

УДК 628.16.067:542.67

Н.А.ГУРИНЧИК, канд. техн. наук

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА КОНТАКТНОГО ОСВЕТЛЕНИЯ ВОДЫ

Представлена математическая модель фильтровального сооружения, работающего в направлении убывающей крупности зерен.

Представлено математичну модель фільтрувальної споруди, працюючої в напрямку крупності зерен, що зменшується.

A mathematical model of the filter, working in the direction of decreasing grain size is presented.

Ключевые слова: фильтрование, контактный осветлитель, математическая модель.

Фильтрование через зернистый слой – один из самых важных технологических процессов, используемых в хозяйственно-питьевом и промышленном водоснабжении. Исследование процесса фильтрования всегда интересовало и интересует многих ученых [1-7].

Перспективным фильтровальным сооружением являются контактные осветлители (КО), в которых фильтрование осуществляется снизу–вверх, т.е. в направлении убывающей крупности зерен загрузки. Они обладают следующими *преимуществами*:

- коагулирование происходит в толще фильтрующей загрузки;
- возможность очищать воду с большими мутностями (до 120 мг/л) и цветностями (до 120⁰);
- большая грязеёмкость, из-за чего во многих случаях отпадает необходимость предварительной очистки воды в отстойниках или осветлителях со слоем взвешенного осадка;
- благодаря гидравлической сортировке загрузки при промывке вода при фильтровании проходит вначале через крупную загрузку, а затем через мелкую.

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

Несмотря на перечисленные минусы, как правило, в технико-экономических сравнениях «выигрывают» контактные осветлители.

Широкому внедрению КО препятствует отсутствие надежных математических моделей описания процесса.

Ранее [7-10] были получены математические модели работы скорых фильтров в различных режимах их эксплуатации.

Модель работы контактного осветлителя отличается от известных моделей работы скорых фильтров и может описываться следующими уравнениями:

– уравнение баланса частиц взвеси в воде и в задержанном осадке:

$$m \frac{\partial C}{\partial t} + V \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

где $C=C(x,t)$ – концентрация взвешенных веществ в воде; $\rho = \rho(x,t)$ – концентрация осадка в загрузке; x, t – пространственная и временная координаты; V – скорость фильтрования; $m(x,t)$ – пористость загрузки;

– уравнение кинетики:

$$\frac{\partial C}{\partial x} = -bC + \frac{a}{V} \rho, \quad (2)$$

где b, a – коэффициенты кинетики, определяющие соответственно интенсивность прилипания и отрыва взвешенных частиц от поверхности загрузки (или от ранее прилипших частиц);

– пористость загрузки изменяется по глубине слоя и во времени

$$m(x,t) = m_0 - \frac{\rho(x,t)}{\gamma}, \quad (3)$$

где γ – массовая концентрация твердых частиц в единице объема осадка;

– гидравлический уклон в пористом слое рассчитан по формуле Эргана:

$$I = 150\nu V(1-m)^2/gd_s^2m^3 + 1,75(1-m)V^2/m^3gd_s, \quad (4)$$

где g – ускорение свободного падения, $\text{см}/\text{с}^2$; ν – коэффициент кинетической вязкости воды, $\text{см}^2/\text{с}$; d_s – эквивалентный диаметр зерен, см ;

– суммарная потеря напора в слое определяется интегралом

$$h_c(t) = \int_0^L I dx, \quad (5)$$

где L – высота слоя загрузки, см .

Для определения скорости фильтрования необходимо учитывать высотное размещение сооружений, показанное на рис.1, где приняты следующие обозначения: Z_I – пьезометрическая отметка в коллекторе подачи исходной воды, H – отметка уровня воды в КО (кромки желоба), S_I – сопротивление коммуникаций, подводящих воду в КО, V_I – расход воды, поступающей в КО на единицу его площади.

Величина V_I равна скорости фильтрования, и определяется из условия квадратичной зависимости потерь напора от скорости, т.е. $h=SV^2$, откуда

$$V = V_I = [(Z_I - H)/S_I]^{0,5}. \quad (6)$$

На динамику фильтрования существенно влияют кинетические коэффициенты a и b , для определения которых использованы зависимости [2]:

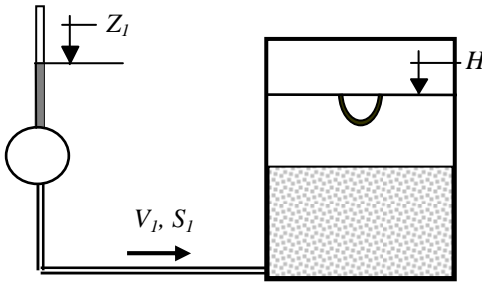


Рис. 1 – Расчетная схема КО

$$a = \alpha \frac{V}{d}, \quad (7)$$

$$b = \beta \frac{I}{V^{0.7} d^{0.7}}, \quad (8)$$

где α и β – коэффициенты, учитывающие совокупное влияние физико-химических свойств воды и взвеси, d – диаметр зерен загрузки. В отличие от коэффициентов a и b коэффициенты α и β не зависят ни от диаметра зерен, ни от скорости фильтрования. При определении a и b можно учитывать как распределение загрузки по высоте слоя, так и скорость в любой момент времени.

Начальные и граничные условия следующие:

$$\left. \begin{aligned} x = 0 \quad C = C_0 \\ t = 0 \quad \rho_o = \rho_o(x), V = V_0, H = H_0, m = m_0 \\ t \rightarrow \infty, \frac{\partial C}{\partial x} = 0, C = C_0, \rho = \rho_{np}, \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

где ρ_{np} – предельная насыщенность порового пространства задержанной взвесью.

Система дифференциальных, интегральных и алгебраических уравнений (1)-(8) с начальными и граничными условиями (9) является математической моделью работы контактного осветлителя.

При разработке математической модели работы контактных осветлителей, как и при разработке модели скорых фильтров, сделан ряд допущений:

1. В уравнении баланса взвеси (1) отброшен первый член в левой части, а также диффузионная составляющая ввиду их малых значений по сравнению с другими членами уравнения.
2. Предполагается однородность и постоянство свойств взвеси по высоте слоя [2].
3. Не учтено влияние «старения» осадка на коэффициент отрыва ранее прилипших загрязнений a .
4. Начальная пористость слоя m_0 принята постоянной по высоте.
5. Эффект промывки слоя, необходимый для расчетов остаточных загрязнений, принят постоянным по высоте.

Выводы

1. Получена математическая модель работы контактного осветлителя.
2. Основными задачами последующих исследований являются:
 - разработка алгоритма реализации модели;
 - изучение влияния технологических параметров (начальной скорости, высоты слоя, крупности зерен и т.п.), а также кинетических коэффициентов на динамику процесса контактного осветления;
 - апробация полученной математической модели.

1. Hudson H.E. Declining rate filtration // JAWWA. Vol.51, №11,1959. – P. 42-50.

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

3. Cleasby J.L. Water filtration through deep granular media // Public Works, №6, 1970. – P.36-45.

4. Клячко В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод. – М.: Стройиздат, 1971. – 579с.

5. Аэров М.Э., Тодес О.М., Наринский Д.А. Аппараты со стационарным зернистым слоем. – Л.: Химия, 1979. – 176 с.

6. Венецианов Е. В., Рубинштейн Р. Н. Динамика сорбции из жидких сред. М.: Наука, 1983. – 237 с.

7. Поляков В. Л. О фильтровании суспензий при заданном напоре // Докл. НАН Украины. – 2005. – N 4. – С. 48-54.

8. Горобченко А.И., Гуринич 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.

9. Грабовський П.О., Гуринич Н.О. Чисельна реалізація математичної моделі фільтрування // Науково-технічний збірник «Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки». – Вип. 6. – К.: 2006. – С. 4-13.

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

Получено 29.01.2013