

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ПОРИСТЫХ ТРУБ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ КРУПНОЙ ВЗВЕСИ И ПЛАНКТОНА

Горб Ю.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина)

Разработана математическая модель работы пористых горизонтальных труб. Представлен алгоритм реализации модели.

Существующие водохранилища являются причиной появления планктона. Водоросли в свою очередь приводят к пленочному фильтрованию, увеличивается темп прироста потерь напора, сокращается фильтроцикл. Традиционно для очистки воды от крупной взвеси и планктона применяют барабанные сетки или микрофильтры [1]. Эти конструкции имеют существенные недостатки: высокая стоимость, металлоемкость, сложность ремонта.

Для улучшения предварительной очистки, предложены две новые конструкции, где пористые полимербетонные трубы расположены вертикально или горизонтально [2]. Анализ этих конструкций, позволил установить, что устройства с горизонтальными трубами имеет большую удельную поверхность (отношение суммарной поверхности к объему камеры), что позволяет снизить скорость фильтрования и повысить эффективность очистки. Стоимость этих конструкций намного ниже, чем у вертикальных труб.

Чтобы запроектировать пористые полимербетонные трубы, необходимо иметь математическое описание их работы. Модель основана на [3], в которой рассмотрен сбор промывной воды из фильтровальных сооружений. Для описания работы такой трубы нужно использовать два уравнения – движения жидкости в трубе и притока воды через пористые стенки. При этом движение жидкости в трубе происходит с переменным по длине расходом, а приток через стенку зависит от уровней воды в трубе и снаружи трубы.

Основными уравнениями математической модели [3] являются:

- уравнение движения –

$$d(\alpha V^2/g) + dh + i_f dx = 0, \quad (1)$$

где h – уровень воды (напор) в трубе; V – скорость фильтрования, см/с; i_f – уклон трения по длине потока, который может определяться, как на основе уравнения Шези, так и с помощью уравнения Дарси;

- уравнение притока –

$$dq=V(Z)ds, \quad (2)$$

где V - скорость фильтрования; s - длина боковой поверхности трубы;

- уравнение баланса –

$$dQ/dx= \pm q, \quad (3)$$

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

Потери напора для пористых труб рассчитывались по формуле:

$$\Delta h=C\delta K V^n v^{2-n}, \quad (4)$$

где C – коэффициент сопротивления полимербетонной трубы; δ – толщина стенки, см; K_δ – поправка на кривизну; V – скорость фильтрования, см/с; v – кинематическая вязкость воды, см²/с; n – показатель степени, изменяющийся в пределах от 1,0 до 2,0.

Поправочный коэффициент K_δ – это отношение потерь напора в цилиндрической стенке к потерям напора в плоской пористой стенке [4]:

$$K_\delta =h/h_0=1-(1+\delta)^{1-n}/[(n-1)\delta], \quad (5)$$

где h и h_0 – потери напора в цилиндрической и плоской стенках.

Краевыми условиями системы являются:

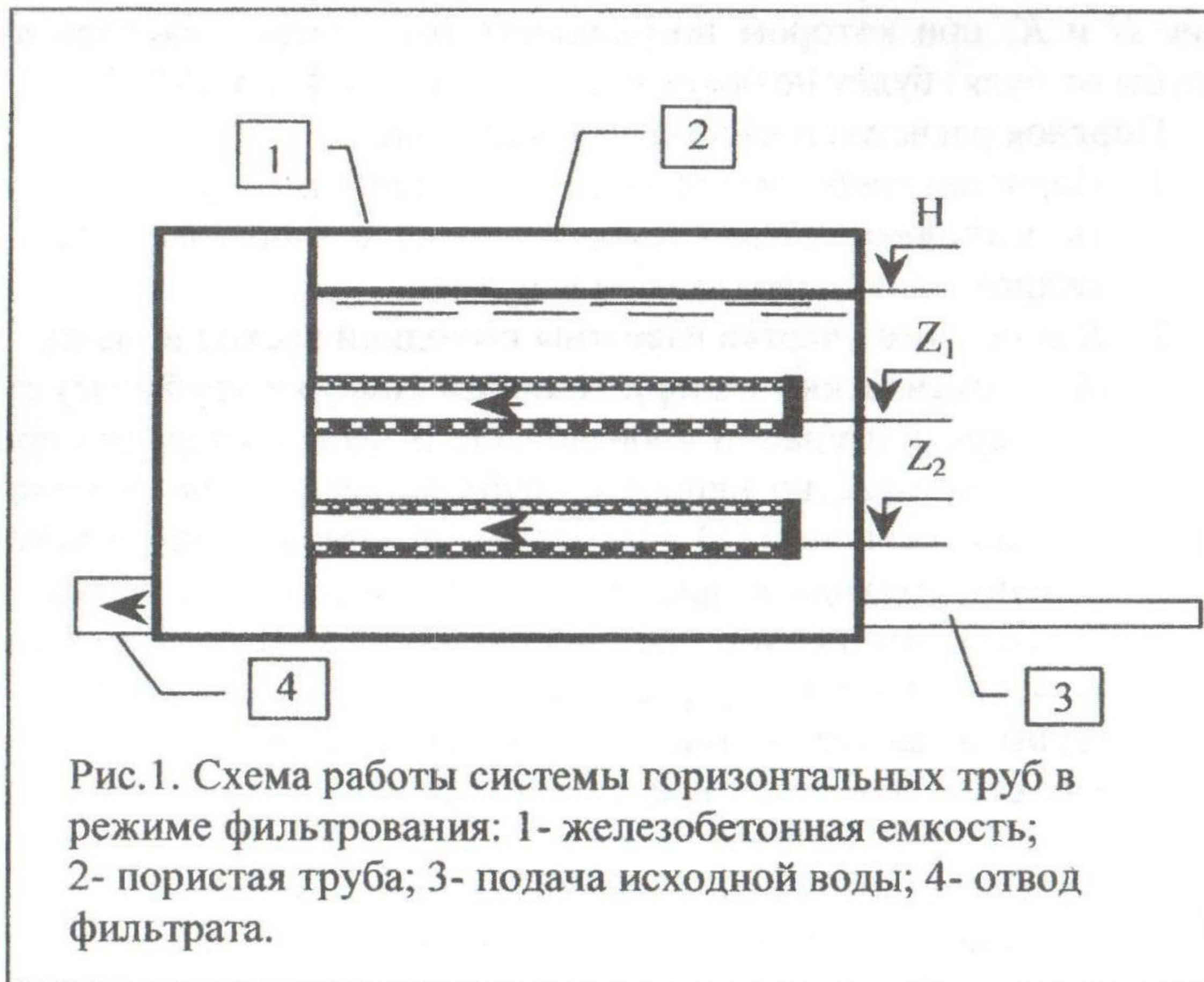
$$\text{при } x=L(\text{конец трубы}) \quad Q=Q_k; \quad h=h_k; \quad \text{при } x=0 \text{ (начало трубы)} \quad Q=0 \quad (6)$$

Приведенная выше система уравнений описывает стационарную задачу, в которой сопротивление пористых труб и уровень воды над ними неизменный. Настоящая задача должна учитывать рост сопротивления пористой трубы, из-за которого уровень воды в емкости со временем увеличивается. Кроме того, при двурядном расположении пористых труб возникает дополнительная задача распределения расходов между трубами в каждом ряду (рис. 1.).

Изменение сопротивления C во времени описывается зависимостью:

$$C=C_0(1+at), \quad (7)$$

где C_0 – начальное сопротивление; t – время от начала фильтрования.



Эта зависимость была получена в результате обработки лабораторных экспериментов на пористых образцах крупностью (0,5-1,5мм) при разных скоростях фильтрации [5]. При включении в работу второго ряда сопротивление полимербетонных труб рассчитывается по аналогичной зависимости, в которой отсчет времени производится от момента времени t_1 , при котором H становится больше Z_1 , т.е.

$$C=C_0[1+a(t-t_1)]. \quad (8)$$

Для учета работы верхних рядов труб введен коэффициент

$$Q_2=KQ_1, \quad (9)$$

где K – коэффициент распределения воды между пористыми трубами; Q_1 , Q_2 – расходы через нижний и верхний ряды труб.

Когда работает только нижние ряды ($H \leq Z_1$), то $K=0$, при включении верхних рядов расход через нижние трубы уменьшается, а K становится больше нуля.

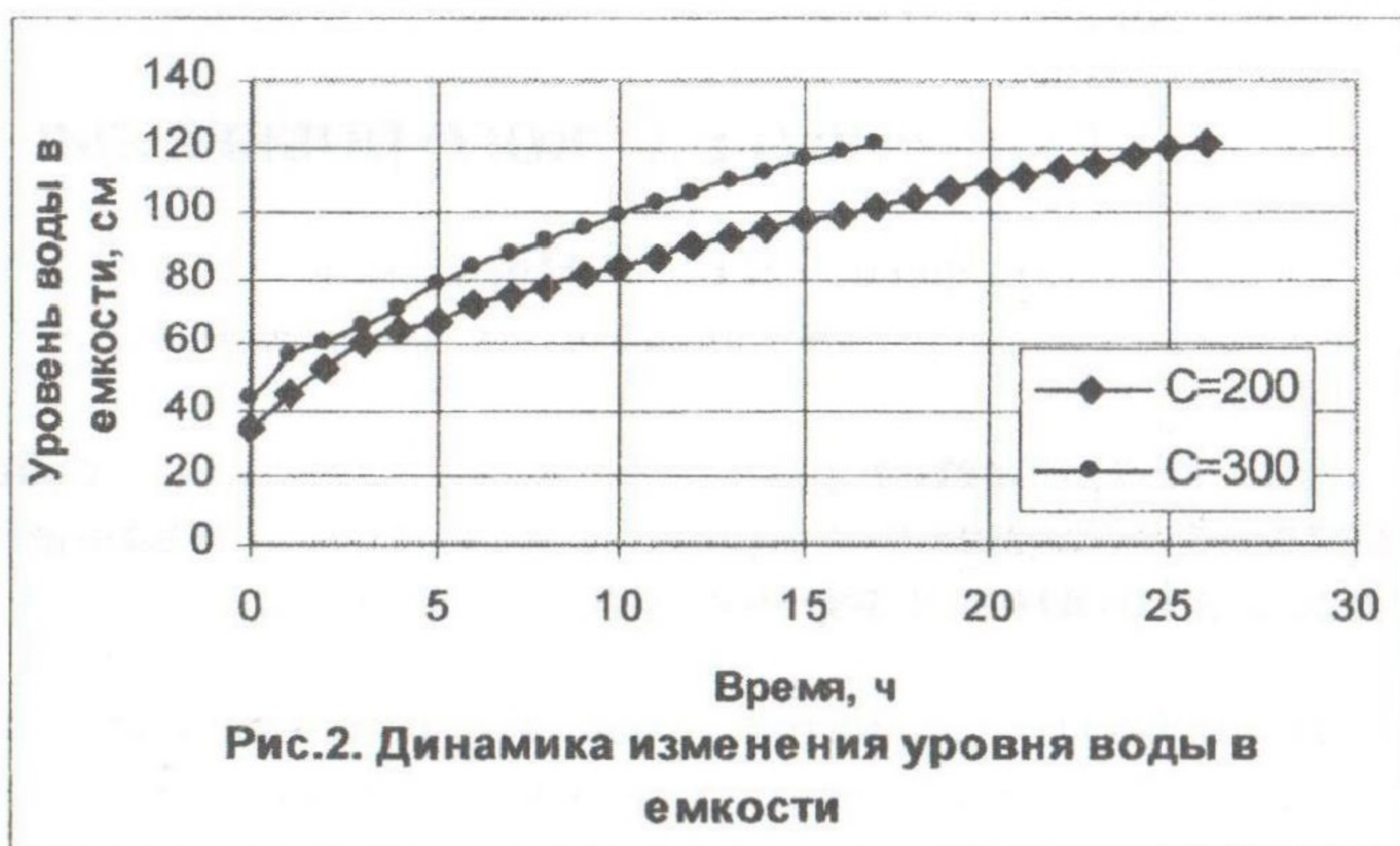
Описанный алгоритм реализуется с помощью стандартной программы Microsoft Excel. Для определения напора снаружи трубы использованы надстройки «Поиск решения» – определяется такое значе-

ние H и K , при котором погрешность (отклонение расхода в начале трубы от нуля) будет не более допустимой – обычно до 1,0%.

Порядок расчетов принимался следующий:

1. Пористая труба разбивается на k одинаковых участков, и расчеты выполняются для каждого участка пошагово, при этом на каждом шаге выполняются итерации.
2. Для первого участка известны выходной расход и напор в конце ($h_{кр}$ - критический напор). Напором снаружи трубы (H) задаются для первой итерации произвольно. В первой итерации предполагают постоянство напора в трубе на всей длине участка. С помощью уравнений (2) определяют приток q_0 , а затем 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. 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 $h_{cp} = 0,5(h_1 + h_0)$, затем находят новое значение притока q_1 и расход в начале участка $Q_1 = Q_0 - q_1 \Delta x$. Итерации продолжают до тех пор, пока разница между последовательными значениями Δh не станет меньше допустимого значения.
3. Переходят к следующему участку, при этом расходы и напоры в начале следующего участка принимаются равным расходу и напору в конце предыдущего участка. Расчеты продолжают до тех пор, пока не доходят до начала трубы.
4. При помощи стандартной подпрограммы Microsoft Excel «поиск решения» определяется уровень воды снаружи труб, при условии, что отклонение начального расхода от нуля не более допустимого значения.
5. При $H \geq Z_1$ включается второй ряд труб, задают начальные значения H и K , затем переходят к пункту 2.
Расчет выполняется до тех пор, пока уровень в емкости H не дойдет до расчетной максимальной отметки. Для снижения трудоемкости расчетов использованы макросы.

Динамика заполнения емкости для двух значений начального сопротивления полимербетона представлена на рис.2. Характер полученных кривых вполне соответствует физическим представлениям о процессе.



Выводы

Разработанная методика позволяет получить много информации о работе полимербетонных труб для предварительной очистки воды — изменения по длине пористой трубы напоров, расходов, притока, а также неравномерность сбора воды.

Целью дальнейших исследований является проверка адекватности математической модели работы пористых труб на лабораторной установке.

Литература

1. Драгинский В.Л., Кару Я.Я.. Современные эффективные методы и средства очистки питьевых и сточных вод. Обзорная информация. Серия 3(27): Водоснабжение и канализация 3(27). МЖКХ РСФСР, ЦБНТИ, — М.: 1974г. — с.23-44.
2. Горб Ю.А. Выбор конструкций из полимербетонных труб для предварительной очистки воды. // Вісник ОДАБА. - Одесса: «Внешрекламсервис». — 2007. — Вип.27. - С.99-104.
3. Прогульный В.И. Работа пористой трубы в условиях безнапорного режима. // Науковий вісник будівництва. -Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. - 2005. — Вип. 33. - С.170-175.
4. Прогульный В.И. Учет кривизны стенки при сборе (распределении) воды пористой трубой. // Вісник ОДАБА. - Одесса: «Внешрекламсервис». — 2005. — Вип.17. - С.227-230.
5. Горб Ю.А. Полимербетонные трубы для очистки воды от крупной взвеси и планктона. // Вісник ОДАБА. - Одесса: «Внешрекламсервис». — 2006. — Вип.22. - С.34-38.