

ПРЕДПОСЫЛКИ И ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ ОДНОМЕРНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ОСТАТОЧНОГО АЛЮМИНИЯ ПРИ ФИЛЬТРОВАНИИ ЧЕРЕЗ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ ЗАГРУЗКИ

Рассматриваются причины появления алюминия в питьевой воде. Приведены предпосылки и основные уравнения одномерной математической модели.

Для очистки природных вод от мельчайших коллоидных и диспергированных частиц методом коагуляции в качестве коагулянта чаще всего применяют сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3$. После введения коагулянта в растворе образуются положительно заряженные коллоидные частицы нерастворимого гидроксида алюминия ($Al(OH)_3$). Это происходит в результате действия различных механизмов и химических реакций (диссоциации, ионного обмена и т.д.). Частицы гидроксида образуют в растворе сначала мелкие, а затем более крупные хлопья [1-4] в результате сорбционных или других процессов взаимодействия (флокуляции). Удаление этих хлопьев из раствора происходит путем гравитационного осаждения в отстойниках или при фильтровании путем адсорбции на поверхности зерен и осаждения в порах загрузки.

Известно [2], что на процесс коагуляции влияют различные факторы, прежде всего pH среды. Установлено, что в результате гидролиза в растворе образуются ионы водорода H^+ , излишнее количество которых приводит к снижению pH раствора и вместе с тем к замедлению дальнейшего гидролиза (образования $Al(OH)_3$) и накоплению ионов Al^{3+} . Согласно существующим представлениям, минимальная концентрация ионов Al^{3+} в растворе должна быть при $pH=6,5-7,5$. Поэтому необходимо, чтобы тормозящие дальнейшее прохождение реакции гидролиза находящиеся в избытке ионы водорода H^+ удалялись из раствора.

Проведенные нами исследования [5] показали, что решение этой задачи можно осуществить фильтрованием раствора через загрузки, обладающие окислительно-восстановительными свойствами, в которых функцию нейтрализации водорода выполняет активный металл.

Таким образом, с учетом высказанных выше представлений о механизмах процесса удаления алюминия из раствора в условиях достаточного количества активного металла математическая модель будет состоять из уравнений материального баланса, записанных относительно концентраций иона Al^{3+} и гидроксида $Al(OH)_3$ в фильтрующей загрузке.

При построении модели принимались следующие предпосылки:

1. Удаление Al^{3+} ($Al(OH)_3$) с помощью фильтрования через окислительно-восстановительные загрузки происходит из водного раствора после прохождения технологической очистки от взвесей, т.е. практически отсутствуют или присутствуют в небольших количествах взвешенные и другие частицы, влиянием которых при описании процесса можно пренебречь.

2. После этого на фильтр поступает водный раствор, который в результате прохождения процесса коагуляции содержит Al^{3+} , H^+ , OH^- и коллоидные частицы (агрегаты) гидроксида $Al(OH)_3$ в чистом виде или в виде укрупненных образований, которые не успели осесть в отстойнике.

3. Скорость прохождения реакции гидролиза зависит от целого ряда факторов (от ионного состава раствора, температуры, pH среды и т.п.).

4. Поступление активного металла в раствор и его влияние на прохождение реакции происходит равномерно по всему объему фильтра. Кроме того, внесение в фильтр даже небольших доз активного металла оказалось достаточным для прохождения реакции. Этот процесс не лимитируется количеством активного металла при определенных его концентрациях.

5. Таким образом, рассматриваются миграция, кинетика и трансформация только мигрантов Al^{3+} , $Al(OH)_3$ при достаточном количестве в растворе ионов Me^n .

Обозначим: C_1 и C_2 – массовые концентрации Al^{3+} и $Al(OH)_3$ в растворе (жидкой фазе), мг/л; σ_2 – массовая концентрация (количество) $Al(OH)_3$ в неподвижной твердой фазе (на зернах загрузки и неподвижном осевшем осадке) в единице объема фильтра, мг/дм³.

Тогда исходные уравнения для одномерной модели, так как процесс фильтрования преимущественно происходит в направлении оси x (сверху вниз), в общем случае имеют следующий вид:

- нестационарное уравнение материального баланса для иона Al^{3+} , находящегося в фильтрующем растворе:

$$n_o \frac{\partial C_1}{\partial t} = -v \frac{\partial C_1}{\partial x} - K_o C_1; \quad (1)$$

- нестационарное уравнение материального баланса для гидроксида $Al(OH)_3$, находящегося в фильтрующем растворе:

$$n_o \frac{\partial C_2}{\partial t} = -v \frac{\partial C_2}{\partial x} + K_o C_1 - \frac{\partial \sigma_2}{\partial t}; \quad (2)$$

- нестационарное уравнение материального баланса для гидроксида $Al(OH)_3$, образовавшегося на зернах загрузки и в осадке:

$$\frac{\partial \sigma_2}{\partial t} = \varphi_1(\sigma_2) C_2 + \varphi_2(\sigma_2) C_2 - a \sigma_2. \quad (3)$$

В уравнении (1) первый член обозначает аккумуляцию (накопление) в емкости фильтра, второй – конвективный перенос, третий – реакцию гидролиза (переход Al^{3+} в $Al(OH)_3$).

В уравнении (2) четвертый член обозначает скорость, которая описывает процесс обмена между жидкой и твердой фазами; остальные члены уравнения (2) аналогичные членам уравнения (1), но записанные для гидроксида $Al(OH)_3$.

В уравнении (3) первый член обозначает накопление гидроксида в твердой фазе, второй – адсорбцию гидроксида на зернах загрузки, третий – осаждение из раствора образовавшихся укрупненных соединений $Al(OH)_3$ и образование в порах загрузки неподвижного осадка, четвертый – возможный отрыв частиц $Al(OH)_3$ из неподвижной фазы и поступление их обратно в раствор.

В этих уравнениях принято: v – скорость фильтрования; n_o – пористость загрузки; K_o – константа скорости реакции гидролиза, значение которой, как указывалось выше, зависит от целого ряда факторов, а в данной модели прежде всего от наличия или отсутствия в

растворе ионов Me^n ; a – константа скорости возможного отрыва частиц $Al(OH)_3$ от поверхности среды.

Так как процессы обмена происходят в одном направлении (из раствора к твердой фазе), то они могут быть описаны уравнениями кинетики необратимой реакции. В этом случае наиболее часто принимается уравнение кинетики физической сорбции, при которой функция $\varphi_1(\sigma_2)$ является постоянной и равной K_1 – константе скорости адсорбции.

При кинетике обмена, который связан с осаждением в порах загрузки образовавшихся в растворе укрупненных соединений $Al(OH)_3$, наиболее приемлемы следующие выражения для функции $\varphi_2(\sigma_2)$:

$$\varphi_2(\sigma_2) = \gamma(\sigma_{\max} - \sigma_2); \quad (4)$$

$$\varphi_2(\sigma_2) = K_2, \quad (5)$$

где γ – константа скорости прилипания взвеси к поверхности среды; σ_{\max} – предельная концентрация (предельное количество осадка) в загрузке; K_2 – константа скорости осаждения.

Таким образом, приведенные выше уравнения математической модели (при дальнейшем преобразовании для различных x и t) позволяют решать сложную технологическую задачу по удалению остаточного алюминия из питьевой воды, который может оставаться в ней после коагуляционной обработки.

1. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. – М.: Наука, 1977. – 256 с.

2. Кульский Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды. – К.: Наукова думка, 1983. – 528 с.

3. Николадзе Г.И., Минц Д.М., Кастаньский А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. – М.: Высш. шк., 1984. – 368 с.

4. Кульский Л.А., Терновцев В.Е., Сергеев Ю.С. Моделирование процесса очистки воды от взвешенных веществ // Химия и технология воды. Т.9, №1. – 1987. – С.12-15.

5. Обертас И.А. Исследование процесса удаления алюминия из питьевой воды путем фильтрования // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.14. – К.: Техніка, 1998. – С.66-67.

Получено 25.01.2000

© Обертас И.А., 2000