

ПРОЦЕСС ФИЛЬТРОВАНИЯ В СКОРЫХ ФИЛЬТРАХ И КОНТАКТНЫХ ОСВЕТИТЕЛЯХ

Н.А. Гуринчик, *к.т.н.*

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Изучению процесса очистки воды фильтрованием через слой загрузки посвящено множество работ [1-3], так как это один из эффективных способов окончательного осветления для большинства очистных сооружений хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения.

Описание динамики процесса фильтрования – задача весьма трудноразрешимая, так как необходимо учесть большое количество влияющих факторов, для которых практически невозможно вывести аналитическую зависимость.

При работе фильтровальных сооружений возможны следующие варианты (рис. 1):

- скорый фильтр (СФ) – фильтрование сверху вниз (рис. 1, А);
- контактный осветлитель (КО) – фильтрование снизу вверх (рис. 1, Б).

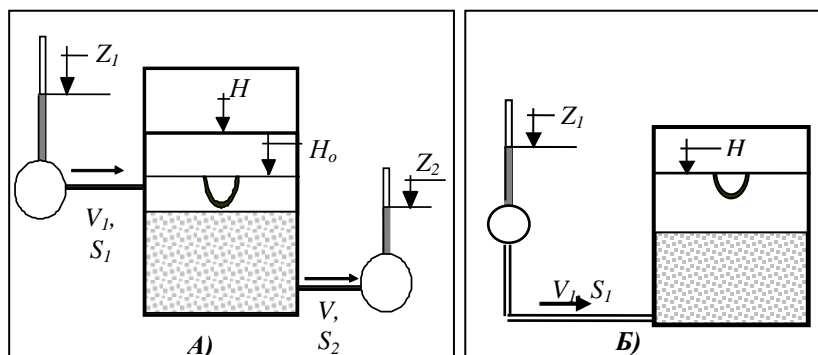


Рис. 1 . Расчетные схемы фильтровальных сооружений

Основные различия между этими сооружениями следующие:

- в КО коагуляция происходит в толще фильтрующей загрузки, хотя, надо отметить, что в некоторых скорых фильтрах (контактных фильтрах) также может происходить контактное коагулирование – данный процесс называют «прямое фильтрования» [4];

– в скорых фильтрах из-за гидравлической сортировки загрузки при промывке фильтрование происходит в направлении от мелких зерен к крупным, а в КО – наоборот;

– в СФ слой воды над загрузкой увеличивается со временем,

– в контактных осветлителях уровень воды неизменен и соответствует отметке кромки сборных желобов, и в результате разрыва потока сопротивление коммуникаций фильтрата не влияет на динамику фильтрования.

Контактный осветлитель обладает следующими преимуществами:

– 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.

К недостаткам работы контактных осветлителей следует отнести уменьшенные скорости фильтрования из-за опасности взвешивания и самопромывания загрузки при потерях напора, больших веса загрузки в воде.

Широкому внедрению КО препятствует отсутствие надежных математических моделей описания процесса. Авторами [3, 5] были разработаны математические модели для описания скорых фильтров в различных режимах их эксплуатации, а также контактного осветлителя [6], приведенные в табл. 1.

Модель работы КО была получена на основе модели СФ, с некоторыми изменениями, связанными с конструкцией контактных осветлителей – работа с постоянным уровнем, нет необходимости учитывать коммуникации фильтрата и уровень воды в последующем сооружении (уравнения 6 и 8 в табл. 1).

В табл. 1 и на рис. 1, 2 были использованы 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 – массовая концентрация твердых частиц в единице объема осадка, г/м³; Z_1 и Z_2 – пьезометрическая отметка в предыдущем сооружении и в трубопроводе фильтрата, м; V_f – скорость подачи воды в фильтр (расход воды, поступающей в сооружение на единицу его площади), м/ч; S_1 и S_2 – сопротивления подводящих коммуникаций и трубопровода фильтрата (включая дренажно-распределительную систему), ч²/м; α и β – коэффициенты, учитывающие влияние физико-

химических свойств воды и взвеси (α – величина безразмерная, а размерность $\beta - \text{м}^{1,4}/\text{ч}^{0,7}$).

Таблица 1. Сводка уравнений математических моделей

Уравнение	Скорый фильтр	Контактный осветлитель	№ ур-я
1	2	3	4
Баланс взвеси [1]	$V \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0;$		1
Кинетика [1]	$\frac{\partial C}{\partial x} = -bC + \frac{a}{V} \rho;$		2
Потеря напора	$h_c(t) = \int_0^L Idx$		3
Гидравлический уклон	$I = \frac{h}{L} = \frac{150vV(1-m)^2}{m^3gd_s^2} + \frac{1,75(1-m)V^2}{m^3gd_s}$		4
Пористость	$m(x,t) = m_o - \frac{\rho(x,t)}{\gamma_o}$		5
Баланс воды в фильтре	$V_1 - V = \frac{dH(t)}{dt}$	-----	6
Расход поступающей в фильтр воды	$V_1 = \left(\frac{Z_1 - H}{S_1} \right)^{0,5}$	$V = V_1 = \left(\frac{Z_1 - H - h(t)}{S_1} \right)^{0,5}$	7
Уровень воды в фильтре	$H = Z_2 + h_c + S_2V^2$	-----	8
Кинетический коэффициент [1]	$a = \alpha \frac{V(t)}{d(x)}$		9
Кинетический коэффициент [1]	$b = \beta \frac{1}{V(t)^{0,7} d(x)^{0,7}}$		10

Данные математические модели решены при следующих начальных и граничных условиях:

$$\left. \begin{aligned} x = 0 \quad C = C_0 \\ t = 0 \quad \rho_o = \rho_o(x), V = V_0, H = H_0, m = m_0 \\ t \rightarrow \infty, \frac{\partial C}{\partial x} = 0, C = C_0, \rho = \rho_{np}, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

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

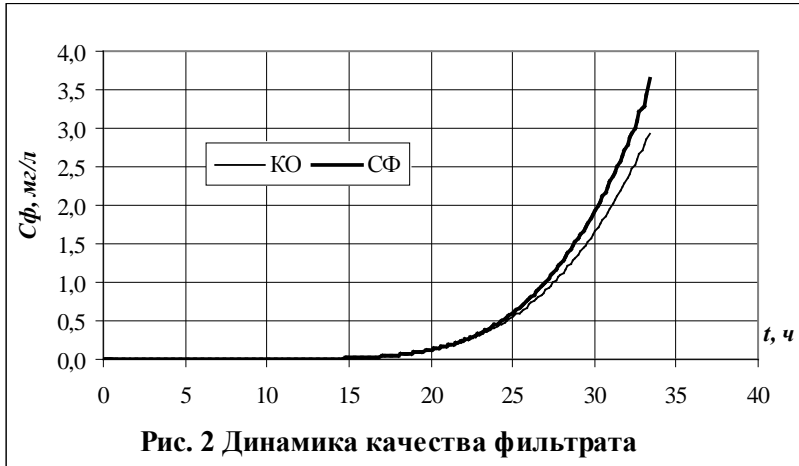


Рис. 2 Динамика качества фильтрата

Для реализации обеих математических моделей применены численные методы, алгоритм реализации которых дан в работах [5, 6].

Произведено сравнение динамики работы скорого фильтра и контактного осветлителя (качество фильтрата, скорость фильтрования и потери напора) для однородной и неоднородной загрузок при следующих исходных данных (табл. 2).

Сравнение показало, что при однородной загрузке оба сооружения работают практически одинаково (рис. 2-4) – это вполне закономерно, так как крупность загрузки постоянна по высоте слоя, и не зависит от направления движения воды.

При использовании неоднородной загрузки различия в работе сооружений более заметное. При фильтровании в направлении уменьшающейся крупности зерен потери напора в загрузке растут медленнее (рис.5), что увеличивает время достижения предельных потерь напора (табл.2). При этом скорость фильтрования выше (рис.6), и поэтому загрязнения проникают глубже в толщу загрузки, что приводит к ухудшению качества фильтрата (рис. 7) и снижению времени защитного действия (табл. 2).

Таблица 2

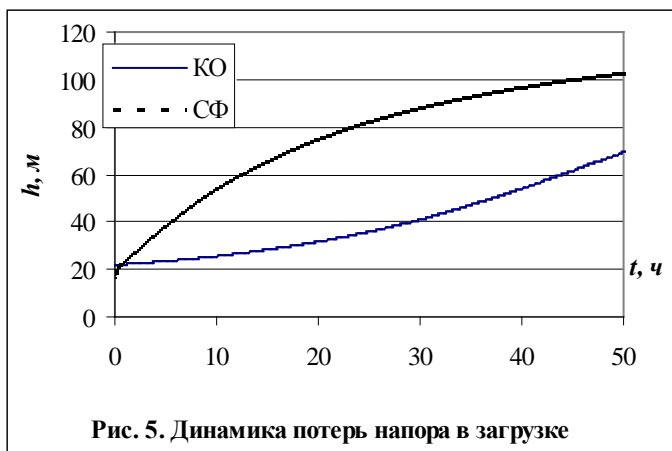
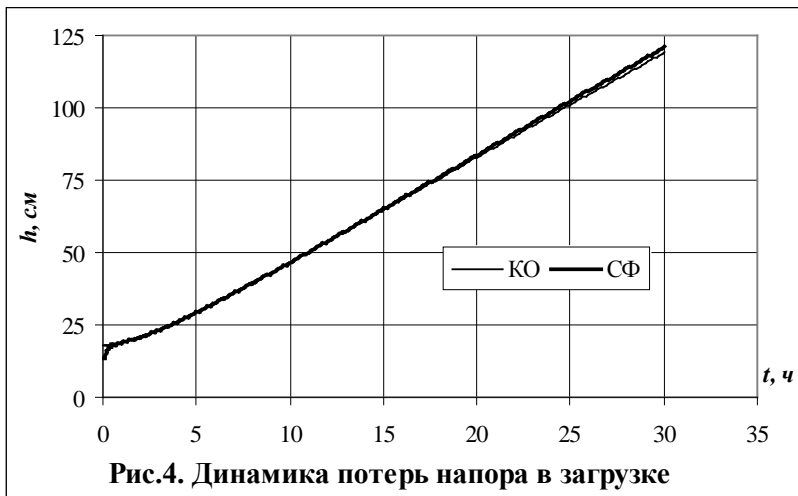
Исходные данные и результаты сравнения моделей КО и СФ

Параметр			Однородная загрузка		Неоднородная загрузка	
			КО	СФ	КО	СФ
Мутность сырой воды	г/м ³	C_0	110	110	60	60
Начальная скорость фильтрования	м/ч	V_n	5,67	5,5	5,67	5,5
Высота слоя загрузки	см	L_0	200	200	200	200
Диаметр зерен загрузки	см	d_s	0,130	0,130	0,1230	0,123
Время достижения предельных потерь напора	ч	T_n	52,25	27,05	>125,0	45,3
Время защитного действия	ч	T_3	29,45	28,70	29,15	32,20

Примечание: В табл. 2 жирным шрифтом выделены результаты расчета.

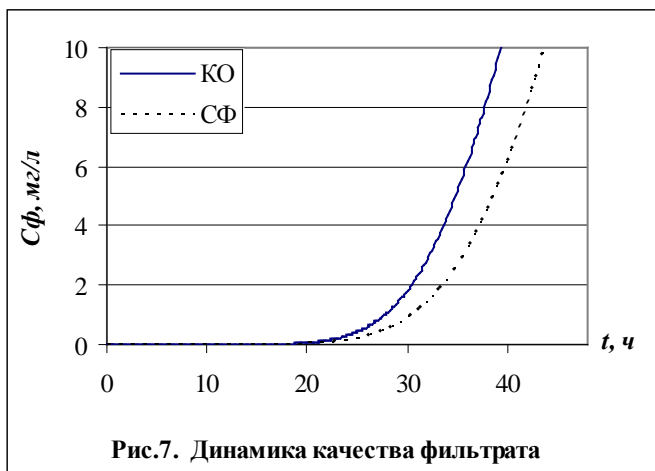
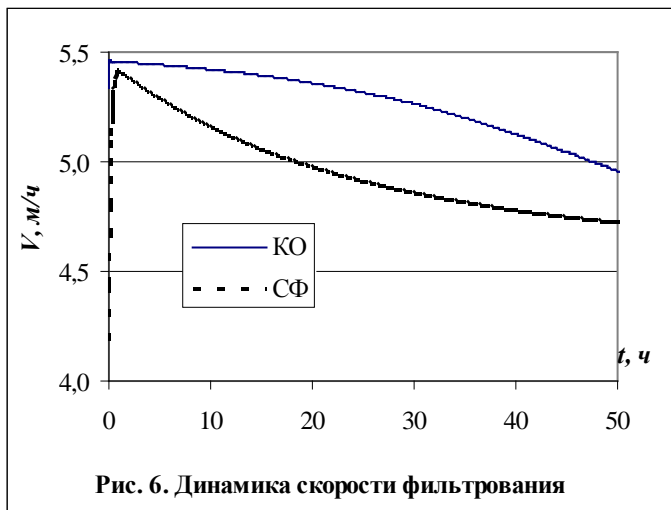


Выводы: таким образом, получены и сопоставлены математические модели основных фильтровальных сооружений (скорох фильтров и контактных осветлителей). Результаты расчета динамики контактного осветления вполне соответствуют физическим представлениям о процессе.



Summary

The developed mathematical models of the rapid filter and contact clarifier are described, results of their comparison are resulted.



Литература

1. Минц Д. М. Теоретические основы технологии очистки воды. М.: Стройиздат, 1964. – 156 с.
2. Поляков В. Л. О фильтрации суспензий при заданном напоре // Докл. НАН Украины. – 2005. – N 4. – С. 48-54.

3. 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 ХНАГ. Часть 1. Харьков: 2008. – С.162-165.

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

5. Грабовський П.О., Гурінчик Н.О. Чисельна реалізація математичної моделі фільтрування // Науково-технічний збірник «Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки» вип. 6., – К.: 2006. – С. 4-13.

6. Гуринчик Н.А. Описание процесса контактного осветления воды // Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст» №107. Харків: 2013. С. 232-235. ISSN 0869-1231