

УДК 628.16.067

В. И. ПРОГУЛЬНЫЙ

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОРИСТОГО ДРЕНАЖА
ВОДООЧИСТНЫХ ФИЛЬТРОВ**

Приведена математическая модель работы пористого дренажа водоочистного фильтра, описывающая движение промывной воды как в лотке, так и в канале. Модель реализована с помощью специально разработанной программы приложения Microsoft Excel.

математическая модель, дренаж, лоток, канал

Дренажи являются одним из наиболее важных конструктивных элементов водоочистных фильтров, сильно влияющих на эффективность очистки и себестоимость воды. Основные требования, предъявляемые к дренажам [1]:

1. Равномерный по площади сбор фильтрата и обеспечение заданного поля скоростей промывной воды.
2. Достаточная механическая прочность и долговечность.
3. Предотвращение проникновения зерен загрузки в дренаж.
4. Отсутствие прогрессирующей колюматации взвесью и загрузкой.
5. Простота монтажа и низкая металлоемкость конструкции.
6. Надежность.

Наиболее распространенным до недавнего времени в странах СНГ являлся перфорированный трубчатый дренаж с поддерживающими слоями гравия, который большинству этих требований не удовлетворяет. Поэтому в последние годы все большее применение находят безгравийные пористые дренажи «Экотон», «Экополимер», «Полисток», а также пористый полимербетонный дренаж ОГАСА.

Схема наиболее распространенной конструкции – лоткового полимербетонного дренажа – приведена на рис. 1.

Дренаж состоит из опорных стенок, образующих лотки, перекрываемые полимербетонными плитами. На входе в лотки имеются патрубки, сопротивление которых обеспечивают необходимый расход в начале каждого лотка. Таким образом, промывная вода вдоль лотка движется с непрерывным изменением расхода по длине, а в боковом канале – с дискретным изменением расхода от патрубка к патрубку.

Дренаж состоит из опорных стенок, образующих лотки, перекрываемые полимербетонными плитами. На входе в лотки имеются патрубки, сопротивление которых обеспечивают необходимый расход в начале каждого лотка. Таким образом, промывная вода вдоль лотка движется с непрерывным изменением расхода по длине, а в боковом канале – с дискретным изменением расхода от патрубка к патрубку.

Известные методы расчета таких дренажей [2-5] основаны на ряде упрощений и допущений, необходимость введения которых обусловлена стремлением снизить трудоемкость расчетов, которые ранее, как правило, выполнялись вручную. Сейчас, когда расчеты могут производиться с помощью быстродействующих ПЭВМ, можно использовать более полные математические модели.

Математическое описание работы дренажа производится с помощью трех основных уравнений: движения потока в лотке (канале), уравнения оттока и уравнения баланса. Как показал анализ, для описания движения потока целесообразно использовать уравнение пьезометрической линии, полученной на основе уравнения энергии [6]. Это уравнение, записанное в конечно-разностной форме, имеет вид:

$$\Delta h = \frac{0,75 \alpha}{g} \Delta V^2 + i_f \Delta x, \quad (1)$$

где Δh – перепад напоров в пределах участка длиной Δx ;
 α – коэффициент Буссинеска;
 ΔV^2 – разность квадратов скоростей в начале и конце участка;
 i_f – гидравлический уклон (уклон трения).

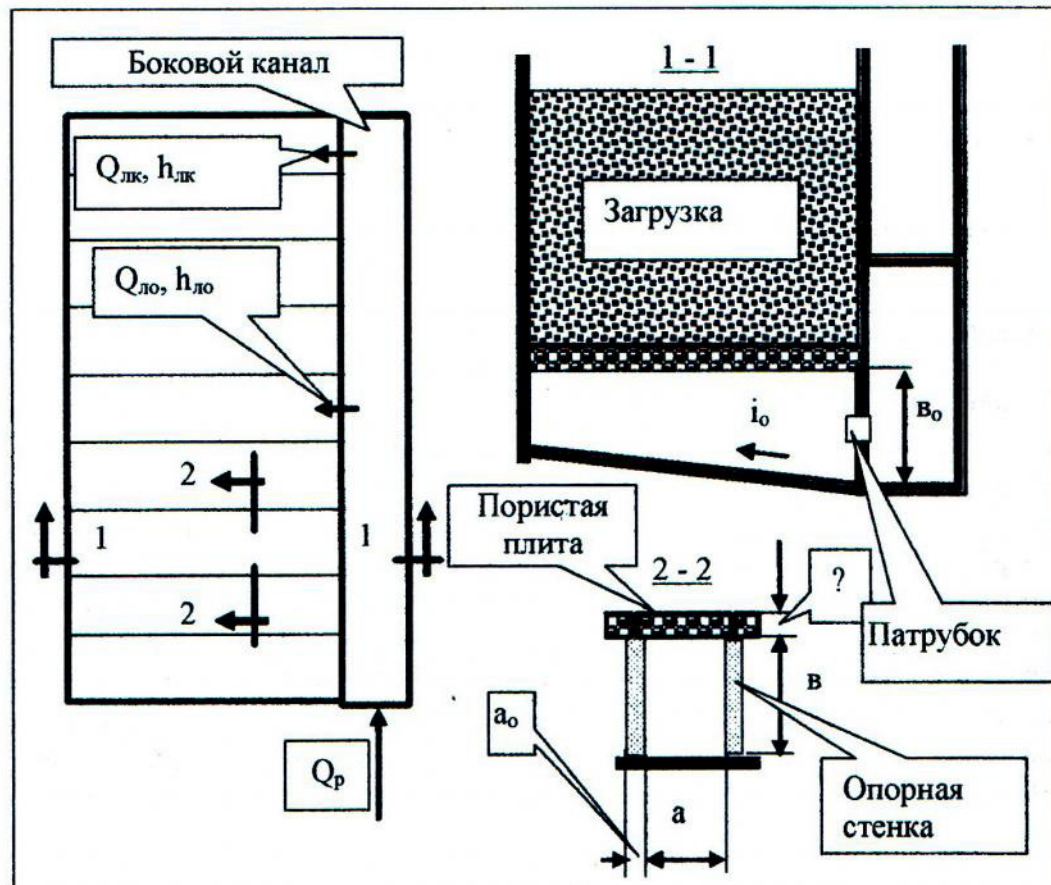


Рис. 1. Схема полимербетонного дренажа лоткового типа.

Гидравлический уклон определяется с помощью коэффициента Дарси, вычисляемого по формуле Л. Д. Альтшуля [7], в которую введен коэффициент, учитывающий форму поперечного сечения потока [8] (для круглой трубы этот коэффициент равен 1,0).

Для описания истечения воды из лотка (канала) используются степенные уравнения. При движении жидкости через пористую стенку это уравнение принимает вид [9]:

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

где V_f – скорость фильтрования воды через пористую стенку;
 C – коэффициент, учитывающий гидравлические характеристики пористой стенки, зависящие от крупности заполнителя, его пористости и степени кольматации;
 δ – толщина плиты;
 v – вязкость воды;
 m – показатель степени ($1 \leq m \leq 2$; при линейном законе сопротивления $m=1$, а при квадратичном законе $m=2$);
 h и H – напоры до и после пористой стенки.

Связь между V_f и величиной оттока на единицу длины потока q' осуществляется по формуле:

$$q' = V_f F_n, \quad (3)$$

где F_n — длина части пористой конструкции в поперечном ее сечении, через которую движется вода (например, для пористой трубы F_n — это ее периметр). Тогда, расход воды, отделяющейся от основного потока на элементарном участке длиной Δx , составит

$$q = q' \Delta x. \quad (4)$$

Для случая дискретной раздачи, когда вода вытекает через патрубки, расход определяется из стандартной формулы:

$$h_n = S q^2, \quad (4')$$

где S — сопротивление патрубка.

Замыкает систему уравнение баланса

$$\Delta Q = q. \quad (5)$$

Полученные уравнения решаются при краевых условиях:

— $x=0$, $Q = Q_{\text{до}}$ для лотка или Q_p для канала,

— $x=x_k$, $Q = 0$

(x_k — длина лотка или канала).

Система уравнений (1)–(5) с этими краевыми условиями является математической моделью пористого полимербетонного дренажа. Эта модель была реализована с помощью специально разработанной программы приложения Microsoft Excel. При этом для упрощения решения краевая задача была сведена к значительно более простой задаче Коши. Для этого в начале потока для раздачи воды лотком задавались приближенным значением напора, который корректировали в случае, если не выполнялось краевое условие в конце потока ($Q = 0$). Процедура эта была автоматизирована применением макросов. Расчеты выполняли пошагово-итерационным методом. Аналогично производили расчет для канала, однако здесь счет начинался с конца канала, а поскольку раздача здесь дискретная, использовался пошаговый метод (итерации здесь не нужны).

Выводы

1. Получена математическая модель работы пористого дренажа водоочистного фильтра, описывающая как движение промывной воды в лотке, так и в канале.

2. Направлениями дальнейших работ является создание инженерной методики расчета пористых дренажно-распределительных систем скорых фильтров и методики оптимизации конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Николадзе Г. И., Минц Д. М., Кастальский А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. - М.: Высш. шк., 1984-368 с.
2. Грабовский П. А. Гидравлическое сопротивление дренажей водоочистных фильтров. // Химия и технология воды, т.7, №1, 1985, с.27-29.
3. Грабовский П. А., Тюрев В. Ф., Уманский В. Е. Расчет распределительных трубопроводов скорых фильтров. // Сб. «Гидравлика и гидротехника», вып.41, изд. техника, К., 1985, с.5-10.
4. Грабовский П. А. Оптимальное проектирование безгравийных дренажей скорых фильтров.// Химия и технология воды, т.9, №1, 1987, с.61-64.
5. Грабовский П. А. Неравномерность сопротивлений в дренажно-распределительных системах. //Сб. «Гидравлика и гидротехника», вып.45, изд. Техника, К., 1987, с.69-73.
6. Дильман В.В., Сергеев С.П., Генкин В.С. Описание движения жидкости в канале с проницаемыми стенками на основе уравнения энергии. //Теор. осн. хим. технологии.- 1971.-т.5, № 4. -с. 564-571.
7. Альтшуль А. Д. Гидравлические сопротивления.- М.: Недра, 1970,-216с.
8. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М.: Машиностроение.-1975. -559с.
9. Грабовский П. А., Прогульный В. И. Отвод промывной воды из фильтров через пористую стенку. // Изв. Вузов. Строительство и архитектура. - 1987. -№4. - с. 100 - 104.

Получено 17.01.2006

В. Й. ПРОГУЛЬНИЙ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПОРИСТОГО ДРЕНАЖУ ВОДООЧИСНИХ ФІЛЬТРІВ

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Наведено математичну модель роботи пористого дренажу водоочистного фільтра, що описує рух промивної води як у лотку, так і в каналі. Модель реалізована за допомогою спеціально розробленої програми додатка Microsoft Excel.

V. I. PROGULNYI

MATHEMATICAL MODEL OF A POROUS WATER FILTER DRAIN

Odessa State Academy of Building and Architecture

The mathematical model of porous water filter drain circumscribing driving backwash water, both in a tray, and in the channel is reduced. The model is realized with the help of the designed programs of Microsoft Excel application.