

Как видно из результатов моделирования, переходный процесс отвечает переходному процессу поэтапного восстановления, а изменение начальных условий от номинального значения на 20% приводит к максимальному росту величины рН, который находится в допустимых пределах для данного процесса.

Предложенная автоматизированная система управления очистки многокомпонентных металлосодержащих сточных вод от шестивалентного хрома, цианидов и фенолсульфоновой кислоты внедрена на предприятиях Украины, Беларуси, Словакии, а также может быть использована для очистки других сточных вод, которые содержат токсичные окислительно-восстановительные загрязнения.

**Выводы.** Разработана система автоматического управления очисткой многокомпонентных сточных вод от токсичных примесей с окислительно-восстановительными свойствами на основе регулирования параметров рН и Eh, которая осуществляется в непроточном смесителе-реакторе путем ступенчатого дозирования реагентов в условиях значительных колебаний концентраций примесей, буферности водной фазы, наличия примесей с различными свойствами.

Система управления позволяет уменьшить количество химических реагентов, которые используются для регулирования рН и Eh, снизить минерализацию очищенной воды и уменьшить сброс растворимых солей в водоемы. Дальнейшим

этапом работы является исследование разработанной системы автоматического управления при очистке сточный вод от органических примесей с применением реакции Фентона.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Maly J., Hlavinek P. Cistení průmyslových odpadních vod. – Brno: NOEL, 2000. – 255s.
2. Филипчук В.Л. Очищення багатоконпонентних металовміщуючих стічних вод промислових підприємств. - Рівне: УДУВГП, 2004. - 232 с.
3. Removal of metals from wastewater. Neutralization and Precipitation / Edited by Georg C. Cushnie. – New Jersey, USA: Noyes publicationi. Park Ridge, 1987. – 175p.
4. Olsson G. Instrumentation, control and automation in the water industry – state-of-the-art and new challenges .Water Science & Technology Vol 53 No 4-5 pp 1–16 © IWA Publishing 2006
5. Филипчук Л.В. Комплексне ступінчатє регулювання рН та Eh стічних вод із застосуванням системи автоматичного введення реагентів. – Рівне: Вісник НУВГП, Вип. 4(56), НУВГП, 2014, С. 64-70.
6. Hosono H. Microanalysis system with automatic valve operation, pH regulation, and detection functions /H. Hosono, W.Satoh, M. Toya, K. Morimoto, J. Fukuda, H. Suzuki. – Sensors and Actuators B: Chemical, 16 June 2008. – vol.132, is. 2. – P. 614–628.
7. Baeza J. Knowledge-based supervision and control of wastewater treatment plant: a real-time implementation / J. Baeza, E. Ferreira, J. Lafuente // Water Science & Technology, 2000. – vol. 41, is. 12. – P. 698–732.

УДК 628.16

**Волков В.Н.**

*Коммунальное предприятие «Харьковводоканал»*

**Карагяур А.С., Бабенко С.П., Коваль А.Н.**

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

## ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ СКОРЫХ ФИЛЬТРОВ С ПЕРЕМЕННОЙ ПО НАПРАВЛЕНИЮ ФИЛЬТРОВАНИЯ СКОРОСТЬЮ

**Введение.** Фильтры с зернистой загрузкой широко используются в технологии подготовки воды для различных нужд, в том числе хозяйственно-питьевых [1, 2].

На водопроводных очистных сооружениях скорые фильтры совместно с коагулированием применяются на стадии до-

очистки для удаления из воды тонкодисперсной взвеси. По причине постепенного заиливания фильтрующей зернистой загрузки извлекаемыми загрязнениями требуется ее периодическая регенерация, которая осуществляется с помощью водяной или водовоздушной промывки. Значительные расходы промывной воды обуславливают повышенные эксплуатационные затраты при применении фильтровальных сооружений.

Одним из основных направлений снижения объемов промывных вод является увеличение продолжительности работы фильтра в режиме фильтрования. Отключение фильтра на промывку осуществляется, когда или потери напора по причине коагуляции загрузки достигают предельных значений, или в результате «проскока» загрязнений недопустимо снижается качество фильтрата. Параметры фильтра считаются подобранными рационально, если эти два условия выполняются приблизительно одновременно  $T_n \approx T_z$ .

Для повышения грязеемкости зернистых фильтров применяют следующие конструктивные и технологические решения: двухслойную загрузку, фильтрование с убывающей по направлению фильтрования скоростью, организацию фильтрования и промывки в перпендикулярных направлениях и т.д. [3, 4]. Однако, в сооружениях традиционной конструкции разнородная фильтрующая загрузка при промывке может перемешиваться. Применение радиальных фильтров с горизонтальным направлением фильтрования и вертикальным направлением промывки позволяет не только избежать перемешивания загрузки, но и осуществлять поочередную промывку слоев по мере их загрязнения [4]. Однако, малоизученным для радиальных фильтров является вопрос о влиянии на процесс очистки таких факторов, как изменяющаяся по направлению фильтрования скорость фильтрации, пористость и размер зерен фильтрующей загрузки каждого слоя, соотношение толщин этих слоев.

**Цель и задачи.** Целью исследования является изучение влияния параметров радиальных зернистых фильтров на

эффективность их работы. Для этого необходимо:

- модифицировать математическую модель работы радиальных фильтров с многослойной фильтрующей загрузкой;
- с помощью численных исследований выявить основные параметры и факторы, влияющие на эффективность очистки в радиальных фильтрах, и обосновать их рациональные значения.

#### **Результаты исследований**

Рассмотрим радиальный фильтр, схема которого представлена на рис. 1. Фильтрование в данном сооружении осуществляется в горизонтальном направлении от центра к периферии, последовательно – вначале через слой более крупной зернистой загрузки (2), далее – через слой более мелкой загрузки (3). Перемешиванию слоев и выносу частиц загрузки препятствует пористая перегородка (1), перетоку воды через надфильтровое пространство – затворы устройств (4) и (5). Промывка осуществляется в вертикальном направлении. При этом пористые перегородки перекрываются затворами, а в устройствах (4) и (5) затворы открываются.

При разработке математической модели, необходимой для описания процессов фильтрования и очистки в сооружении, представленном на рис. 1, примем следующие допущения:

- 1) фильтр работает в напорном режиме;
- 2) при промывке осуществляется полное удаление загрязнений из фильтрующей загрузки;
- 3) при описании процесса переноса взвешенных частиц потоком фильтрующей жидкости диффузией можно пренебречь, т.к. ее вклад мал в сравнении с другими составляющими.
- 4) для описания кинетики изменения концентрации взвешенных веществ в фильтрующей загрузке примем линейную закономерность, как наиболее изученную [5];
- 5) рассмотрим случай, когда фильтр работает с постоянной производительностью,  $Q = \text{const}$ .

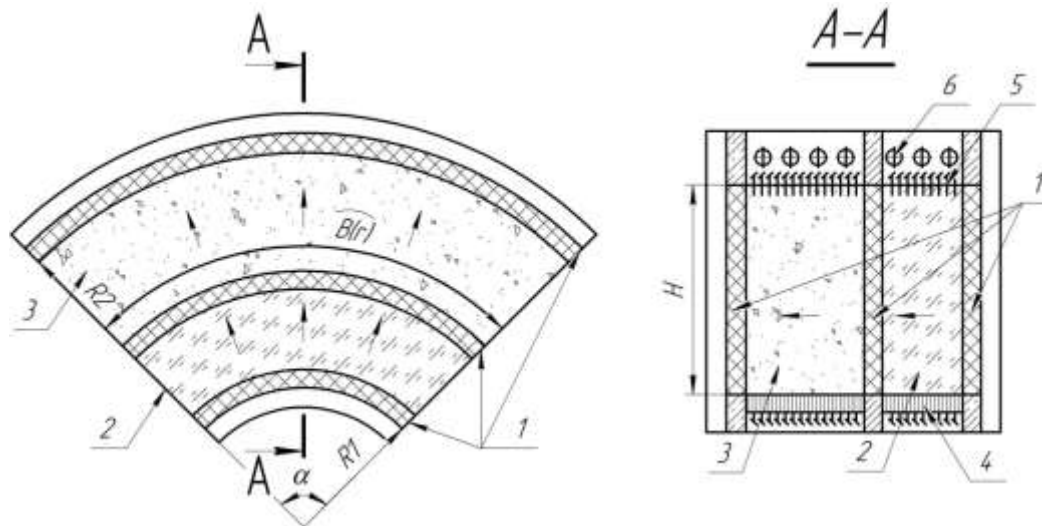


Рис. 1. Схема напорного радіального фільтра

1 – пориста перегородка; 2 – слой крупної загрузки; 3 – слой мелкой загрузки; 4 – дренажная система для подачи промывной воды; 5 – устройство, для предотвращения перетока воды; 6 – устройство для отвода промывной воды

Для описания процесса фильтрации в сооружении, представленном на рис. 1, принята следующая система уравнений и зависимостей:

– уравнение переноса взвешенных веществ потоком фильтрующей жидкости:

$$n(r,t) \frac{\partial C(r,t)}{\partial t} + v(r) \frac{\partial C(r,t)}{\partial z} + \frac{\partial S(r,t)}{\partial t} = 0; \quad (1)$$

– уравнение массопередачи между жидкой и твердой фазами:

$$\frac{\partial S(r,t)}{\partial t} = b(r,t)C(r,t) - a(r,t)S(r,t);$$

$$a(r,t) = \frac{v(r,t)}{d_e} \alpha; \quad b(r,t) = \frac{\beta v(r,t)}{(v(r,t))^{0.7} d_e^{1.7}}; \quad (2)$$

– зависимости, описывающие изменение суммарных потерь напора  $\Sigma h(t)$ , гидравлического уклона  $i(r,t)$  и пористости  $n(r,t)$  в результате кольматации:

$$\Sigma h(t) = \int_{R_1}^{R_2} i(r,t) dr;$$

$$i(r,t) = i_0 \left( \frac{n_0}{n(r,t)} \right)^3; \quad (3)$$

$$n(r,t) = n_0 - \gamma S(r,t);$$

– зависимость гидравлического уклона в незакольматированной загрузке  $i_0$  от ее параметров и скорости фильтрации  $v(r)$  (в связи с повышенными скоростями

фильтрации в начале сооружения принимается нелинейная зависимость [6]):

$$i_0 = 150 \frac{v(r)v(1-n_0)^2}{gd_e^2 n_0^3} +$$

$$+ 1,75 \frac{(v(r))^2 (1-n_0)}{gd_e n_0^3}; \quad v(r) = \frac{Q}{B(r)H}; \quad (4)$$

где  $r$  – координата вдоль направления фильтрации, м;  $t$  – время, с;  $C(r,t)$  – объемная концентрация взвешенных веществ в фильтрующей жидкости;  $S(r,t)$  – объемная концентрация взвешенных веществ в фильтрующей загрузке;  $a(r,t)$  и  $b(r,t)$  – коэффициенты соответственно, отрыва и прилипания частиц взвеси к зернам загрузки,  $c^{-1}$ ;  $Q$  – производительность фильтра,  $m^3/c$ ;  $\Sigma h(t)$  – суммарные потери напора в фильтрующей загрузке, м;  $v(r)$  – скорость фильтрации, м/с;  $B(r) = r\alpha$  – ширина слоя фильтрующей загрузки, м;  $\alpha$  – угол сектора, образующего фильтр, рад;  $H$  – высота слоя фильтрующей загрузки, м;  $\nu$  – коэффициент кинематической вязкости,  $m^2/c$ ;  $n_0$  – пористость незакольматированной зернистой загрузки;  $d_e$  – эквивалентный диаметр зерен загрузки, м;  $\gamma = \frac{\rho_c - \rho_s}{\rho_{oc} - \rho_s}$  – коэффициент, учитывающий долю твердых частиц взвеси в объеме осадка, задержанного на зернах фильтру-

ющей загрузки;  $\rho_{\text{ч}}$ ,  $\rho_{\text{ос}}$ ,  $\rho_{\text{в}}$  – плотность, соответственно, твердых частиц взвеси, осадка и воды,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\alpha$  і  $\beta$  – коэффициенты, учитывающие физико-химические свойства загрузки и очищаемой суспензии.

Система уравнений (1) – (4) решаются при следующих граничных и начальных условиях:

- начальные условия:  $t=0$ ;  $i(r,0)=i_0$ ;  
 $C(r,0)=0$ ;  $S(r,0)=0$ .

- граничные условия:  $r = R_1$ ;  $C(R_1,t) = C_0$ ;

$$S(R_1,t) = \frac{b}{a} C_0 (1 - e^{-at}),$$

где  $C_0$  – концентрация взвеси в исходной воде.

С помощью разработанной математической модели были проведены численные исследования. В качестве критерия эффективности работы фильтра принято соотношение продолжительности работы радиального фильтра в режиме фильтрования до начала регенерации к такому же параметру, рассчитанному для горизонтального фильтра прямоугольной формы –  $T_p/T_g$ .

Для учета влияния степени радиальности течения выбран параметр  $TR = \frac{\Delta R}{\bar{B}} \alpha$ , где  $\bar{B}$ ,  $\Delta R$  – соответственно, средняя ширина и толщина слоя фильтрующей загрузки, м.

Параметры  $\bar{B}$ ,  $\Delta R$ ,  $\alpha$  влияют на величины  $R_1$  и  $R_2$ , которые определяются по зависимостям  $R_1 = \frac{\bar{B}}{\alpha} - \frac{\Delta R}{2}$ ;  $R_2 = \frac{\bar{B}}{\alpha} + \frac{\Delta R}{2}$ .

На рис. 2 представлен пример расчета зависимости  $T_p/T_g=f(TR)$ . Для горизонтального фильтра пористость и размер зерен фильтрующего материала подобраны таким образом, что время защитного действия равно времени достижения потерями напора предельных значений  $T_3=T_n$ . Расчеты для радиального фильтра проводились для этих же значений параметров зернистой загрузки.

Данные, представленные на рис. 2, показывают, что с увеличением параметра  $TR$  продолжительность работы фильтра в режиме фильтрования увеличивается. При

этом  $T_3$  становится меньше  $T_n$ : фильтр отключается на промывку по причине «проскока» загрязнений в фильтр.

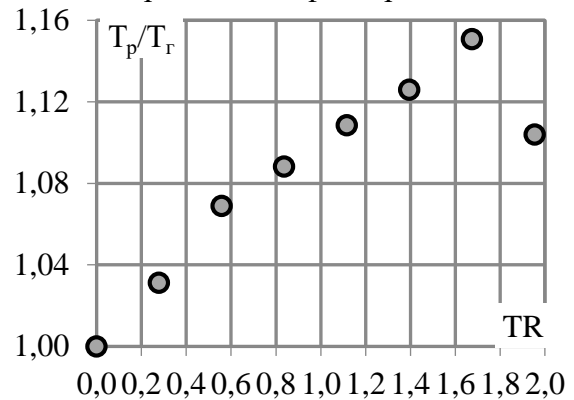


Рис. 2. Пример расчета зависимости  $T_p/T_g=f(TR)$

После того, как  $TR$  переходит через значение 1,0 (для примера на рис. 2)  $T_3$  начинает опять приближаться к  $T_n$  и при  $TR \approx 1,68$  эти параметры снова равны, а  $T_p/T_g$  достигает максимального значения. При  $TR > 1,68$   $T_n < T_3$ , продолжительность работы фильтра в режиме фильтрования уменьшается. Эффективность радиального фильтра можно объяснить тем, что при такой конструкции увеличивается объем более мелкой загрузки, которая обладает лучшей извлекающей способностью. При этом влияние кольматации на рост потерь напора компенсируется уменьшением скорости фильтрации.

**Выводы.** Проведенные с помощью математического моделирования численные исследования работы радиального фильтра с двухслойной загрузкой показали, что данное сооружение имеет преимущество перед горизонтальным фильтром прямоугольной формы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Епоян С.М., Колотило В.Д., Друшляк О.Г. та ін. Водопостачання та очистка природних вод: [навч. посібник]. – Харків: Фактор, 2010. – 192 с.
2. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3 т. [учеб. пособие]. – 3-е изд., доп. и перераб. – Т.2. Очистка и кондиционирование природных вод. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 552 с.



3. Куликов Н.И., Найманов А.Я., Омельченко Н.П., Чернышев В.Н. Теоретические основы очистки воды: [учебное пособие]. – Донецк: Ноулидж, 2009. – 298 с.
4. Пат. 101111 Україна, МПК В 01 D 24/02. Багатопаровий фільтр для очищення води / С. М. Епоян, А. С. Карагяур, В. В. Паболков; власник Харків. держ. техн. ун-т буд. та арх. – № а 2011 13969; заявл. 28.11.11; опубл. 25.02.13, Бюл. № 4.
5. Поляков В. Л. Инженерный расчет фильтрации суспензии через однородную и двухслойную загрузки // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 2010. – Вып. 93. – С. 241 – 246.
6. Грабовський П.О., Гурінчик Н.О. Чисельна реалізація математичної моделі фільтрування // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: науково-техн. зб. – К.: КНУБА, 2006. – Вип.6. – С.4-13.

УДК 628.16

**Душкин С.С., Душкин С.С.,**

*Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова,*

**Коваленко А.Н.**

*КП «Харьковводоканал»*

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ВОДЫ В СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА

#### Постановка проблемы

Проблема рационального использования воды и устранения ее потерь представляет в настоящее время одну из актуальнейших задач жилищно-коммунальной реформы. Дефицит питьевой воды во многом связан со значительными объемами ее потерь и утечек, вызванных высокой степенью износа сетей и оборудования, нерациональным расходом водопроводной воды. Установленные счетчики устаревших конструкций не обеспечивают объективных данных расходов. Значительное количество питьевой воды нерационально расходуется на технические цели промышленными предприятиями, в то время, как во многих случаях без ущерба для производства можно использовать воду технического качества, себестоимость которой в несколько раз ниже [1].

Характеристика видов потерь воды с точки зрения сложившихся способов их учета, оплаты, оценки величины и возможности устранения в различных элементах системы водоснабжения (от места добычи до реализации абонентам) приведена в табл. 1 [2].

Потери воды в системах водоснабжения (рис. 1) можно классифицировать

на следующие две основные группы: потребительские (потери реализованной товарной продукции) и технологические (потери питьевой воды в процессах ее добычи, производства и транспортирования к потребителям).

Нерациональное использование воды является прямым результатом воздействия хозяйственной деятельности человека на управляемые элементы системы водоснабжения, например, на санитарно-техническую арматуру, хотя объем нерациональных трат воды в определенной степени также зависит от технических причин, например, напора. Полностью устранить нерациональное использование в жилых зданиях невозможно, но его можно значительно снизить до уровня, при котором население не испытывает затруднений в пользовании водой. На промышленных и других предприятиях нерациональное использование воды может быть практически полностью устранено. Включение этих бесполезных расходов в разряд потерь товарной продукции является принципиально новым подходом к проблеме устранения потерь воды [3].