

УЧЕТ КРИВИЗНЫ СТЕНКИ ПРИ СБОРЕ (РАСПРЕДЕЛЕНИИ) ВОДЫ ПОРИСТОЙ ТРУБОЙ

Прогульный В.И. (Одесская государственная академия
строительства и архитектуры, г. Одесса)

Рассмотрены зависимости для потерь напора в пористых стенках труб для сбора и распределения воды, используемых в системах водоснабжения. Введен поправочный коэффициент на кривизну стенки труб.

Пористые трубы широко используются в водоснабжении для сбора и распределения воды - это дренажи инфильтрационных водозаборов, пористые фильтры водозаборных скважин, трубы для сбора промывной воды в скорых фильтрах и т.п.

Потери напора при притоке воды через стенку пористой трубы в общем случае описывается двучленной зависимостью [1,2]:

$$h_c = H - h = aV_f + bV_f^2, \quad (1)$$

где H - пьезометрическое давление снаружи трубы;

h - напор внутри и трубы;

V_f - скорость фильтрации через стенку трубы;

a, b - коэффициенты, зависящие от характеристик пористой стенки (толщины, диаметра зерен, пористости) и вязкости воды и определяемые, как правило, опытным путем.

Основное преимущество этой формулы - возможность использования ее в широком диапазоне чисел Рейнольдса. При малых скоростях фильтрации (и малых Re) второй член становится пренебрежимо малым и формула (1) соответствует формуле Дарси. При высоких скоростях «работает» только второй член формулы и зависимость потерь напора от скорости квадратичная. Однако, как показал анализ, движение жидкости через пористые стенки дренажей и сборных труб для отвода промывной воды происходит в переходном режиме, поэтому

здесь необходимо использовать оба члена формулы. А это требует определения двух эмпирических коэффициентов – a и b , что создает определенные затруднения при инженерных расчетах.

Как показано в [3], двучленная формула (1) может быть заменена более удобной для расчетов одночленной степенной формулой –

$$\Delta h = C \delta v^{2-n} V_f^n, \quad (2)$$

где Δh – потеря напора в пористой перегородке, см;

δ – толщина перегородки, см;

v – кинематическая вязкость воды, $\text{см}^2/\text{с}$;

V_f – скорость фильтрования, $\text{см}/\text{с}$;

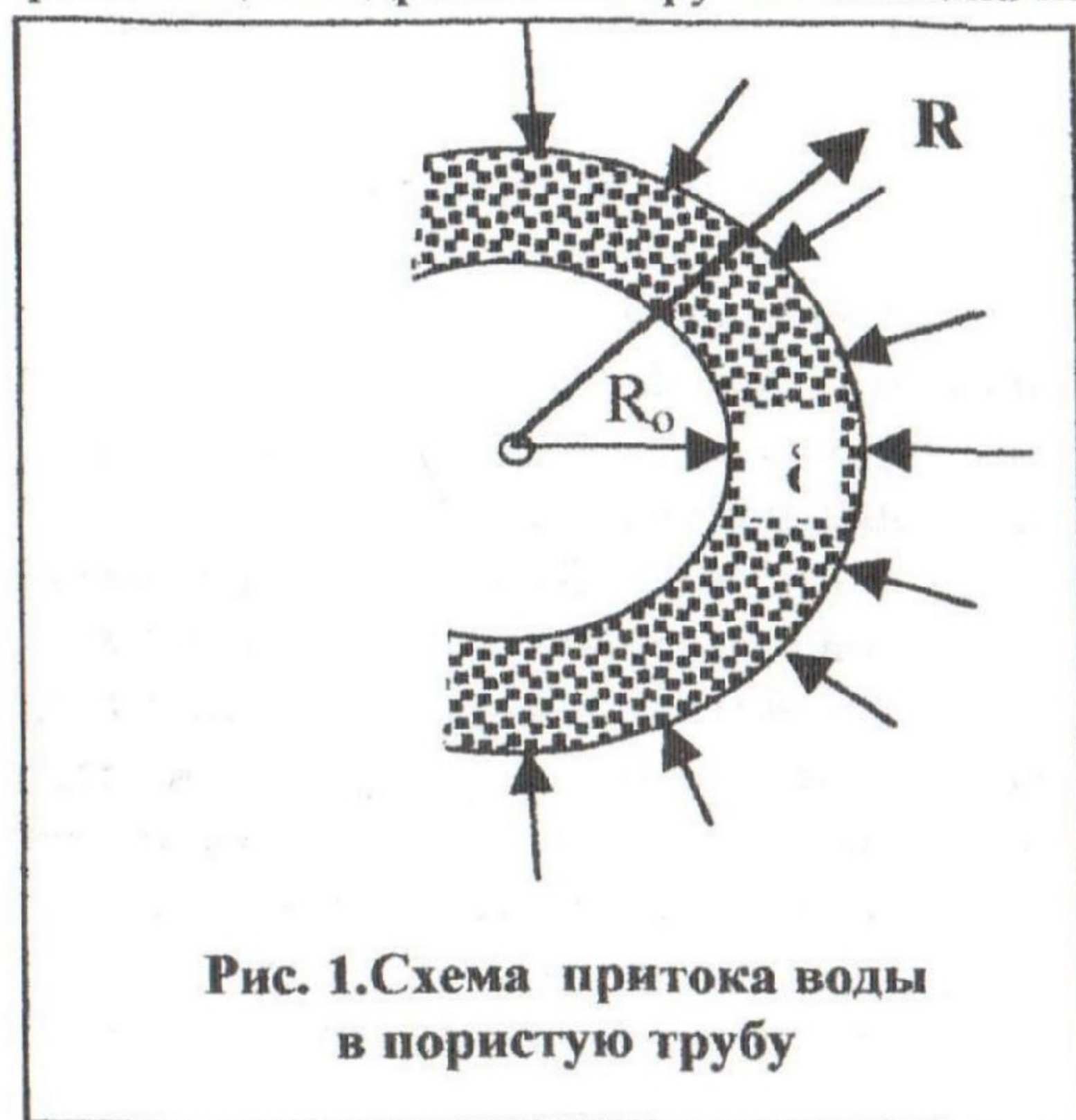
C – коэффициент, зависящий от гранулометрического состава заполнителя полимербетона и степени плотности его укладки (в случае фильтрования загрязненной воды коэффициент C учитывает коагуляцию пор взвешенными частицами);

n – показатель степени, который можно принимать равным 1,67 (при числах Рейнольдса $Re = V_f d / v = 15-200$).

При постоянстве n для использования формулы (2) достаточно знать только одну величину – коэффициент C .

Формулы (1) и (2) действительны при движении воды через плоскую пористую перегородку. При притоке воды через цилиндрическую стенку должна быть введена поправка, учитывающая кривизну стенки.

Схема пористой цилиндрической трубы показана на рисунке 1.



Используем естественное предположение, что вода внутри пористой стенки трубы движется по кратчайшему направлению, т.е. радиально. Тогда скорость воды по ходу потока будет расти-

$$V_f(R) = \frac{q}{2\pi R}, \quad (3)$$

где q – приток на единицу длины трубы, $\text{см}^2/\text{с}$.

Поэтому потери напора в стенке трубы будут большими, чем в плоской пористой стенке, длина которой равна периметру трубы, подсчитанному по наружному радиусу, но меньшими, чем в стенке длиной, определенной по внутреннему радиусу R_0 .

Потери напора на единицу толщины (гидравлический уклон внутри пористой стенки) равны-

$$\frac{dh}{dR} = AV_f^n, \quad (4)$$

где $A = C \nu^{2-n}$ - коэффициент, полученный из формулы (2).

Тогда потеря напора в стенке с учетом (2.19) вычисляется следующим образом –

$$h = \int_{R_0}^{R_0+\delta} AV(R)^n dR = \frac{Aq^n}{(2\pi)^n} \int_{R_0}^{R_0+\delta} R^{-n} dR = \frac{Aq^n R_0}{(2\pi R_0)^n (1-n)} \left[(1+\bar{\delta})^{1-n} - 1 \right] \quad (5)$$

где $\bar{\delta}$ - относительная толщина стенки ($\bar{\delta} = \delta/R$).

Введем величину h_0 – потерю напора в «развернутой» плоской стенке, длина которой равна периметру трубы, подсчитанному по радиусу R_0 . Эта потеря равна:

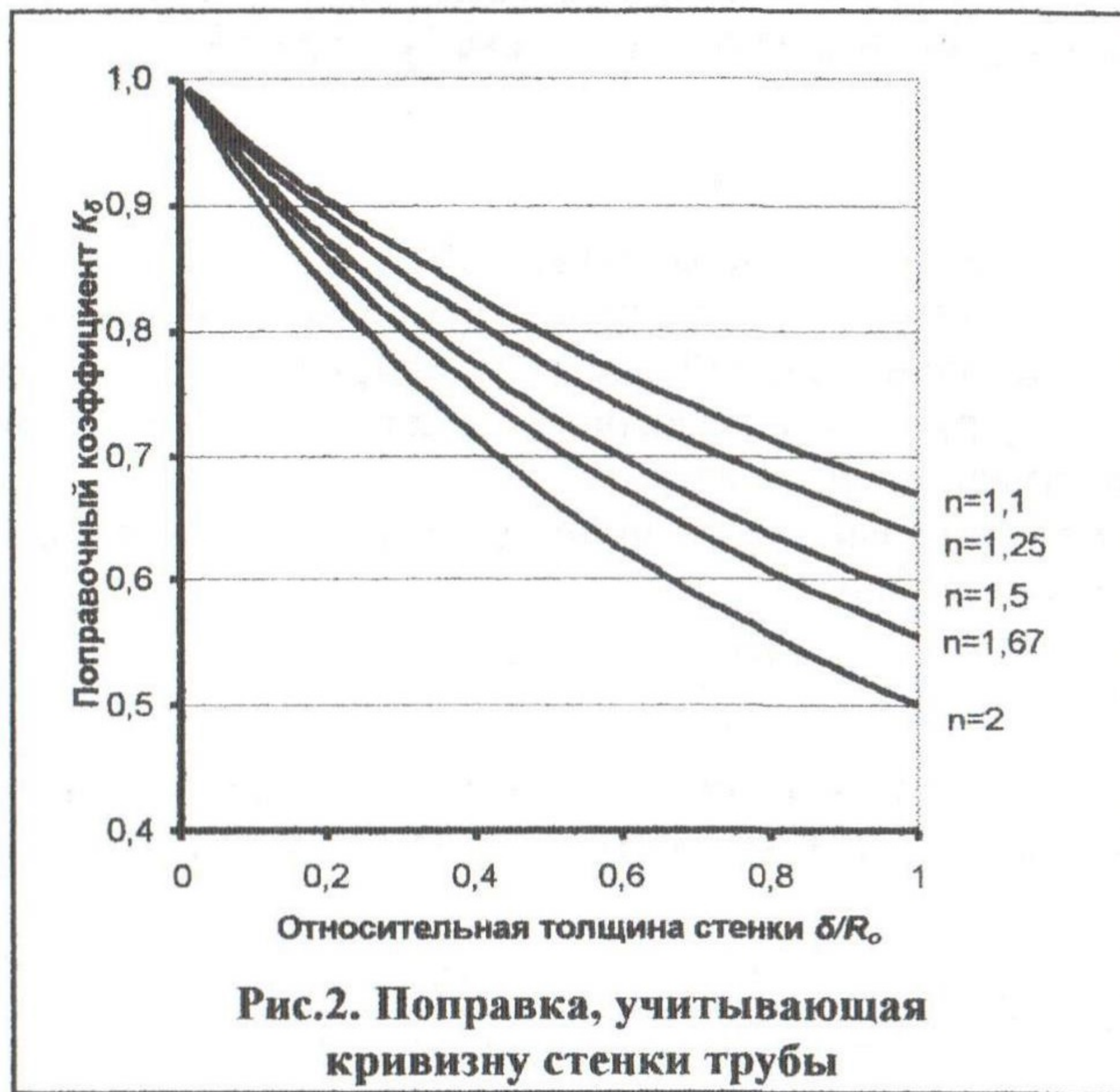
$$h_0 = A \delta \left(\frac{q}{2\pi R_0} \right)^n. \quad (6)$$

Теперь, поделив h (потеря напора в цилиндрической стенке) на h_0 (потеря напора в плоской стенке), получим поправочный коэффициент K_δ , учитывающий кривизну стенки. Он вычисляется по формуле –

$$K_\delta = \frac{h}{h_0} = \frac{1 - (1 + \bar{\delta})^{1-n}}{(n-1)\bar{\delta}}. \quad (7)$$

Толщина пористой стенки может меняться в пределах 20-50 мм, а диаметр пористой трубы - от 50 до 400 мм. Поэтому относительная толщина стенки может варьироваться от 0 до 1,0.

График зависимости $K_\delta(\delta/R_o, n)$, построенный по формуле (7), приведен ниже.



Вывод. Как видно из представленного графика, с ростом δ/R_o и показателя степени n поправочный коэффициент K_δ уменьшается, что вполне соответствует физическим представлениям о процессе.

Литература

1. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде. – М.: Госиздат нефтяной и горно-топливной промышленности, 1949. - 630с.
2. Аэров М.Э., Тодес О.М., Наринский Д.А. Аппараты со стационарным зернистым слоем: Гидравлические и тепловые основы работы. - Л.: Химия, 1979, - 176с.
3. Грабовский П.А., Прогульный В.И. Отвод промывной воды из фильтров через пористую стенку. // Изв. Вузов. Строительство и архитектура. – 1987. - №4. – с. 100 – 104.