

## АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

*З.Л. Финкельштейн, д-р техн.наук; Е. Бизянов; Н.З. Бойко, магистр  
Донбасский горно-металлургический институт*

Проблема обработки воды, а именно ее очистки, обеззараживания, умягчения и обессоливания является в настоящее время весьма актуальной. Одним из главных вопросов, который решается при выборе метода обработки воды, является эффективность последнего. В целом в понятие эффективности можно включить такие составляющие, как: производительность, затраты на обработку, влияние на окружающую среду и пр. В литературе [1-10] приводятся основные параметры различных методов и установок для обработки воды: производительность, затраты электрической энергии, реактивов, выход чистой воды. Однако приведенные данные не учитывают всех затрат на обработку (таких, например, как затраты на эксплуатацию и ремонт установок, затраты на капитальное строительство и др.), а также экологических штрафов за сброс отходов. Поэтому, используя только известные данные, сложно оценить и выбрать наиболее подходящий метод с точки зрения как необходимой производительности, так и приемлемых затрат. Используя данные, приведенные в [1–10], сравним затраты на обработку воды различными способами (см. таблицу 1). Здесь:  $PЭ$  – расход электроэнергии на обработку,  $П$  – производительность,  $ДЗ$  – дополнительные затраты.

Полные затраты (предпоследняя колонка таблицы) рассчитаны по формуле

$$З = PЭ \cdot CЭ + PM \cdot CM + ДЗ, \quad (1)$$

где  $PЭ$  и  $CЭ$  – расход и стоимость электроэнергии;

$PM$  и  $CM$  – расход материалов и стоимость материалов;

$ДЗ$  – дополнительные затраты (на эксплуатацию установок, на капитальное строительство и пр.).

Последнюю статью расходов следует рассмотреть особо. Такие способы, как хлорирование, озонирование, обработка ультразвуком, обработка ультрафиолетовыми лучами, серебрение и магнитная обработка позволяют произвести обработку воды на потоке. Все остальные способы предполагают статическую (кипячение, дистилляция, вымораживание) или квазистатическую (электродиализ, электроосмос, обратный осмос) обработку. Причем последние предполагают наличие крупногабаритных установок, которые необходимо устанавливать в отдельных зданиях.

Что касается затрат на эксплуатацию установок, то наибольшими они будут при использовании тех способов, в которых осуществляется расход материалов (реактивов), а также происходит износ частей установок.

Произведем расчет суммарных затрат  $ЗС$  с использованием формулы

$$ЗС = З \cdot K_1 + (1 - BB/100) \cdot ЭК \cdot ПС \cdot K_2, \quad (2)$$

где  $З$  – затраты на обработку, рассчитанные по формуле (1);

$BB$  – выход чистой воды, %;

$ПС$  – плата за сбросы, долл./м<sup>3</sup>;

$ЭК$  – воздействие на экологию (0 – нет воздействия; 1 – есть);

$K_1, K_2$  – безразмерные весовые коэффициенты.

*Таблица 1 - Затраты при применении различных способов обработки воды*

Способ	РЭ, кВт ч/м <sup>3</sup>	П, м <sup>3</sup> /час	Реактив (материал)	Выход воды, %	ДЗ, \$/ м <sup>3</sup>	Итого, \$/ м <sup>3</sup>	Сброс
Обеззараживание							
Хлорирование	1	1000	Cl: 0,60 \$ на 1 м <sup>3</sup>	53	0,016	0,645	+
Озонирование	50	300	-	99	0,015	0,415	-
Серебрение	0,2	10	Ag: 2,5\$ на 1 м <sup>3</sup>	92	0,015	2,52	+
Обработка УФ-лучами	10	200	-	100	0,04	0,32	-
Обработка ультразвуком	2,5	10	-	100	0,006	0,13	-
Разряды	0,1	2	-	100	0,006	0,19	-
Кипячение	25	10	-	95	0,015	0,7	-
Обессоливание							
Дистилляция	20	15	-	95	0,015	0,6	-
Ионный обмен	2	5	0,8\$ на 1 м <sup>3</sup>	90	0,036	0,84	+
Экстракция	4	5	0/3\$ на 1 м <sup>3</sup>	70	0,047	0,35	+
Вымораживание	6,5	3	-	85	0,016	0,21	+
Электродиализ	30	8	-	90	0,015	0,89	+
Электроосмос	18	200	0,43\$ на 1 м <sup>3</sup>	90	0,015	0,44	+
Обратный осмос	5,4	300	0,4\$ на 1 м <sup>3</sup>	90	0,015	0,42	+
Магнитная обработка	0,02	100	-	100	0,006	0,007	-

Логично предположить, что наиболее эффективным будет метод, обеспечивающий максимальную производительность при минимальных затратах. Однако всегда ли нужна большая производительность? Все зависит от того, для какого объекта ведется водоподготовка, т.е. от потребности.

Пусть весовые коэффициенты  $K_1$  и  $K_2$  изменяются в пределах от 0 до 1. В таблице 2 приведены варианты изменения коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$ , позволяющие оценить эффективность с точки зрения минимальных затрат на обработку и экологические штрафы.

Таблица 2 - Варианты изменения коэффициентов  $K_1$  и  $K_2$

Номер варианта	Коэффициент	
	$K_1$	$K_2$
1	0	0
2	0	1
3	1	0
4	1	1

В таблице 3 приведены результаты расчета суммарных затрат для различных методов обеззараживания и умягчения. При расчетах приняты следующие расценки:

- стоимость 1 кВт·ч электроэнергии: 0,029долл.;
- стоимость 1 м<sup>3</sup> сброса: 0,055долл. (средняя).

Таблица 3 - Затраты при применении различных методов обработки воды

Затраты, долл./куб.м	Выход воды,%	ЭК	Метод	Вариант			
				1	2	3	4
0,645	53	1	Хлорирование	0	0,026	0,645	0,671
1,415	92	0	Озонирование	0	0	1,415	1,415
2,520	100	1	Серебрение	0	0	2,520	2,520
0,320	100	0	УФ-лучи	0	0	0,320	0,320
0,190	100	0	Разряды	0	0	0,190	0,190
0,715	95	1	Кипячение	0	0,003	0,715	0,718
0,130	100	0	Ультразвук	0	0	0,130	0,130
0,600	95	0	Дистилляция	0	0	0,600	0,600
0,840	90	1	Ионный обмен	0	0,006	0,840	0,846
0,350	70	1	Экстракция	0	0,017	0,350	0,367
0,210	85	1	Вымораживание	0	0,008	0,210	0,218
0,890	90	1	Электродиализ	0	0,006	0,890	0,896
0,440	90	1	Электроосмос	0	0,006	0,440	0,446
0,420	90	1	Обратный осмос	0	0,006	0,420	0,426
0,007	100	0	Магнитная обработка	0	0	0,007	0,007

### ВЫВОДЫ

- 1 Среди высокопроизводительных методов обеззараживания - хлорирования, озонирования и обработки УФ-лучами наименьшие затраты на обработку имеет обработка УФ-лучами.
- 2 Среди низкопроизводительных методов обеззараживания - серебрения, обработки разрядами, кипячения и обработки ультразвуком-предпочтение следует отдать обработке разрядами и ультразвуком как более дешевым.
- 3 Среди рассмотренных методов умягчения и обессоливания наименьшие затраты при высокой производительности имеет обработка магнитным полем.
- 4 Исходя из вышесказанного, из рассмотренных методов водоподготовки следует рекомендовать: для обеззараживания – обработку УФ-лучами, для умягчения и обессоливания – обработку магнитным полем.

### SUMMARY

*In clause the technique of a rating of technical and economic efficiency of various methods of water treatment is offered: clearing, disinfections and demineralization. The rating is made on the sum of expenses on processing and penalties for waste. The recommendations are offered at the choice of a method of processing depending on productivity and total expenses.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Химия воды. Физико-химические процессы обработки природных и сточных вод /Кульский Л.А., Накорчевская В.Ф. – К. : Вища школа, 1983. – 240 с.
2. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды: В 2 ч./Л.А. Кульский и др.- К.: Наукова думка, 1980.
3. Martin Chaplin. Water: its structure and importance. South Bank University. - UK,2000.
4. Кульский Л. А. Основы химии и технологии воды.-К. : Наукова думка, 1991.-568 с.: ил.
5. Кульский Л. А. Серебряная вода.-9-е изд., перераб. и доп.-К. : Наукова думка, 1987.-136 с.
6. Очистка воды электрокоагуляцией/ Кульский Л.А. и др. - К. : Будівельник, 1978.- 112 с.
7. Классен В.И. Омагничивание водных систем.-М. :Химия, 1978.-240 с.: ил.
8. Влияние материала электродов на физико-химические изменения жидкости при электроразряде/ В. Ф. Романовский, С.Ю. Макеев. В кн.: Физика импульсных разрядов в конденсированных средах// Тез.докл. VII Научн. школы.- Николаев, 1995. - 252 с. - С.120, 121.
9. Электрофизические и экологические свойства периодического разряда в воде с энергией в импульсе ~1 Дж/ В.Л. Горячев, В.Н. Федюкович. - Там же. - С.176-177.
10. А.А.Щерба, С.Н. Захарченко, О.В. Савлук, Н.Г. Потапченко. Технологическая система объемного электроискрового обеззараживания воды: влияние параметров разрядов на антимикробный эффект. Технічна електродинаміка. Спеціальний випуск 2. Київ: ІЕД НАНУ, 1998. – Т.2. - С.41-46.

*Поступила в редакцию 10 декабря 2003 г.*