

Модель расчета модульной установки для удаления иловой воды

С.М.Эпоян, А.С.Карагяур, Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры

И.В.Коринько, О.В.Степанов, Коммунальное предприятие канализационного хозяйства «Харьковкоммуночиствод»

В настоящее время на КБО «Безлюдовский г. Харькова из-за введения в работу цеха механического обезвоживания осадков часть иловых площадок выведены 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.

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

- уравнения переноса взвешенных веществ потоком фильтрующейся жидкости (влиянием диффузионного переноса можно пренебречь, т.к. переносимые частицы имеют размер меньше 0,005-0,01 мм):

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

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:

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

где b_0 – предельная концентрация частиц в объеме твердой фазы осадка (грязе-емкость); γ – коэффициент кольтматации.

- уравнения фильтрации в пористой среде:

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

где v – скорость фильтрации; k – коэффициент фильтрации, изменяющийся во времени в следствии кольтматации околофильтрового пространства;

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 закольтматированности околофильтрового пространства можно представить в виде следующей эмпирической формулы:

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

где k_0 – начальный коэффициент фильтрации (коэффициент фильтрации незакольтматированного 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:

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

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

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

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

где H_0 – начальный уровень иловой воды.

Для определения изменения во времени производительности модульной установки, состоящей из 4-х элементов, с учетом их взаимного влияния, обуславливающего уменьшение производительности каждого элемента, воспользуемся формулой:

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

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

Производительность модульной установки, состоящей из 4-х 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 (7).

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

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