

УДК 537.5

Электродиализный метод умягчения и снижения щелочности воды

В. М. Проскурин, Н. В. Смирнов

ФГУП «НПО "Орион"» — Государственный научный центр, Москва, Россия

Дан обзор способов умягчения и снижения щелочности воды. Рассмотрен метод электродиализного обессоливания воды с использованием ионообменных мембран. Проведено математическое моделирование этой задачи. Воспроизведены численные расчеты модельных задач.

Введение

Деминерализация воды в промышленных масштабах осуществляется четырьмя способами: дистилляция, ионный обмен, обратный осмос и электродиализ. Для получения деионизованной воды обычно применяют сочетание нескольких способов. Основными критериями оценки способов являются их экономические и экологические показатели.

Дистилляция не требует химреагентов, но процесс энергоемок. *Ионный обмен* позволяет получить наиболее глубокую очистку воды, но экологически мало перспективен из-за необходимости сброса значительного количества отработанных регенерационных растворов и отмывочных вод; кроме того, при ионном обмене применяются дорогостоящие ионообменные смолы. *Обратный осмос* в меньшей степени, но обладает всеми недостатками указанных способов: большая энергоемкость, необходимость применения химреагентов, потери исходной воды до 40 % и низкая степень очистки. *При электродиализе* из всего объема исходной воды через ионоселективные мембраны под воздействием внешнего поля постоянного тока извлекаются только гидратированные ионы солей и незначительное количество воды при ее осмотическом переносе в камеры концентрирования; сброс не превышает 3—5 % производительности аппарата; процесс не требует химреагентов, а энергоемкость составляет 1 Вт на 1 л деминерализованной воды.

Перечисленные способы невозможно реализовать изолированно: они в той или иной степени требуют обязательной предварительной подготовки воды. От качества воды, полученной после предварительной очистки, зависят рентабельность и эффективность выбранного способа деминерализации воды.

Одним из основных параметров, влияющих на выбор способа, является жесткость исходной воды. Образование накипи в дистилляторах, резкое увеличение расхода реагентов при ионном обмене, возможность осадкообразования на мембранах

ухудшают параметры процесса и приводят к необходимости разбавления потока концентрата, а следовательно, к дополнительным энергозатратам и большим потерям (до 50 %) исходной воды, что ухудшает экологические и экономические характеристики процесса. Поэтому процесс умягчения исходной воды представляет собой важную составную часть прогрессивных технологий деминерализации и особенно мембранной технологии.

Основным способом умягчения воды является ионный обмен на Na-катионитовых фильтрах насыпного типа. В процессе фильтрования воды через слой загрузки ионита формируются три участка: отработавший, рабочий и неработавший. Высота фронта сорбции участка, расположенного между первым и третьим по ходу фильтрата, зависит от многих факторов, которые при расчете объединяются эмпирическими выражениями.

Основным направлением интенсификации ионообменного процесса в фильтрах следует считать максимально возможное сокращение объема загрузки ионита, не участвующего непосредственно в процессе ионирования (в пределах до объема, определяемого высотой слоя сорбции), при условии непрерывного восстановления его объемной способности. В этих целях предлагается применение непрерывного ионного обмена, получившего распространение в США, Японии, Франции, Германии, Великобритании. Такие установки созданы и работают в России.

Возможны два принципиальных решения для создания процесса непрерывного ионного обмена с использованием гранулированных ионитов: перемещение ионита по зонам процесса и самих зон по слою ионита. Наибольший интерес представляет второе решение, так как его реализация не требует ионитов повышенной прочности на истирание и специальной запорной арматуры.

Электродиализ

Значительный интерес представляют непрерывные процессы умягчения воды с использова-

нием ионоселективных мембран, ионообменных смол и внешнего поля постоянного электрического поля. Пример такого технологического решения иллюстрирует принципиальная схема процесса, разработанная в США, в которой исходная вода подвергается умягчению и снижению щелочности при последовательном прохождении анионита и катионита, соответственно расположенных между анионитовыми и катионитовыми мембранами, находящимися в поле постоянного электрического поля. В камеры, разделяющие электроды и сочетающие анионитовые засыпки с анионитовыми мембранами и катионитовые засыпки с катионитовыми мембранами, подаются растворы NaCl и NaOH, обеспечивающие непрерывный ионный обмен между примесями в исходной воде и генерируемыми с помощью электрического поля ионами Na^+ и Cl^- из растворов NaCl и NaOH. Предложенный способ снижения жесткости и щелочности требует применения двух реагентов, обеспечивающих непрерывный процесс ионного обмена: NaCl и NaOH.

Предлагаемая нами модель (рис. 1) аналогичного назначения имеет значительное отличие, поскольку построена на использовании только NaCl с последующим смещением полученных отработанных регенерационных растворов для приготовления исходного регенерационного раствора, что не только экономит NaCl, но и позволяет полностью отказаться от использования остродефицитного и сравнительно дорогого раствора NaOH.

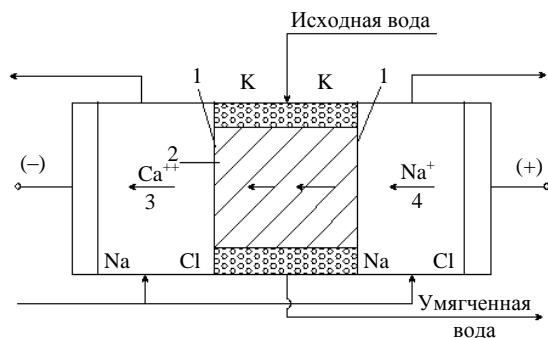


Рис. 1. Схема электродиализного аппарата умягчения воды

Здесь катионообменная смола заключена между двумя катионоселективными мембранами 1. Через катионообменник 2 постоянно пропускается исходная вода, а с внешней стороны мембран организованы два потока раствора NaCl: в прикатодном 3 и прианодном 4 пространствах. Вся система находится в поле постоянного тока между двумя электродами. В данном случае процессы сорбции и регенерации совмещены в одной зоне, а отмывка вообще отсутствует. Из анодной зоны под действием поля постоянного тока ион Na^+ через катионоселективную мембрану поступает в ионообмен-

ную смолу и вытесняет из нее катионы жесткости, которые через вторую катионоселективную мембрану попадают в катодную зону и далее на сброс.

Сравнение различных схем умягчения и снижения щелочности, с точки зрения эффективности их работы, возможно лишь экспериментальным путем, что в конечном счете требует значительных затрат на проведение эксперимента и включает фактор помех, связанных с технологическими характеристиками ионоселективных мембран и геометрии камер дьюалита и рассола.

Математическое моделирование

Ряд трудностей проектно-конструкторского характера вызван тем, что расчеты электроионитовых аппаратов проводились на детерминированных математических моделях, не отражающих физико-химическую сущность процессов, происходящих в ячейках электродиализатора. Теоретический анализ массообмена в процессе электродиализа можно свести к решению уравнения Нерста–Планка–Доннана. Была сделана попытка упрощенного подхода к решению этого уравнения методом Фаэдо–Галеркина, она представляет собой первое приближение создания математической модели, на основании которой можно проводить сравнительный анализ схем, исключая фактор помех и позволяющая оптимизировать геометрию, гидродинамику и вольт-амперные характеристики в процессе умягчения и снижения щелочности исходных водных растворов.

Для решения задачи была выбрана следующая модель электродиализного аппарата (рис. 2). Аппарат представляет собой периодически расположенные каналы обессоливания и каналы концентрирования, разделенные анионитовыми и катионитовыми мембранами. В каналах обессоливания жидкость движется вдоль стенок, в каналах концентрирования происходит интенсивное перемешивание. Наложенное на аппарат электростатическое поле направлено перпендикулярно стенкам камер.

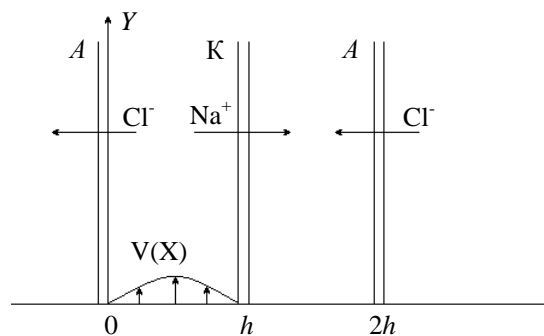


Рис. 2. Математическая модель электродиализного аппарата

Проведено математическое моделирование этой задачи. Для численного решения математической модели использован неполный метод Галеркина, сводящий начально-краевые задачи для уравнения теплопроводности к системе задач Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений, которая решается численно с помощью стандартного численного метода Рунге–Кутты.

Заключение

Проведенные численные расчеты модельной задачи показали эффективность предложенного алгоритма и позволили получить оригинальные сведения о явлениях, протекающих в рассматриваемой задаче.

Статья поступила в редакцию 11 октября 2006 г.

Electrodialysis method of softening and decrease causeticity waters

V. M. Proskurin, N. V. Smirnov

Orion-Research-and-Production Association, Moscow, Russia

The review of ways for softening and dealcalization of water is made. The method of electro dialysis desalination of water with use the ion-exchanging membranes is considered. Mathematical modelling this problem is lead. Numerical calculations of modelling problems are reproduced.

УДК 541.1+665.7.085(07)

Взаимосвязь физико-химических и цветовых свойств углеводородных систем в колориметрических системах RGB и XYZ

М. Ю. Доломатов, Г. У. Ярмухаметова, Л. А. Доломатова
Уфимская государственная академия сервиса, г. Уфа, Россия

Определены и изучены цветовые характеристики многокомпонентных высокомолекулярных углеводородных систем (УВС). Исследования проведены в колориметрических системах XYZ и RGB. Установлены линейные зависимости между цветовыми характеристиками и различными физико-химическими свойствами исследуемых веществ. Выводы подтверждены статистической обработкой данных.

Введение

Развитие новых технологий и необходимость экспрессного контроля производства и состояния окружающей среды требуют совершенства физических методов исследования сложных физико-химических систем. Стандартные способы исследования физико-химических свойств (ФХС) углеводородных многокомпонентных систем (УМС) [1, 2] характеризуются трудоемкостью, длительностью и сложностью обработки результатов. Определенные перспективы в этом направлении открывают методы спектроскопии в УФ- и видимой областях [3] и методы ЯМР [4].

В ранее произведенных исследованиях было установлено, что в УМС с удовлетворительной для практики точностью выполняются зависимо-

сти, которые получили название корреляции "спектр—свойство" [3, 5, 6].

$$Z = A + BK_{\lambda},$$

где Z — одно из физико-химических свойств УМС;

K_{λ} — один из коэффициентов поглощения излучения раствора вещества в ультрафиолетовой, видимой и ближней, инфракрасной областях спектра при длине волны λ ;

A, B — эмпирические коэффициенты, определяемые физико-химическими свойствами, природой изучаемых систем и диапазоном электромагнитного спектра.

Дальнейшие исследования [7] показали, что в УМС выполняется также линейная корреляция