

ПОРИСТЫЕ СИСТЕМЫ СБОРА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ. КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТ

Грабовский П.А., доктор технических наук, **Грачёв И.А.**, аспирант
Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Выполнен обзор сооружений, в которых могут использоваться пористые конструкции сборно-распределительных систем, рассмотрены их преимущества. Описаны основные принципы расчета пористых распределительных и сборных систем при непрерывном изменении расхода, основанные на пошагово-итерационном методе с использованием ПЭВМ.

ПОРИСТІ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА РОЗПОДІЛУ ВОДИ. КОНСТРУКЦІЇ ТА РОЗРАХУНОК

Грабовський П.А., доктор технічних наук, **Грачов І.А.**, аспірант
Одеська державна академія будівництва та архітектури

Виконано огляд споруд, в яких можуть використовуватися пористі конструкції збірно-розподільчих систем, розглянуті їх переваги. Описано основні принципи розрахунку пористих розподільчих і збірних систем при безперервному зміні витрати, засновані на покроково-ітераційному методі з використанням ПЕОМ.

PORE SYSTEM OF COLLECTING AND DISTRIBUTING WATER. DESIGN AND CALCULATION

P.A. Grabowskiy, Doctor of Technical S., **Grachev I.A.**, PhD student
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

A review of structures, which can be used porous structure prefabricated distribution systems, their advantages. The basic principles of calculation porous distribution and header systems with continuous flow change, based on the incremental-iterative method using a PC.

Пористые конструкции широко используются в системах сбора и распределения воды в очистных сооружениях водоснабжения и водоотведения. Применение пористых материалов имеет ряд преимуществ. Так, наиболее распространенная лотковая конструкция дренажа скорых фильтров, состоящая из бетонных опор, на которых монтируются полимербетонные плиты. На входе в каждый лоток устанавливаются патрубки, сопротивление которых обеспечивает заданное поле интенсивностей промывки. Важным преимуществом полимербетонных конструкций по сравнению с трубчатыми дренажами являются значительно меньшие скорости в начале распределителя, что повышает степень равномерности промывки [1]. Кроме того, поскольку основной напор в этих дренажах теряется в поровом пространстве, транзитный поток практически не оказывает влияние на раздачу расхода [2], что доказано экспериментально [3]. В трубчатых дренажах, при движении основного потока в перфорированном трубопроводе происходит «восстановление» пьезометрического напора, и давление в конце трубопровода может оказаться больше, чем в начале. Это происходит из-за того, что для «коротких» трубопроводов потери напора на трение по длине меньше, чем изменение скоростного напора. В результате неравномерность промывки может увеличиться.

Существуют конструкции для сбора и отвода промывной воды из скорых фильтров

[4], представляющие собой систему пористых полимербетонных труб, расположенных над фильтрующей загрузкой. Пористые трубчатые системы предпочтительней, чем пористые желоба и пористая стенка, так как трубы обладают намного большей несущей способностью по сравнению с плоскими конструкциями, что позволяет уменьшить их толщину, расход полимербетона и, следовательно, стоимость. Кроме того, пористая труба обладает большей надежностью с точки зрения уноса загрузки, поскольку она закрыта со всех сторон.

Конструкции в виде системы пористых полимербетонных труб можно использовать для отвода промывной воды из напорных фильтров.

Одним из основных недостатков пористых конструкций сборно-распределительных систем, является возможная неравномерность распределения воды по длине пористого лотка или трубы, вызванная низким сопротивлением пористого полимербетона. Уменьшить влияние этой неравномерности можно путем применения распределителей с переменным сечением.

Задачи расчета систем сбора и распределения воды трудоемки и сложны. Ими занимались В.М. Маккавеев, И.М. Коновалов, Д.М. Минц, И.Е. Идельчик, В.В. Дильман, Ю.М. Константинов, В.В. Смыслов, А.А. Василенко, А.М. Кравчук и многие другие.

Сложность этих задач вызвана следующим:

- движение воды в распределительных и сборных трубопроводах (каналах) происходит с переменным по пути расходом, поэтому описывать такое движение с помощью обычного уравнения Бернулли нельзя;
- при безнапорном движении приток или отток воды зависит от переменного уровня воды внутри трубы, а при напорном – от переменного по длине трубы давления в ней;
- приток или отток воды могут быть непрерывными (если стенка трубы пористая), либо дискретными.

Это привело к необходимости использования ряда допущений, которые позволили получать приближенные аналитические решения. Так, многие исследователи дискретное изменение расхода по длине потока заменяют непрерывным, вводя поправочные эмпирические коэффициенты. В некоторых работах пренебрегали потерями напора на трение, в других задавался закон изменения притока (оттока) по длине. Естественно, такие предположения вносили погрешность в результаты расчетов. Сейчас, располагая мощными быстродействующими ПЭВМ, подход к решению задач расчета сборно-распределительных систем можно изменить.

Здесь рассмотрены основные принципы методик расчета систем распределения и сбора воды с использованием ПЭВМ на примере трубопроводов с непрерывным изменением расхода.

Основные уравнения для расчета в конечно-разностной форме можно записать в виде функционалов. Это уравнения:

- движения жидкости в трубе –

$$\frac{\Delta h}{\Delta x} = f_1(Q, w, i_f), \quad (1)$$

где Δh – перепад уровней (давлений) в трубе на участке длиной Δx ;

Q – расход потока в трубе на расстоянии x от начала;

w – площадь живого сечения потока, переменная по длине в случае безнапорного движения и постоянная при напорном потоке¹;

¹ Площадь может быть переменной и при напорном движении, если трубопровод переменного сечения.

i_f – уклон трения по длине потока, который может определяться, как на основе уравнения Шези, так и с помощью уравнения Дарси.

- баланса расхода –

$$\frac{\Delta Q}{\Delta x} = \pm q, \quad (2)$$

где q – приток (отток) на единицу длины потока (знак в данном уравнении определяется в зависимости от режима работы трубопровода – сбор или раздача).

- притока (оттока) через стенку трубы –

$$q = f_2(h, H), \quad (3)$$

где h, H – уровень (давление) внутри и снаружи трубы.

Для случая напорного движения жидкости через пористую стенку это уравнение принимает вид [5] –

$$h_c = H - h = AV_f^m, \quad (4)$$

где V_f – скорость фильтрования воды через пористую стенку;

A – коэффициент, учитывающий гидравлические характеристики пористой стенки, ее толщину, а также вязкость воды;

m – показатель степени ($1 \leq m \leq 2$, при линейном законе сопротивления $m = 1$, а при квадратичном $m = 2$).

Связь между V_f и q осуществляется формулой

$$q = V_f S, \quad (5)$$

где S – длина части пористой конструкции в поперечном ее сечении, через которую движется вода (например, для напорной пористой трубы S – это ее периметр).

Уравнения (1) – (5) являются основой методик гидравлического расчета систем сбора и распределения воды.

Рассмотрим методику расчета при **непрерывной раздаче с переменным по длине сечением потока**. Трубопровод разбивается на k одинаковых участков (рис. 1) и расчеты выполняются с конца трубы для каждого участка пошагово, при этом на каждом шаге выполняются итерации.

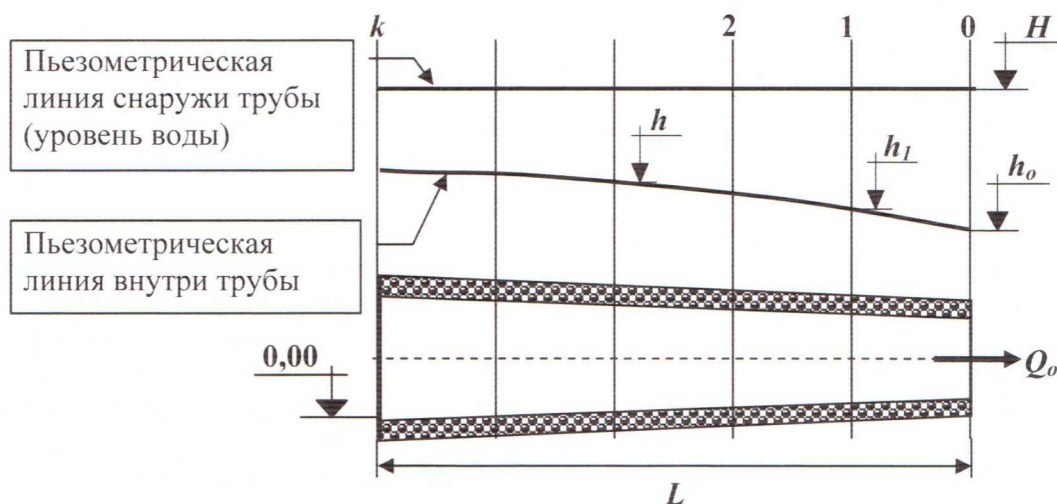


Рис. 1. Расчетная схема сбора воды пористой трубой

Последовательность расчетов такая:

1. Для первого участка известны выходной расход, напор в конце (h_o), а также радиус сечения в конце (r_o) и начале трубопровода (r). Напором снаружи трубы (H) в начале расчета задаются. В первой итерации предполагают постоянство напора в трубе на всей длине участка. Находят радиус в конце участка $r_1 = (r - r_o) / L \times \Delta l + r_o$. С помощью уравнений (4) и (5) определяют приток q^0 , а затем с помощью уравнения (2) находят изменение расхода в пределах участка и расход в начале участка $Q_1 = q^0 \Delta x$. Вычисляют средний расход на участке 1 и гидравлический уклон по этому расходу. По (1) находят перепад напоров внутри трубы в начале и конце участка (Δh).

Переходят к следующей итерации, для чего определяют напор в трубе в начале участка $h_1 = h_o + \Delta h$ и средний напор $h_{cp} = (h_1 + h_o) / 2$, затем находят новое значение притока q^1 и расход в начале участка $Q_2 = Q_1 - q^1 \Delta x$. Итерации продолжают до тех пор, пока разница между последовательными значениями Δh не станет меньше допустимого значения.

2. Переходят к следующему участку. Определяют радиус поперечного сечения в конце участка. Расходы и напоры в начале следующего участка принимаются равными расходу и напору в конце предыдущего участка. Расчеты продолжают до тех пор, пока не доходят до начала трубы.

3. Поскольку напор снаружи трубы H в начале расчета задан произвольно, то в процессе расчетов могут получаться отрицательные значения расхода в трубе, либо величина расхода в начале трубы окажется не равной нулю. Поэтому расчеты следует повторить при других значениях H до выполнения краевого условия $Q(0) = Q_k = 0$. Разумеется, столь жесткое требование для инженерных расчетов целесообразно ослабить, установив допустимую величину погрешности начального расхода Q_k / Q_o .

Описанный алгоритм реализуется с помощью стандартной программы Microsoft Excel. Для определения напора снаружи трубы использована надстройка «Поиск решения» – определяется такое значение H , при котором погрешность Q_k / Q_o будет менее 1,0 %.

Разработанная методика позволяет получить много информации о работе сборно-распределительных систем, например, графики изменения по длине распределителя (сборника) напоров, расходов, притока (или оттока), а также неравномерностей сбора или распределения воды.

Последующими задачами исследований является применение разработанных методов расчета применительно к конкретным конструкциям и доведение методик до форм, которые могут быть использованы в инженерных расчетах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грабовський П.О., Ларкіна Г.М, Карпов І.П., Прогульний В.І.. Порівняльний аналіз дренажів водоочисних фільтрів. – //Ринок інсталяційний, №11, 2000, – с. 28-29.
2. Смирнова Н.Ф. Исследование процесса регенерации песчаной загрузки фильтров с применением ультразвука. // Тр. ВОДГЕО. Сооружения и технологические процессы механической и биологической очистки промышленных сточных вод. – М., 1981, – с. 104-111.
3. Грабовский П.А. Интенсификация скорых фильтров совершенствованием регенерации загрузки и конструкций дренажа. Диссертация на соискание ученой степени доктора техн. наук. – Одесса, 1990, – 363с.
4. Прогульный В.И. Пористые конструкции для водопроводных сооружений. Сборник докладов Международного конгресса ЕТЕВК – 2005, – Ялта, – с. 269-272.
5. Грабовский П.А., Прогульный В.И. Отвод промывной воды из фильтров через пористую стенку. // Изв. Вузов. Строительство и архитектура. – 1987. – №4. – с. 100 – 104.