

УДК 532.5  
ББК 22.365  
А 15

Рецензенты:

кнд. физ.-мат. наук, доцент **Е. И Дискаева**  
(ГБОУ ВПО «Ставропольский государственный  
медицинский университет»);  
д-р техн. наук, профессор **В. А. Халюткин**  
(ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный  
аграрный университет»)

**Аборнев Д. В.**

**А 15 Динамические характеристики катионитных фильтров  
в процессе умягчения высокоминерализованных вод:**  
монография. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2015. – 102 с.

ISBN 978-5-9296-0772-1

В монографии дан обзор и анализ исследований, имеющих в области различных методов опреснения минерализованных вод. Составлена и проанализирована общая система дифференциальных уравнений неравновесной и нестационарной динамики ионного обмена и сделан вывод о возможности ее успешного решения. Выполнена разработка теории динамики нестационарного и неравновесного процесса ионообменного умягчения минерализованных вод, исследована геометрия зернистого слоя катионита КУ-2, а также произведен перевод системы уравнений динамики ионного к безразмерным относительным концентрациям ионов. Автором предложено и разработано оригинальное решение этой системы уравнений с использованием конечно-разностных схем. Для автоматизированного решения разработан специальный программный комплекс. Произведено обобщение и анализ экспериментальных данных по динамике парного ионного обмена в динамических и нестационарных условиях. Определены расчетные уравнения для определения коэффициентов внешнего массопереноса и коэффициентов внутренней ионообменной диффузии внутри зерна ионита. Разработаны упрощенные уравнения для инженерно-технических работников по определению динамических характеристик катионитных фильтров.

УДК 532.5  
ББК 22.365

ISBN 978-5-9296-0772-1

© Аборнев Д. В., 2015  
© ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский  
федеральный университет», 2015

## ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

### Условные обозначения

#### В геометрии зернистого слоя:

$d$  – диаметр зерна ионита, см;

$R$  – радиус зерна ионита, см;

$\varepsilon$  – порозность (или пористость) слоя, под которой понимают долю свободного объема пор в зернистом слое;

$V_{\text{сл}}$  – объем зернистого слоя, см<sup>3</sup>;

$V_{\text{к}}$  – объем зерен ионита в слое, см<sup>3</sup>;

$V_{\text{пор}}$  – объем пор между зернами, см<sup>3</sup>;

$H$  – высота слоя ионита, см;

$F$  – площадь сечения ионообменной колонны, см<sup>2</sup>;

$V_3$  – объем одного зерна ионита, см<sup>3</sup>;

$n_3$  – число зерен ионита в слое, шт;

$S_3$  – площадь поверхности одного зерна ионита, см<sup>2</sup>.

$S_{\text{к}}$  – наружная поверхность зерен ионита в объеме слоя, см<sup>2</sup>.

$\rho_{\text{сл}}$  – плотность сухого ионита, отнесенная к мл влажного набухшего слоя, г/мл;

$\rho_{\text{к}}$  – плотность сухого ионита, отнесенная к мл влажного набухшего зерна ионита, г/мл;

$w_{\text{к}}$  – влажность набухшего ионита в равновесном растворе, %

#### В уравнениях динамики ионного обмена:

$C$  – концентрация иона в растворе, мг экв/мл;

$e$  – концентрация иона в катионите, отнесенная к мл слоя, мг экв/мл;

$C_{\text{р}}$  – полная постоянная концентрация всех обменивающихся ионов в растворе, мг экв/мл;

$e_{\text{к,сл}}$  – полная постоянная концентрация всех обменивающихся ионов в катионите, отнесенная к мл слоя, мг экв/мл;

$r$  – переменный радиус внутри зерна катионита, см;

$W_0$  – приведенная скорость фильтрования раствора через слой катионита, см/с;

$\tau$  – текущее время, отсчитываемое от начала процесса, с;

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....</b>	<b>3</b>
--	----------

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
----------------------	----------

<b>ГЛАВА 1. ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ</b>	
1.1. Проблема использования минерализованных вод.....	8
1.2. Обзор исследований по динамике сорбции натрий- катионитного процесса умягчения минерализованных вод.....	16
1.3. Основные закономерности неравновесной нестационарной динамики ионного обмена.....	21

<b>ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА ТЕОРИИ ДИНАМИКИ НЕСТАЦИОНАРНОГО ИОННОГО ОБМЕНА В НЕРАВНОВЕСНЫХ УСЛОВИЯХ</b>	
2.1. Геометрия зернистого слоя.....	35
2.2. Основные уравнения динамики ионного обмена.....	38
2.3. Анализ путей решения и выбор метода решения.....	41
2.4. Решение системы уравнений методом конечных разностей.....	47

<b>ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ИОННОГО ОБМЕНА</b>	
3.1. Разработка программы для обработки экспериментальных данных, программа «Режим».....	53
3.2. Программа расчета диффузии поглощаемого иона внутри зерна ионита, подпрограмма «Зерно».....	57
3.3. Программа расчета равновесной концентрации поглощаемого иона в растворе на поверхности зерна ионита, подпрограмма «Поиск».....	59
3.4. Математическая обработка экспериментальных данных..	62
3.5. Практическое применение результатов проведенного исследования.....	72

<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	80
<b>ЛИТЕРАТУРА</b> .....	81
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b>	
Приложение А.....	94
Приложение Б.....	97