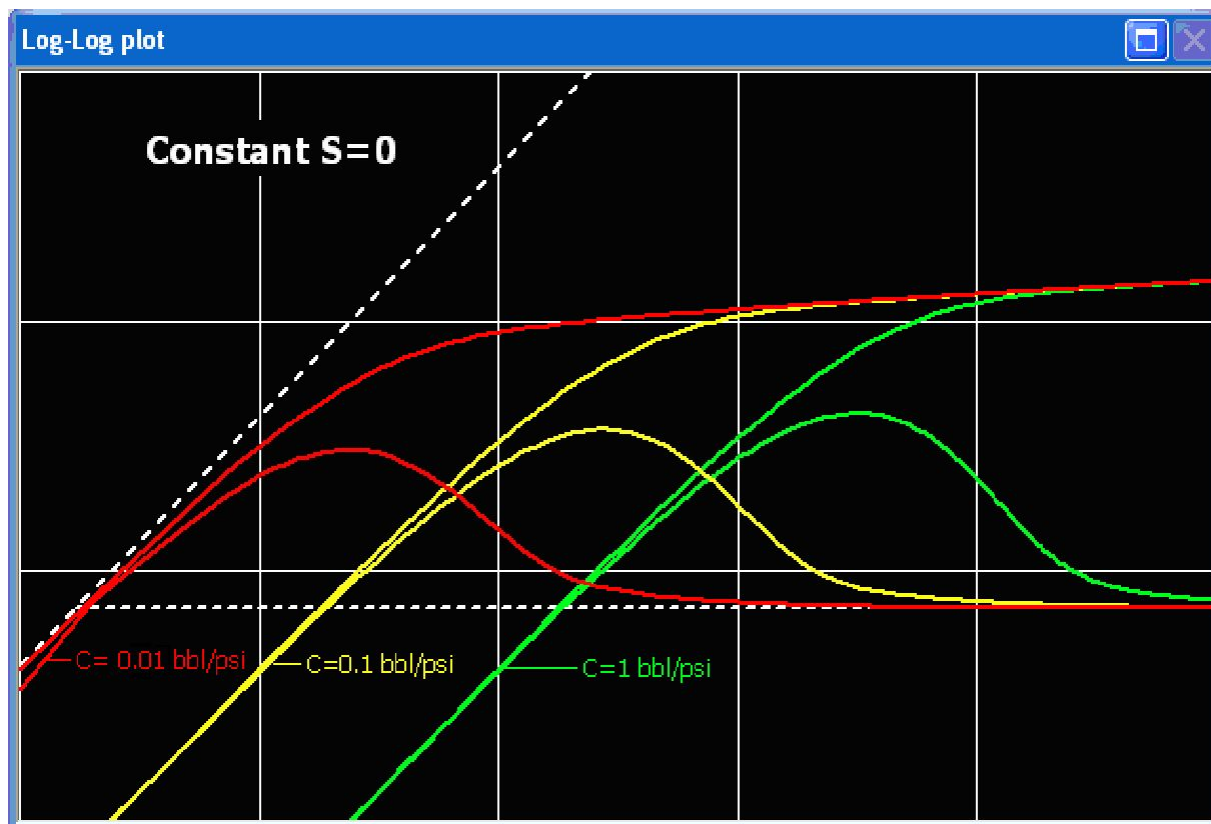


# Лекция №7

Модели пластов

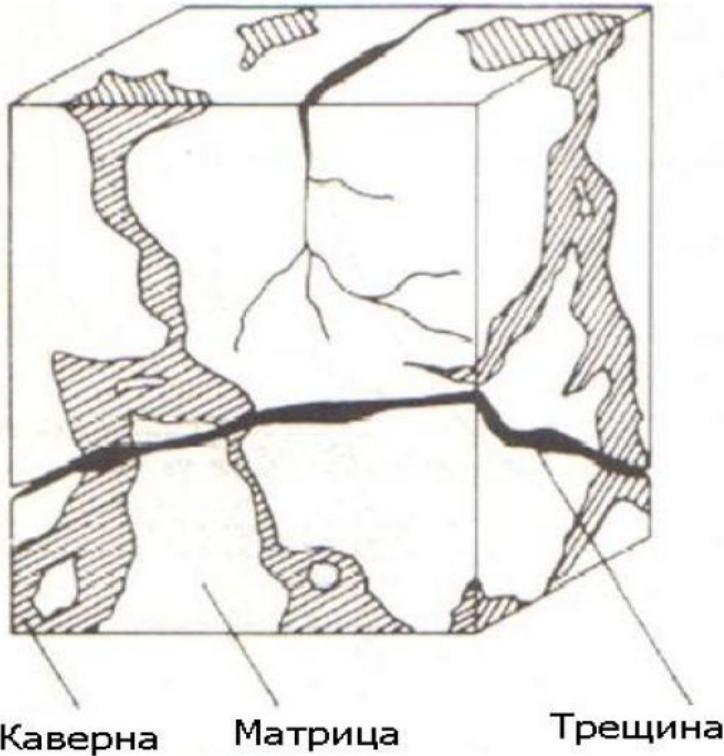
# Модель однородного пласта



## Модель трещиноватого коллектора

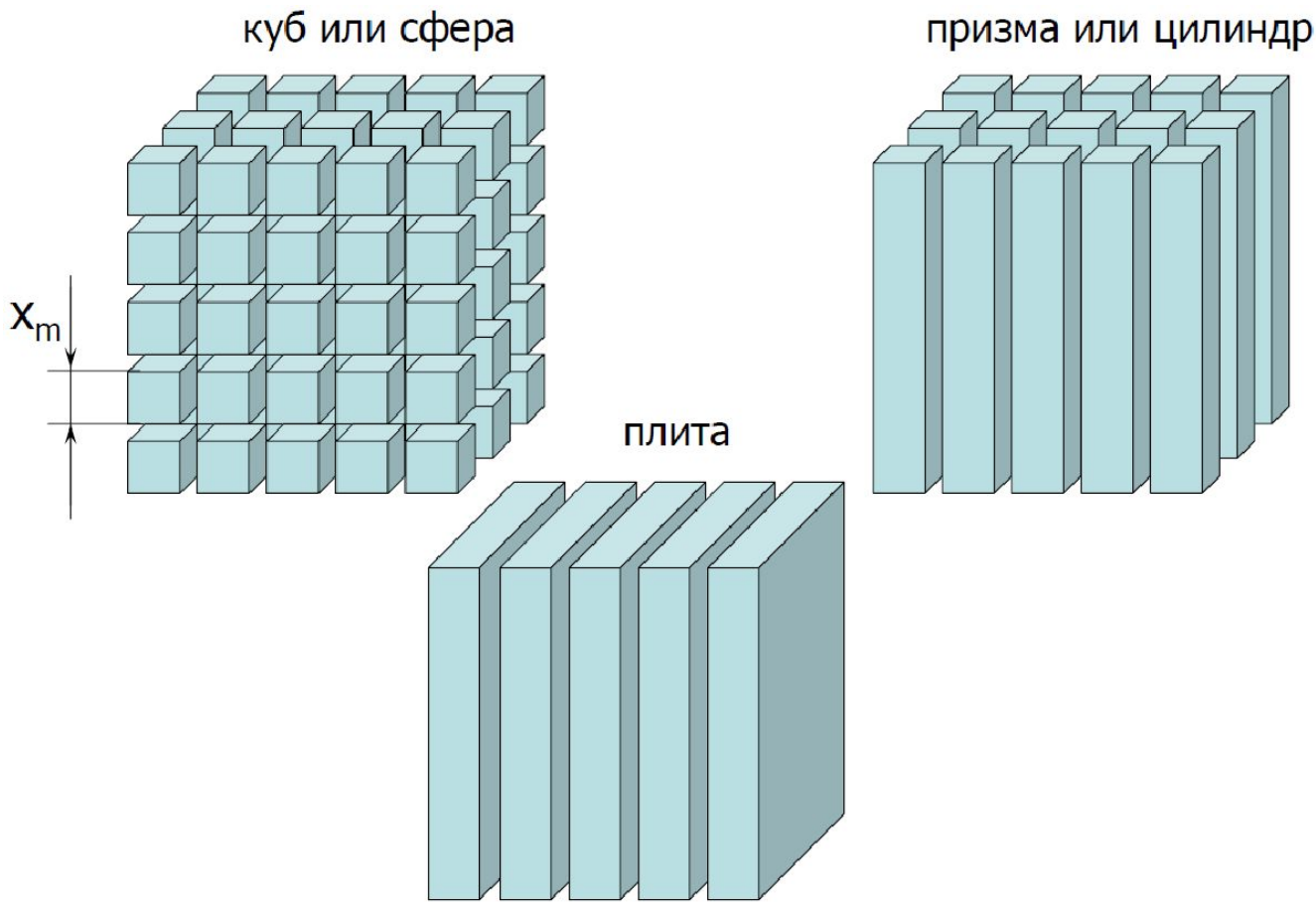
- Данная модель предназначена, для коллекторов сложного и неоднородного строения, причем неоднородность принимается равномерно распределенной по площади коллектора. Принимается, что пласт расчленен системой трещин, по которым осуществляется приток нефти к забою скважин. Матричные блоки при этом имеют низкую проницаемость и практически не участвуют в фильтрации.

# Пласт с двойной пористостью



- Первичная пористость малой проводимости – матрица,  $k_m$ ,  $\varphi_m$ ,  $C_m$
- Вторичная пористость большей проводимости – трещина,  $k_f$ ,  $\varphi_f$ ,  $C_f$

- Процесс фильтрации флюида в трещиноватых коллекторах значительно изменяется, так как присутствуют две поровые системы (система трещин и система матриц) с различными значениями геометрических размеров и фильтрационно-емкостных свойств. В данном случае фильтрация в пласте описывается с помощью модели, которая называется – **модель двойной пористости**.



- Warren и Root впервые ввели геометрическое представление трещиноватых коллекторов, которое до сих пор наиболее широко применяется при анализе данных ГДИС. Они использовали следующие допущения:
  - Блоки матрицы все однородные и идентичные по свойствам
  - Они имеют форму прямоугольного параллелепипеда, с плоскостями, сориентированными ортогонально плоскостям трещин
  - Блоки матрицы можно разделить на три типа, в соответствии с относительными размерами параллелепипеда:
    - a) куб или сфера – размеры всех сторон параллелепипеда одинаковы
    - b) призма или цилиндр – размер одной из сторон намного больше, чем размеры двух других
    - c) плита – размер одной из сторон намного меньше, чем размеры двух других

# Геометрический коэффициент

	Общая форма	куб или сфера	призма или цилиндр	плита
Форма	n	3	2	1
Геометрический коэффициент	$\alpha = \frac{4n(n+2)}{x_m^2}$	$\alpha = \frac{60}{x_m^2}$	$\alpha = \frac{32}{x_m^2}$	$\alpha = \frac{12}{x_m^2}$

- $x_m$  – характеристический размер блока матрицы (длина стороны кубического блока или диаметр сферического)

- В модели Warren&Root взаимодействие матрицы и трещин определяется геометрией блоков матрицы и количественно характеризуется с помощью параметра  $\alpha$ .

$$\alpha = \frac{4n(n+2)}{x_m^2}$$

- Перераспределение флюида между матрицей и трещинами зависит от:
  - формы, которая учитывается с помощью параметра  $n$ . Этот параметр определяет в каких направлениях ( $X, Y, Z$ ) возможен обмен флюида между матрицей и трещинами. Чем выше  $n$ , тем легче идет перераспределение флюида.
  - размеров блоков матрицы.
- В общем случае, чем больше  $\alpha$  (например, маленькие блоки кубической формы) тем легче осуществляется переток флюида между матрицей и трещиной.



Отметим основные параметры, характеризующие трещинно-поровый коллектор или коллектор с двойной пористостью:

1. Емкостной коэффициент  $\omega$  характеризует отношение упругого запаса трещин к общему запасу, можно представить в виде:

$$\omega = \frac{m_f c_f}{m_f c_f + m_m c_m}; \quad (4)$$

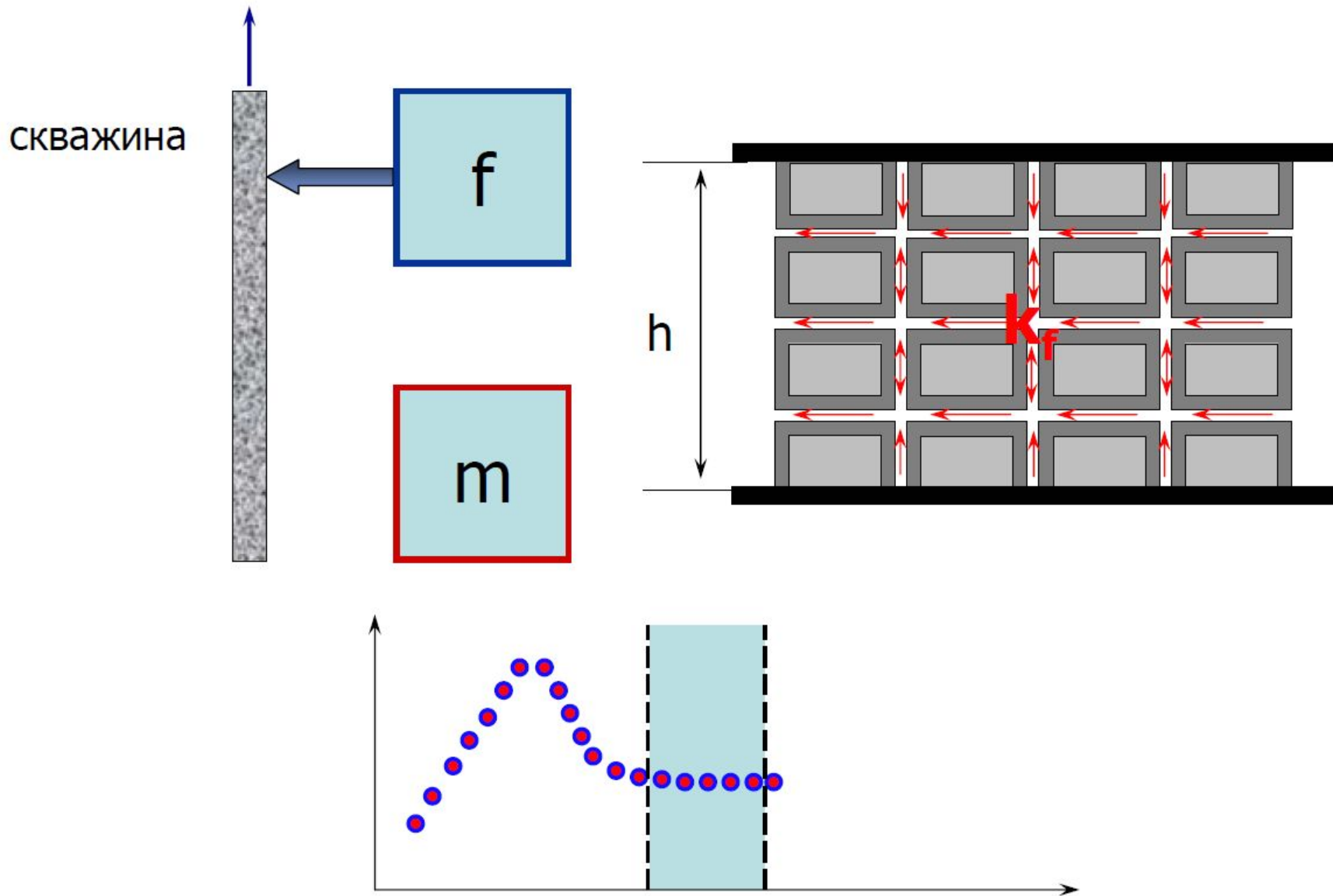
При  $\omega \rightarrow 1$  трещинный пласт с ничтожно малой пористостью блоков, при  $\omega \rightarrow 0$  - пласт с межзерновой пустотностью при пренебрежимо малом влиянии трещин.

2. Безразмерный коэффициент массообмена между трещинами и блоками зависит от соотношения проницаемостей  $k_f / k_m$  и поверхности контактов в единице объема породы:

$$\lambda = \alpha \frac{k_f}{k_m} r_w. \quad (5)$$

Считается, что при  $10^{-3} < \lambda < 10^{-9}$  интенсивность перетока из трещин в блоки низкая.

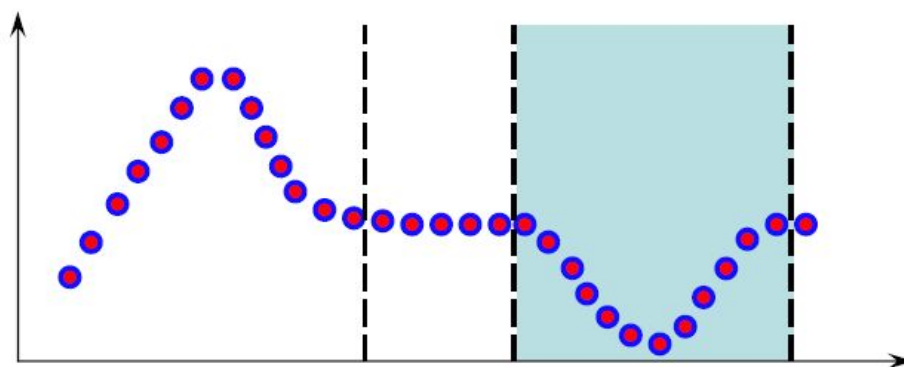
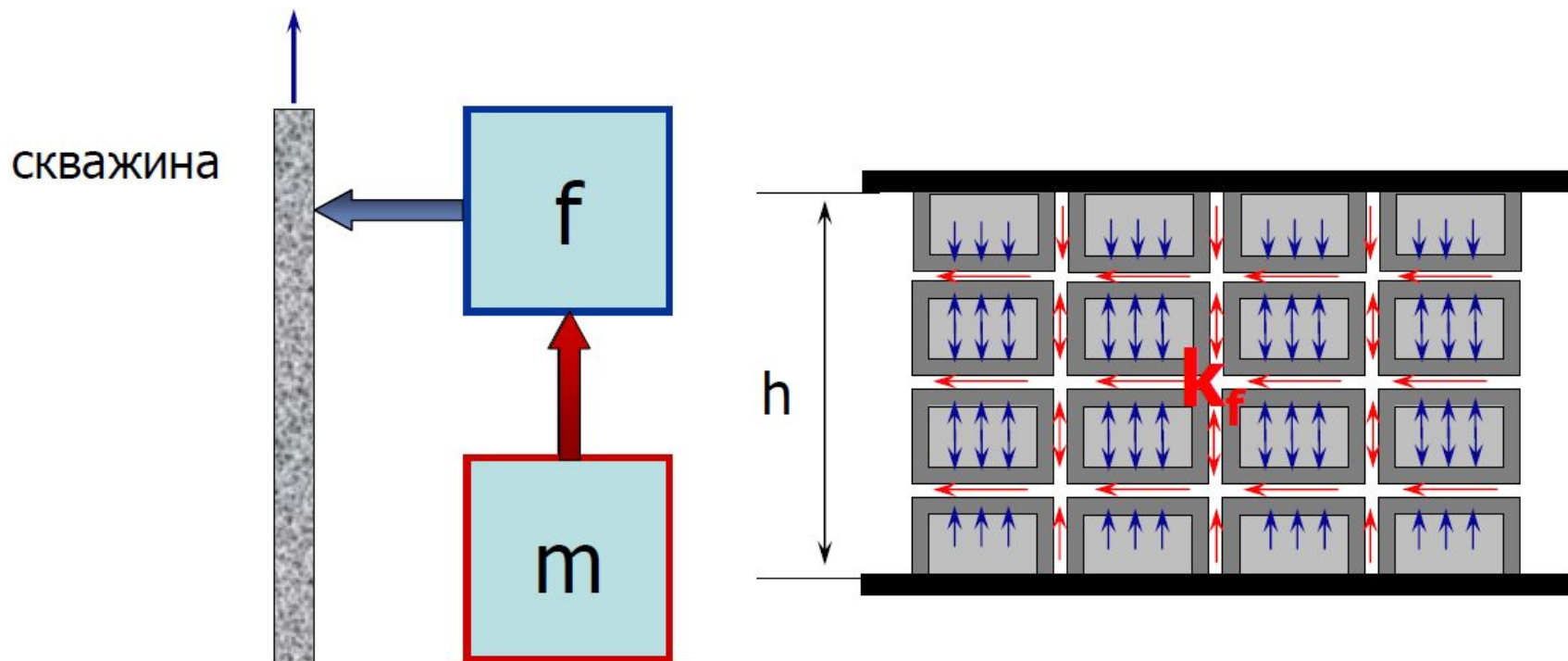
# Радиальный приток по системе трещин



# Радиальный приток по системе трещин

- Из-за того, что трещина имеет более высокую проницаемость, на ранней стадии испытаний приток флюида к скважине осуществляется только за счет системы трещин при отсутствии перераспределения давления в матрице. Во время этого периода трещиноватый пласт можно рассматривать как однородный, с проницаемостью  $k_f$  и трещинно-кавернозной емкостью  $\phi_f c_f$ . Типично, данный режим проявляется в течение очень короткого времени и не идентифицируется на графиках из-за эффекта сжимаемости жидкости в стволе скважины.
- Если эффект влияния ствола скважины не скрывает этот период, то на графике в полулогарифмических координатах можно будет увидеть прямолинейный участок данных характерный для радиального режима и определяющий проницаемость трещины. А на диагностическом графике этому периоду соответствует стабилизация производной.
- Но на практике очень сложно выделить прямолинейный участок (или стабилизацию производной) характеризующий приток к скважине по системе трещин. Эффект влияния ствола скважины (даже если скважину останавливали на забое) достаточно значителен и не позволяет достоверно выделить этот участок данных.

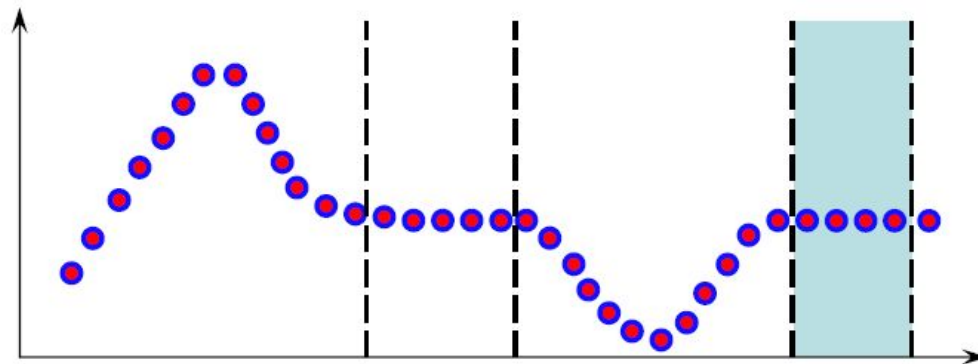
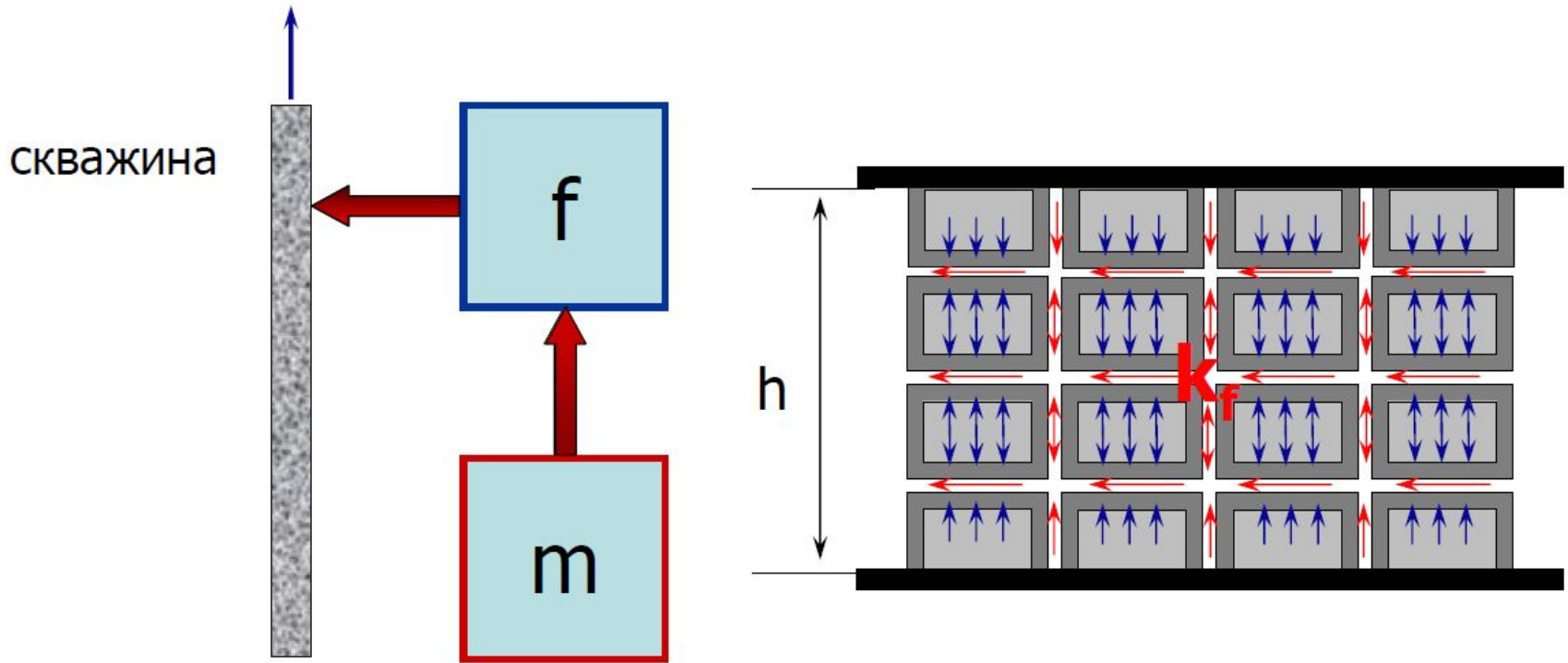
# Переходный период



# Переходный период

- В момент времени, когда начинается приток из матрицы в трещину, обеспечивается дополнительное поддержание давления в трещинах, так до сих пор они находились при начальном пластовом давлении.
- Анализ притока флюида из матрицы в трещину показывает, что сначала перераспределение давления в блоках матрицы определяется неустановившимся режимом фильтрации. А затем устанавливается псевдуюстановившийся режим, соответствующий истощению (снижению давления) блоков матрицы.
- Существует два подхода, приведенных в технической литературе, описывающие приток «матрица-трещина»:
  - Warren и Root: основное допущение – приток «матрица-трещина» мгновенно переходит в псевдуюстановившийся режим. Такая модель называется – двойная пористость (псевдуюстановившийся режим).
  - Swann: не использовал этого допущения и учитывал распределение давления в блоках матрицы. Такая модель называется – двойная пористость (переходный режим).
- Если переходный период не скрыт эффектом влияния ствола скважины, то он характеризуется скачком производной давления вниз на диагностическом бипологарифмическом графике. Положение и амплитуда этого скачка определяется параметрами  $\omega$  и  $\lambda$ .

# Радиальный приток для всей системы

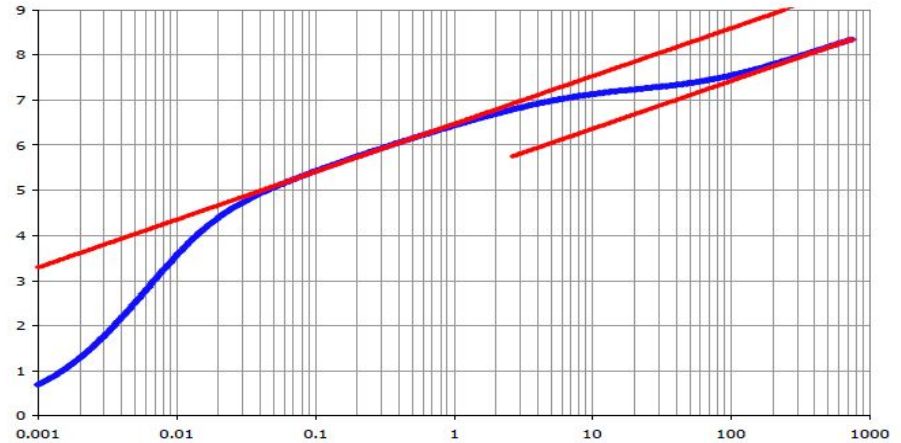


# Радиальный приток для всей системы

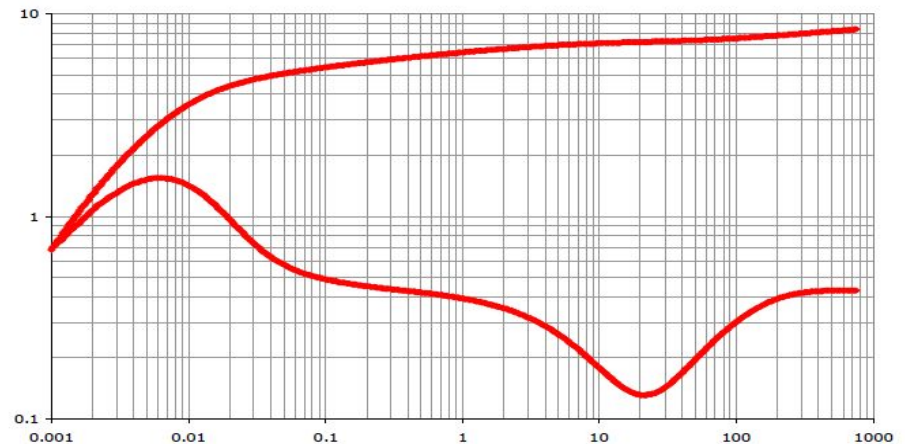
- После завершения переходного периода, когда перепад давления между матрицей и трещиной исчезает, пласт опять можно охарактеризовать как однородный:
  - с проницаемостью  $k_f$
  - и емкостью  $\varphi_f c_f + \varphi_m c_m$ .
- При этом на графике в полулогарифмических координатах образуется второй радиальный участок (параллельный первому радиальному периоду), который характеризует проницаемость всей системы (матрица и трещины). На диагностическом билогарифмическом графике этот период соответствует второй стабилизации производной.
- Смещение по вертикали второго радиального участка относительно первого зависит от параметра  $\omega$ .

# Двойная пористость

- Две параллельные линии на полулогарифмическом графике



- Отклонение производной вниз

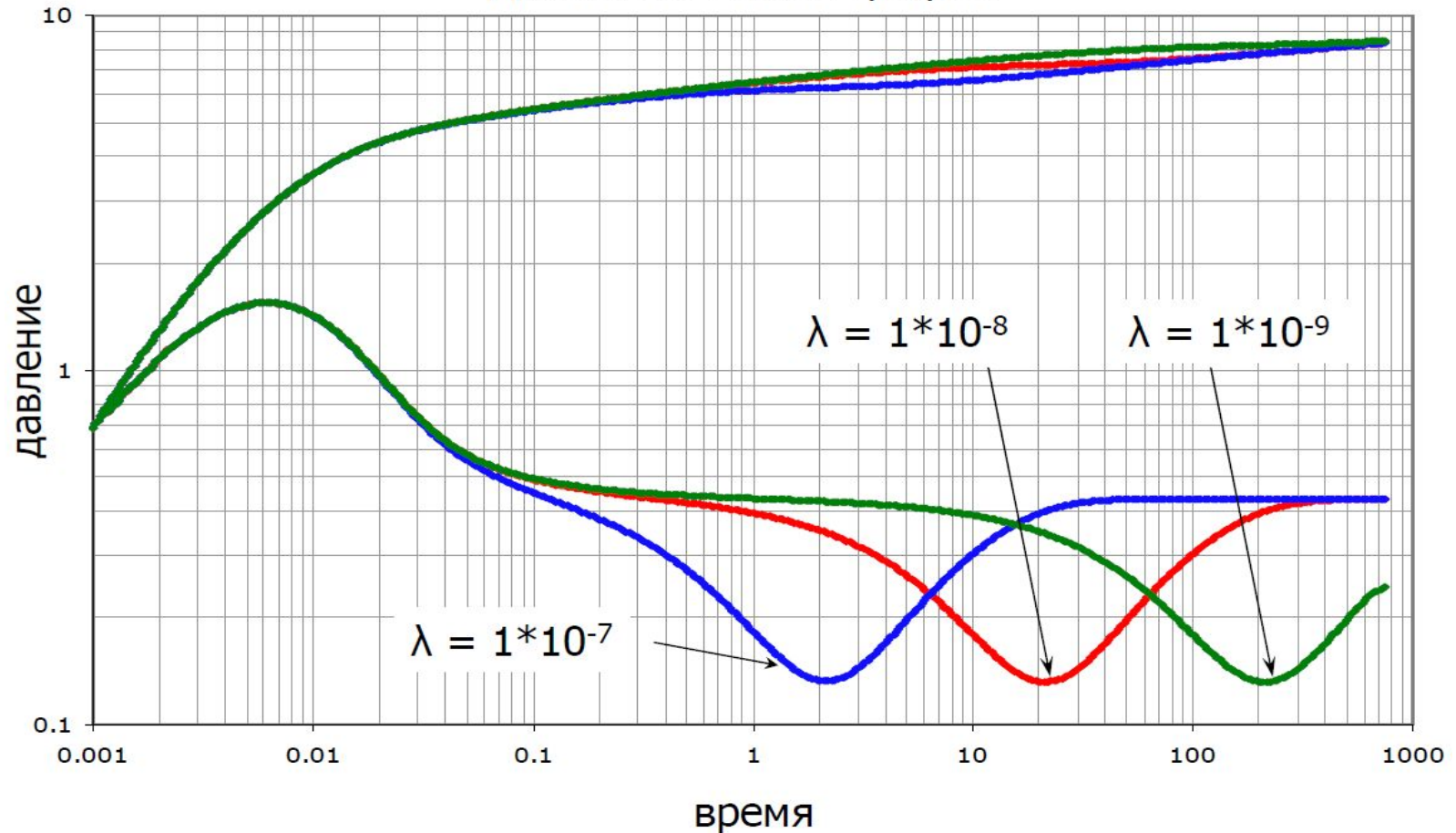


- На полулогарифмическом графике должны быть отображены две параллельные линии, которые характеризуют проницаемость трещин и трещинно-матричной системы. Так как проницаемость трещин велика относительно проницаемости матрицы, то мы имеем две прямые линии с одинаковым углом наклона.



# Влияние $\lambda$

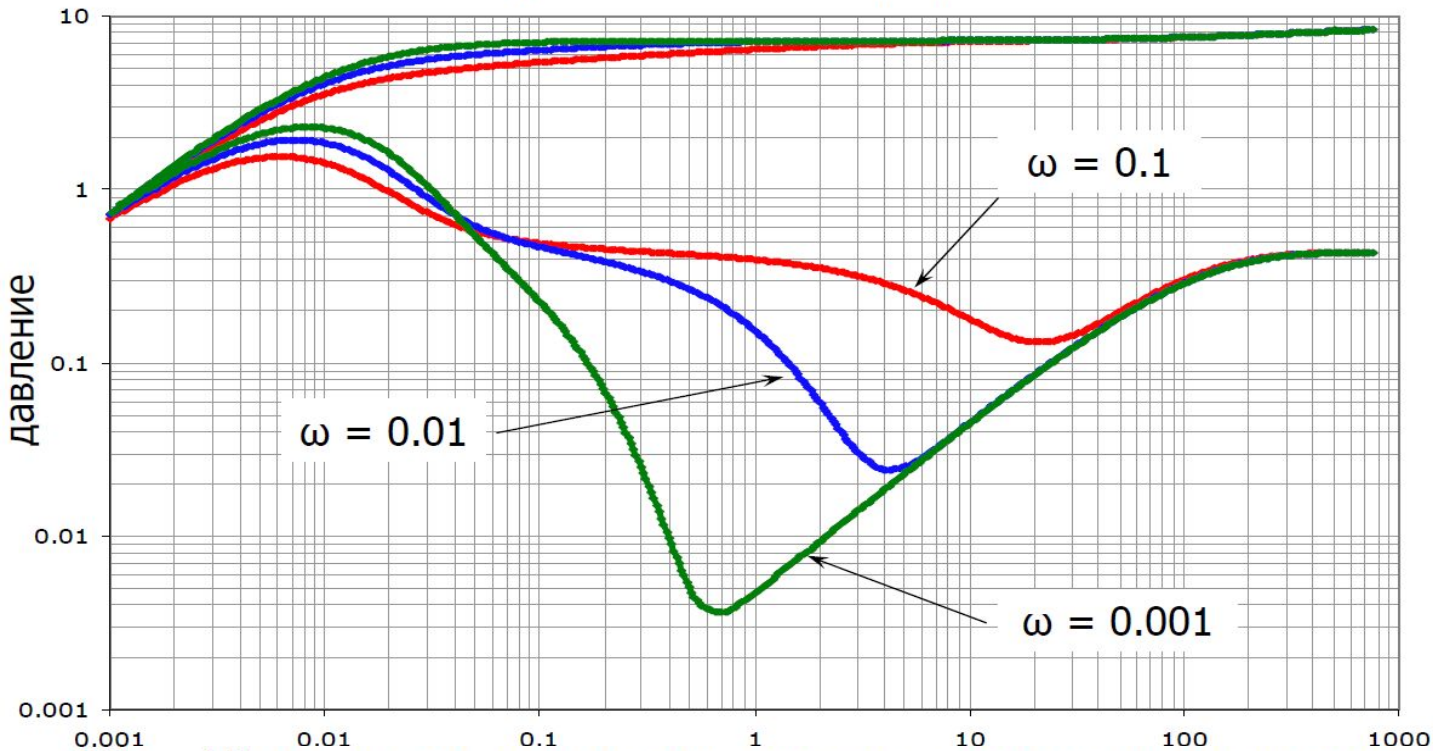
Диагностический график



- Уменьшение коэффициента удельной проводимости приводит к перемещению начала переходного режима вправо на более поздний момент времени, так как с уменьшением данного коэффициента уменьшается и задерживается способность матрицы участвовать в фильтрации системы. Форма кривой не изменяется.

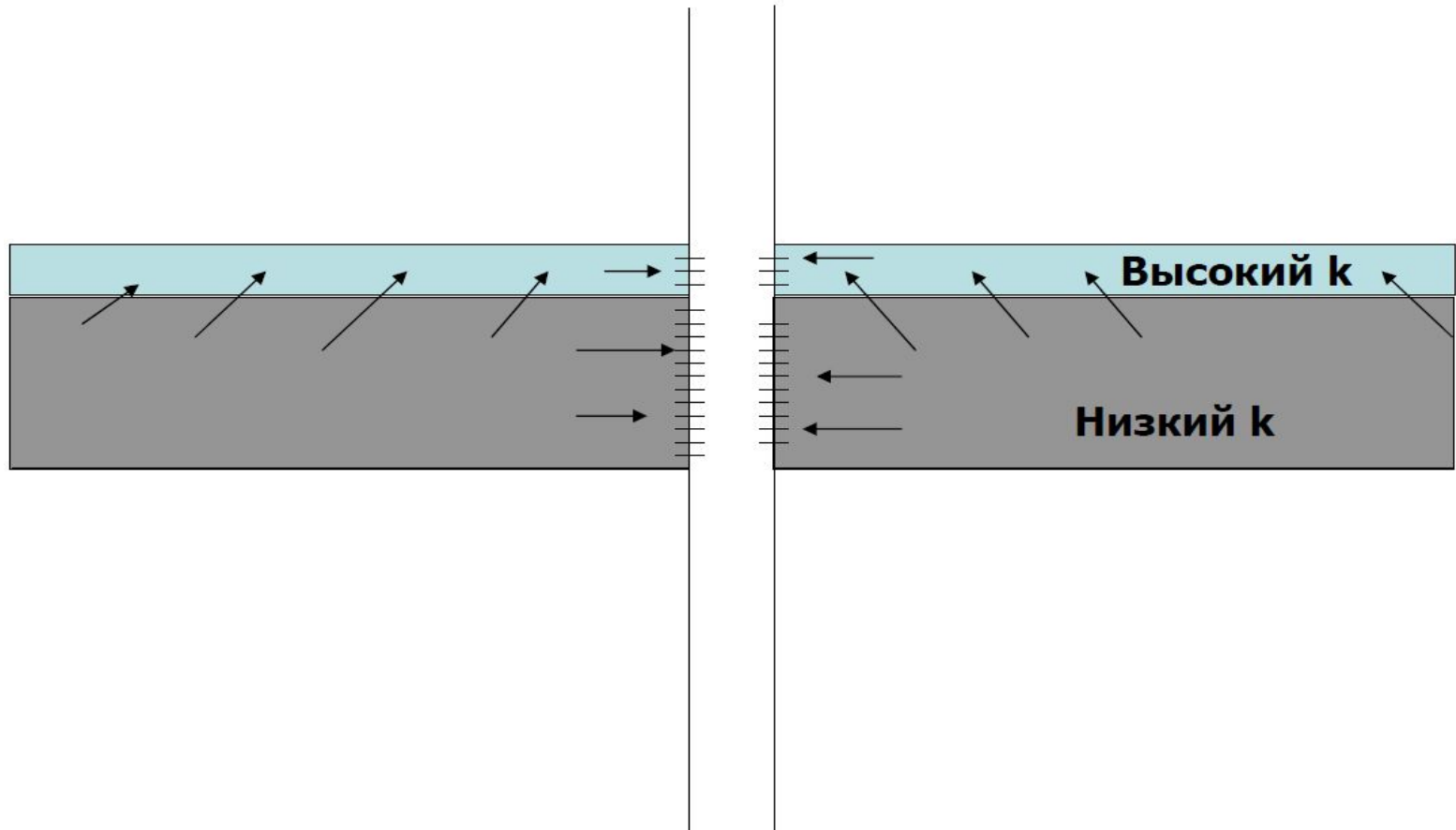
# Влияние $\omega$

Диагностический график



- Период притока из матрицы в трещину характеризуется скачком производной давления вниз на диагностическом билогарифмическом графике.
- Уменьшение значения коэффициента доли трещинно-кавернозной емкости приводит к увеличению скачка вниз на производной, так как чем ниже данный коэффициент, тем больше в пласте матричной емкости. Чем ближе значение  $\omega$  к 1, тем позже начинается переходный период.
- Частный случай  $\omega = 1$  – пористость матрицы нулевая, следовательно, свойства пласта можно описать с помощью простой модели однородного пласта (одна пористость).

# Пласт с двойной проницаемостью

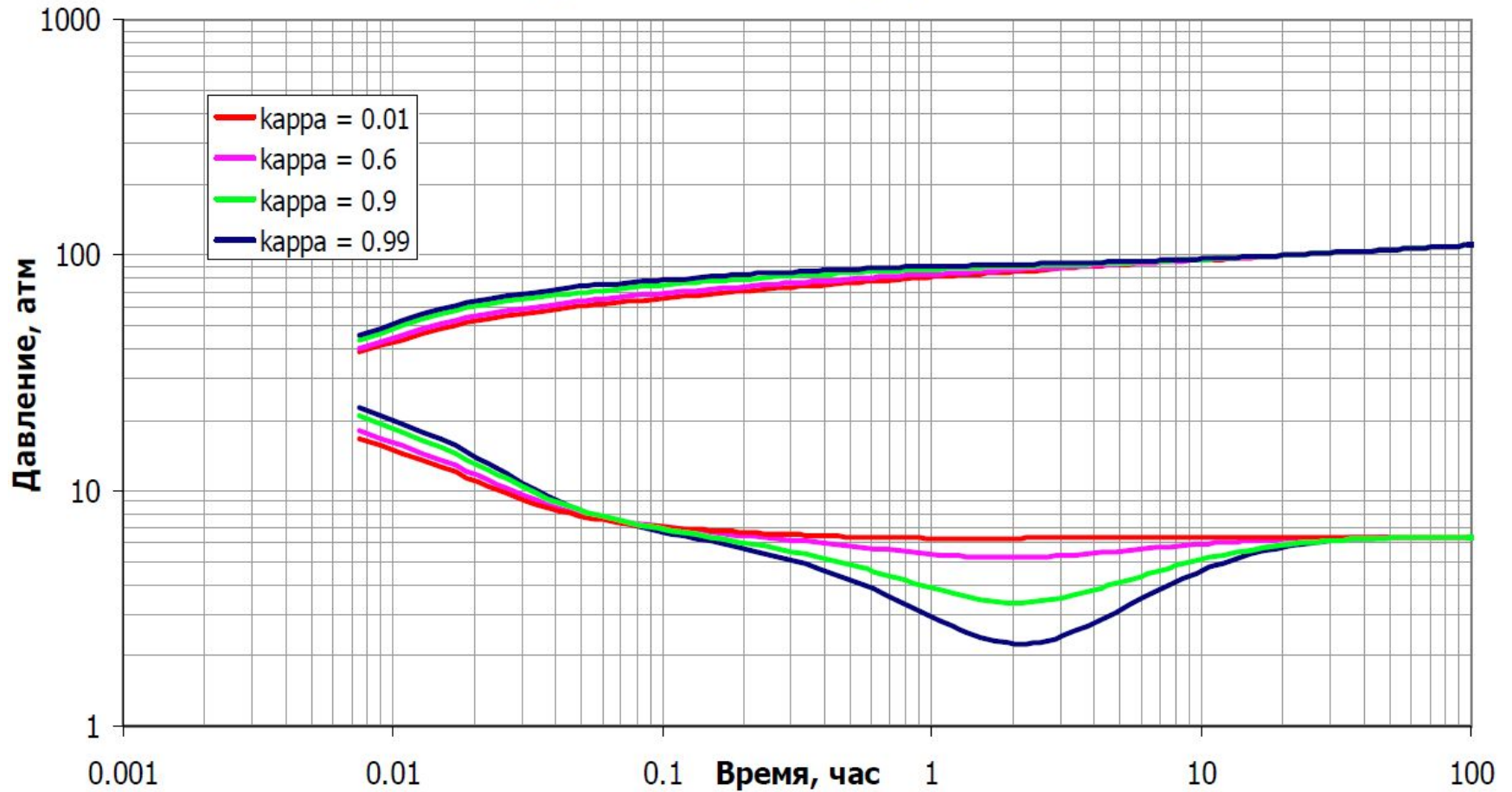


- Если исследуемый пласт состоит из 2-х пропластков различной проницаемости, каждый из которых перфорирован, то при эксплуатации скважины будет наблюдаться переток между ними. Величина перетока пропорциональна перепаду давления между пропластками. Перераспределение давления в пласте подобного типа описывается с помощью **модели двойной проницаемости**.

- Пласт из двух пропластков разной проницаемости, переток между которыми пропорционален перепаду давления между ними
  - Наиболее проницаемый пласт характеризуется –  $k_1, h_1$
  - Менее проницаемый пласт характеризуется –  $k_2, h_2$
- 
- Систему описывают 3 параметра:
  - доля наиболее проницаемого пласта в емкости системы  $\omega = \frac{(\varphi c_t h)_1}{(\varphi c_t h)_1 + (\varphi c_t h)_2}$
  - удельный коэффициент проводимости между пластами  $\lambda = \alpha r_w^2 \frac{(kh)_2}{(kh)_1 + (kh)_2}$
  - отношение  $kh$  наиболее проницаемого пласта к общей  $kh$  системы  $\kappa = \frac{k_1 h_1}{k_1 h_1 + k_2 h_2}$

# Двойная проницаемость

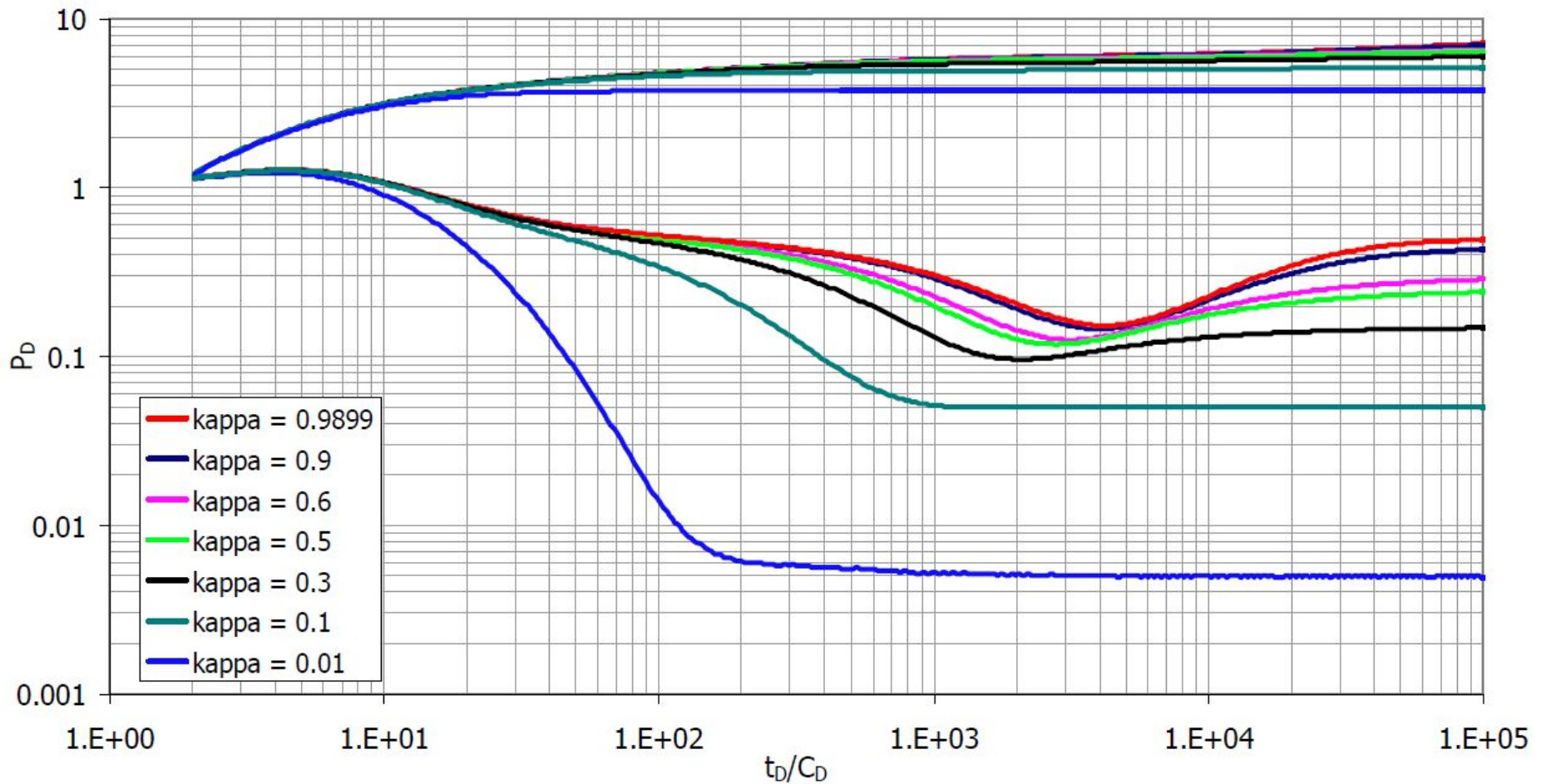
## Диагностический график



- Первый случай – скважина вскрывает оба продуктивных пропластка.
- В начальный момент времени отсутствия перепада давления между пропластками система действует как два однородных пласта при отсутствии перетока между ними с  $kh$  системы. Когда наиболее проницаемый пласт работает более активно, начинает проявляться перепад давления между пластами и, соответственно, переток между ними. Переходный процесс характеризуется отклонением производной вниз на диагностическом бипологарифмическом графике.
- Когда  $k$  равно 1, то проницаемость менее проницаемого пласта равна 0, и поведение системы соответствует двойной пористости. Менее проницаемый слой представляет матрицу, приток из которой возможен при вскрытии наиболее проницаемого пласта (трещина).
- Глубину отклонения производной вниз контролируют 3 параметра системы двойной проницаемости. Уменьшение параметра  $k$  уменьшает отклонение производной вниз. Значение  $k = 0$  соответствует поведению однородного пласта.

# Двойная проницаемость

## Диагностический график



- Второй случай – скважина вскрывает только первый пропласток.
- В случае, если  $\kappa \approx 1$ , проницаемость второго слоя пренебрежимо мала по сравнению с проницаемостью первого пропластка. Система ведет себя аналогично модели двойной пористости.
- В случае, если  $\kappa < 1$ , первое плато на диагностическом графике соответствует  $k_1 h_1$  первого пропластка, а второй горизонтальный участок соответствует суммарному  $k_1 h_1 + k_2 h_2$  всей системы.
- При очень маленьких значениях  $\kappa$ , первого плато на производной не наблюдается.