

## РАБОТА ФИЛЬТРОВАЛЬНЫХ СОРУЖЕНИЙ В НАПРАВЛЕНИИ РАЗЛИЧНОЙ КРУПНОСТИ ЗАГРУЗКИ

Гуринчик Н.А.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

*Описаны математические модели скорого фильтра и контактного осветлителя, а также результаты сравнения фильтрования в различных направлениях крупности зерен загрузки. Показана динамика технологических параметров в процессе фильтроцикла разных сооружений и для различных распределений загрузок*

**Ключевые слова.** Фильтрование, контактная коагуляция, скорый фильтр, контактный осветлитель, скорость фильтрования, продолжительность фильтроцикла

*Описано математичні моделі швидкого фільтру і контактного освітлювача, а також результати порівняння фільтрування в різних напрямках крупності зерен завантаження. Показана динаміка технологічних параметрів в процесі фільтроциклу різних споруд та для різних розподілів завантажень*

**Ключові слова.** Фільтрування, контактна коагуляція, швидкий фільтр, контактний освітлювач, швидкість фільтрування, тривалість фільтроцикла.

*Mathematical models of fast contact clarifiers and filters, as well as results of comparison in different directions filtration grain size load. The dynamics of technological parameters in the process of filter different facilities and for different distributions downloads*

**Keywords.** Filtration, contact coagulation, rapid filters, contact clarifiers, filtration rate, the duration of the filtration cycle.

Фильтрование воды через слой песка является традиционным способом очистки и делает ее относительно безопасной для питья. Изучению этого процесса очистки воды посвящено много работ [1-3], так как это один из дешевых и эффективных способов окончательного осветления для большинства очистных сооружений хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения.

Описание динамики процесса фильтрации – задача весьма трудноразрешимая и трудоемкая, т.к. процесс зависит от большого количества влияющих факторов, для которых практически невозможно получить корректную аналитическую зависимость.

При работе фильтровальных сооружений используют следующие варианты конструкций:

- скорый фильтр (СФ) – фильтрация сверху вниз (рис. 1 А);
- контактный осветлитель (КО) – фильтрация в направлении убывающей крупности зерен, т.е. снизу вверх (рис. 1 Б).

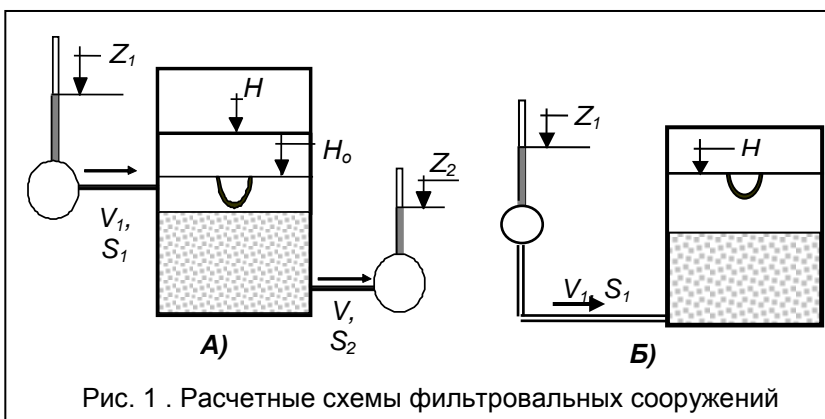


Рис. 1 . Расчетные схемы фильтровальных сооружений

КО обладает следующими преимуществами:

- возможность очищать воду с большими мутностями (до 120 мг/л) и цветностями (до 120<sup>0</sup>);
- бóльшая грязеемкость, из-за чего во многих случаях отпадает необходимость предварительной очистки воды в 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 обеспечивает более полное использование грязеемкости загрузки.

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

Однако широкому внедрению КО препятствует отсутствие надежных математических моделей описания процесса.

Авторами [4,5] 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 упрощениями, вызванными эксплуатацией контактных осветлителей – работа с постоянным уровнем, нет необходимости учитывать сопротивления коммуникаций фильтрата и уровень воды в последующем сооружении (уравнения 6 и 8).

Таблица 1. Сводка уравнений математической модели

Уравнение	Скорый фильтр	КО
1. Баланс взвеси [1]	$V \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0;$	
2. Кинетика [1]	$\frac{\partial C}{\partial x} = -bC + \frac{a}{V} \rho;$	
3. Потеря напора	$h_c(t) = \int_0^L Idx$	
4. Гидравлический уклон	$I = \frac{h}{L} = \frac{150\nu V(1-m)^2}{m^3 g d_3^2} + \frac{1,75(1-m)V^2}{m^3 g d_3}$	
5. Пористость	$m(x,t) = m_o - \frac{\rho(x,t)}{\gamma_o} - \frac{\rho_{осм}(x,t)}{\gamma}$	
6. Баланс воды в сооружении	$V_1 - V = \frac{dH(t)}{dt}$	-----
7. Расход поступающей воды	$V_1 = \left( \frac{Z_1 - H}{S_1} \right)^{0.5}$	$V = V_1 = \left( \frac{Z_1 - H}{S_1} \right)^{0.5}$
8. Уровень воды	$H = Z_2 + h_c + S_2 V^2;$	$H = const$
9. Кинетический коэффициент [1]	$a = \alpha \frac{V(t)}{d(x)}$	
10. Кинетический коэффициент [1]	$b = \beta \frac{1}{V(t)^{0,7} d(x)^{0,7}}$	

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

$V$  – скорость фильтрования, м/ч;  $C$  – массовая концентрация взвеси в воде, г/м<sup>3</sup>;  $\rho$  – концентрация осадка в загрузке, г/м<sup>3</sup>;  $a, b$  – коэффициенты интенсивности отрыва частиц взвеси и их прилипания

к зернам загрузки (кинетические коэффициенты);  $L$  – высота слоя загрузки, см;  $d_z$  – эквивалентный диаметр зерен, см;  $m$  – пористость фильтрующего слоя;  $\nu$  – коэффициент кинетической вязкости воды, см<sup>2</sup>/с;  $\gamma_0$  и  $\gamma$  – массовые концентрации твердых частиц в единице объема осадка до и после промывки, г/м<sup>3</sup>;  $Z_1$  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), ч<sup>2</sup>/м.

Для реализации обеих математических моделей применены численные методы, адекватность результатов были подтверждены сравнением результатов численного счета с теоретическими [1] и опрытными данными работы скорого фильтра [6].

Произведено сравнение динамики работы скорого фильтра и контактного осветлителя (динамика качества фильтрата, скорости фильтрования и потеря напора в загрузке) при следующих исходных данных:

Табл. 2. Исходные данные и результаты сравнения моделей КО и СФ

Параметр			Однородная		Неоднородная	
			КО	СФ	КО	СФ
Мутность сырой воды	г/м <sup>3</sup>	$C_0$	110	110	60	60
Средняя за фильтроцикл скорость фильтрования	м/ч	$V_n$	5,31	5,24	5,37	5,2
Высота слоя загрузки	см	$L_0$	200	200	200	200
Диаметр зерен загрузки	см	$d_z$	0,130	0,130	0,1230	0,123
<b>Время достижения предельных потерь напора</b>	<b>ч</b>	<b><math>T_n</math></b>	<b>27,35</b>	<b>27,05</b>	<b>84,95</b>	<b>64,0</b>
<b>Время защитного действия</b>	<b>ч</b>	<b><math>T_z</math></b>	<b>29,45</b>	<b>28,70</b>	<b>29,15</b>	<b>32,20</b>

Примечание: Жирным шрифтом выделены результаты расчета.

Сравнение показало, что при однородной загрузке оба сооружения работают практически одинаково, что вполне закономерно. Однако, при использовании неоднородной загрузки различие более заметное, т.к. в случае фильтрования в направлении уменьшающейся крупности зерен сопротивление загрузки меньше, а значит, потери растут медленнее, что увеличивает время достижения предельных потерь напора, скорость фильтрования выше, а значит загрязнения проникают вглубь загрузки, что приводит к ухудшению качества фильтрата и снижению времени защитного действия потерь напора (табл. 2).

## Выводы

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

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

2. Поляков В. Л. О фильтровании 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 ХНАГХ. Часть 1. Харьков: 2008. – С.162-165.

4. 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.

5. 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.

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