

Тези за матеріалами VII Всеукраїнського наукового семінару «Методи підвищення ресурсу міських інженерних інфраструктур» – Х.: ХНУБА. – 2016. – С. 82-83.

14. Вахлер Б.Л. Озонирование воды канала Северский Донец – Донбасс для питьевых целей / Б.Л. Вахлер. – М.: Стройиздат. –1965. –84с.

Душкін С.С., Душкін С.С. ВПЛИВ ПОПЕРЕДНЬОГО ОЗОНУВАННЯ НА ПРОЦЕСИ РЕАГЕНТНОЇ ОБРОБКИ ВОДИ Р. СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ. Розглянуто вплив попереднього озонування на процеси реагентної обробки води р. Сіверський Донець. Встановлено, що попереднє озонування води р. Сіверський Донець дозволяє інтенсифікувати процеси освітлення води, понизити вміст зважених речовин і кольоровість освітленої води, зменшити витрати коагулянту в середньому на 40%.

Ключові слова: очищення, знезараження, озонування, сульфат алюмінію, очисні споруди.

Dushkin S.S., Dushkin S.S. INFLUENCE OF PRELIMINARY OZONIZATION ON THE PROCESSES OF REAGENT WATER TREATMENT OF THE RIVER SEVERSKIJ DONEC. The influence of preliminary ozonization is considered on the processes of reagent water treatment of the river Severskij Donec. It is set that preliminary ozonization of water Severskij Donec allows to intensify the processes of water clarification, to reduce the content of suspended solids and the color of clarified water, to decrease the expense of coagulant on the average on 40%.

Key words: treatment, disinfestation, ozonization, sulfate of aluminium, treatment plants.

УДК 628.16

Карагяур А.С.

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
(ул. Сумская, 40, Харьков, 61002, Украина; e-mail: karagiaur@rambler.ru)*

Волков В.Н.

*Коммунальное предприятие «Харьковводоканал»
(ул. Шевченко, 2, Харьков, 61013, Украина; e-mail: office@hkov.kharkov.ua)*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СКОРОГО ФИЛЬТРА С ОТВОДОМ ЧАСТИ ПОТОКА В НИЖНИЕ СЛОИ

Отмечены проблемы равномерного распределения загрязнений по высоте зернистой загрузки скорого фильтра. Рассмотрены различные решения по повышению эффективности работы фильтровальных сооружений. Разработана математическая модель процесса очистки воды на скором фильтре с отводом части потока в нижние слои. Математическая модель базируется на уравнениях фильтрации, переноса взвешенных веществ по высоте зернистой загрузки, массопередачи взвешенных веществ из жидкой фазы в твердую, зависимостях для учета кольматации и параметров зернистой загрузки. Представлены результаты теоретических исследований, в которых изучено влияние на эффективность работы фильтра крупности зерен, расположения переливной перегородки и дренажной системы для отвода части потока. Обоснованы рациональные параметры фильтра усовершенствованной конструкции.

Ключевые слова: скорый фильтр, дренажная система, зернистая загрузка, кольматация, математическая модель.

Введение. На станциях подготовки воды из поверхностных источников для хозяйственно-питьевых нужд при удалении тонкодисперсной взвеси широко используются фильтровальные сооружения. При двухступенчатой очистке (отстаивании и фильтровании) на второй ступени чаще применяются скорые фильтры с зернистой

загрузкой [1-3]. В схеме водоподготовки эти сооружения при эксплуатации являются наиболее затратными, что обуславливается необходимостью периодической промывки зернистой загрузки для ее регенерации. На этот процесс требуется значительные объемы промывной воды, в каче-

стве которой применяется чистая очищенная вода. После регенерации зернистой загрузки промывная вода направляется на обработку. В сумме затраты в связи с утраченной прибылью (использование для собственных нужд чистой воды, которую можно было продать потребителю, простой фильтра во время промывки), затраты на подачу и обработку промывной воды составляют существенную величину. Поэтому разработка решений для сокращения объемов промывной воды является актуальной задачей.

Уменьшить долю промывной воды позволит увеличение продолжительности фильтроцикла, а именно времени работы фильтра в режиме фильтрования и, соответственно объемов профильтровавшейся за этот период воды. Фильтр отключают на промывку при выполнении одного из условий: потери напора в результате кольматации загрузки достигают предельных значений или происходит «проскок» загрязненный фильтрат. Если продолжительность работы фильтра до достижения 1-го условия приблизительно равна продолжительности работы до наступления 2-го условия ($T_n \approx T_\phi$), то параметры сооружения считаются подобранными рационально [1]. Однако, зачастую при применении однородной загрузки ее верхний слой вскоре после начала фильтрования кольматируется задержанными частичками взвеси, потери напора быстро достигают предельных значений, фильтр необходимо отключать на промывку. При этом грязеемкость нижних слоев остается неисчерпанной. Проблему усугубляет сортировка зерен загрузки при промывке [1, 4]: более мелкие зерна выносятся в верхние слои, крупные частички остаются в нижних слоях и по окончании промывки с расширением слоя оседают быстрее. Накопление мелких зерен загрузки в ее верхних слоях при фильтровании сверху вниз приводит еще к более быстрой кольматации.

Для решения описанной проблемы реализуется фильтрование по направлению убывания крупности зерен. Для этого применяют: многослойную загрузку [2, 5], в том числе с высокой пористостью [6], а

также из искусственных и местных естественных материалов [7-9]; многоступенчатые фильтры [10]; фильтры с перпендикулярным направлением фильтрования и промывки [11-13]. При использовании многослойной загрузки для предотвращения ее перемешивания при промывке необходимо применять материалы различной плотности, что ограничивает их выбор. Многоступенчатое фильтрование усложняет технологическую схему очистки воды, а при осуществлении фильтрования и промывки в перпендикулярных направлениях усложняется конструкция сооружения.

Повысить степень использования грязеемкости фильтрующей загрузки позволяет также многопоточное фильтрование (фильтры АКХ, ДДФ) [14, 15]. Очищаемая вода фильтруется одновременно сверху и снизу и отводится дренажом, расположенным в толще загрузки (рис. 1).

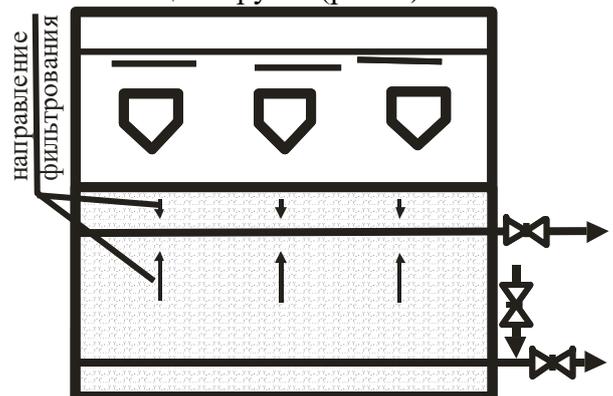


Рис. 1. Схема двухпоточного фильтра

Для данной конструкции возможно появление такой же проблемы, как и при организации восходящего потока: увеличивается вероятность проскока загрязнений в очищенную воду. Кроме того, дренажная система должна одновременно предотвращать кольматацию и вынос зерен загрузки, что требует усложнения ее конструкции.

Повысить эффективность скорого фильтра возможно, направив часть потока в средние (или нижние) слои в начале фильтроцикла, или спустя некоторое время. Известны конструкции фильтров, где данная операция осуществляется созданием углублений (щелей) в верхнем слое с помощью специальных устройств [16, 17]: конусообразных вставок, рамы с набором

наклонных пластин и т.п. Недостатком подобных решений является усложнение конструкции и низкая эффективность (часть площади фильтрации занимает дополнительные устройства).

Более рациональной является схема, при которой часть потока из надфильтрового пространства отводится в дренажную систему, расположенную в средних (нижних) слоях фильтрующей загрузки (рис. 2).

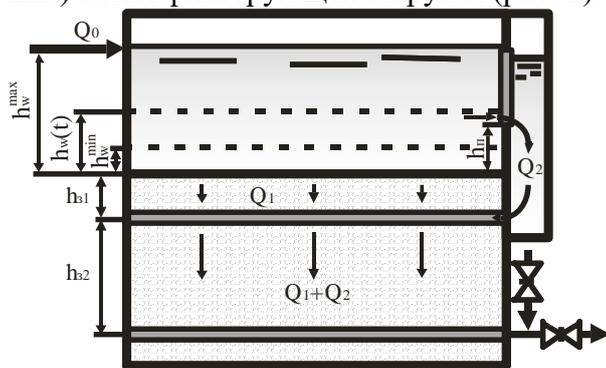


Рис. 2. Схема фильтра с отводом части потока в нижние слои

Там исходная вода смешивается с водой, профильтрованной через верхний слой, и фильтруется через нижний слой. По мере кольматации верхнего слоя доля отводимого в нижние слои потока увеличивается. Таким образом, скорость фильтрации в верхнем слое уменьшается, рост потерь напора замедляется. Так как вода из дренажной системы выпускается, исключается вынос фильтрующей загрузки, возможно применение пористой оболочки с большим размером пор, за счет чего предотвращается кольматация.

Уменьшить высоту слоя фильтрующей загрузки, занимаемую дренажной системой, а также обеспечить равномерный и надежный выпуск воды, возможно за счет применения устройства с пористой оболочкой из полимерных волокнистых материалов.

Для более эффективной реализации описанного решения необходимо обосновать рациональные конструктивные и технологические параметры фильтра, представленного на рис. 2.

Цель и задачи. Целью исследований является разработка математической модели процесса очистки воды на скором

фильтре с отводом (перепуском) части потока в нижние слои, а также теоретическое обоснование с помощью численных экспериментов рациональных параметров данного сооружения.

Материалы и методы исследований. При разработке математической модели, описывающей процесс очистки воды на скором фильтре с отводом части потока в нижние слои, приняты следующие допущения и упрощения:

- 1) течение очищаемой жидкости через слой фильтрующей загрузки происходит в ламинарном режиме;
- 2) вклад диффузии в перенос взвешенных веществ при фильтрации в слое зернистой загрузки мал в сравнении с другими составляющими;
- 3) кинетика изменения концентрации взвешенных веществ в фильтрующей загрузке описывается линейной зависимостью;
- 4) при прохождении 1-го слоя зернистой загрузки равновероятно задерживаются все частицы взвеси независимо от размера, поэтому можно принять распределение частиц взвеси по размерам в воде, поступающей во 2-ой слой, таким же, как и в исходной;
- 5) дренажная система для подачи части потока в нижние слои, и дренажная система для отвода фильтрата в процессе фильтрации не кольматируются, их сопротивление пренебрежимо мало в сравнении с сопротивлением зернистой загрузки;
- 6) на отметке $z = h_{31}$ (рис. 2) происходит полное перемешивание потоков Q_1 и Q_2 и на дальнейшем участке концентрация взвеси в воде одинакова по всей площади;
- 7) в начале фильтроцикла остаточная концентрация взвешенных веществ в зернах загрузки равна нулю.

С учетом принятых допущений основу математической модели работы фильтра с отводом части потока в нижние слои составляют следующие уравнения и зависимости:

- 1) уравнение фильтрации
– для потока 1

$$Q_1(t) = \frac{dW(t)}{dt} = \frac{\rho g}{\mu} \frac{h_w(t) + h_{31} + h_{32}}{\frac{R_{31}(t)}{F} + \frac{R_{32}(t)}{F_1}}, \quad (1)$$

– для потока 2

$$Q_2(t) = \frac{dW(t)}{dt} = \frac{\rho g}{\mu} \frac{h_w(t) + h_{31} + h_{32}}{\frac{R_n}{b(h_w(t) - h_n)} + \frac{R_{32}(t)}{F_2}}, \quad (2)$$

2) зависимость, описывающая изменение толщины слоя воды над слоем фильтрующей загрузки

$$h_w(t) = \frac{Q_0 - (Q_1(t) + Q_2(t))}{F} t, \quad (3)$$

3) уравнение переноса взвешенных частиц взвеси потоком фильтрующей жидкости

$$n_3(z, t) \frac{\partial C(z, t)}{\partial t} + V(t) \frac{\partial C(z, t)}{\partial z} + \frac{\partial S(z, t)}{\partial t} = 0, \quad (4)$$

4) уравнение массопередачи частиц взвеси из воды в твердую фазу зернистой загрузки

$$\frac{\partial S(z, t)}{\partial t} = b(t)C(z, t) - a(t)S(z, t), \quad (5)$$

5) зависимости для определения кинетических коэффициентов $a(t)$ и $b(t)$

$$a(t) = \frac{V(t)}{d_3} \alpha; \quad b(t) = \frac{\beta}{(V(t))^{0.7} d_3^{1.7}}, \quad (6)$$

6) зависимость, учитывающая изменение пористости зернистой загрузки в результате кольтматации

$$n_3(z, t) = n_{03} - \frac{S(z, t)}{\gamma}, \quad (7)$$

7) зависимость, учитывающая изменение удельного сопротивления зернистой загрузки в результате кольтматации

$$r_3(z, t) = r_{03} \left(\frac{n_{03}}{n_3(z, t)} \right)^3, \quad (8)$$

8) зависимость удельного сопротивления незакольтматированной загрузки от ее параметров (зависимость Козени-Кармана)

$$r_{03} = k_1 F_{уд.з}^2 \frac{(1 - n_{03})^2}{n_{03}^3}, \quad (9)$$

где t – время, с; $W(t)$ – объем очищенной воды, m^3 ; Q_1 – расход воды, который фильтруется через верхний слой, m^3/c ;

Q_2 – расход воды, который отводится в нижний слой, m^3/c ; Q_0 – расход воды, который подается на фильтр, m^3/c ; F – площадь поверхности фильтрации, m^2 ; F_1 и F_2 – площадь поверхности фильтрации в нижнем слое, через которую фильтруется, соответственно, поток Q_1 и поток Q_2 , m^2 ; R_n – сопротивление переливной перегородки, m^{-1} ;

$$R_{31}(t) = \int_0^{h_{31}} r_3(z, t) dz,$$

$$R_{32}(t) = \int_{h_{31}}^{h_{32}} r_3(z, t) dz \text{ – сопротивление верх-$$

него и нижнего слоя зернистой загрузки m^{-1} ; $r(z, t)$ – удельное сопротивление зернистой загрузки, m^{-2} ; r_{03} – удельное сопротивление незакольтматированной зернистой загрузки, m^{-2} ; μ – динамическая вязкость, Па·с; g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; h_{31} – толщина верхнего слоя зернистой загрузки, м; h_{32} – толщина нижнего слоя зернистой загрузки, м; $h_w(t)$ – толщина слоя воды над слоем фильтрующей загрузки, м; h_n – высота расположения переливной перегородки над фильтрующей загрузкой, м; b – ширина переливной перегородки, м; z – вертикальная координата, м, которая изменяется в диапазоне от 0 до $(h_{31} + h_{32})$; $C(z, t)$ – концентрация частиц взвеси в фильтрующей жидкости, $кг/м^3$; $S(z, t)$ – концентрация частиц взвеси, задержанных на зернах фильтрующей загрузки, $кг/м^3$; $V(t)$ – скорость фильтрования, м/с, в диапазоне от 0 до h_{31} $V(t) = Q_1(t)/F$, в диапазоне от h_{31} до h_{32} $V(t) = (Q_1(t) + Q_2(t))/F$; $a(t)$ и $b(t)$ – коэффициенты, соответственно, отрыва и прилипания частиц взвеси к зернам загрузки, c^{-1} ; α и β – коэффициенты, учитывающие физико-химические свойства зерен загрузки и фильтрующей через нее суспензии; $n_3(z, t)$ – пористость зернистой загрузки; n_{03} – пористость незакольтматированной зернистой загрузки; γ – концентрация твердых частиц взвеси в осадке, $кг/м^3$; $F_{уд.з} = 6\Phi/d_3$ – удельная поверхность зерен загрузки, m^{-1} ; Φ – коэффициент формы, для шарообразных частиц $\Phi = 1$; k_1 – отношение длины пор к размерам поры (коэффициент извилистости); d_3 – эквивалентный диаметр зерен загрузки, м.

Т.к. в нижнем слое фильтрация потока Q_1 и потока Q_2 происходит с одинаковой скоростью, то можем записать $V(t) = \frac{Q_1(t)}{F_1} = \frac{Q_2(t)}{F_2} = \frac{Q_1(t) + Q_2(t)}{F}$.

Отсюда

$$\frac{1}{F_1} = \frac{1}{F} \left(1 + \frac{Q_2(t)}{Q_1(t)} \right), \quad \frac{1}{F_2} = \frac{1}{F} \left(1 + \frac{Q_1(t)}{Q_2(t)} \right).$$

Подставляя данные выражения в зависимости (1) и (2), получим

$$Q_1(t) = \frac{\rho g F}{\mu} \frac{h_w(t) + h_{31} + h_{32}}{R_{31}(t) + \left(1 + \frac{Q_2(t)}{Q_1(t)} \right) R_{32}(t)}, \quad (10)$$

$$Q_2(t) = \frac{\rho g}{\mu} \frac{h_w(t) + h_{31} + h_{32}}{\frac{R_n(t)}{b(h_w(t) - h_n)} + \left(1 + \frac{Q_1(t)}{Q_2(t)} \right) \frac{R_{32}(t)}{F}}.$$

Приняты следующие краевые условия:

– начальные условия:

при $t = 0$ $C(z, 0) = C_\phi$ (мутность фильтра); $S(z, 0) = 0$;

в начале фильтроцикла толщина слоя воды над слоем загрузки равна $h_w(0) = h_w^{\min}$;

– граничные условия:

при $z = 0$ $C(0, t) = C_0$, $S(0, t)$ определяется из уравнения (5):

$$S(0, t) = \frac{b(t)}{a(t)} (1 - e^{-a(t)t}).$$

Фильтр отключается на промывку, когда выполняется одно из двух условий:

1) $h_w(t) \geq h_w^{\max}$; 2) $C(h_{31} + h_{32}, t) \geq C_\phi$.

В месте расположения дренажной системы, подводящей поток Q_2 , за счет смешения потоков концентрация взвешенных веществ в воде будет равна

$$C(h_{31}, t) = \frac{C_1(h_{31}, t)Q_1(t) + C_0Q_2(t)}{Q_1(t) + Q_2(t)},$$

где $C_1(h_{31}, t)$ – концентрация взвешенных веществ в потоке Q_1 после фильтрации через верхний слой, кг/м^3 .

Система уравнений и зависимостей (3)-(10), которая составляет основу математической модели, решается численно методом конечных разностей.

Результаты исследований. С помощью представленной математической модели были проведены численные исследования процесса очистки воды на скором фильтре с отводом части потока в нижние слои. Рассмотрен вариант, когда подача воды в сооружение в течение всего процесса фильтрования осуществляется равномерно $Q_0 = \text{const}$.

На рис. 3 представлен пример расчета изменения во времени приведенных расходов потоков $Q_1/Q_0, Q_2/Q_0$, общего расхода $(Q_1+Q_2)/Q_0$, а также приведенного уровня воды в надфильтровом пространстве

$$\eta_w = \frac{h_w - h_w^{\min}}{h_w^{\max} - h_w^{\min}}.$$

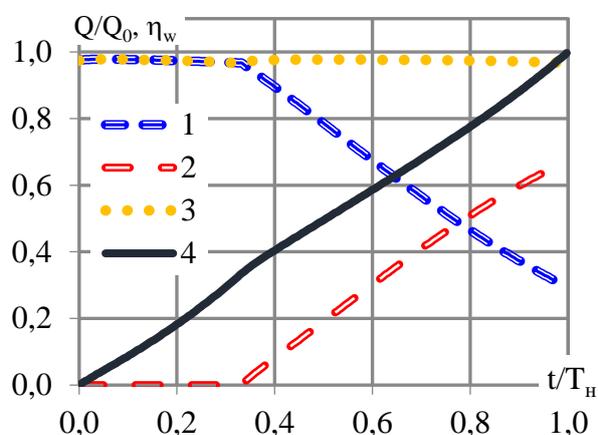


Рис. 3 Изменение параметров Q_1/Q_0 (1), Q_2/Q_0 (2), $(Q_1 + Q_2)/Q_0$ (3), η_w во времени

Из данных рис. 3 видно, что по мере роста потерь напора в зернистой загрузке уровень воды в надфильтровом пространстве повышается, причем с ускорением. Далее включается в работу переливная перегородка, отводящая часть потока в дренажную систему, расположенную в нижних слоях. Рост потерь напора и, соответственно, увеличение уровня воды в надфильтровом пространстве замедляется, дальнейшее его увеличение происходит линейно. Значение расхода потока, отводимого в нижние слои, с течением времени возрастает, а расход потока, проходящего через верхний слой, уменьшается также практически линейно. К окончанию продолжительности работы фильтра в режиме фильтрования нижний слой также кольматируется, повышение уровня воды снова

ускоряється, а рост расхода потока Q_2 несколько замедляется.

В процессе численного моделирования также было изучено влияние следующих параметров:

- приведенная высота расположения переливной перегородки $\eta_n = \frac{h_n - h_w^{\min}}{h_w^{\max} - h_w^{\min}}$;

$$\eta_n = \frac{h_n - h_w^{\min}}{h_w^{\max} - h_w^{\min}};$$

- приведенная глубина расположения дренажной системы в толще загрузки $\eta_o = \frac{h_{31}}{h_{31} + h_{32}}$;

$$\eta_o = \frac{h_{31}}{h_{31} + h_{32}};$$

- эквивалентный диаметр зерен фильтрующей загрузки d_3 .

В качестве критерия эффективности принят параметр W_2/W_1 , представляющий собой отношение объема воды, профильтрованной до наступления одного из условий отключения на промывку в фильтре с отводом части потока в нижние слои, к такому же параметру в фильтре традиционной конструкции (крупность зерен фильтрующей загрузки и ее толщина совпадают).

На рис. 3 и рис. 4 представлены примеры расчета влияния указанных параметров на эффективность работы фильтра с отводом части потока в нижние слои.

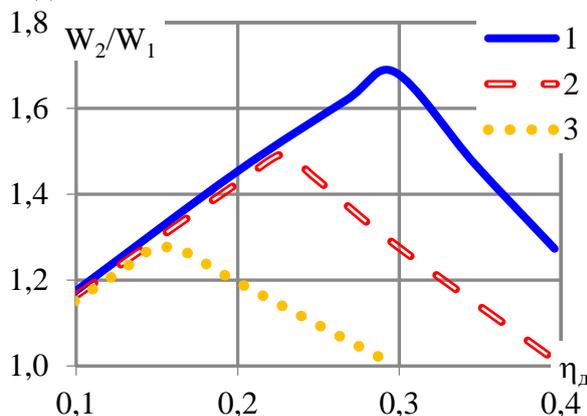


Рис. 3. Влияние приведенной глубины расположения дренажной системы и размера зерен загрузки на эффективность работы фильтра: 1 – d_3 ; 2 – $1,05 \cdot d_3$; 3 – $1,1 \cdot d_3$

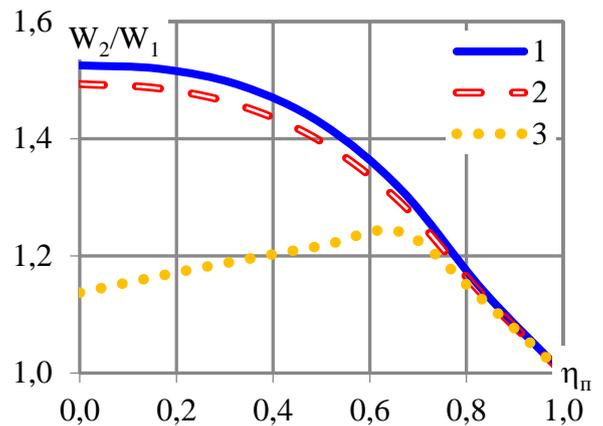


Рис. 4. Влияние приведенной высоты расположения переливной перегородки и размера зерен загрузки на эффективность работы фильтра: 1 – d_3 ; 2 – $1,05 \cdot d_3$; 3 – $1,1 \cdot d_3$

Данные, представленные на рис. 4, показывают, что с увеличением глубины погружения в толщу загрузки дренажной системы, подводящей часть потока в нижние слои, эффективность работы фильтра увеличивается до определенного значения. Далее с ростом параметра h_{31} эффективность уменьшается. Также рис. 4 демонстрирует, что отвод части потока в нижние слои более эффективен при применении мелкой зернистой загрузки.

Из рис. 5 видно, что при определенных значениях эквивалентного диаметра зерен максимальная эффективность соответствует расположению нижнего края переливной перегородки на уровне равном минимальному уровню воды в надфильтровом пространстве (рис. 5, кривые 1 и 2). С ростом размера зерен загрузки эффективность уменьшается и при переходе через некоторое значение d_3 максимальная эффективность реализуется при более высоком расположении переливной перегородки (рис. 5, кривая 3).

Обсуждение результатов исследований. Наличие максимальных экстремумов на графиках, показанных на рис. 4, объясняется следующим образом. С увеличением глубины расположения дренажной системы загрязнения более равномерно распределяются по высоте зернистой загрузки. Кольматация верхнего слоя замедляется, но быстрее происходит ухудшение качества фильтрата, т.е. наступление пер-

вого и второго условия выключения фильтра на промывку синхронизируются $T_n \rightarrow T_f$. Максимальное значение эффективности соответствует параметрам, при которых $T_n \approx T_f$. При дальнейшем увеличении глубины расположения дренажной системы определяющим фактором становится ухудшение качества фильтрата $T_n > T_f$, поэтому эффективность уменьшается.

Если размер зерен фильтрующей загрузки, подобраны таким образом, что для фильтра традиционной конструкции $T_n < T_f$, то максимальная эффективность фильтра усовершенствованной конструкции реализуется, когда отвод части потока в нижние слои осуществляется сразу с начала фильтрования (рис. 5, кривые 1 и 2). Если же наоборот $T_n > T_f$, то отвод части потока в нижние слои с задержкой (переливная перегородка расположена выше минимального уровня воды) способствует интенсивной кольматации верхнего слоя в период до включения в работу переливной перегородки. С началом отвода воды в нижние слои скорость фильтрации в верхнем слое уменьшается, соответственно, уменьшается вероятность отрыва уже задержанных на зернах загрузки частичек взвеси. Даже с учетом разбавления в нижний слой поступает вода с меньшим содержанием взвеси. Ухудшение качества фильтрата происходит позднее, $T_f \rightarrow T_n$.

Выводы. С помощью разработанной математической модели, описывающей процесс очистки воды на скором фильтре с отводом части потока в нижние слои, проведены теоретические исследования. Эти исследования позволяют обосновать эффективность данного решения, а также рассчитать рациональные параметры расположения переливной перегородки и дренажной системы. В дальнейших исследованиях планируется проверить адекватность математической модели путем сравнения расчетных и экспериментальных данных, а также изучить работу фильтра усовершенствованной конструкции при неравномерном поступлении воды в сооружение.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Грабовский П.А. Промывка водоочистных фильтров / П.А. Грабовский, Г.М. Ларкина, В.И. Прогульный. – Одесса: Оптимум, 2012. – 240 с.
2. Теоретические основы очистки воды: [учебное пособие] / [Н.И. Куликов, А.Я. Найманов, Н.П. Омельченко, В.Н. Чернышев]. – Донецк: Ноулидж, 2009. – 298с.
3. Водопостачання та очистка природних вод: [навч. посібник] / [С.М. Епоян, В.Д. Колотило, О.Г. Друшляк та ін.]. – Харків: Фактор, 2010. – 192 с.
4. Реконструкция и интенсификация сооружений водоснабжения и водоотведения: [учебное пособие] / [А.А. Василенко, П.А. Грабовский, Г.М. Ларкина и др.]. – Киев - Одесса: КНУСА, ОГАСА, 2007. – 307 с.
5. Журба М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: в 3 т. [учеб.пособие] / М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова. – 3-е изд., доп. и перераб. – Т.2. Очистка и кондиционирование природных вод. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. – 552 с.
6. Корінько І.В. Інноваційні технології водопідготовки: [монографія] / І.В. Корінько, Ю.О. Панасенко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 208с.
7. Gawade Sambhaji. Analysis of PVC rapid sand filter / Sambhaji Gawade, Sunil Misal // Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR). – 2016. – Vol. 2, Issue 9. –P. 1370-1373.
8. Mohanty Bibhabasu. Design and construction of a modified rapid sand filter fort reatment of raw water / Bibhabasu Mohanty, Patel Keval, Gosai Beran, Tanna Dhruvit // Journal for Research. – 2017. – Vol. 3, Issue 3. –P. 9-13.
9. Sabale Ranjeet. Improved rapid sand filter for performance enhancement / Ranjeet Sabale, Sahil Mujawar // International Journal of Science and Research. – 2014. – Vol. 3, Issue 10. –P. 1031-1033.
10. Schevchuk O.O. Hydraulic calculations of the direct multistage filters / O.O. Schevchuk // Theoretical and Experimental Studies of Interfacial Phenomena and their Technological Applications: the IX Polish- Ukrainian Symposium, Sept. 5-9, 2005: abstracts. – Sandomierz, Wolska Milanowska (Poland), 2005. – P. 250-253.

11. Эпоян С.М. Математическая модель работы многослойного фильтра с горизонтальным направлением фильтрации / С.М. Эпоян, А.С. Карагяур, В.В. Паболков // Научный вестник строительства. – Харьков: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2012. – Вып. 69. – С. 303-307.
12. А.с. 1722529 СССР, МКИ В01D 24/08. Радиальный двухслойный фильтр / М.Н. Швецов; заявитель Хабаровский политехн. инст. – № 4764772/26; заявл. 04.12.1989; опубл. 30.03.1992. – Бюл. № 12.
13. А.с. 1297889 СССР, МКИ В01D 23/10. Радиальный фильтр / [Н.В. Ярошевская, Т.С. Серая, О.Г. Швиденко, Л.А. Кульский] заявитель Инстит. коллоидной химии и химии воды им. А.В. Думанского. – № 3750826/23-26; заявл. 06.06.1984; опубл. 23.03.1987. – Бюл. № 11.
14. Николадзе Г.И. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения / Г.И. Николадзе, Д.М. Минц, А.А. Кастальский. – М.: Высш. шк., 1984. – 368 с.
15. Пат. US5248417 А США, МКИ В01D 24/18. Double flow-through filtration apparatus / Roger P. Reid. – № 970388; заявл. 2.11.1992; опубл. 28.09.1993. – 4 р.
16. Пат. 2201789РФ, МПК В01D 24/14. Фильтр с зернистой загрузкой / О.Г. Гириков, А.В. Балабанова; патентообладатель Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет. – № 2001102629/12; заявл. 29.01.2001; опубл. 10.04.2003, Бюл. № 10.
17. Пат. 2217210 РФ, МПК В01D 24/46. Фильтр с зернистой загрузкой / О.Г. Гириков, М.Ю. Петров; патентообладатель Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет. – № 2002100788/12; заявл. 09.01.2002; опубл. 27.11.2003, Бюл. № 33.

Карагяур А.С., Волков В.М. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ШВИДКОГО ФІЛЬТРА З ВІДВЕДЕННЯМ ЧАС-

ТИНИ ПОТОКУ В НИЖНІ ШАРИ. Відзначено проблеми рівномірного розподілу забруднень по висоті зернистого завантаження швидкого фільтра. Розглянуто різні рішення для підвищення ефективності роботи фільтрувальних споруд. Розроблено математичну модель процесу очистки води на швидкому фільтрі з відведенням частини потоку в нижні шари. Математична модель базується на рівняннях фільтрації, переносу завислих речовин по висоті зернистого завантаження, масопередачі завислих речовин з рідкої фази в тверду, залежностях для врахування кольматации та параметрів зернистого завантаження. Представлені результати теоретичних досліджень, в яких вивчено вплив на ефективність роботи фільтра крупності зерен, розташування переливної перегородки та дренажної системи для відведення частини потоку. Обґрунтовано раціональні параметри фільтра вдосконаленої конструкції.

Ключові слова: швидкий фільтр, дренажна система, зернисте завантаження, кольматация, математична модель.

Karahiaur A.S., Volkov V.N. MATHEMATICAL MODELING OF THE OPERATION RAPID FILTER WITH THE BYPASS OF PART OF THE FLOW TO THE LOWER LAYERS. The problems of the evenly distribution of pollutions along the height of the granular media of the rapid filter are noted. Various solutions for improving the efficiency of filter constructions are considered. A mathematical model of the process of water purification on in rapid filter with the bypass of part of the flow to the lower layers is developed. The mathematical model is based on the equations of filtration, transport of suspended solid by the height of the granular media, the mass transfer of suspended solid from the liquid phase to the solid, the relationships to take into account colmatation and the parameters of granular media. The results of theoretical studies are presented in which the influence of the grain size, the location of the overflow septum and the drainage system for bypass a part of the flow on the filter efficiency is studied. Rational filter parameters of the improved design are justified.

Keywords: rapid filter, drainage system, granular media, colmatation, mathematical model.