

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

*Пилипец Н.В., к.т.н., заведующий НПЛ «Чистая вода»,
Матвеев А.П., главный инженер проекта «Чистая вода»,*

Штенцов Д.Г., аспирант

Сечин А.И., д.т.н., проф.,

Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30,

тел.8(923)-421-29-97

e-mail: chemy@tpu.ru

Физиологическая норма содержания солей жесткости в воде хозяйственно-бытового назначения указана в СанПиН 2.1.4.1116-02 [1] на бутилированную воду и составляет от 1,5 до 7 ммоль/л. В тоже время, вода питьевая, 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].

На основе сведений [1, 2] можно сделать вывод, что для физиологических потребностей человека жесткость воды не должна быть ниже 1,5. Так же установлена верхняя граница общей жесткости воды на уровне 7 мг-экв/л, при использовании воды из подземных источников с разрешения органов санитарно-эпидемиологического надзора – до 10 мг-экв/л.

Известно, что вода с общей жесткостью свыше 7 мг-экв/л имеет неблагоприятные, как в техническом отношении, так и в бытовом, свойства:

- в теплоэнергетике способствует образованию накипи в котлах и трубах. Накипь уменьшает теплопередачу, увеличивает расход топлива; уменьшает срок службы труб, затрудняет циркуляцию горячей воды, может вызвать аварию;
- в текстильной промышленности жесткость воды мешает отделке тканей;
- мыла в жесткой воде теряют эмульгирующие и поверхностно-активные свойства, поскольку образуют нерастворимые кальциевые и магниевые соли [3].
- в жесткой воде хуже развариваются мясо, овощи и бобовые, так как соли кальция образуют с белками нерастворимые соединения, препятствующие усвоению продуктов; чай в жесткой воде плохо настаивается и вкусовые качества его снижаются [4].
- высокое содержание в питьевой воде солей кальция и магния является фактором риска мочекаменной болезни [5].

Кинетика процесса кристаллизации (выпадение солей жесткости в осадок) имеет 2 стадии: 1 – образование центров (или зародышей) кристаллизации 2 – рост зародыша. Кристаллизацию можно отнести к топохимической реакции, следовательно, процесс удаления солей жесткость можно описать уравнением Ерофеева-Аврама или Казеева-Ерофеева с поправкой Саковича [6]:

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

где α – степень превращения вещества; K – постоянная, определяющая константу скорости реакции; K – константа скорости реакции, согласно поправке Саковича [7]:

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

где, n – порядок реакции, t – время контакта, с.

При изучении кинетики необходимо определить закономерности протекания реакции в зависимости от изменения времени контакта, концентрации аммиака, температуры воды.

По результатам экспериментальных данных проведено исследование кинетики процесса удаления солей жесткости из раствора водопроводной воды.

Результаты проведенных экспериментов, позволили построить зависимость степени снижения общей жесткости раствора водопроводной воды от температуры воды при перемешивании 17000 об/мин [8].

На основании исследований влияния водного раствора аммиака на процесс умягчения воды построен график зависимости степени умягчения воды.

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 истечении 7 дней после применения интенсивного перемешивания, необходимое время для перемешивания (время контакта фаз) составляет 41,1 сек. При степени умягчения водопроводной воды на 72 %, после применения интенсивного перемешивания и воздействия водного раствора аммиака время контакта фаз – 43,5 сек. Результаты проведенных исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты кинетических расчетов интенсивного перемешивания водопроводной воды с применением водного раствора аммиака 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 проведенных термодинамических расчетов, с применением уравнения изменения свободной энергии Гиббса, был определен радиус зародыша кристалла, образованный после интенсивного перемешивания с применением водного раствора аммиака, зависящий от движущей силы процесса (окислительно-восстановительного потенциала). Распределение размера зародыша при известной энергии активации, равной 29,5 кДж/моль, представлено на рис. 1.

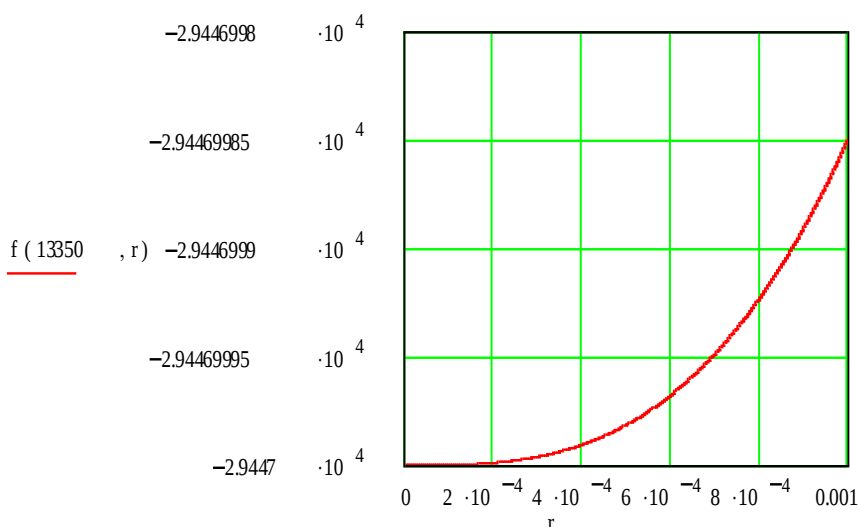


Рис. 1. График распределение размеров зародыша кристаллов

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

где, V – объем вещества новой фазы; ρ – плотность; M – молекулярная масса; μ_1, μ_2 – химические потенциалы; σ – удельная свободная поверхностная энергия границы зародыша со средой; S – площадь поверхности зародыша.

$$\begin{aligned} E &= 29447; \\ f(\Delta\mu, r) &:= (2711/75) \cdot \pi \Delta\mu r^3 - E + (73/250) \cdot \pi r^2; \\ r &:= 0,1 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^{-3}. \end{aligned}$$

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, μ , мВ	133
Радиус зародыша, мкм	0,89

Выводы

В результате проведенного исследования было установлено время контакта фаз, необходимое для умягчения воды до 76 %, оно составило 43 с, размер зародыша кристалла, образованный в результате воздействия 0,072 % мас. аммиака и интенсивного перемешивания составил 0,89 мкм, среднеквадратичный диаметр частиц – 1,419 мкм.

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. Федосова Н.Л. Химические основы полимеров и вяжущих веществ: сборник задач и упражнений: учебное пособие / Н.Л. Федосова, В.Е. Румянцева. – М.: АСВ, 2005. – 176 с.
4. Волкотруб Л.П. Питьевая вода Томска. Гигиенический аспект / Л.П. Волкотруб, И.М. Егоров. – Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – 195 с.
5. Мазаев В.Т., Шлепнина Т.Г., Мандрыгин В.И.. Контроль качества питьевой воды. – М.: Колос, 1999. – 168 с.
6. Щечков Г.Т. Физикохимия процессов получения неорганических солей с регулируемыми свойствами // Учебное пособие, Барнаул. – 1989 г. – 81 с.
7. Судариков Б.Н., Раков Э.Г. Процессы и аппараты урановых производств: учебное пособие – М.: Машиностроение, 1969. – 381 с.
8. Куликова М.В., Косинцев В.И., Сечин А.И., Бордунов С.В., Прокудин И.А., Кудрин О.А. Станция питьевого водоснабжения для малых поселков // Известия Томского политехнического университета. Томск, 2010. – Т. 317, Вып. 3. – С. 222–226.