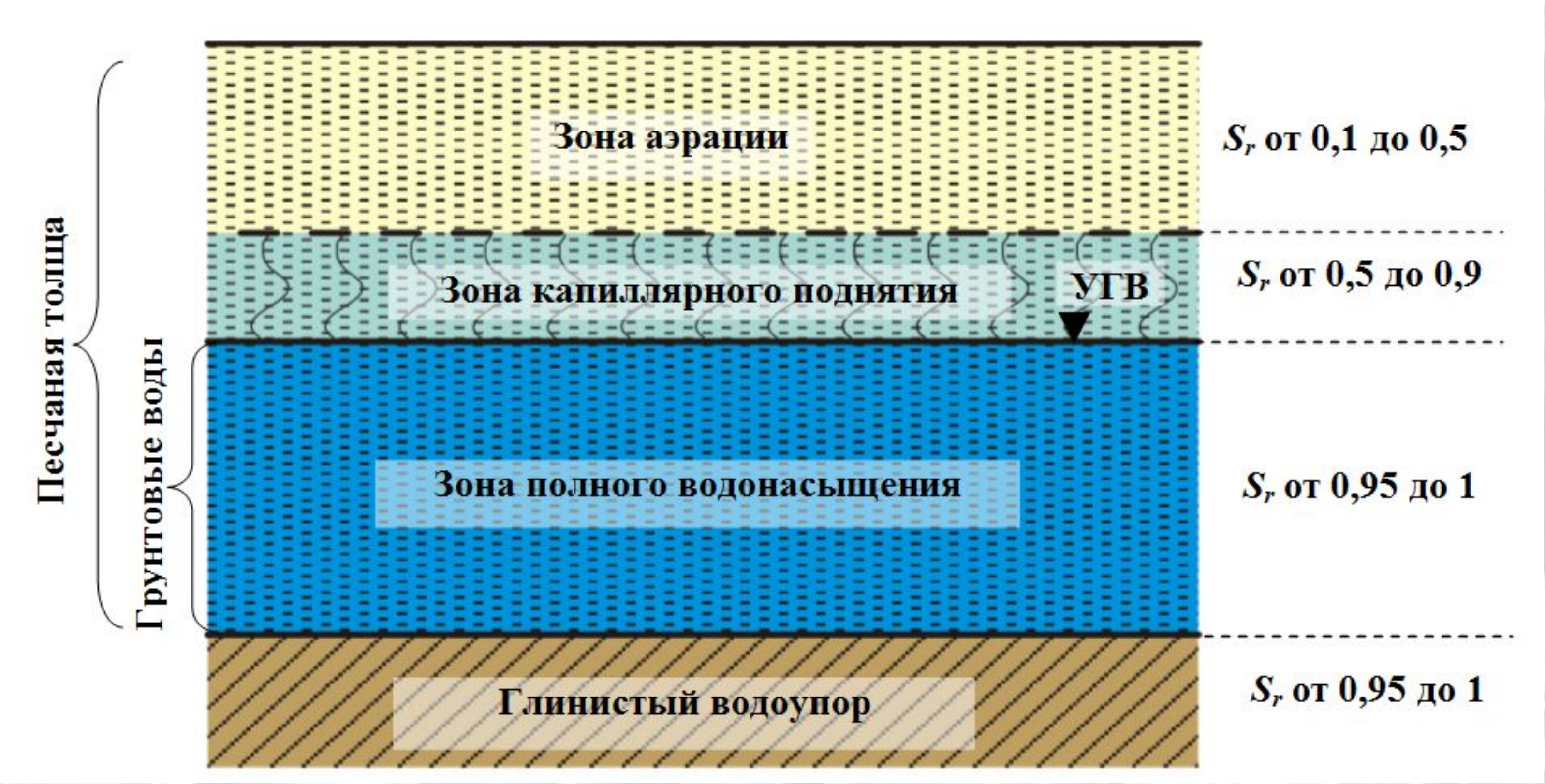
Грунтовые воды



Напорные воды

Основные понятия о фильтрации

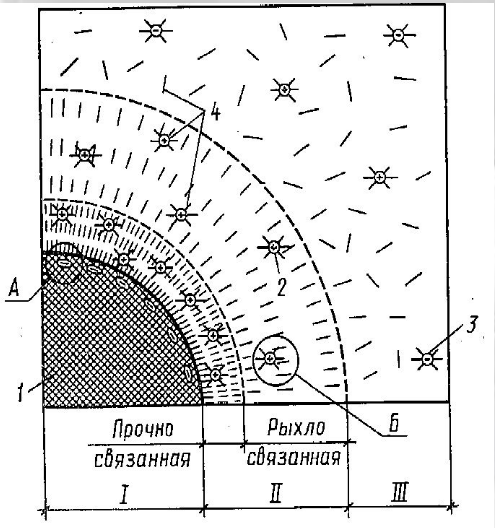
Фильтрация – это процесс движения **гравитационной воды** через пористую, трещиновато-пористую или трещиноватую среду под действием разности гидростатических напоров.

Категория (тип) воды	Вид и разновидности воды
Связанная	Кристаллизационная (например, в гипсе $CaSO_4 \cdot 2H_2O$), конституционная OH^-
	Прочносвязанная
	Рыхлосвязанная
Переходного типа	Осмотически поглощенная
	Капиллярная
Свободная	Иммобилизованная (замкнутая в крупных порах)
	Текучая (гравитационная)

Классификация пор по размеру:

- **сверхкапиллярные – более 0,1 мм;**
- **капиллярные – от 0,0002 до 0,1 мм;**
- **субкапиллярные – менее 0,0002 мм.**

Движение жидкости по ***сверхкапиллярным*** порам происходит ***свободно***, по ***капиллярным*** – только после преодоления ***молекулярных поверхностных сил***. ***Субкапиллярные*** поры ***непроницаемы***.



I – твердая частица; II – связанная вода; III – свободная вода

<u>Фильтрационный поток</u> - это **условный поток жидкости** через пористое (трещинное) пространство, **характеристики** которого определяются как **осредненные для всего поперечного сечения фильтрующей среды**, а не для каждой из её точек в отдельности.

<u>Скорость фильтрации условного потока</u>

$$v = Q/F$$

Q **– объемный расход;**

F **– площадь поперечного сечения условного потока**

<u>Действительная скорость движения воды в пористой среде</u>

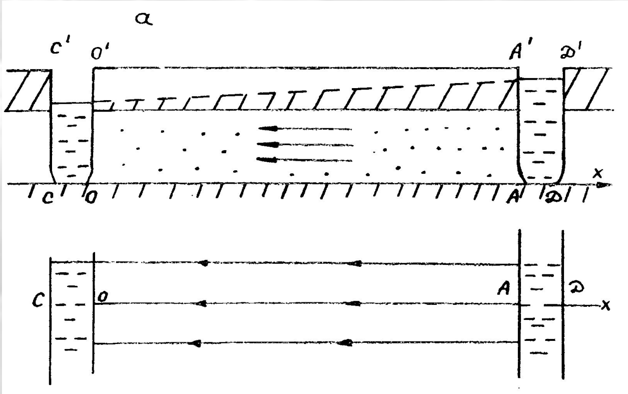
$$v_д = Q/F_1 = Q/(n_а F) = v/n_а$$

F_1 **– действительная площадь пористой среды;**

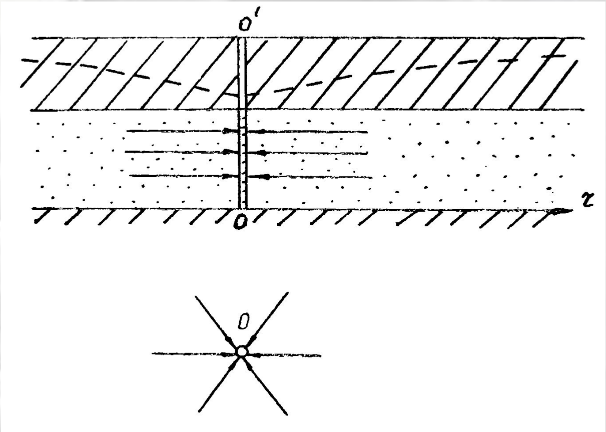
$n_а$ **– активная пористость**

$$n_а = F_1/F$$

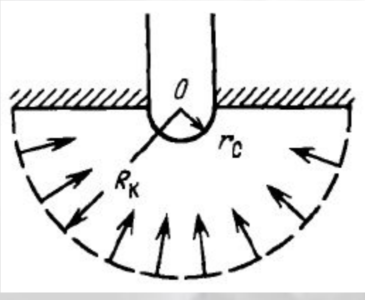
Виды фильтрационных потоков



Плоскопараллельный



Плоскорадиальный



Радиально-сферический

Линейный закон фильтрации (закон Дарси)

Условия применимости

Верхний предел

(нарушение ламинарного режима движения жидкости)

Число Рейнольдса:

$$Re_{кр} = \frac{10}{n_{а}^{2,3}} \frac{v\sqrt{k_{п}}}{\nu}$$

критические значения Re – от 4 до 12

Критическая скорость фильтрации:

$$v_{кр} = \frac{n_{а}^{2,3} \cdot \nu}{10\sqrt{k_{п}}} Re_{кр}$$

Нижний предел

(проявление поверхностных сил при малых скоростях фильтрации)

Скорость фильтрации и **расход воды** в водонасыщенных песках и крупнообломочных грунтах при ламинарном режиме находят по **закону Дарси**:

Скорость фильтрации

$$v = K_{\phi} \cdot I$$

м/сут, см/сек

Коэффициент фильтрации, м/сут, см/сек

Градиент напора

Расход

$$Q = F \cdot K_{\phi} \cdot I$$

м^3/сут

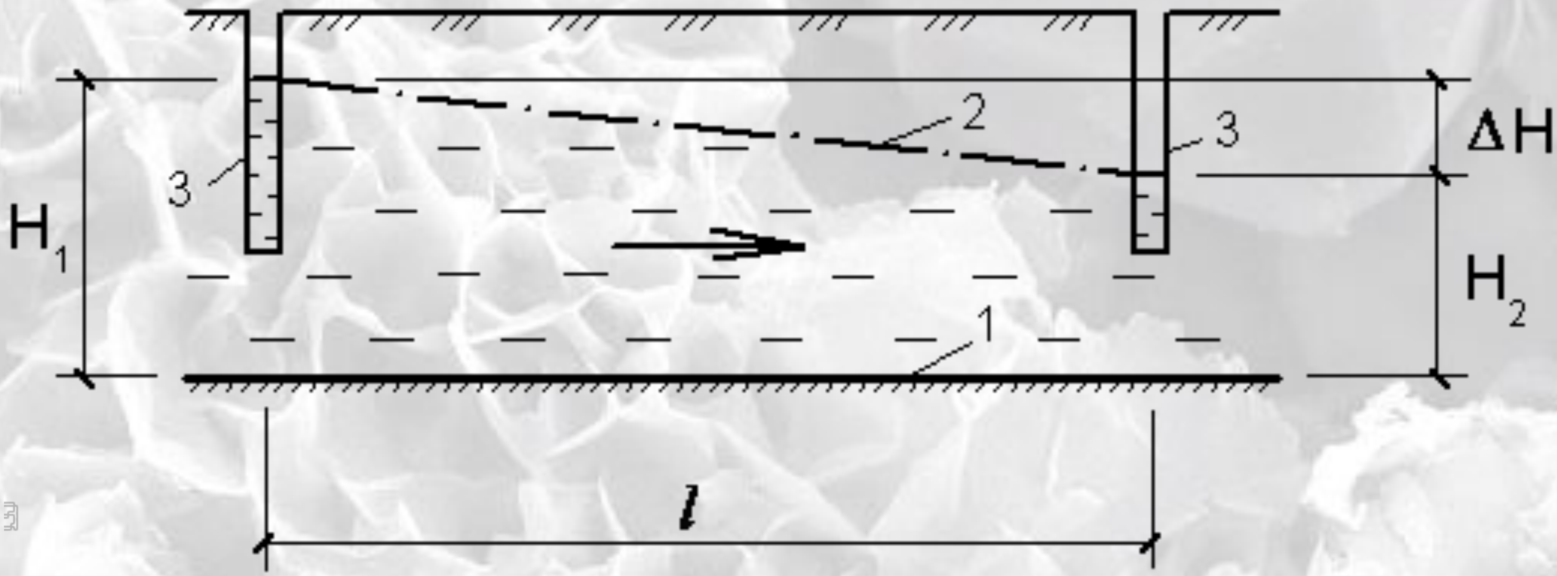
Площадь потока

Закон Дарси в дифференциальной форме:

$$u = -\frac{k}{\mu} \cdot \frac{\partial p^*}{\partial S}$$

Градиент напора (I) – потеря напора по длине пути фильтрации:

$$I = \frac{\Delta H}{l}$$



1 – кровля водоупора, 2 – уровень грунтовых вод (УГВ),

3 - скважина

Коэффициент фильтрации *Кф* (см/сек, м/сут) – основной показатель проницаемости грунтов, равен линейной скорости фильтрации воды при градиенте напора $I = 1$.

Коэффициент фильтрации зависит от

От свойств пород:

-гранулометрический и минеральный состав

- активная пористость

-размер пор, их извилистость и степень сообщаемости

- плотность сложения грунта

-наличие органики

От свойств фильтрующейся жидкости:

-вязкость (температура, давление, состав и минерализация)

Коэффициент фильтрации некоторых типов песчаных, крупнообломочных и глинистых грунтов (по В.Д. Ломтадзе)

Тип грунта	Коэффициент фильтрации, м/сут
Глины	< 0,001
Суглинки	0,1-0,001
Супеси и пески тонкозернистые	2-0,1
Пески:	
мелкозернистые	10-2
среднезернистые	30-10
крупнозернистые и грубозернистые	50-30
Гравий, галечники с песчаным заполнителем	100-30
Галечники без заполнителя	>100

Коэффициент проницаемости

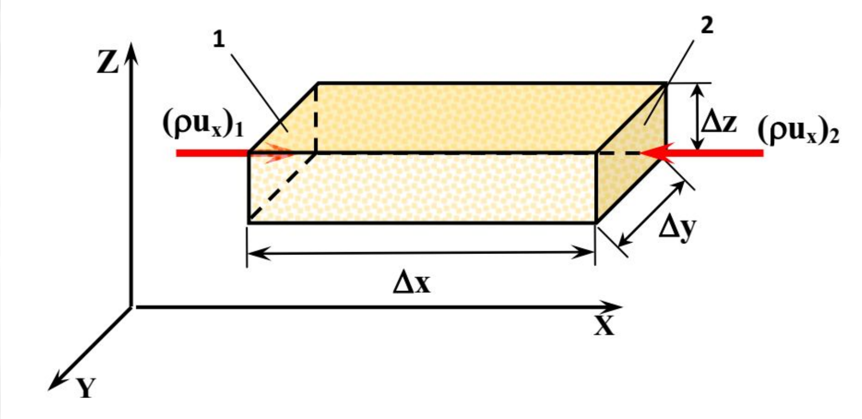
$$k_п = k\mu'/\gamma = k\nu/g$$

где $\gamma = \rho g$ — удельный вес воды (н/м³); μ' — динамический коэффициент вязкости воды (Па·с); ν — кинематический коэффициент вязкости (м²/с).

$$k_п = \frac{L^3T^{-1} \times L^{-1}MT^{-1} \times L}{L^2 \times L^{-1}MT^{-2}} = L^2.$$

Коэффициент проницаемости $k_п$ измёряется в квадратных сантиметрах. Однако чаще для него используется единица Дарси (1 Д$=1{,}02 \times 10^{-8}$см^2=1 мкм^2), которая может быть определена как проницаемость такой среды, в которой при перепаде давления ΔP=0,1 мПа на длине ΔL=1 см и динамической вязкости μ'=0,001 Па·с скорость фильтрации v=1 см/с.

Уравнение неразрывности потока



Уравнение неразрывности потока представляет собой **закон сохранения массы** для элементарного объема пористой среды.

Общий вид:

$$\frac{\partial(\rho m)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho u_y)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho u_z)}{\partial z}=0$$

Для плоскопараллельного потока (приток к галерее) оно имеет вид:

$$\frac{\partial(\rho m)}{\partial t}+\frac{\partial(\rho u_x)}{\partial x}=0\ .$$

Для плоскорадиального потока (приток к скважине):

$$\frac{\partial(\rho m)}{\partial t}+\frac{1}{r}\frac{\partial(r\,\rho\,u_r)}{\partial r}=0.$$

Для радиально–сферического потока:

$$\frac{\partial(\rho m)}{\partial t}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial(r^2\,\rho\,u_r)}{\partial r}=0.$$

Начальные и граничные условия

Для описания конкретных физических процессов и получения решений соответствующих задач, необходимо сформулировать **постановку задачи**, то есть задать условия в начальный момент времени и условия на границах области пласта. В результате имеем дифференциальные уравнения с начальными и граничными условиями, интегрируя которые можно определить распределение давления и скоростей фильтрации по пласту в любой момент времени.

Начальное условие заключается в задании искомой функции во всей области в некоторый момент времени, принимаемый за начальный. Например, если искомой функцией является пластовое давление, то начальное условие может иметь вид:

$$\boxed{p = po(x, y, z) \text{ при } t = 0}$$

Граничные (краевые) условия задаются на границах пласта. Число граничных условий должно быть равно порядку дифференциального уравнения по координатам. Возможны следующие граничные условия.

Граничные условия первого рода. На границе задаются значения давления:

$$p|_{Г} = p(Г, t)$$

Граничные условия второго рода. На границе задаются значения нормальной скорости к границе:

$$u_n|_{г} = u_n(Г, t)$$

Так, как по закону Дарси скорость фильтрации связана с градиентом давления, то это граничное условие можно записать в следующем виде:

$$\left.\frac{\partial p}{\partial n}\right|_{Г} = f(Г, t)$$

Граничные условия третьего рода. Это граничное условие является комбинацией первых двух и в практике встречается редко. Граничные условия третьего рода записываются в виде:

$$\left.\left(\alpha\, p + \beta \frac{\partial p}{\partial n}\right)\right|_{Г} = f(Г, t)$$