

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

## **БЕЗРЕАГЕНТНЫЕ СПОСОБЫ РАЗДЕЛЕНИЯ ВЕЩЕСТВ НА ИОНООБМЕННИКАХ**

Учебное пособие для вузов

Составители:  
О.Н. Хохлова,  
В.Ю. Хохлов

Воронеж  
Издательский дом ВГУ  
2014

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
Безреагентная регенерация ионообменников .....	7
Электрохимическая регенерация .....	7
Электрохимическая регенерация с применением электродиализа .....	9
Схемы регенерации смешанного слоя ионитов в электродиализаторах .....	11
Электрохимическая очистка регенерационных растворов .....	12
Разделение веществ в условиях необменного поглощения .....	14
Acid Retardation .....	14
Метод ионитной экстракции .....	16
Использование температурного фактора для организации безреагентных методов разделения веществ .....	20
Температурный эффект в традиционных ионообменных методах	
Термохимическая регенерация (сиротерм-процесс) .....	22
Процессы с однократным изменением селективности ионита с температурой .....	24
Использование циклических процессов и каскадных схем .....	25
Параметрическое перекачивание .....	30
Двухтемпературное разделение в двухсекционной колонне .....	33
Другие двухпараметрические процессы .....	34
Заключение .....	36
Список основной цитируемой литературы .....	37

сами (3)—(4), однако при этом регенерирующие ионы не вводятся в систему извне, а образуются в ней самой. Такими процессами является электрохимическая регенерация ионообменников.

Вторым вариантом является создание таких сорбционных процессов на ионообменниках, в которых бы решалась задача разделения (концентрирования, очистки) веществ, но ионная форма ионообменника при этом не изменялась. Это способы, основанные на необменной (сверхэквивалентной) сорбции веществ, в которых поглощенные вещества можно десорбировать водой (в некоторых случаях – исходным раствором).

Выделяют группу методов, в которой в результате изменения некоторых параметров сорбции — десорбции существенно изменяется селективность поглощения веществ, что наряду с определенными технологическими приемами может быть положено в основу создания безреагентных методов разделения. Основным таким параметром является температура.

## БЕЗРЕАГЕНТНАЯ РЕГЕНЕРАЦИЯ ИОНООБМЕННИКОВ

### Электрохимическая регенерация

Наложение постоянного электрического поля на ионообменную колонку вызывает в ней перенос ионов. Основываясь на этом, можно организовать фронтальный процесс замещения сорбированных ионов на ионы регенеранта, результатом которого будет высокая эффективность использования регенерирующего раствора, и тем самым будет устранен основной недостаток химической регенерации. Эта идея впервые была высказана Хейманом и О'Доннелом в 1948 г. Они предложили метод электрохимической регенерации ионитов продуктами электродных реакций.

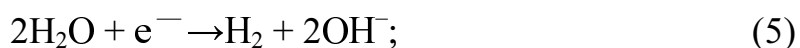
Через колонку, заполненную, например, Na-катионитом, пропускали постоянный электрический ток и поток дистиллята, направленный от анода к катоду. Ионы водорода, образующиеся на аноде, мигрировали к катоду, вытесняя на своем пути ионы  $\text{Na}^+$  и переводя катионит в H-форму. На выходе из колонки у катода получался раствор едкого натра. Аналогичным образом при противоположном направлении потока дистиллята регенерируется анионит [1—6].

Описанный процесс пригоден не столько для электрохимической регенерации ионитов, сколько для электрохроматографического разделения ионов, сорбированных ионитом [3].

В качестве источников ионов водорода и гидроксила при электрохимической регенерации ионитов могут служить электродные реакции, а также реакции диссоциации воды на границе ионитов различной полярности.

Электродные реакции на катоде могут служить источником ионов  $\text{OH}^-$ .

1) выделение газообразного водорода



2) восстановление газообразного кислорода

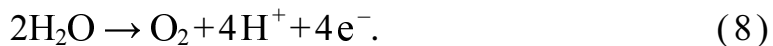


Электродные реакции на аноде служат источником ионов  $H^+$

1) окисление газообразного водорода



2) выделение газообразного кислорода



По сравнению с химической регенерацией электрохимическая имеет ряд преимуществ:

а) электрохимические схемы ионного обмена не требуют расхода реактивов на регенерацию и воды на промывку ионита, в то время как обычная химическая регенерация приводит к значительному накоплению химических соединений в сточных водах и, как отмечалось, вызывает повышенный расход реагентов;

б) электрохимические схемы ионообменной регенерации способствуют созданию непрерывных и управляемых (с помощью силы тока и напряжения) технологических процессов. Вследствие этого они могут быть достаточно легко автоматизированы;

в) использование электрохимической регенерации позволяет отказаться от разделения ионитов при регенерации смешанного слоя, используемого в водоподготовке.

Однако необходимо указать и недостатки электрохимической регенерации: 1) значительный расход электроэнергии на преодоление омического сопротивления, который увеличивается с повышением плотности тока, причем каждое последующее приращение степени регенерации связано с большими затратами электрической энергии, чем предыдущее; 2) сравнительно низкая производительность [2—6].

К условиям электрохимической регенерации ионитов для технологических целей предъявляются специфические требования. В этом случае необходимо, чтобы регенерируемый слой имел минимальную толщину, а по-