

УДК 628.33

С.М.ЭПОЯН, д-р техн. наук, А.С.КАРАГЯУР, канд. техн. наук  
*Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры*

И.В.КОРИНЬКО, д-р техн. наук, О.В.СТЕПАНОВ

*Коммунальное предприятие канализационного хозяйства «Харьковкоммуночиствод»*

## **МОДЕЛЬ РАСЧЕТА МОДУЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ИЛОВОЙ ВОДЫ**

Представлена модель, позволяющая рассчитать изменение во времени производительности модульной установки для удаления иловой воды с иловых площадок.

Наведено модель, що дозволяє розрахувати зміну в часі продуктивності модульної установки для видалення мулової води з мулових майданчиків.

The model allowing throughout time to calculate change of productivity of modular plant for removal of sludge water from sludge beds is presented.

*Ключевые слова:* модульная установка, фильтрация, кольтатация, производительность.

На очистных сооружениях канализации в результате очистки городских сточных вод образуются различные категории осадков, обработка которых является одной из наиболее сложных и трудоемких задач. Согласно существующей технологии основным элементом их обработки является обезвоживание. В настоящее время для обезвоживания осадков городских сточных вод, несмотря на наличие сооружений механического обезвоживания, в основном применяются иловые площадки [1, 2].

В настоящее время на КБО «Безлюдовский» г.Харькова из-за введения в работу цеха механического обезвоживания осадков часть иловых площадок выведена из оборота. Необходимо решать задачу их высвобождения от осадка с целью дальнейшей реконструкции либо рекультивации. Проблема состоит в том, что эти площадки заполнены осадком, имеющим высокую влажность, что затрудняет его дальнейшую обработку.

Интенсификация водоотбора с иловых площадок осуществляется при помощи модульной установки и системы вакуумирования. Модульная установка имеет четыре дренажных элемента из вертикально расположенных стеклопластиковых труб, которые заглушены с одной стороны и соединены в общую сборную систему стальными трубами. При помощи резино-тканевого рукава модульная установка соединяется с всасывающе-нагнетательной установкой, которая обеспечивает вакуумирование системы и продувку фильтрующих элементов. При помощи автокрана конструкция локального дренажа модульного типа

опускается в иловую площадку. Для эффективного удаления иловой воды в модульной установке предусмотрен резервуар (приемник) для сбора дренажной отфильтрованной воды, в котором установлен погружной насос.

Таким образом, целью исследований является разработка математической модели фильтрации иловой воды в дренажные элементы модульной установки, позволяющая рассчитать ее рациональные параметры и время эффективной работы.

Изменение производительности модульной установки в процессе ее работы обусловлено процессом коагуляции околофильтрового пространства, что связано с мелкодисперсностью частиц, составляющих осадок, обезвоживаемый на иловых площадках.

Процесс коагуляции по своей природе является одной из форм массообмена при фильтрации жидкости в пористой среде и может быть описан с помощью теории фильтрации, массопереноса и массообмена [3, 4].

Процессы фильтрации иловой воды и коагуляции околофильтрового пространства, влияющие на производительность модульной установки, опишем с помощью следующих уравнений [5-7]:

- уравнения переноса взвешенных веществ потоком фильтрующей жидкости (влиянием диффузионного переноса можно пренебречь, так как переносимые частички имеют размер меньше 0,005-0,01 мм [4]):

$$(n_0 - b) \frac{\partial C}{\partial t} = -v \frac{\partial C}{\partial r} - \frac{\partial b}{\partial t}, \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация частиц в фильтруемой жидкости;  $b$  – концентрация частиц в объеме твердой фазы осадка;  $n_0$  – начальная пористость осадка;  $r$  – расстояние, отсчитываемое от центра фильтрующего элемента (радиальная координата);  $t$  – время;

- уравнения массообмена между жидкой и твердой фазой осадка:

$$\frac{\partial b}{\partial t} = \gamma (b_0 - b) C, \quad (2)$$

где  $b_0$  – предельная концентрация частиц в объеме твердой фазы осадка (грязеёмкость);  $\gamma$  – коэффициент коагуляции;

- уравнения фильтрации в пористой среде:

$$v = -k \frac{\partial H}{\partial r}, \quad (3)$$

где  $v$  – скорость фильтрации;  $k$  – коэффициент фильтрации, изменяющийся во времени вследствие коагуляции околофильтрового про-

странства;  $H$  – высота уровня иловой воды.

Уравнения (1)-(3) можно применить, если предположить, что процессы массопереноса и фильтрации осесимметричны, т.е. происходят в условиях притока иловой воды к совершенному колодцу (фильтру) в круговой в плане области фильтрации.

Зависимость коэффициента фильтрации от степени закольматированности околофильтрового пространства можно представить в виде следующей эмпирической формулы [6-9]:

$$k = k_0 \left( 1 - \frac{b}{n_0} \right)^3, \quad (4)$$

где  $k_0$  – начальный коэффициент фильтрации (коэффициент фильтрации незакольматированного осадка).

С учетом того, что производительность установки равна  $Q = 2\pi \cdot r \cdot H \cdot v$ ,

$$Q = 2\pi \cdot r \cdot H \cdot k \cdot \frac{\partial H}{\partial r}. \quad (5)$$

Начальная производительность равна

$$Q_0 = 2\pi \cdot r \cdot H \cdot k_0 \cdot \frac{\partial H}{\partial r}. \quad (6)$$

Таким образом, уравнение (5) с учетом зависимостей (4) и (6) преобразуется

$$\frac{Q}{Q_0} = \left( 1 - \frac{b}{n_0} \right)^3. \quad (7)$$

Также преобразуем уравнение (1)

$$(n_0 - b) \cdot \frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{Q}{2\pi r H} \cdot \frac{\partial C}{\partial r} - \frac{\partial b}{\partial t}. \quad (8)$$

Изменение производительности установки во времени  $Q(t)$  получим, решая численно с помощью метода конечных разностей систему уравнений (2), (7), (8), которые представим в виде следующих конечно-разностных аналогов:

$$C_{i,k} = \frac{\frac{b_{i,k} - b_{i,k-1}}{\Delta t} + \frac{Q_k}{2\pi r_i H} \cdot \frac{C_{i-1,k} - n_0 - b_{i,k}}{\Delta r} \cdot C_{i,k-1}}{\frac{Q_k}{2\pi r_i H \Delta r} - \frac{n_0 - b_{i,k}}{\Delta t}};$$

$$b_{i,k} = \frac{\gamma \cdot b_0 \cdot \Delta t \cdot C_{i,k} + b_{i,k-1}}{1 + \gamma \cdot \Delta t \cdot C_{i,k}}; Q_k = Q_0 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n b_{i,k}}{(n-1) \cdot n_0} \right)^3. \quad (9)$$

где  $i$  – номер узла по радиусу;  $n$  – количество узлов по радиусу;  $k$  – номер узла по времени.

Систему уравнений (9) решаем при следующих граничных и начальных условиях: при  $r = R$   $C_{1,k} = C_0$ ;  $b_{1,k} = b_0$ ; где  $R$  – радиус влияния модульной установки; при  $t = 0$   $C_{i,1} = 0$ ;  $b_{i,1} = 0$ .

Для определения производительности без учета кольматации  $Q_0$  решим уравнение (5) при следующем граничном условии:

при  $r = r_0$   $H = h_0 - h_{\text{вак}}$ , где  $r_0$  – радиус фильтрующего модуля;  $h_0$  – уровень иловой воды в фильтрующем элементе;  $h_{\text{вак}}$  – напор, соответствующий вакуумметрическому давлению, создаваемого модульной установкой.

Таким образом, начальная производительность модульной установки с учетом создаваемого вакуумметрического давления равна

$$Q_0 = \pi \cdot k_0 \frac{H_0^2 - (h_0 - h_{\text{вак}})^2}{\ln \frac{R}{r_0}}, \quad (10)$$

где  $H_0$  – начальный уровень иловой воды.

Для определения изменения во времени производительности модульной установки, состоящей из четырех элементов, с учетом их взаимного влияния, обуславливающего уменьшение производительности каждого элемента, воспользуемся формулой [10, 11]:

$$\beta = \lg \frac{R}{r_0} / \sum_{i=1}^m \lg \frac{R}{r_i},$$

где  $\beta$  – коэффициент уменьшения производительности элемента с учетом взаимодействия;  $m$  – количество элементов в модульной установке;  $r_i$  – расстояние между элементами.

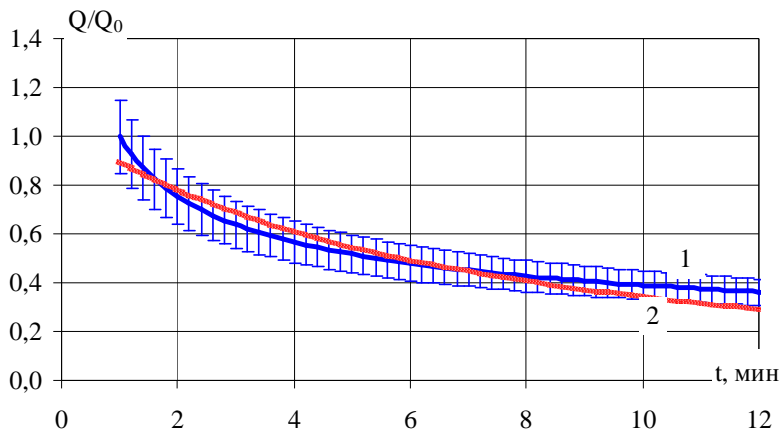
Таким образом, производительность модульной установки, состоящей из четырех элементов, равна

$$Q_4 = 4 \cdot \beta \cdot Q.$$

Достоверность расчетных зависимостей была проверена путем сопоставления с данными экспериментальных исследований, проведенных на КБО «Безлюдовский» г.Харькова.

Теоретические значения изменения во времени производительности усовершенствованной модульной установки получены с помощью решения системы уравнений (9).

На рисунке приведено сравнение экспериментальных и теоретических данных.



Зависимость изменения производительности модульной установки с четырьмя элементами от времени:  
1 — экспериментальные данные; 2 — теоретические значения.

Среднеквадратическое отклонение экспериментальных и теоретических результатов равно  $\sigma = 6,75\%$ , что подтверждает достоверность расчетных зависимостей.

Таким образом, нами получена математическая модель, позволяющая прогнозировать изменение производительности модульной установки, и, соответственно, рассчитать время ее эффективной работы в зависимости от ее параметров.

1. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1988. — 256 с.

2. Эпоян С.М. Очистка сточных вод: от теории к практике // Україна. Кращі підприємства. — 2007. — Вип.3/16. — С.24-25.

3. Кафаров В.В. Основы массопередачи. — 3-е изд. — М.: Высш. шк., 1979. — 439 с.

4. Кравчук А.М. Массопередача в спорудах систем водопостачання і водовідведення. — К.: КНУБА, 2000. — 168 с.

5. Тугай А.М. Гидромеханическое решение задач фильтрации к несовершенным скважинам // Прикладна гідромеханіка. — 2001. — Т.3 (75). — С.72-82.

6. Олейник А.Я., Тугай А.М. Моделирование процессов коьматажа и суффозии в прифильтовой зоне скважин // Доповіді НАН України. — 2001. — №9. — С.190-194.

7.Тугай А.М. Вибір і визначення вихідних параметрів при розрахунках гідравлічних опорів недосконалих свердловин // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.27. – К.: Техніка, 2001. – С.158-163.

8.Тугай А.М. Методика розрахунку фільтраційних опорів свердловин // Водне господарство України. – 2001. – №3-4. – С.27-31.

9.Дренаж с волокнистыми фильтрами для защиты территорий от подтопления / Н.Г.Пивовар, Н.Г.Бугай, В.Л.Фридрихсон, А.И.Кривоног, В.В.Кривоног. – К.: Ин-т гидромеханики НАН Украины, 2000. – 332 с.

10.Колотило А.М., Копелевич І.Л., Корінко І.В., Епоян С.М., Колотило М.М., Ярошенко Ю.В. Бурові роботи при водопостачанні з підземних джерел. – Харків: Вид. група «РА-Каравела», 2002. – 108 с.

11.Тугай А.М., Орлов В.О., Шадура В.О. Буріння свердловин для водопостачання. – Рівне: РДТУ, 2000. – 140 с.

Получено 21.12.2009

УДК 532.546 : 626.82

В.Л.ПОЛЯКОВ, д-р техн. наук

*Институт гидромеханики НАН Украины, к.Киев*

В.В.ЖЕЛИЗКО

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры*

## **К РАСЧЕТУ УСТАНОВИВШЕЙСЯ НАПОРНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ К ДРЕНАЖАМ В НЕСВЯЗНЫХ ГРУНТАХ**

Получены формулы для расчета аналогов фильтрационного сопротивления, обусловленных переориентацией частиц скелета несвязного грунта под влиянием трубчатого дренажа. Выполнена оценка значимости указанного эффекта для действия самоизливающейся совершенной скважины.

Отримано формули для розрахунку аналогів фільтраційного опору, обумовлених переорієнтацією часток кістяка незв'язного ґрунту під впливом трубчастого дренажу. Виконано оцінку значимості зазначеного ефекту для дії досконалої свердловини, що самовиливається

Formulae have been obtained for calculating filtration resistances caused by non-cohesive soil particles re-orientation due to tube drain operation. Estimation has been performed of the deformation effect importance for well action at constant head.

*Ключевые слова:* напорная фильтрация, дренаж, фильтрационные деформации.

В обычных условиях при малой интенсивности фильтрационных процессов порождаемая ими гидродинамическая сила не способна привести частицы несвязных грунтов в движение. Устройство в таких грунтах дренажей, как правило, существенно изменяет водно-физическую картину. С одной стороны, дренажи вносят серьезное возмущение в природный фильтрационный режим, дают возможность эффективно его регулировать, а с другой – они часто инициируют фильтрационные деформации. Резко возрастающая вблизи дрен ско-