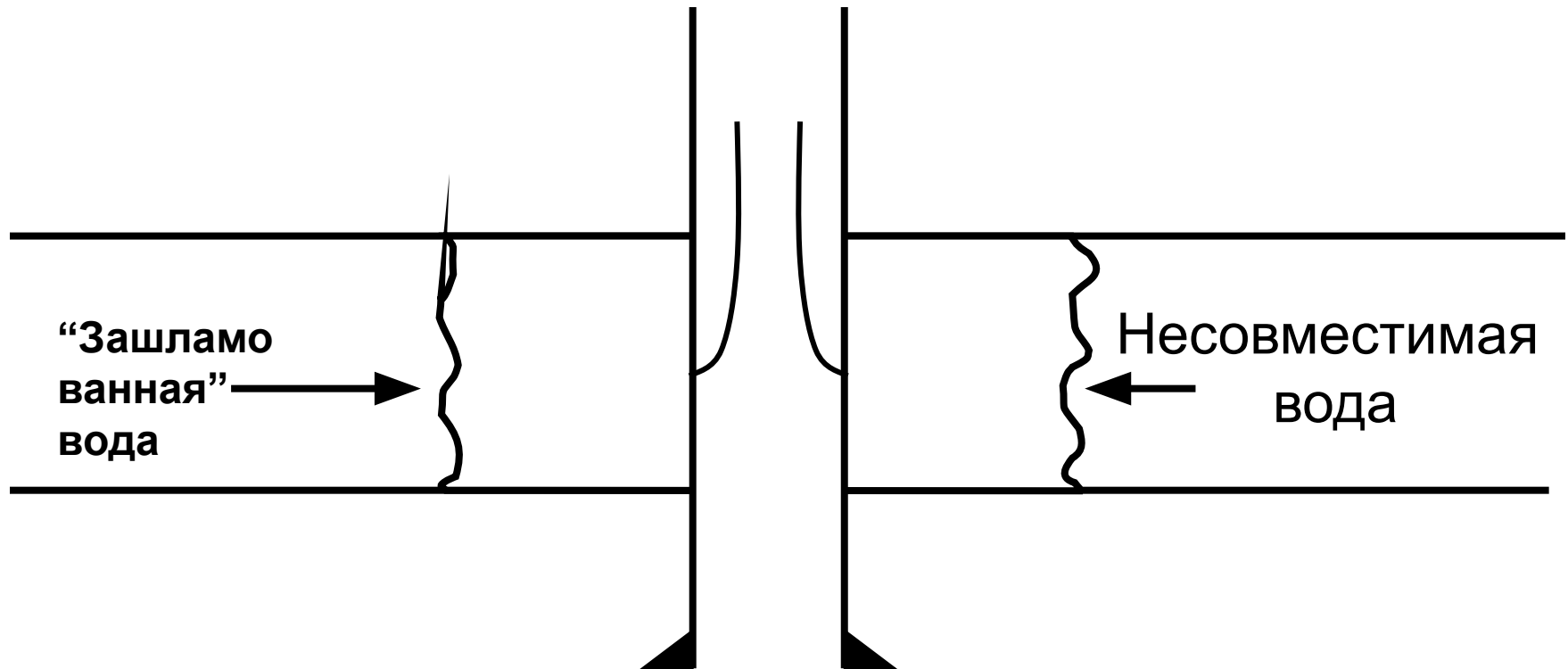
- 1) Кольматирование буровым раствором;**
- 2) Осаждение солей из-за несовместимости пластовой и нагнетаемой воды.**
- 3) Разрушение естественного цемента пласта и вынос его в призабойную зону.**
- 4) Гидроразрыв пласта.**
- 5) Проведение кислотных обработок**

Повреждения, вызванные закачкой бурового раствора



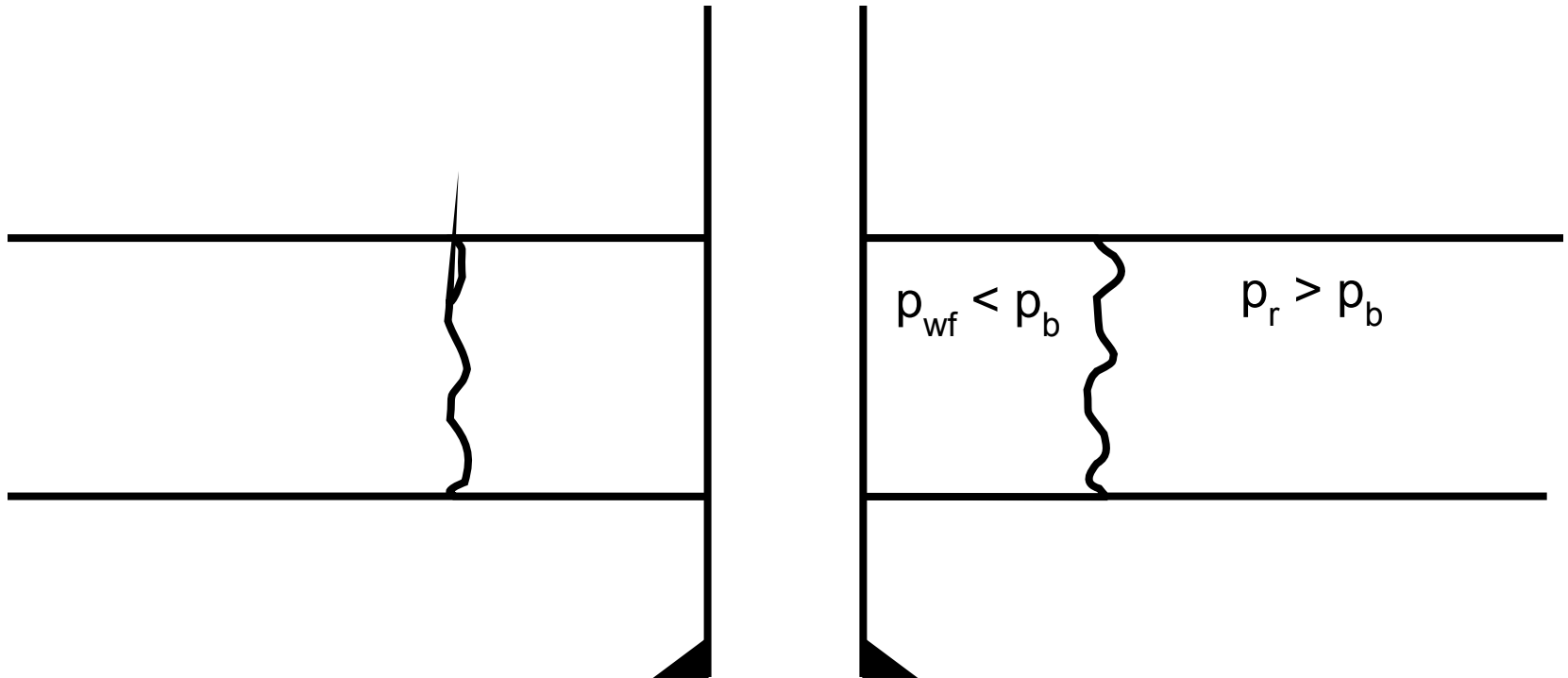
- Проникновение фильтрата бурового раствора сокращает эффективную проницаемость в призабойной зоне.
- Буровой фильтрат может вызвать разбухание глин, что приведет к повреждению.

Повреждения при закачке



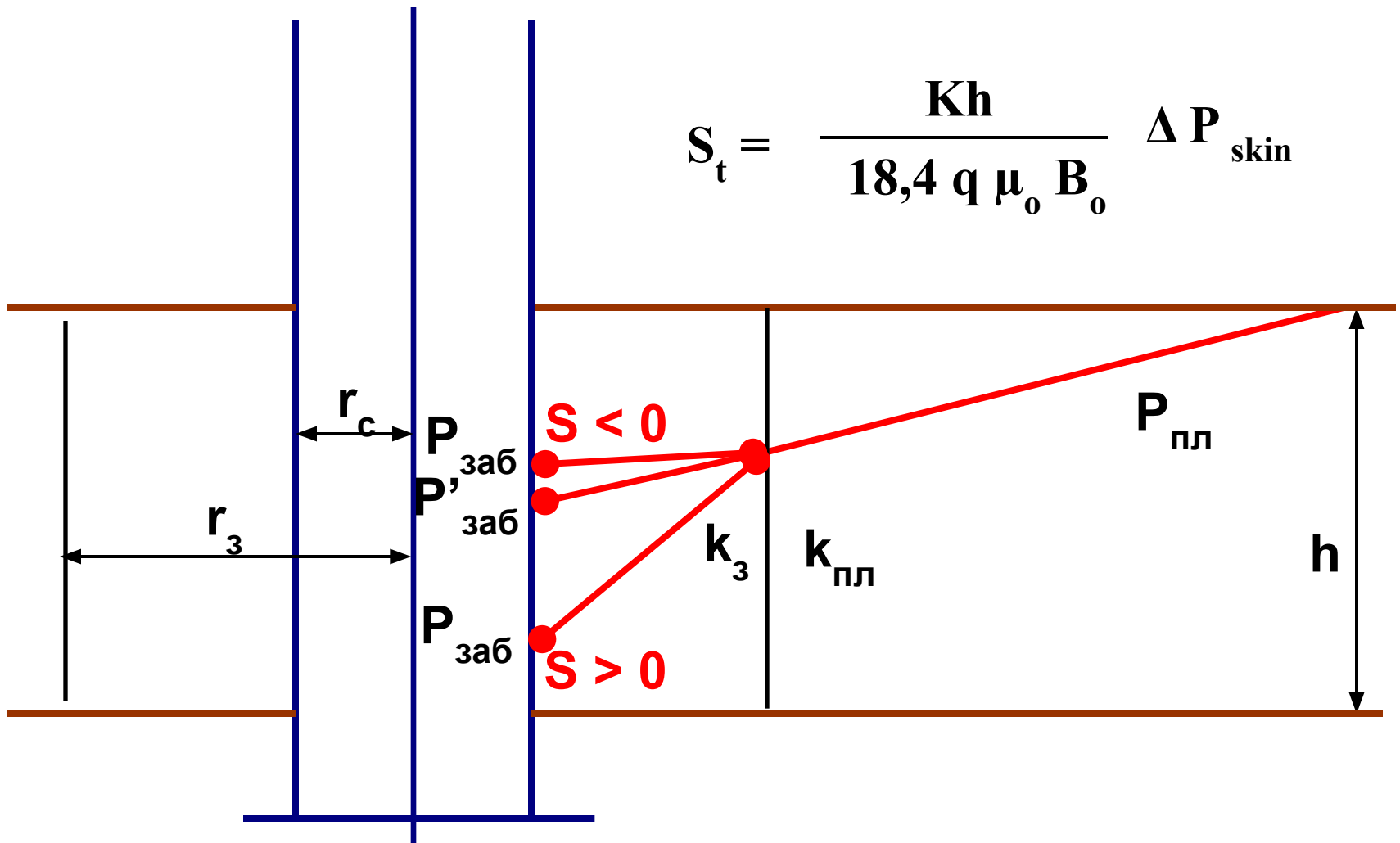
- **Закачиваемая вода может быть «грязной» – мелкие частицы могут закупорить поровые каналы.**
- **Закачиваемая вода может быть несовместимой с пластовой водой – может вызвать образование осадков и закупорить поровые каналы.**
- **Закачиваемая вода может оказаться несовместимой с глинистыми минералами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

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.

Модель скин-эффекта



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

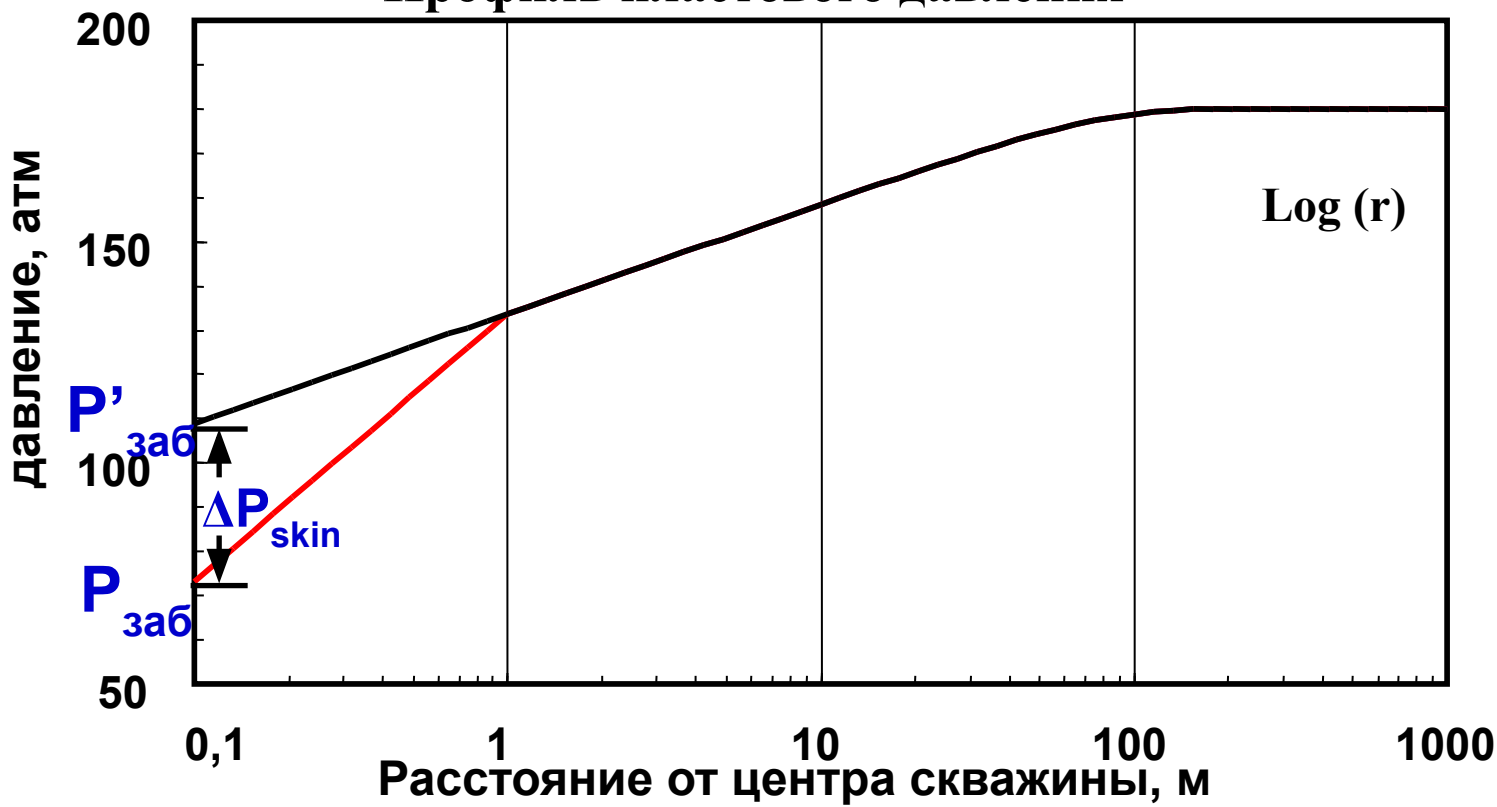
Хорнер выразил скин-фактор через дополнительное падение давления в результате повреждения:

$$\Delta P_{\text{skin}} = 0.87 m S_t = (P'_{\text{заб}} - P_{\text{заб}})$$

где m – наклон полулогарифмической прямой Хорнера,
 S_t – суммарный скин-эффект

$$S_t = \Delta P_{\text{skin}} / 0.87 m = (P'_{\text{заб}} - P_{\text{заб}}) / 0.87 m$$

Профиль пластового давления



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

$$S_t = S_z + S_p + S_{pp} + S_{turb} + S_o + S_s + \dots$$

S_z – скин-эффект вследствие повреждения породы (+)

S_p – скин-эффект из-за перфорации (+)

S_{pp} – скин-эффект вследствие частичного проникновения скважины в пласт (+)

S_{turb} – скин-эффект вследствие турбуленции или скин, зависящий от темпа отбора (+)

S_o – скин-эффект вследствие наклона скважины (-)

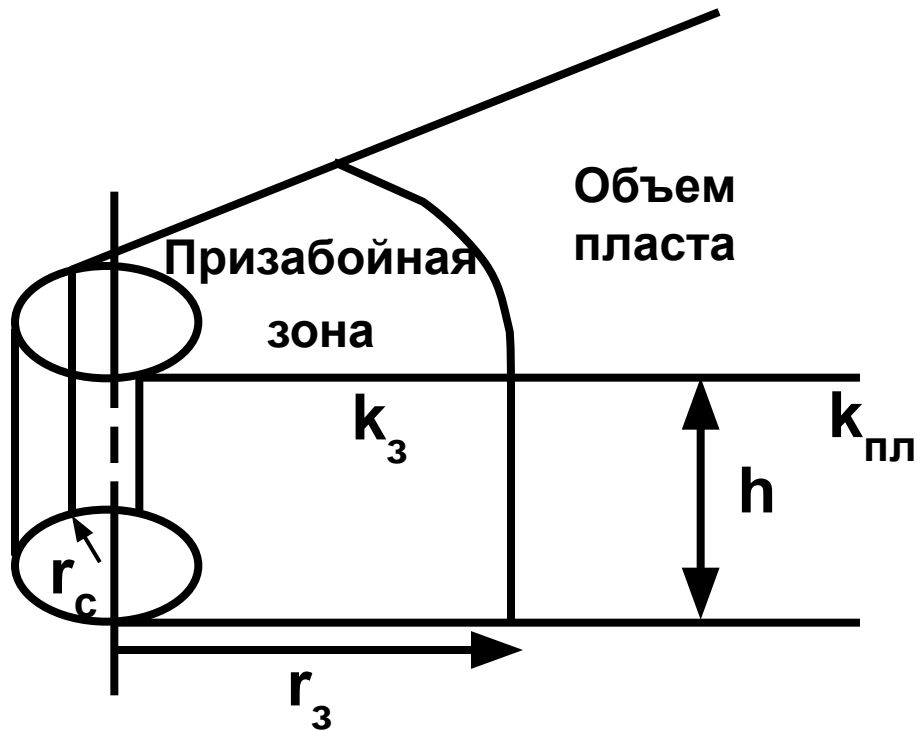
S_s – скин-эффект, возникающий вследствие ГРП (-)

Скин-эффект вследствие повреждения породы S_z в лучшем случае может быть изменен до нуля (например - кислотной обработкой).

Отрицательный скин возникает вследствие образования трещин (гидроразрыв).

Скин-фактор и свойства призабойной зоны

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.



$$s_3 = \left(\frac{k_{пл}}{k_3} - 1 \right) \ln \left(\frac{r_3}{r_c} \right)$$

$k_{пл}$ – проницаемость коллектора

k_3 – проницаемость измененной зоны

r_3 – радиус измененной зоны

r_c – радиус скважины

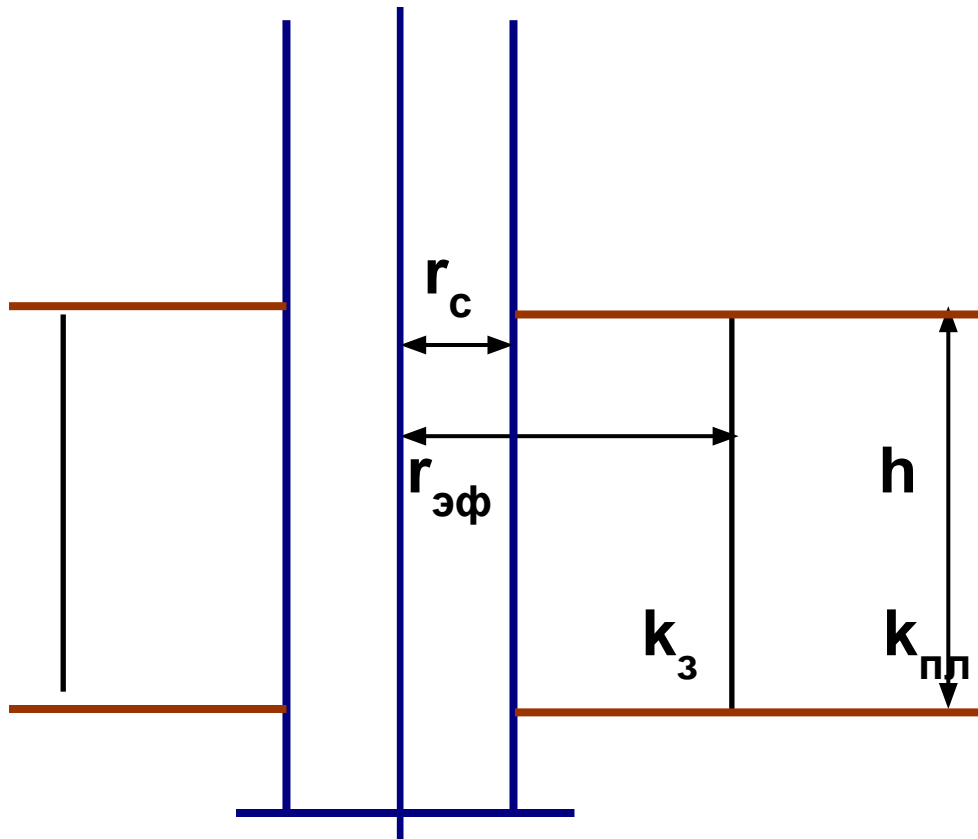
Если $k_3 < k_{пл}$ (повреждение), скин-фактор является положительным.

Если $k_3 > k_{пл}$ (интенсификация), скин-фактор является отрицательным.

Если $k_3 = k_{пл}$, скин-фактор равен 0.

Эффективный радиус скважины

Если проницаемость в зоне изменения k_3 намного выше, чем проницаемость пласта $k_{пл}$, то скважина будет вести себя как скважина с вероятным радиусом $r_{эф}$ - эффективный радиус скважины. $r_{эф}$ может быть вычислен на основе реального радиуса и скин-фактора:



$$s = -\ln\left(\frac{r_{эф}}{r_c}\right)$$

$$r_{эф} = r_c e^{-s}$$

Минимальный скин-фактор

(максимально отрицательный скин-фактор)

достигается при условии $r_{\text{эф}} = R$,

где $r_{\text{эф}}$ - эффективный радиус скважины
 R - радиус зоны дренирования

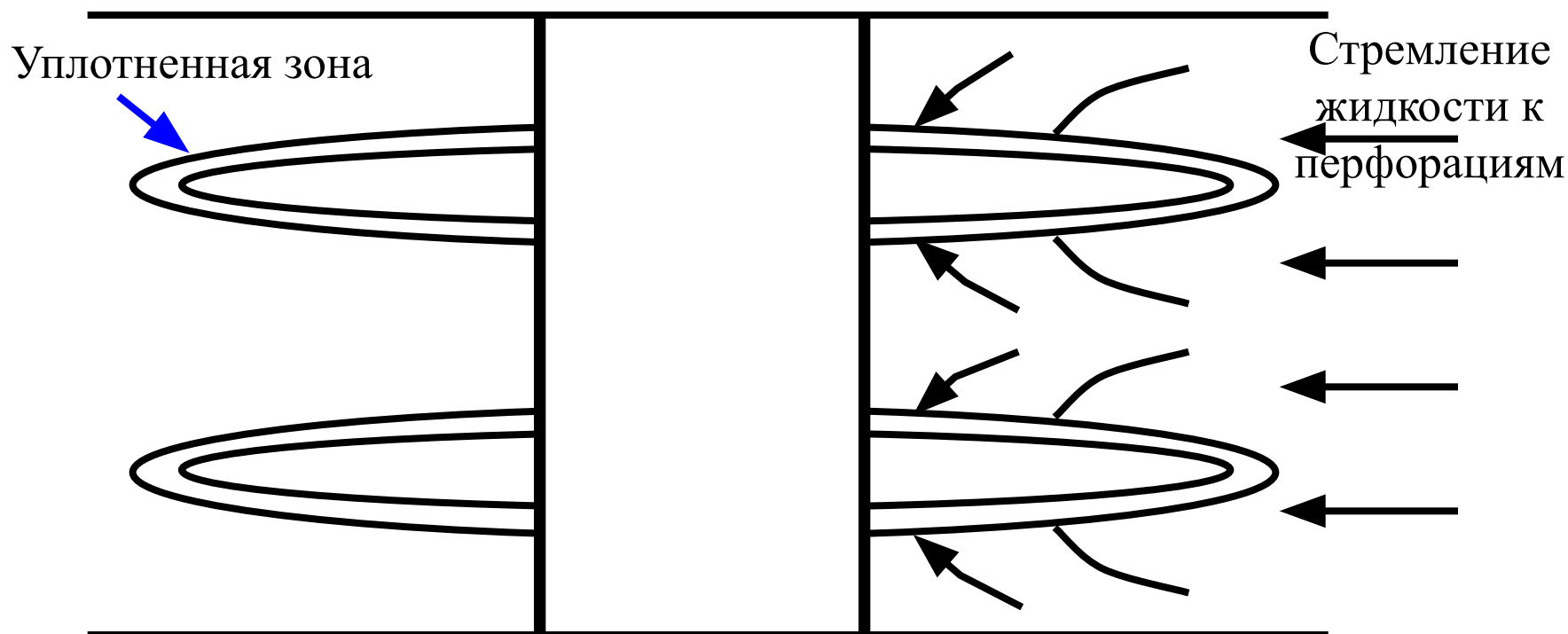
$$S_{\min} = -\ln\left(\frac{R}{r_c}\right)$$

Пример:

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

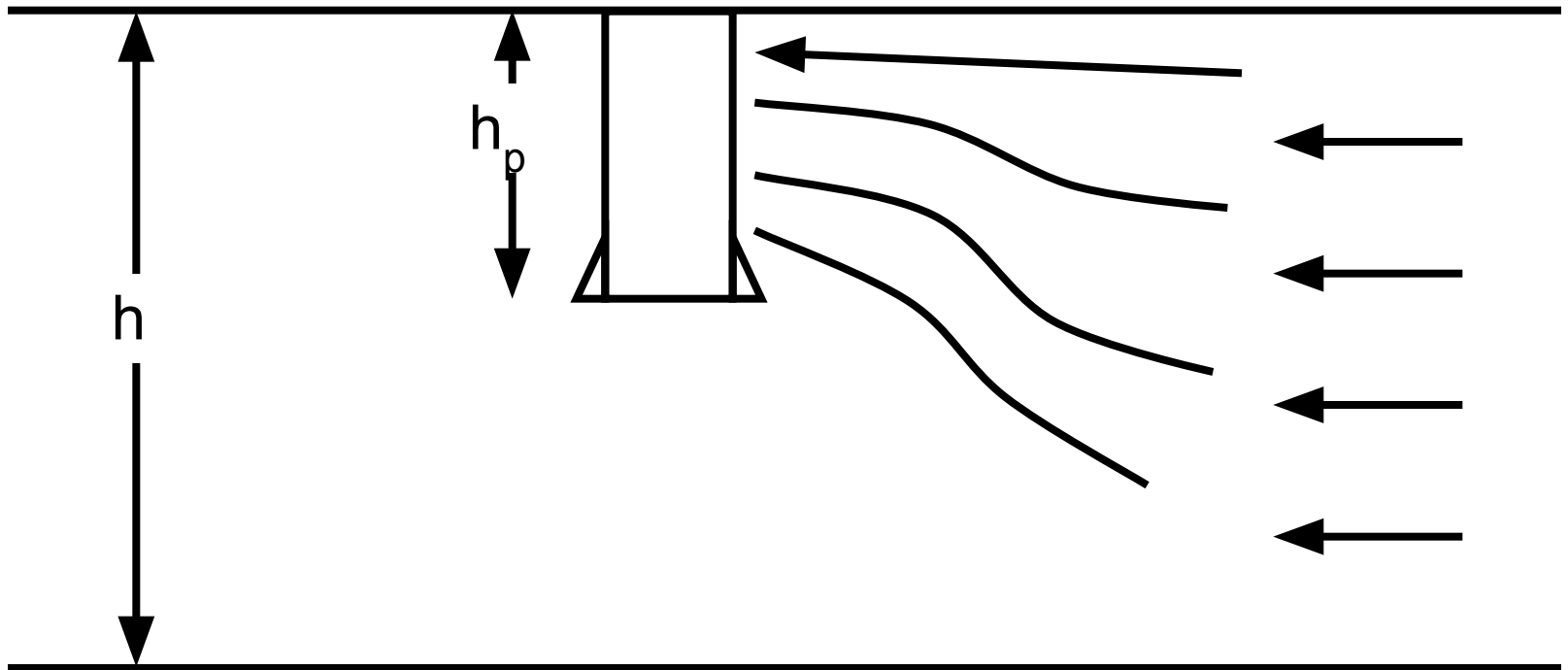
Геометрические скин-факторы

Вследствие воздействия кумулятивной струи на породу, вокруг перфорационного канала образуется уплотненная зона уменьшенной проницаемости. S_p – скин-фактор, учитывающий геометрию перфорации (+)



Геометрические скин-факторы

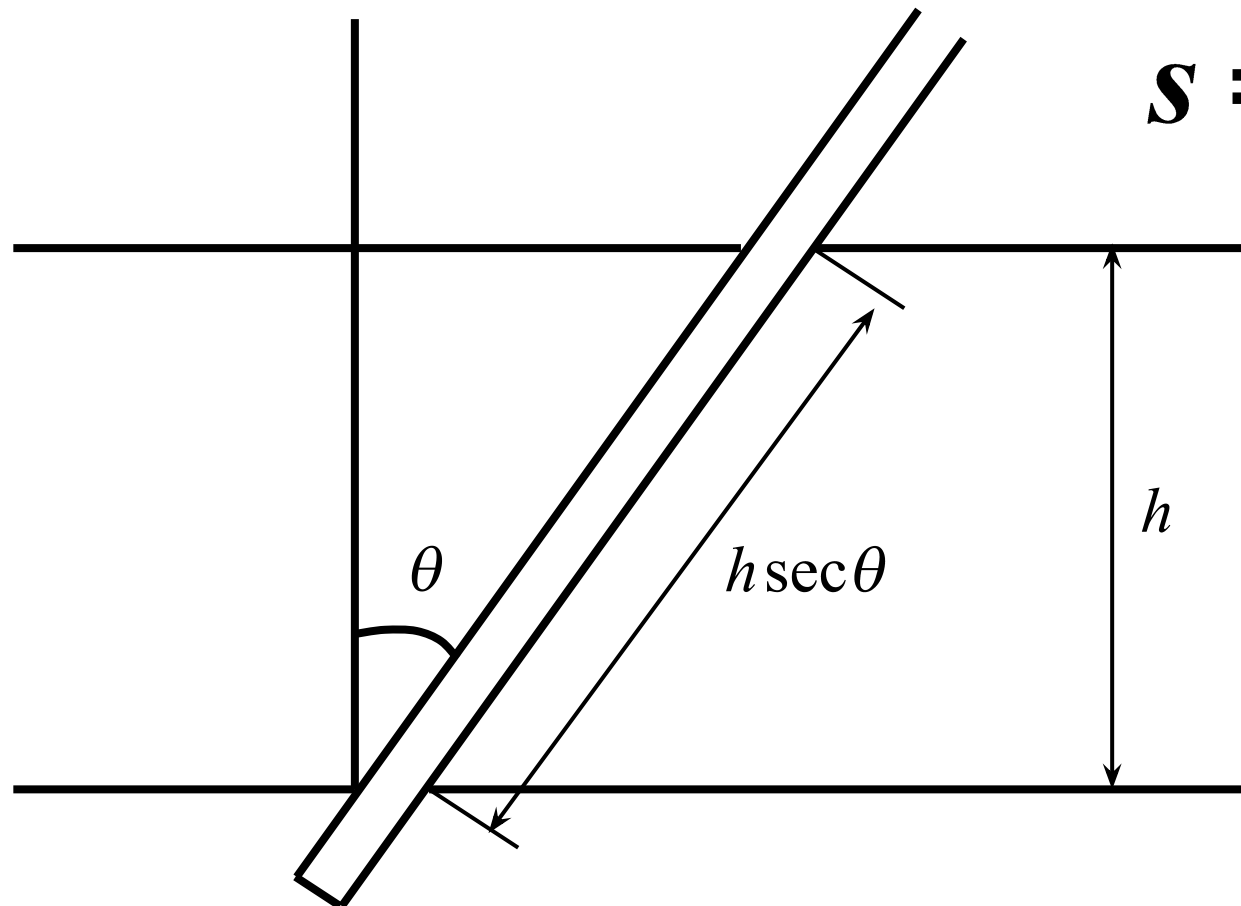
Частичное проникновение – скважина частично вскрывает продуктивный пласт или произведена перфорация только участка продуктивного слоя пласта, S_{pp} – скин-фактор, учитывающий несовершенство вскрытия (+)



Геометрические скин-факторы

Когда скважина входит под углом более, чем 90° , в контакте с пластом находится больший участок поверхности скважины.

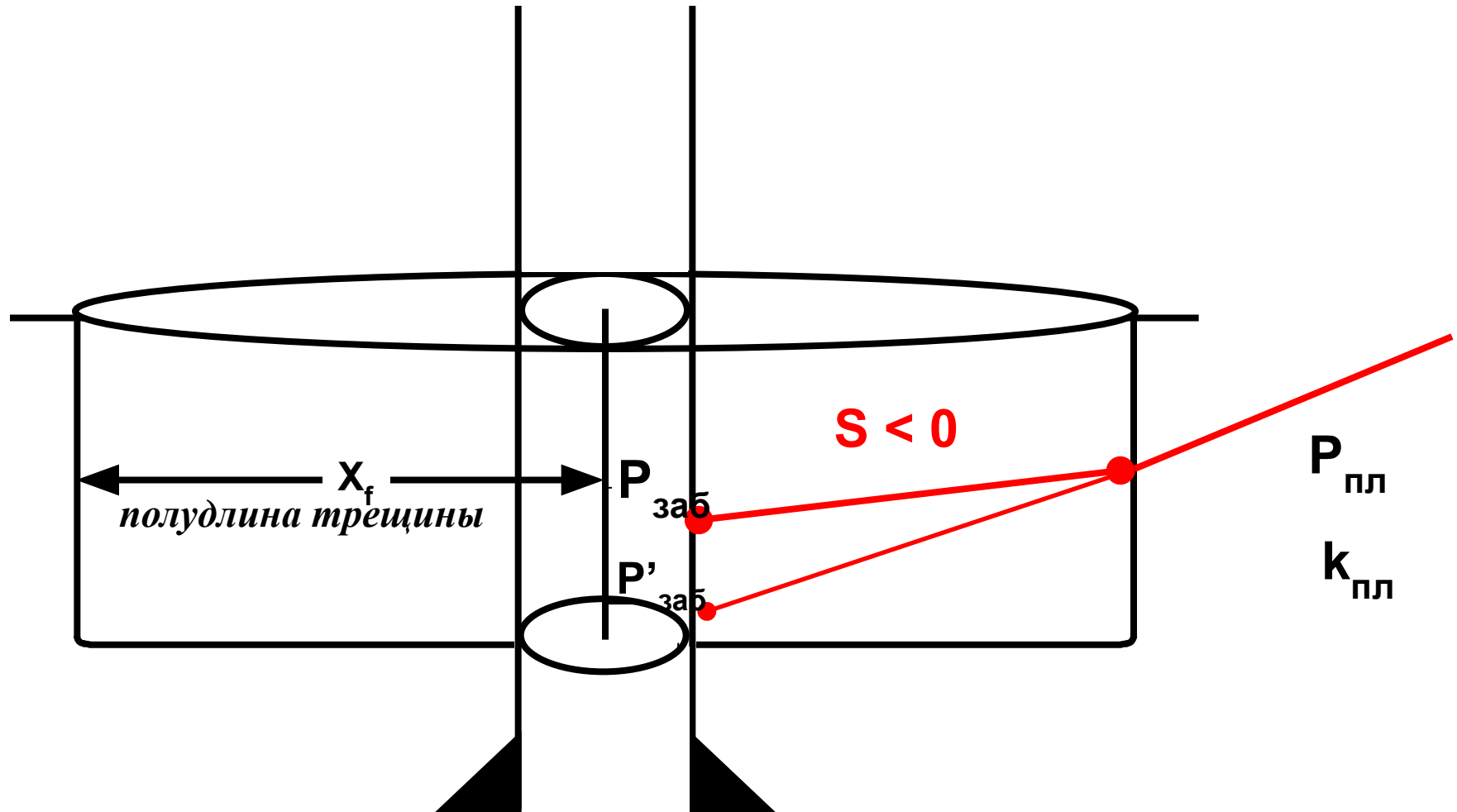
S_θ - скин-фактор вследствие наклона скважины (-)



$$S = S_z + S_\theta$$

Геометрические скин-факторы

В результате гидроразрыва пласта (ГРП) между скважиной и пластом создается зона высокой проводимости. S_s – скин-эффект, возникающий вследствие стимуляции (-)



Скин-фактор и порванные пласты

$r_{эф}$ - эффективный
радиус

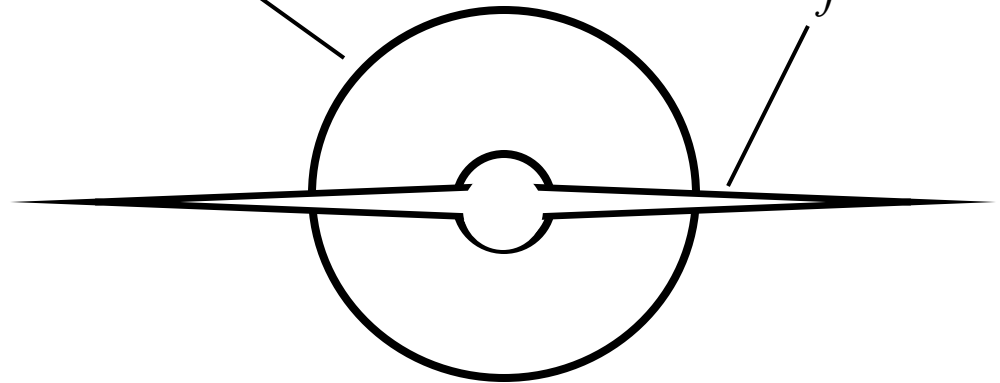
x_f - полудлина
трещины

Площадь притока =

$$2\pi r_{эф} h$$

Площадь притока =

$$4 x_f h$$



$$r_{эф} = \frac{x_f}{2}$$

$$x_f = 2r_{эф}$$

Вычисление скин - фактора

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

Введем обозначения $\left(\frac{k_r}{k_d} - 1 \right) \ln\left(\frac{r_d}{r_w}\right) = S$ - скин- фактор, то формула

Дюшои может быть записана в виде:

$$q = \frac{kh}{18,41 \cdot \overline{\mu B} \left(\ln\left(\frac{r_e}{r_w}\right) - 0,75 + S \right)} (\overline{P} - P_{wf})$$

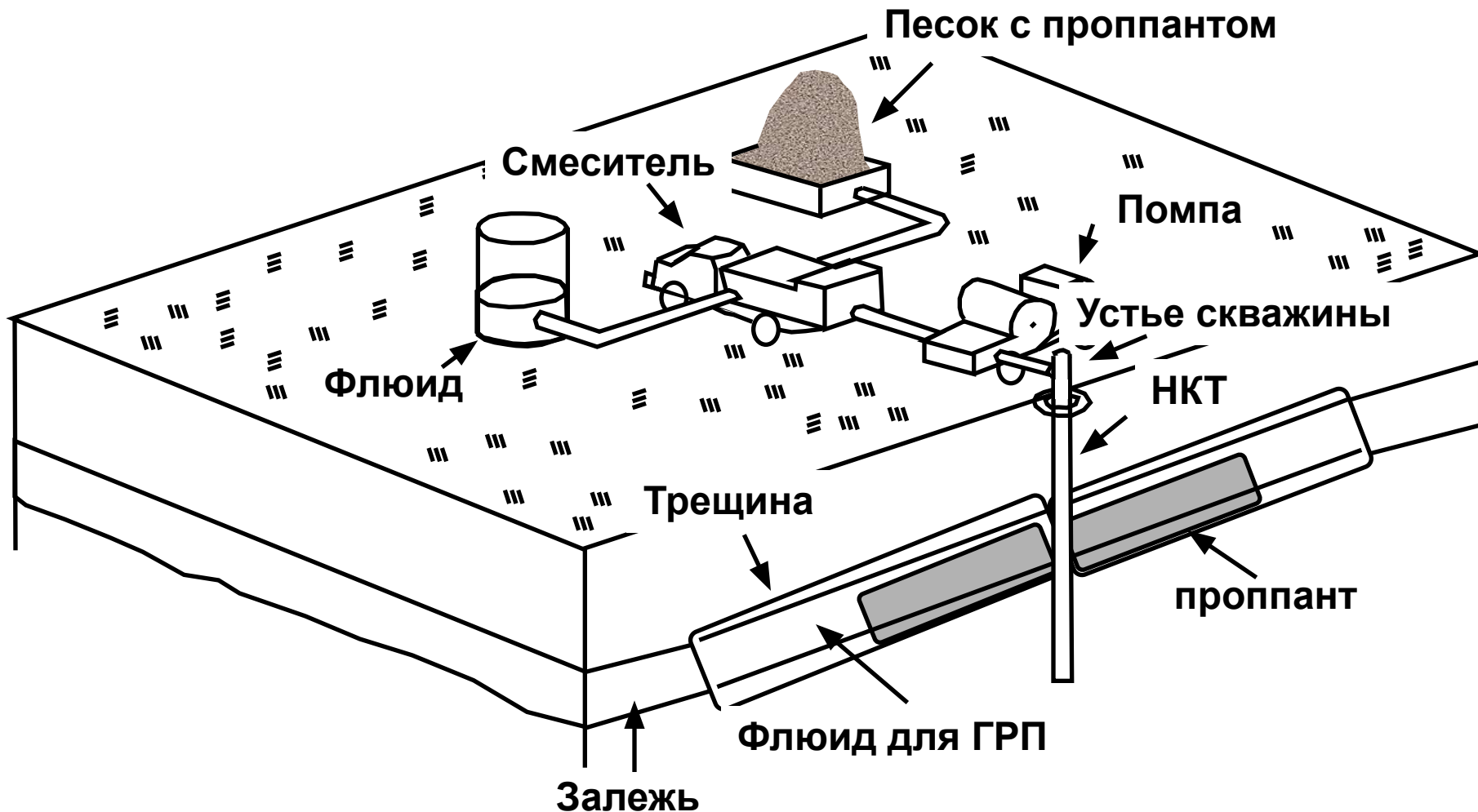
Упражнение: расчет скин - фактора

- *В процессе глушения скважины, отфильтровавшаяся в призабойную зону жидкость, изменила начальную проницаемость со 100 мД до 60 мД в радиусе 0,6 м. Радиус скважины – 0,108 м.
Вычислить скин – фактор.*
- *Для очистки призабойной зоны применили кислотную обработку при этом проницаемость восстановилась до 80% от начальной.
Вычислить скин – фактор.*

Гидравлический разрыв

- Гидравлический разрыв – это процесс использования гидравлического давления для создания искусственных трещин в пласте
- Трещина увеличивается в длину, высоту и ширину путем закачки смеси флюида и проппанта под высоким давлением

Гидравлический разрыв

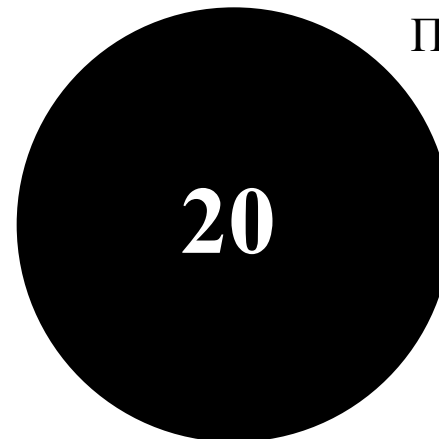


Причины проведения ГРП

- Увеличение добычи
- Запасы:
 - Ускорить извлечение
 - Новый пласт:
 - Извлекать запасы, добыча которых ранее считалась невыгодной
 - Увеличить жизненный цикл пласта
- Увеличить приток в скважину
 - **Обойти** повреждения в призабойной зоне
 - Увеличить эффективный радиус скважины

радиус скважины

$r_{\text{эф}} = 0.108 \text{ м}$ (или меньше)

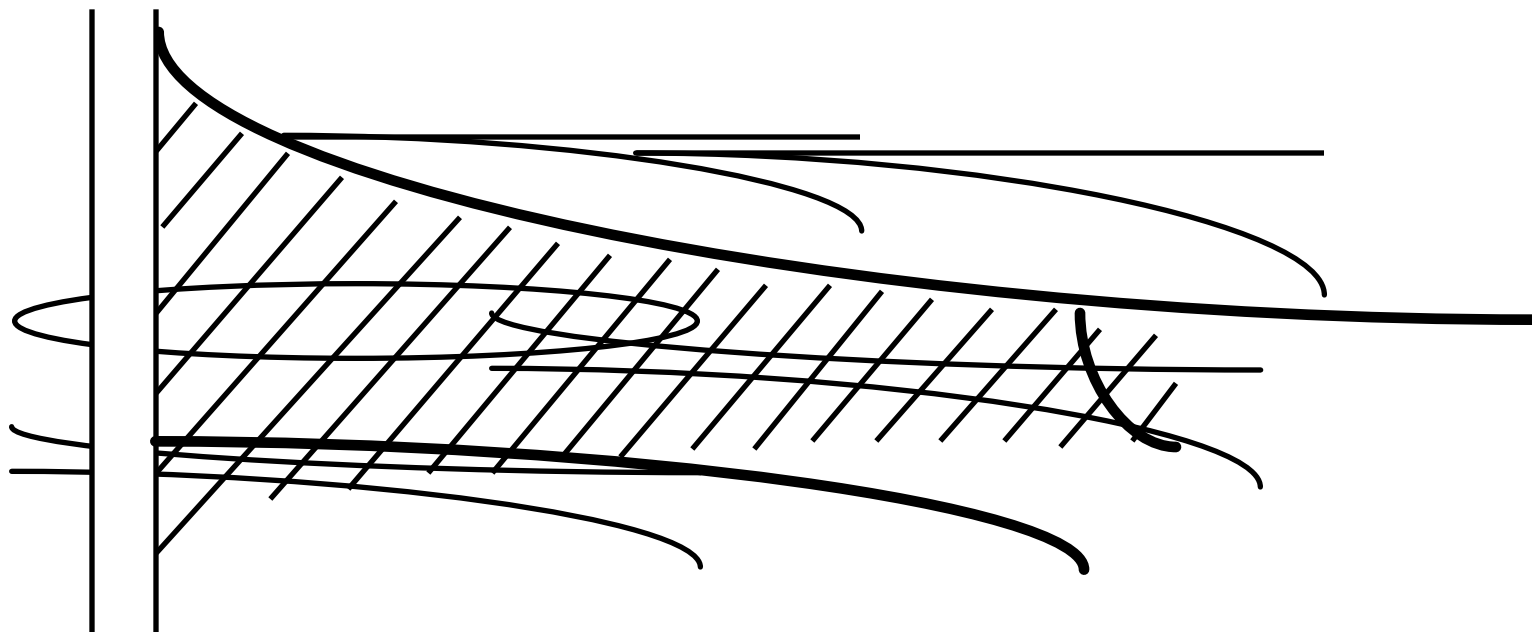


При ГРП ($S = -3$)

$r_{\text{эф}} = 2 \text{ м}$

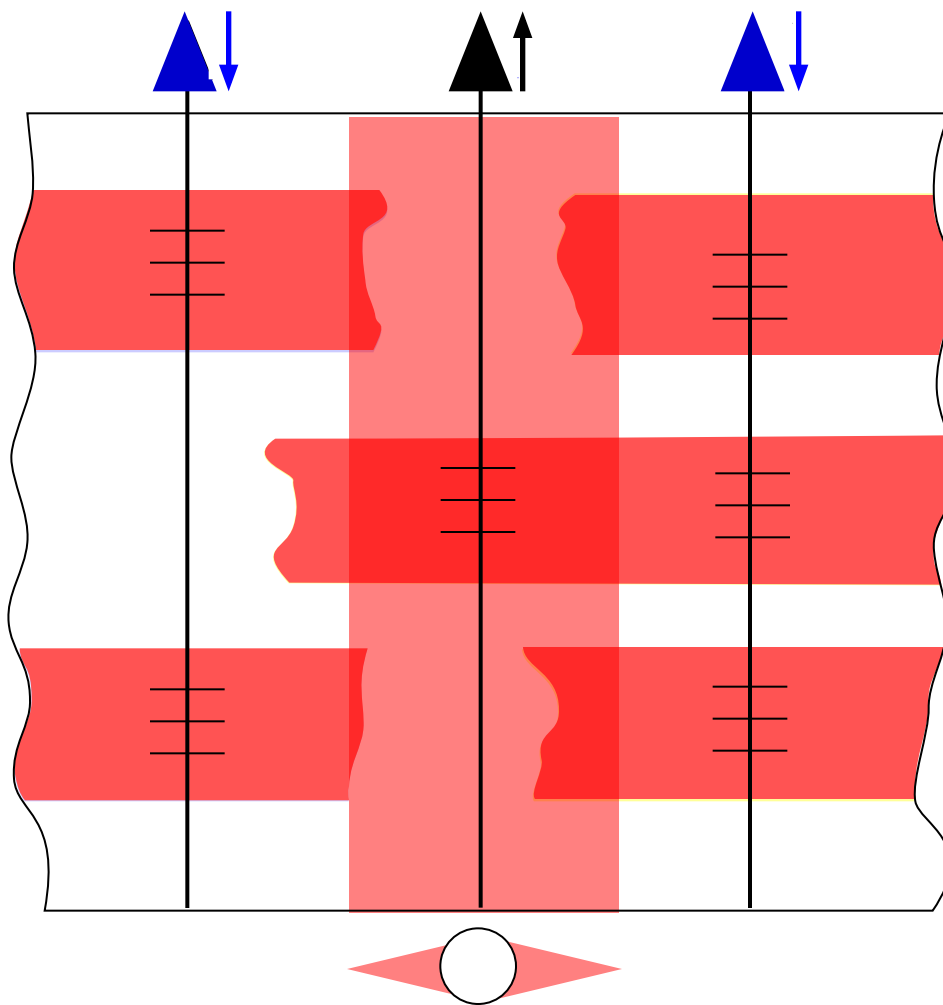
Причины проведения ГРП

Соединение линзообразных резервуаров



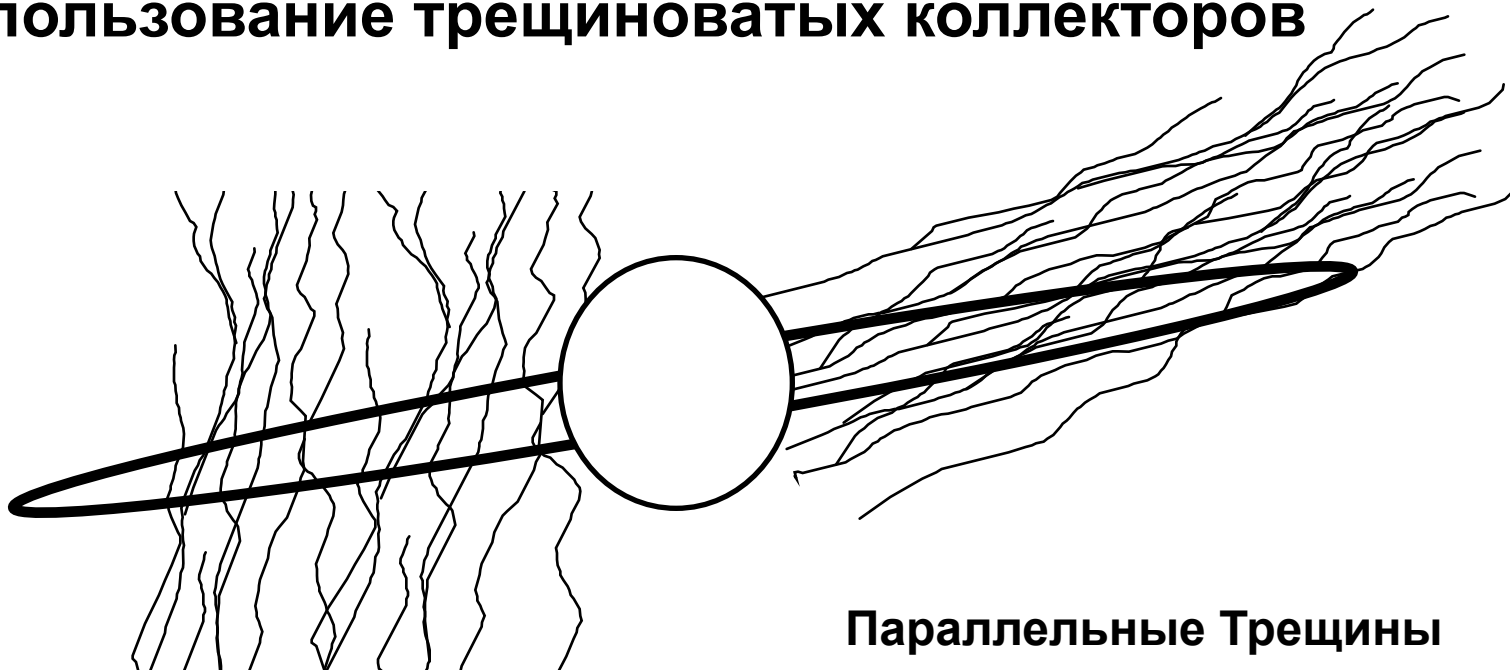
Причины проведения ГРП

Увеличение коэффициента охвата сеткой за счёт ГРП



Причины проведения ГРП

Использование трещиноватых коллекторов



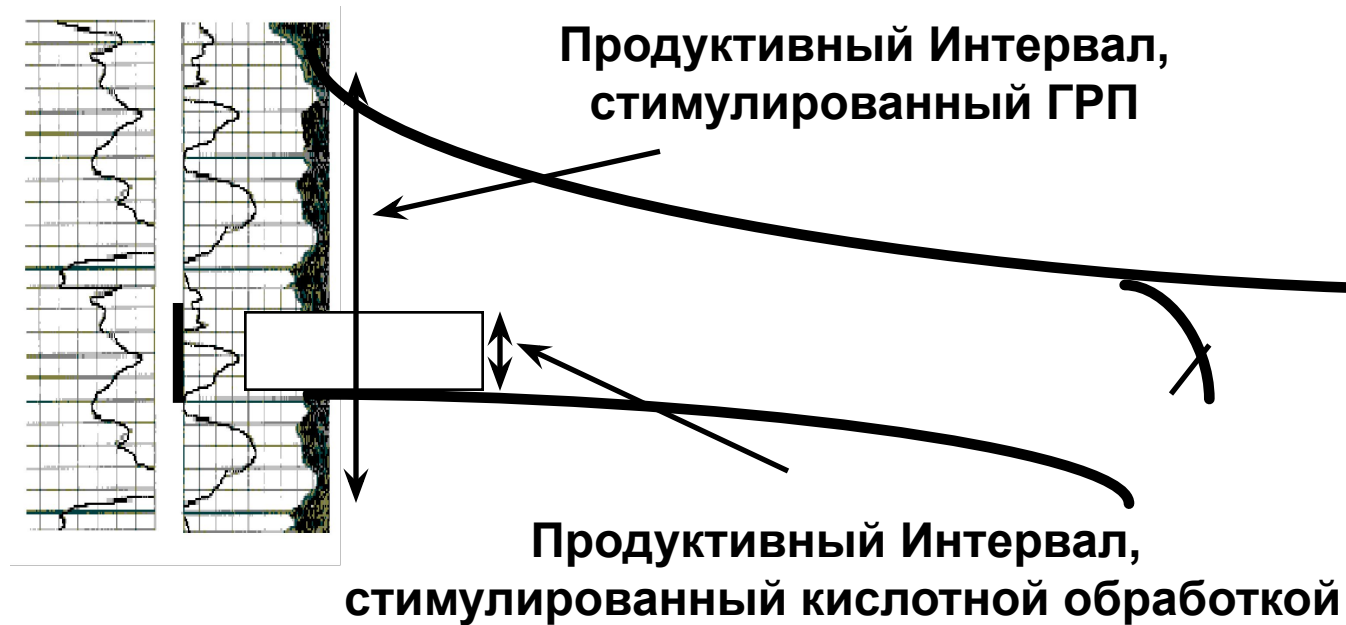
Ортогональные Трещины

Параллельные Трещины

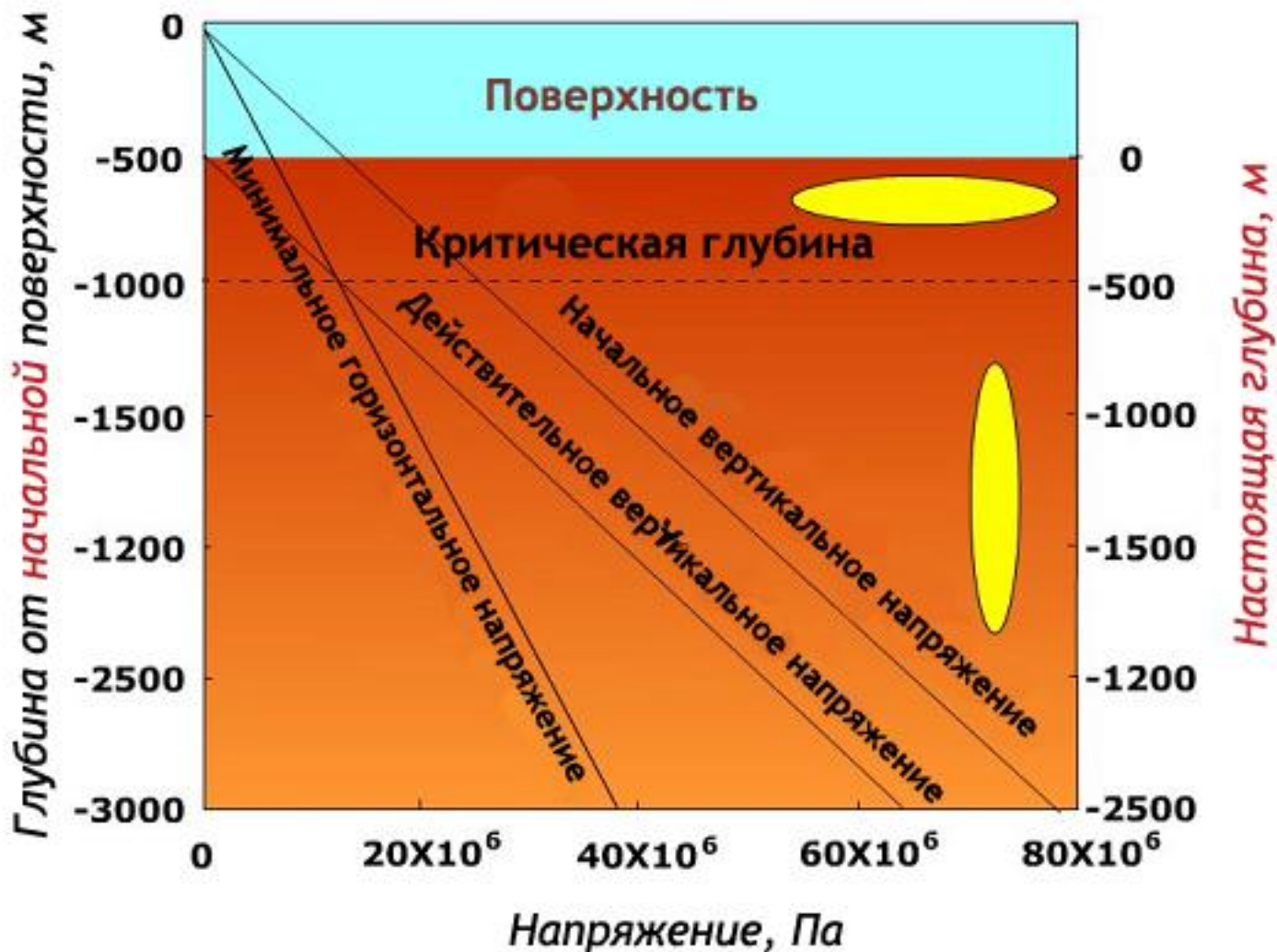
Причины проведения ГРП

Соединение расслоенных формаций

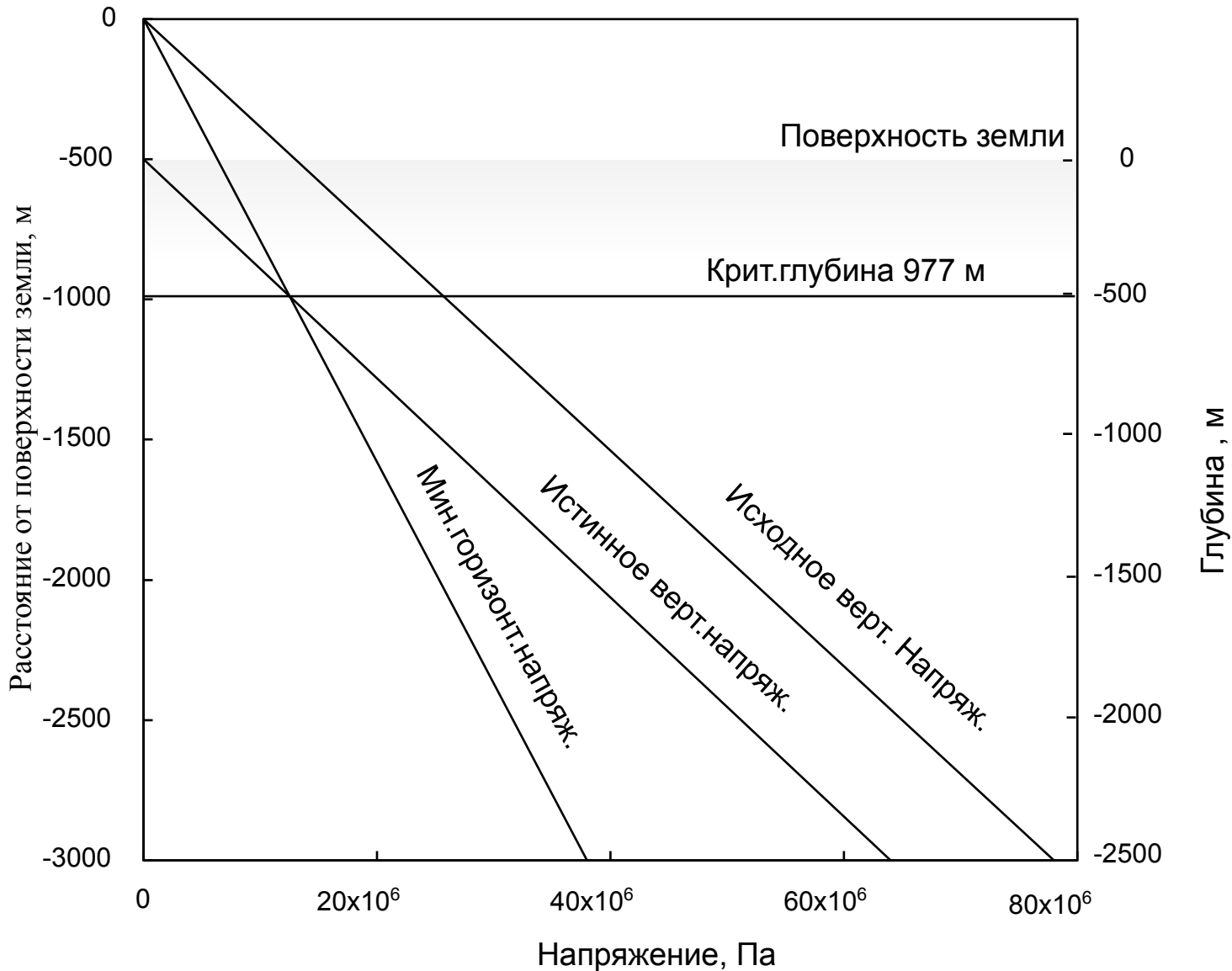
- Обеспечение соединения всех продуктивных пропластков



Критическая точка минимального напряжения



Соотношение напряжения и глубины



Скин – фактор после ГРП

- Создается давление в пласте, вызывающее образование трещины
- Проппант или кислота закачиваются в созданную трещину
- Модель основывается на понятии о едином плоском разрыве
- Безразмерная проводимость трещины F_{CD} зависит от разницы проницаемостей проппанта и пласта. F_{CD} это отношение способности трещины пропускать поток к возможности пласта этот поток поставлять в трещину, т.е. проводимости трещины к проводимости пласта.

$$F_{CD} = \frac{k_f w}{k x_f}$$

k_f - проницаемость проппанта (мД)

k - проницаемость пласта (мД)

w - ширина трещины (м)

x_f - полудлина трещины (м)

Неограниченная проводимость ($F_{CD} > 10$)

Ограниченная проводимость ($F_{CD} < 10$)

Расчет скин – фактора после ГРП по корреляционной зависимости для месторождений России

- Время наступления псевдоустановившегося режима

$$t_{нур} = \frac{0.12 \cdot \theta \mu C_t A}{0,00864 \cdot k}$$

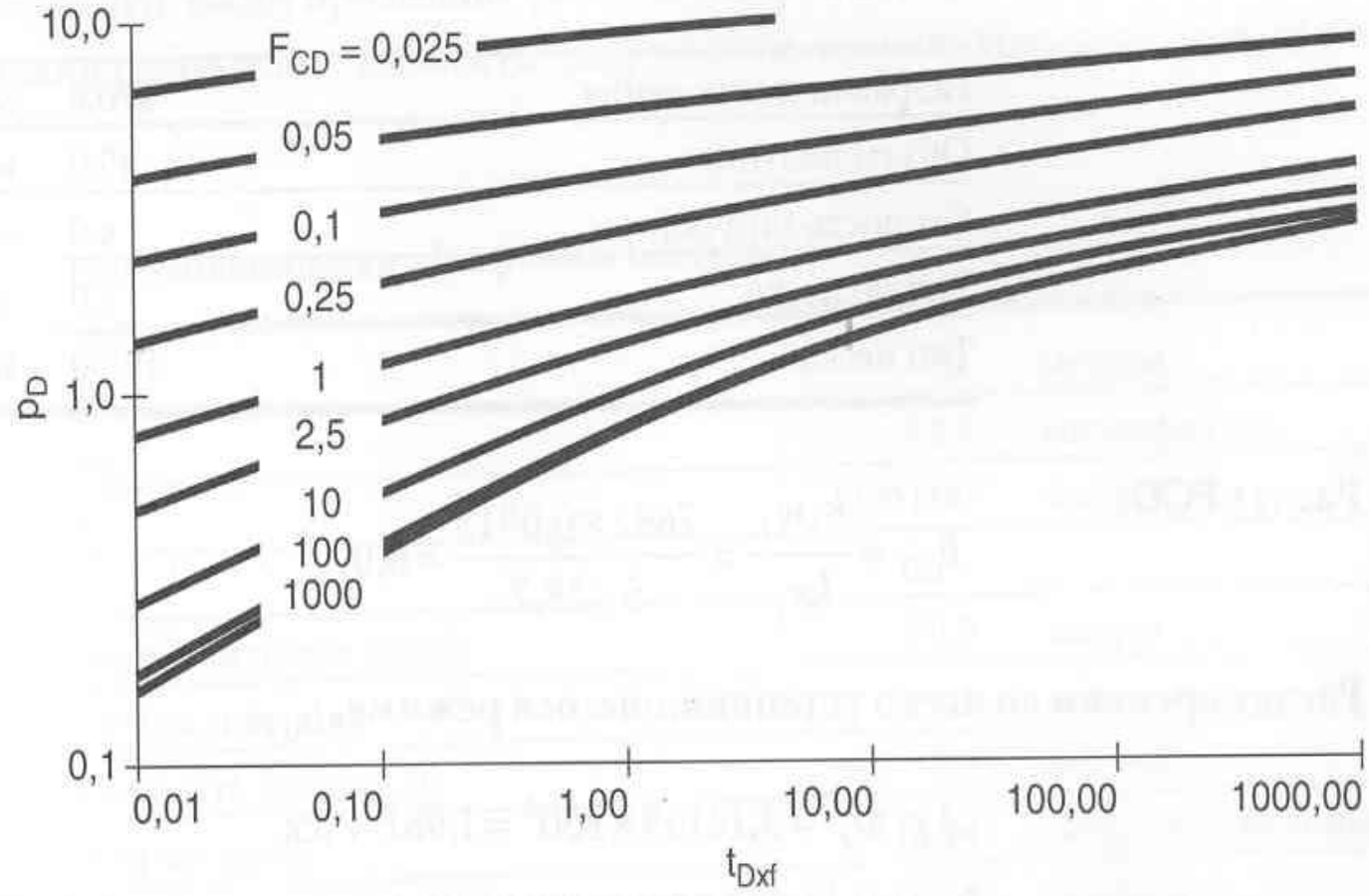
- Безразмерное время

$$t_{Dx_f} = \frac{0,12 A}{t_{нур} x_f^2} \quad A = \pi R^2$$

- Находим безразмерное давление P_D (по корреляциям для месторождений России)
- Находим скин - фактор

$$S = P_D - \ln\left(\frac{R}{r_w}\right) + 0,75$$

Корреляционная зависимость для расчета скин – фактора после ГРП для месторождений России



Упражнение : расчет скин - фактора

Данные по скважине 6186 Приобского месторождения, пласт А₁₁

1. Даны параметры ГРП:

Проницаемость проппанта $k_f = 430\ 000$ мД

Проницаемость пласта $k = 10$ мД

Эффективная толщина пласта $h = 25$ м.

Полудлина трещины $x_f = 60$ м

Ширина трещины $w_f = 8$ мм

2. Даны параметры скважины:

Вязкость нефти $\mu = 1,36$ сПз

Пористость $\theta = 0,15$

Радиус контура дренирования $R = 500$ м

Радиус скважины $r_c = 0,108$ м

3. Вычислить безразмерную проводимость трещины, оценить является ли проводимость трещины ограниченной или неограниченной.

4. Вычислить скин – фактор.

Гидравлический разрыв

В пластах с низкой проницаемостью, $K < 5$ мД

Требуются глубоко проникающие (длинные) трещины

- Кислотные или расклинивающие наполнители закачиваются на большое расстояние от скважины

В пластах с высокой проницаемостью, $K > 50$ мД

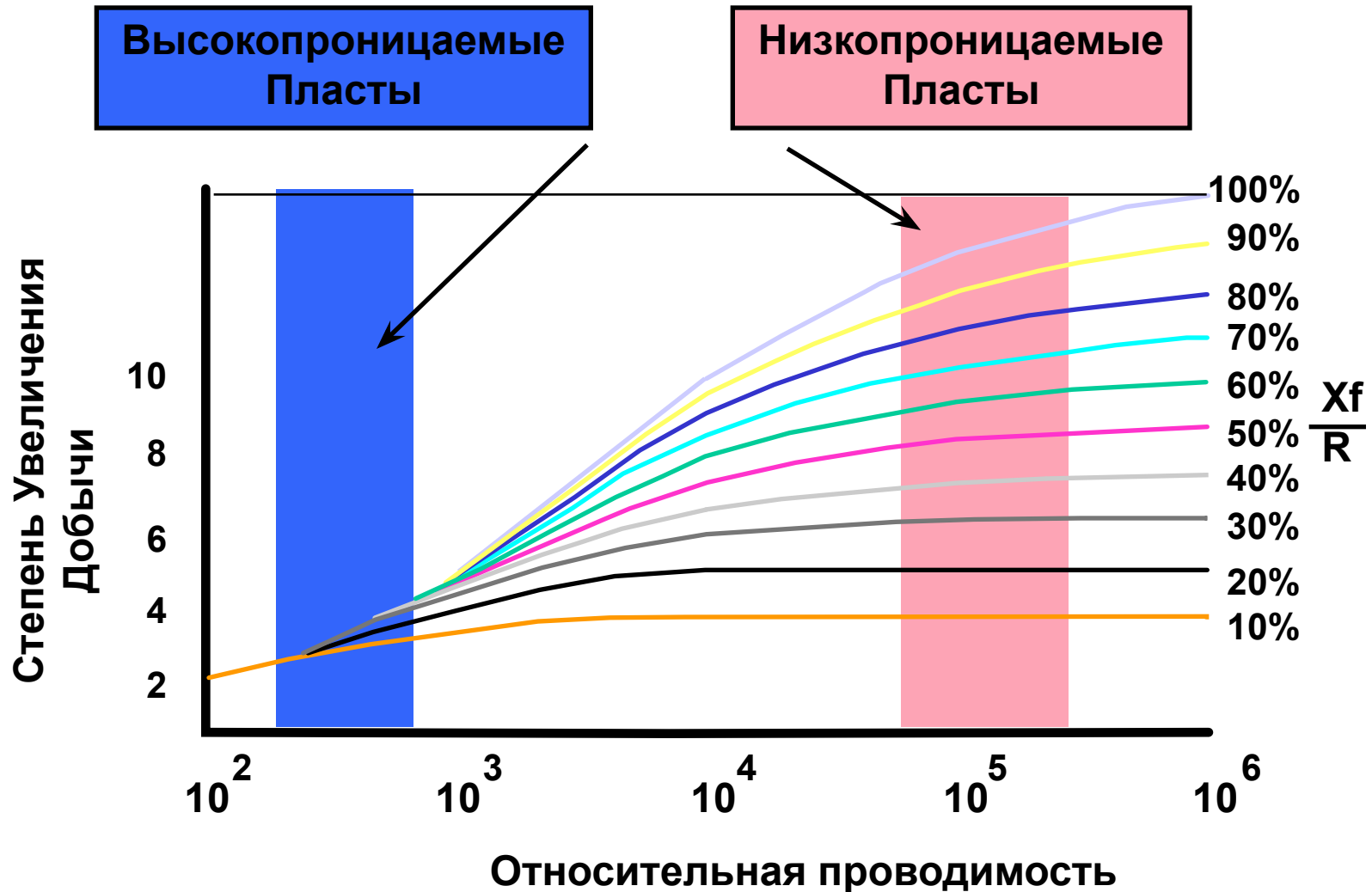
Требуются высокопроводимые короткие трещины

- Более высокий показатель проводимости способствует росту добычи
- Стимуляция призабойной зоны

В пластах со средней проницаемостью, $5 < K < 50$ мД

- Требуется очень высокая проводимость трещины ГРП более 4-5 тысяч мД·м

Увеличение добычи после ГРП для трещин различной длины



□ Теоретически Скин-фактор достигает - 8

Упражнение (домашнее задание): расчет потенциального дебита

По «своему» месторождению (либо одному из «своих» месторождений):

- 1. Рассчитать потенциальный дебит нефти ($P_{заб} = 50$ атм.), до проведения ГРП ($S = 0$), и после проведения ГРП (S расчитанный по программе «skin_calc.xls»).*
- 2. Построить индикаторные кривые Дарси и Вогеля.*
- 3. Рассчитать фактический J_d по скважинам без ГРП, и после ГРП. Рассчитать потенциалный дебит при $J_d = 0.6$.*

Источник данных – тех. режимы.

Формат выполнения задания – Excel.