

## КИНЕТИКА ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ СОЛЕЙ ЖЕСТКОСТИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ВОДЫ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Пилипец Н.В., к.т.н., заведующий НПЛ «Чистая вода»,  
Штенцов Д.Г., аспирант  
Матвеев А.П., главный инженер проекта «Чистая вода»,  
Сечин А.И., д.т.н. профессор,  
НИ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,  
E-mail: chemy@tpu.ru

Физиологическая норма жесткости воды хозяйственно-бытового назначения указана в СанПиНе 2.1.4.1116-02 [1] на бутилированную воду и составляет от 1,5 до 7 ммоль/л. Вода, предназначенная для питья и хозяйственно-бытовых нужд населения, а также коммунальных предприятий и предприятий пищевой промышленности, должна удовлетворять определенным санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым как к самому источнику водоснабжения ГОСТ 2761-84, так и воде, подаваемой потребителям [2]. Достижение и соблюдение данных требований представляет несомненную актуальность. Целью работы являлось изучение кинетики процесса удаления солей жесткости при подготовке воды хозяйственно-бытового назначения.

Положа в основу, что кинетика процесса кристаллизации (выпадение солей жесткости в осадок) проходит в две стадии: первая – образование центров (или зародышей) кристаллизации и вторая – рост зародыша. Кристаллизацию можно отнести к топохимической реакции, следовательно, процесс удаления солей жесткости можно описать уравнением Ерофеева-Аврама или Казеева-Ерофеева с поправкой Саковича [3]:

$$\alpha = 1 - e^{-k\tau^n} \quad (1)$$

где  $\alpha$  – степень превращения вещества,  $k$  – постоянная, определяющая константу скорости реакции.

Константа скорости реакции, согласно поправке Саковича [4]:

$$K = n \cdot k^{1/n}, \quad (2)$$

где,  $n$  – порядок реакции,  $\tau$  – время контакта.

При изучении кинетики были определены закономерности протекания реакции в зависимости от изменения времени контакта, концентрации аммиака и температуры воды.

Исследование кинетики удаления солей жесткости из водопроводной воды проводилось по результатам экспериментальных данных. Зависимость влияния времени обработки воды при перемешивании 17000 об/мин мешалки в присутствии раствора аммиака концентрацией 0,072 % мас. представлена на рис. 1.

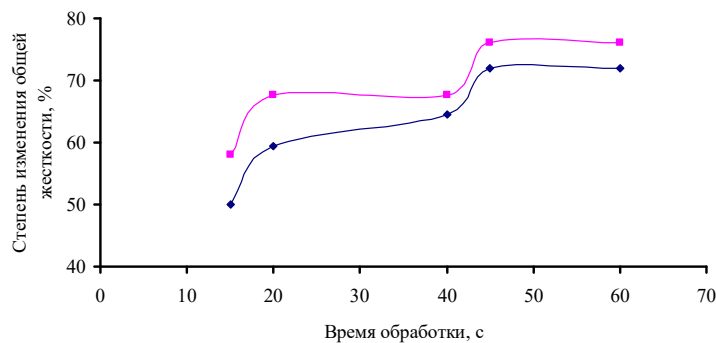


Рис. 1. Степень изменения общей жесткости от времени обработки:  
1 – температура воды 15 °C; 2 – температура воды 40 °C

По результатам представленным на рис. 1 можно сделать вывод, что хороший эффект умягчения воды наблюдается уже после 45 секунд обработки воды и составляет: 72 % для обрабатываемой воды с  $T = 15$  °C; и 76 % для обрабатываемой воды с  $T = 40$  °C.

Исходя из опытных данных, был определен порядок реакции. Согласно уравнению Аррениуса определены энергии активации процесса кристаллизации солей жесткости при воздействии интенсивного перемешивания на водопроводную воду без добавления и с добавлением водного раствора аммиака:

$$K = K_0 \cdot e^{-E/RT} \quad (3)$$

Учитывая максимальные степени умягчения воды (полученные опытным путем), на основании уравнения (1) определено время контакта на границе раздела фаз. Для максимальной степени умягчения водопроводной воды 27 %, которая достигается по истечению 7 дней после применения интенсивного перемешивания, необходимое время для перемешивания (время контакта фаз) составляет 41,1 с. При степени умягчения водопроводной воды на 72 %, после применения интенсивного перемешивания и воздействия водного раствора аммиака время контакта фаз – 43,5 с. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

*Результаты кинетических расчетов при интенсивном перемешивании водопроводной воды с применением и без применения водного раствора аммиака*

Определяемые параметры	Интенсивное перемешивание водопроводной воды	Интенсивное перемешивание водопроводной воды с добавлением аммиака
Порядок реакции, $n$	0,79	0,12
Энергия активации, $E$ (кДж/моль)	31,8	29,5
Степень умягчения раствора воды, %	27	72

В результате термодинамических расчетов определен радиус зародыша кристалла, образованный после интенсивного перемешивания с применением водного раствора аммиака, зависящий от движущей силы процесса (окислительно-восстановительного потенциала).

$$G = V \cdot \frac{\rho}{M} \cdot (\mu_2 - \mu_1) + \sigma \cdot S, \quad (4)$$

где  $V$  – объем вещества новой фазы;  $\rho$  – плотность;  $M$  – молекулярная масса;  $\mu_1, \mu_2$  – химические потенциалы;  $\sigma$  – удельная свободная поверхностная энергия границы зародыша со средой;  $S$  – площадь поверхности зародыша.

Результаты расчета радиуса зародыша представлены в табл. 2.

Таблица 2

*Результаты расчета радиуса зародыша*

Определяемые параметры	Интенсивное перемешивание водопроводной воды с добавлением водного раствора аммиака
Свободная энергия Гиббса, кДж/моль	-74
Энергия активации, кДж/моль	29,5
Движущая сила процесса, $\mu$ , мВ	133
Радиус зародыша, мкм	0,89

### Выводы

Изучена кинетика процесса удаления солей жесткости при подготовке воды хозяйственно-бытового назначения.

### Список литературы

1. СанПиН 2.1.4.1116-02 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества»; Введ 01.07.2002 г.
2. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».
3. Шечков Г.Т. Физикохимия процессов получения неорганических солей с регулируемыми свойствами//Учебное пособие, Барнаул. – 1989 г. – 81 с.
4. Судариков Б.Н., Раков Э.Г. Процессы и аппараты урановых производств: учебное пособие – М.: Машиностроение, 1969. – 381 с.