

УДК 697:628

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ МАССОБМЕНА В  
ДВУХФАЗНЫХ ПОТОКАХ СИСТЕМЫ  
«ТВЁРДАЯ ЧАСТИЦА – ЖИДКОСТЬ» ВО  
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЦИКЛАХ ВОДОПОДГОТОВКИ  
ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИХ УСТАНОВОК**

Степанова Э. В., Хоменко О. И. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

**В настоящей статье приведены теоретические основы задачи массообмена в ионизированных системах очистки воды от катионов жесткости в аппаратах вспомогательных циклов теплогенерирующих установок.**

Кинетика ионного обмена, применяемого в оборудовании вспомогательных циклов теплогенерирующих установок (фильтрах катионного обмена) подчиняется законам диффузионных процессов массопереноса. Они протекают в случаях отклонения реальных процессов аппаратов (рабочих линий) от состояния равновесия.

При протекании растворов (вода с катионами жесткости) через слой фильтра – полидисперсный слой со средним диаметром частиц, достигается динамическое равновесие, при котором на результат переноса влияют кинетические факторы скорости протекания через слои.

В ионизированных системах реакция обмена определяется скоростью ионного обмена, диффузией подвижных ионов непосредственно в зерне фильтра и на его границах по сравнению с реакцией между фиксированными на фильтре ионами и подвижными противоионами. В результате разность потенциалов переноса предотвращает с одной стороны проникновение анионов через поверхность частичных фильтров, а с другой стороны составляет движущую силу массообмена катионов раствора на поверхность частиц.

Процесс диффузии выглядит следующим образом (рис. 1).

Объём раствора содержит избыток катионов с постоянной эффективной концентрацией  $C_0$ . Статический слой вокруг твёрдой частицы известен как плёнка Нернста, пограничный слой толщиной  $\delta$ , окружает твёрдую частицу и плотно прилегает к ней. Перемещение катионов вовнутрь частицы происходит только за счёт молекулярной ионной концентрационной диффузии. Здесь в плёнке  $\delta$  заключено основное диффузионное сопротивление переносу массы. Вне плёнки концентра-

ция катионов практически постоянна, равна  $C_0$  концентрации в растворе.

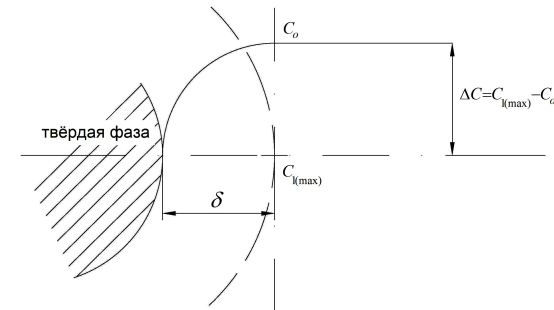


Рис. 1. Процесс диффузии

Градиент концентрации заключен внутри пленки и составляет

$$\vec{AC} = \frac{C_{l(max)} - C_0}{\delta}$$

и он является движущей силой массообмена на твердой частице через пограничную пленку  $\delta$ . Этот процесс массообмена лимитирует два процесса, либо:

1) диффузия катионов изнутри частицы фильтра на поверхность – определяется коэффициентом диффузии  $D$ , м<sup>2</sup>/сек;

2) диффузия в пленке Нернста – определяется градиентом конденсации катионов в пленке,  $\overline{gradC_i}$ , моль/м<sup>2</sup>. тогда процесс массопереноса на сферической твердой частице в потоке раствора через пограничную ламинарную пленку вокруг частицы может быть описан законом Фика:

$$j = -D_i \overline{gradC_i}$$

$j$  – плотность потока катионов в направлении, нормальном к поверхности, моль/сек · м<sup>2</sup>;  $\overline{gradC_i}$  – градиент концентрации катионов в пленке, моль/м<sup>2</sup>;  $D$  – коэффициент диффузии катионов в воде, м<sup>2</sup>/сек.

Если  $D_i = \text{const}$  не зависит от  $C$  и градиента концентрации, то уравнение записывается так:

$$j_i = k_i (C_{1(\text{max})} - C_o),$$

где  $k$  – коэффициент массопередачи;  $C = C_{1(\text{max})} - C_o$  – разность концентрации катионов на поверхности частиц и в центр потока раствора, моль/м<sup>3</sup> так как диффузия катионов внутри зерен фильтра всегда медленнее, чем в растворе по причине малых коэффициентов диффузии,  $D_i$ , внутри твердых частиц, то задача сводится к внешней диффузии с поверхности частиц в раствор.

Поэтому она может быть решена по законам внешней задачи массопередачи и с определением коэффициента массопередачи в фильтрах теплогенерирующих установок.

Расчет проведен для фильтров с частицами сульфоугля определенной дисперсности, плотности и порозности в стационарных условиях работы фильтров при Na-катионировании воды при заданной производительности фильтра при заданной температуре  $t_{\text{воды}} = 25^\circ$ , т.е. наиболее общей технической задачи катионирования, в которой рассчитывали все необходимые составляющие уравнения массопередачи, приведенного выше.

### **Выводы**

В работе показано, что фильтры катионирования воды в циклах водоподготовки теплогенерирующих установок могут быть рассчитаны точно согласно теории массообмена в двухфазных дисперсных потоках в системах «твёрдая частица-жидкость».

1. Степанова Э. В. Обобщения данных по исследованию массообмена в различных при обработке некоторых материалов в недвижимом и псевдосжиженном слое в системе твёрдое тело-газ//Весті АНБССР Сер. Физ-енерг. наук. 1986. №4 с. 90-95

2. Степанова Э.В., Мостовой Т.В., Лавецкий С.К. Радиационный теплообмен и методы расчёта прогрессивных технологий на его основе. Сб. мат. 59й ежегодной научно-технической конференции. Секция ТГСВ. Одесса: ОГАСА, 2001, с. 12-13

3. Степанова Э.В., Елькова Л.В., Крантовский А.С. Принципы определения основных характеристик процессов неперерывной скоростной терморadiационной обработки труб. Сб. мат. научно-технической конференции «Энергосбережение в системах отопления, вентиляции кондиционирования». Секция ТГС. Одесса, ОГАСА, 2003г. с. 62-67.