

Н.А. Гуринчик

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СОСТАВА ЗАГРУЗКИ КОНТАКТНОГО ОСВЕТИТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Описан принцип работы контактных осветлителей, их преимущества и недостатки по сравнению с другими сооружениями. Приведена математическая модель контактного осветлителя. Представлены результаты расчета динамики фильтрования в контактном осветлителе для однородных и неоднородных загрузок. Проанализированы зависимости продолжительностей фильтрования от коэффициента неоднородности фильтрующего материала.

Ключевые слова: контактный осветлитель, крупность загрузки, продолжительность фильтроцикла, скорость фильтрования, фильтрование.

Описанием процесса очистки воды фильтрованием в различно время занимались разные ученые [1 - 7],

Предметом исследования является фильтровальное сооружение – контактный осветлитель (КО), при котором фильтрование происходит в направлении убывающей крупности зерен, т.е. снизу вверх [8].

КО (рис. 1) обладают следующими преимуществами по сравнению со скорыми фильтрами:

- возможность очищать воду с большими мутностями (до 120 мг/л) и цветностями (до 70°);

- большая грязеемкость, из-за чего во многих случаях отпадает необходимость предварительной очистки воды на отстойниках и осветлителях со слоем взвешенного осадка;

- благодаря гидравлической сортировке загрузки при промывке вода при фильтровании проходит вначале через крупную загрузку, а затем через мелкую, что повышает эффективность очистки.

К недостаткам работы контактных осветлителей следует отнести снижение скорости фильтрования из-за опасности взвешивания и самопромывания загрузки при увеличении потерь напора.

Широкому внедрению КО препятствует отсутствие надежных математических моделей описания процесса.

Была разработана математическая модель для описания работы контактного осветлителя [5], приведенные в табл. 1.

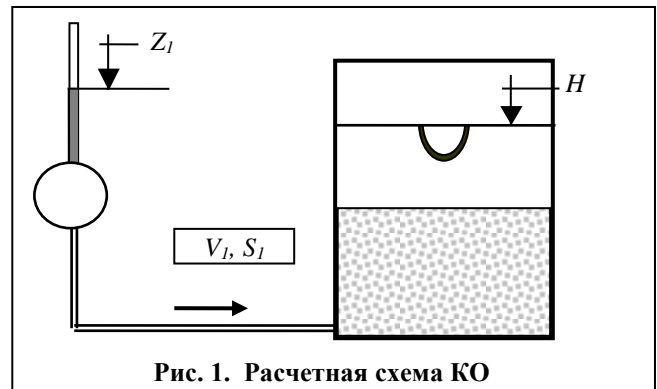


Рис. 1. Расчетная схема КО

Таблица 1. Уравнения математической модели для КО

Уравнение	
1. Баланс взвеси [1]	$V \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (1)$
2. Кинетика [1]	$\frac{\partial C}{\partial x} = -bC + \frac{a}{V} \rho; \quad (2)$
3. Потеря напора $h_c(t) = \int_0^L I dx$	(3)
4. Гидравлический уклон	$I = \frac{h}{L} = \frac{150vW(1-m)^2}{m^3 g d_s^2} + \frac{1,75(1-m)vW^2}{m^3 g d_s} \quad (4)$
5. Пористость	$m(x,t) = m_o - \frac{\rho(x,t)}{\gamma_o} - \frac{\rho_{осм}(x,t)}{\gamma} \quad (5)$

6. Расход поступающей в фильтр воды	$V=V_l = \left(\frac{Z_1 - H}{S_1} \right)^{0,5} \quad (6)$
7. Коэффициент кинетики отрыва частиц [1]	$a = \alpha \frac{V(t)}{d(x)} \quad (7)$
8. Коэффициент кинетики прилипания [1]	$b = \beta \frac{1}{V(t)^{0,7} d(x)^{0,7}} \quad (8)$

В табл. 1 и на рис. 1 приняты следующие обозначения:

V – скорость фильтрования, м/ч; C – массовая концентрация взвеси в воде, г/м³; ρ – концентрация осадка в загрузке, г/м³; a, b – коэффициенты интенсивности отрыва частиц взвеси и их прилипания к зернам загрузки (кинетические коэффициенты); L – высота слоя загрузки, см; d_s – эквивалентный диаметр зерен, см; m – пористость фильтрующего слоя; ν – коэффициент кинетической вязкости воды, см²/с; γ_o и γ – массовые концентрации твердых частиц в единице объема осадка до и после промывки, г/м³; Z_1 – пьезометрическая отметка в предыдущем сооружении, м; V_l – скорость подачи воды в фильтр (расход воды, поступающей в сооружение на единицу его площади), м/ч; S_1 – сопротивление подводящих коммуникаций (включая дренажно-распределительную систему), ч²/м; α и β – коэффициенты, учитывающие совокупное влияние физико-химических свойств воды и взвеси. (размерность β – м^{1,4}/ч^{0,7}).

Для реализации математической модели применены численные методы, достоверность которых была подтверждена сравнением результатов численного счета работы контактного осветлителя и скорого фильтра [2-5], математическая модель которого прошла проверку на адекватность сравнением результатов численного счета с теоретическими данными [1] и опытными данными работы скорого фильтра.

В настоящей работе рассмотрены различные варианты крупности и неоднородности песчаной загрузки.

Согласно нормам проектирования для КО рекомендуется загрузка крупностью 0,7÷5 мм при эквивалентном диаметре 1÷1,3 мм, высотой 2,3÷2,8 м. Для дальнейшего исследования необходимо определить оптимальный эквивалентный диаметр зерен загрузки, при котором наблюдается наилучшее соотношение между продолжительностью защитного действия загрузки и временем достижения предельных потерь напора –

$t_3 = t_H$ ¹ Вначале выполнен ряд расчетов для однородной загрузки КО для диаметров 1,12 –1,3 мм при следующих исходных данных:

- ✓ мутность исходной воды – 110 г/м³;
- ✓ мутность фильтрата –1,5 г/м³;
- ✓ скорость фильтрования– 5,38 м/ч;
- ✓ температура воды– 16 °С;
- ✓ начальная пористость загрузки –0,4;
- ✓ высота слоя загрузки – 200 см;
- ✓ предельно-допустимая потеря напора– 199 см.

Результаты данного расчета показаны на рис. 2., из которого видно, что оптимальное соотношение продолжительностей наблюдается при эквивалентном диаметре 1,135 мм, который и принят для последующего исследования влияния неоднородности загрузки.

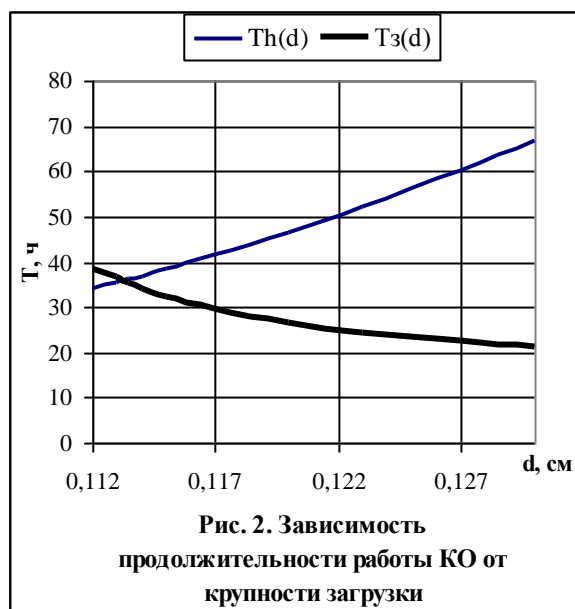


Рис. 2. Зависимость продолжительности работы КО от крупности загрузки

Обозначения:

- d – эквивалентный диаметр зерен загрузки, см;
- T – время работы КО, ч;
- $Th(d)$ – время достижения предельного уровня воды в КО, ч;
- $Tз(d)$ – время защитного действия загрузки КО, ч.

При тех же исходных данных рассмотрены загрузки с коэффициентами неоднородности $K_n=1÷1,54$. Распределение крупности частиц по высоте слоя принято линейным – диаметр зерен в пределах каждого слоя толщиной x определен по формуле:

$$d(x) = d_{min} + \frac{d_{max} - d_{min}}{L} x. \quad (9)$$

¹ Ранее [1] оптимальным считали соотношение $t_3 = (1,2-1,3)t_H$, что было вызвано длительностью процесса определения мутности. Однако, при современной технике контроля, который производится в режиме online, а показания можно автоматически передавать на компьютер оператора, от этого соотношения можно отказаться.

где d_{min} и d_{max} – минимальное и максимальное значение крупности загрузки, мм.

Коэффициент неоднородности загрузки определяется соотношением:

$$K = \frac{d_{80}}{d_{10}}, \quad (10)$$

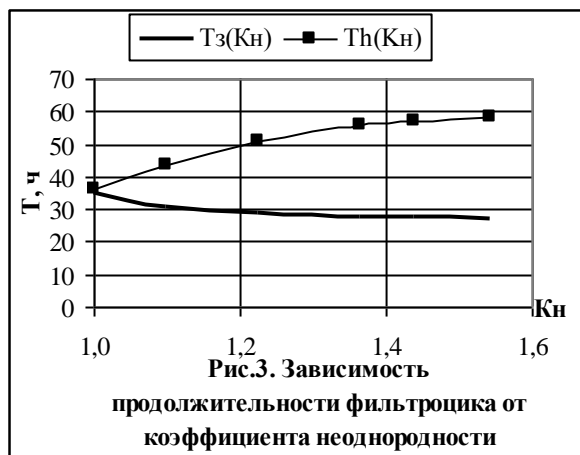
где d_{80} и d_{10} – диаметры зерен в мм, соответствующие 80 % и 10 % калибрам применяемой загрузки.

При этом диапазон крупности подбирался таким, чтоб значение эквивалентного диаметра, определяемого по формуле (11), было равно 1,135 мм:

$$d_э = \frac{100}{\sum \frac{p_i}{d_i}}, \quad (11)$$

где p_i – процентное содержание фракции со средним диаметром d_i .

Результаты данного исследования представлены в виде графика зависимости продолжительности фильтроцикла от коэффициента неоднородности загрузки (рис. 3). Здесь видно, что с увеличением коэффициента неоднородности снижается сопротивление загрузки, а значит, потери напора растут медленнее и время достижения предельных потерь напора увеличивается. Вместе с тем, по ходу движения воды нижние слои загрузки крупнее, а значит, вглубь загрузки проникает больше загрязнений, что повышает вероятность их отрыва. Это приводит к ухудшению качества фильтрата и снижению продолжительности защитного действия загрузки.



Обозначения:

K_n – эквивалентный диаметр зерен загрузки, см;

T – время работы КО, ч;

$T_n(K_n)$ – время достижения предельного уровня воды в КО, ч;

$T_z(K_n)$ – время защитного действия загрузки КО, ч.

Выводы

Полученные результаты исследования работы контактного осветлителя для вариантов различного состава загрузки подтверждают теоретические представления о процессе и позволят в дальнейшем подбирать вид загрузки для конкретных исходных данных.

Литература

1. Минц Д. М. Теоретические основы технологии очистки воды. М.: Стройиздат, 1964. – 156 с.

2. V. Gitis et al. Deep-bed filtration model with multistage deposition kinetics // Chemical Engineering Journal 163 (2010) 78–85.

3. Стрелков А.К. Исследование двухпоточных фильтров с керамзитовой загрузкой: Автореф. дис. канд. тех. наук. Куйбышев, 1974. – 25 с.

4. Поляков В.Л. Расчет фильтрования суспензии через многослойную загрузку при линейной кинетике массообмена // Химия и технология воды. – 2008. – №4. – С. 3-30.

5. Новые разработки украинского научно-исследовательского института прогрессивных технологий в коммунальном хозяйстве (водоснабжение и водоотведение) Харьков: УкрКомунДніпроГрес, 1997. – 37 с.

6. Мельцер В.З. Фильтровальные сооружения в коммунальном водоснабжении. – М.: Стройиздат, 1995. – 177 с.

7. Журба М.Г. Водоснабжение (в 2-х томах). Том 2. Улучшение качества воды. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008 г. – 544 с

8. Degremont. Технический справочник по обработке воды. В 2 т. – Спб.: Новый журнал, 2007 г. – 1700 с.

9. Горобченко А.И., Гуринчик Н.А. Применение математического моделирования процесса фильтрования с переменной скоростью для получения оптимальных режимов работы фильтровальных сооружений // Программа и тезисы докладов XXXIV научно-техн. конфер. преподавателей, аспирантов и сотрудников ХНАГХ. Часть 1. Харьков: 2008. – С.162-165.

10. Грабовский П.А., Гуринчик Н.А. Фильтрование воды через зернистый слой с убывающей во времени скоростью // «ВОДА и ЭКОЛОГИЯ проблемы и решения» вып. 4 (37). – Спб.: типография «БОРВИК ПОЛИГРАФИЯ», 2008. С. 3-12.

11. Грабовский П.А., Гуринчик Н.А. Математическая модель фильтрования через зернистый слой с убывающей скоростью // Коммунальное хозяйство городов. Научно-техн. сб. ХНАГХ. – К.: Техника. – 2007. – Вып. 74. – С. 230-237.

12. Гуринчик Н.А. Описание процесса контактного осветления воды // Коммунальное хозяйство городов. Научно-техн. сб. ХНАГХ. – К.: Техника. – 2013. – Вып. 107. – С. 232-236.

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.И.Прогульный, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса.

Автор: ГУРИНЧИК Наталья Александровна

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, кандидат технических наук, доцент кафедры

E-mail – nagy@ukr.net.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СКЛАДУ ЗАВАНТАЖЕННЯ КОНТАКТНИХ ОСВІТЛЮВАЧІВ ЗА
ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ**

Н.О. ГУРІНЧИК

Наведено математичну модель контактної освітлювача, а також результати дослідження впливу крупності завантаження на роботу контактної освітлювача.

Ключові слова: контактний освітлювач, крупність завантаження, тривалість фільтроцикла, швидкість фільтрування, фільтрування

**RESEARCH OF INFLUENCE COMPOSITION OF FILTER MEDIA OF CONTACT CLARIFIERS
USING A MATHEMATICAL MODEL**

N. GURINCHIK

The article highlights the operational principle of contact clarifiers , their advantages and disadvantages compared to other facilities. A mathematical model of contact clarifier , which includes hydrodynamic unit and clarification are presented. The results of numerical calculation of the dynamics of filtering in contact clarifier for homogeneous and heterogeneous downloads under certain initial data. The study selected the optimal diameter through the boot in which there is a better relationship between the time to achieve the limit pressure losses and loading time of protective action. Equivalent diameter of the selected options considered downloads contact clarifier with different values of the coefficient of heterogeneity. The dependence of the filter coefficient of the durations of the filter material inhomogeneity

Keywords: contact clarifier feed size, the filter cycle duration, filtration rate, filtration