

ПОРИСТЫЕ КОНСТРУКЦИИ СБОРНО-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И ИХ РАСЧЕТ

Грабовский П.А., Грачёв И.А.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры,
г. Одесса

Рассмотрены сооружения, в которых могут использоваться пористые конструкции сборно-распределительных систем, а также преимущества и недостатки этих конструкций. Описаны основные принципы расчета пористых систем распределения и сбора воды при непрерывном изменении расхода, основанные на пошагово-итерационном методе с использованием ПЭВМ.

Ключевые слова: расчёт пористых труб, сборные системы воды, распределительные системы воды, гидравлические расчёты на ПЭВМ.

Розглянуто споруди, в яких можуть використовуватися пористі конструкції збірно-розподільчих систем, а також переваги та недоліки цих конструкцій. Описано основні принципи розрахунку пористих розподільчих і збірних систем води при безперервному змінненню витрати, які засновані на покроково-ітераційному методі з використанням ПЕОМ.

Ключові слова: розрахунок пористих труб, збірні системи води, розподільчі системи води, гідравлічні розрахунки на ПЕОМ.

The article reviews constructions which can be used porous structures of collection and distribution systems, also advantages and disadvantages of this structures. The basic principles of calculating of porous distribution and collection systems with continuous flow change, based on the incremental-iterative method using a PC is describes.

Keywords: calculation of porous pipes, collection water systems, distribution water systems, hydraulic PC calculations.

В системах сбора и распределения воды очистных сооружений водоснабжения и водоотведения широко используются пористые конструкции. Такие конструкции обладают рядом преимуществ.

Примером использования пористых материалов в сооружениях водоподготовки является наиболее распространенная лотковая конструкция дренажа скорых фильтров, состоящая из полимербетонных плит, которые установлены на бетонные опоры. 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]. Помимо этого, транзитный поток практически не оказывает влияние на раздачу расхода [2], так как основной напор в этих дренажах теряется в поровом пространстве, 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.

Для сбора и отвода промывной воды из скорых фильтров могут использоваться конструкции [4], представляющие собой систему пористых полимербетонных труб, которые расположены 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.

Основным недостатком 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.

Исследованием расчётов систем сбора и распределения воды 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 расчётов сборно-распределительных конструкций 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;
- приток или отток воды могут быть непрерывными (если стенка трубы пористая), либо дискретными;
- 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.

Для упрощения задачи во многих исследованиях использовали ряд 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 современными 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, постоянная по длине при напорном потоке в трубопроводе постоянного сечения и переменная в случае безнапорного движения, либо в случае напорного движения в трубопроводе 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.

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 $r_l = (r - r_o) / L \times \Delta l + r_o$. С помощью уравнений (4) и (5) определяют приток q^o , 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 $h_1 = h_0 + \Delta h$ и средний напор $h_{cp} = (h_1 + h_0)/2$, затем находят новое значение притока q^1 и расход в начале участка $Q_2 = Q_0 - q^1 \Delta x$. Итерации продолжают до тех пор, пока разница между последовательными значениями Δh не станет меньше допустимого значения.

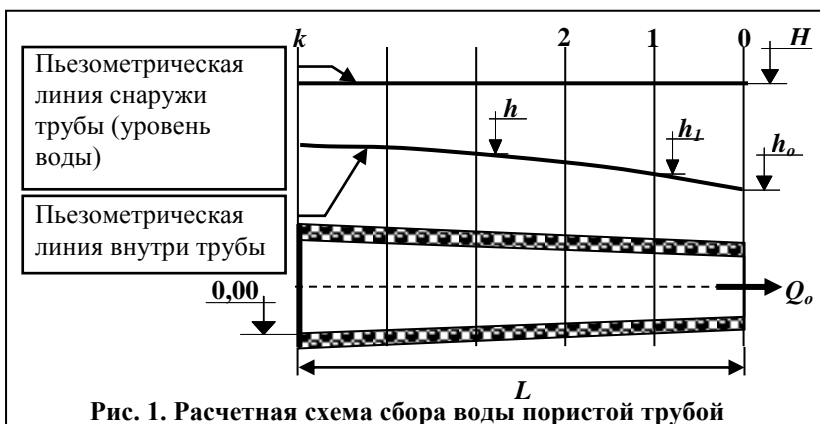


Рис. 1. Расчетная схема сбора воды пористой трубой

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_0 .

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_0 будет менее 1,0 %.

Выводы

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.

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. Прогульний В.І. 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.