



Л. Д. ТЕРЕХОВ
Г. И. ВОЛОВНИК
Е. А. ТЕРЕХОВА

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Л. Д. ТЕРЕХОВ, Г. И. ВОЛОВНИК, Е. Л. ТЕРЕХОВА

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ

Учебное пособие

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2023

УДК 628.16
ББК 38.761.1
Т35

Рецензенты:

кафедра гидравлики, водоснабжения и канализации
Хабаровского государственного технического университета
(заведующий кафедрой доктор технических наук, профессор *М. Н. Шевцов*);
кандидат технических наук, директор Дальневосточного
предприятия «Росводоканал», почетный строитель РФ *А. Д. Лернер*

Терехов, Л. Д.

Т35 Методы очистки воды : учебное пособие / Л. Д. Терехов,
Г. И. Воловник, Е. Л. Терехова. – Москва ; Вологда : Инфра-
Инженерия, 2023. – 320 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-1280-3

Содержится систематическое изложение физико-химических основ технологии очистки воды, принципов расчета и конструирования очистных установок. Подробно рассматриваются вопросы регенеративной и деструктивной очистки.

Для студентов направления 08.04.01 «Строительство» специальности «Водоснабжение и водоотведение», изучающих дисциплины «Водоснабжение и водоотведение промышленных предприятий», «Реконструкция инженерных систем и сооружений». Может быть полезно специалистам, занимающимся вопросами интенсификации и реконструкции сооружений систем водоснабжения и водоотведения.

УДК 628.16
ББК 38.761.1

ISBN 978-5-9729-1280-3

© Терехов Л. Д., Воловник Г. И., Терехова Е. Л., 2023
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2023
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ЧАСТЬ 1. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ	4
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КАЧЕСТВЕ ВОДЫ И СПОСОБАХ ЕЕ ОЧИСТКИ.....	5
1.1. Классификация водных загрязнений	5
1.2. Технологическая характеристика водных примесей	8
ЧАСТЬ 2. РЕГЕНЕРАТИВНАЯ ОЧИСТКА	12
2. ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПЕРВОЙ ГРУППЫ ДИСПЕРСНОСТИ	12
2.1. Очистка воды седиментацией	12
2.1.1. Гидравлическая крупность	12
2.1.2. Кинетика осаждения полидисперсной взвеси	16
2.1.3. Процесс седиментации в отстойниках.....	20
2.1.4. Улучшение гидравлических условий отстаивания	24
2.1.5. Улучшение седиментационных свойств ГДП	27
2.1.6. Интенсификация отстаивания методом соосаждения ...	30
2.2. Очистка воды от ГДП в поле центробежных сил	43
2.2.1. Общие сведения.....	43
2.2.2. Напорные гидроциклоны.....	45
2.2.3. Открытые гидроциклоны.....	51
2.3. Процеживание.....	55
2.3.1. Общие сведения.....	55
2.3.2. Основные закономерности процесса процеживания	57
2.3.3. Технологические характеристики осадков	59
2.3.4. Установки для процеживания.....	62
3. ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВТОРОЙ ГРУППЫ ДИСПЕРСНОСТИ	64
3.1. Общие сведения	64
3.2. Коагуляция	66
3.2.1. Коагуляция в электрическом и магнитном поле под влиянием физических факторов	66
3.2.2. Коагуляция при химической обработке воды.....	68
3.2.3. Коагуляция в объеме и контактная коагуляция	70
3.3. Осветлители со взвешенным осадком.....	72
3.3.1. Общие сведения.....	72
3.3.2. Псевдосжижение	73

3.3.3. Закономерности очистки воды в слое взвешенного осадка	75
3.3.4. Технологическое моделирование процесса очистки в слое взвешенного осадка.....	77
3.4. Очистка воды фильтрованием	79
3.4.1. Общие сведения.....	79
3.4.2. Физическая модель работы фильтра	80
3.4.3. Технологическое моделирование фильтрования по Д. М. Минцу	84
3.4.4. Скорость фильтрования	90
3.4.5. Грязеемкость фильтрующей загрузки	91
3.4.6. Промывка фильтров.....	93
3.5. Очистка электрофорезом.....	94
3.6. Очистка воды ультрафильтрацией	96
4. ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ТРЕТЬЕЙ ГРУППЫ ДИСПЕРСНОСТИ.....	99
4.1. Общие сведения.....	99
4.2. Очистка воды сорбцией (адсорбцией).....	100
4.2.1. Общие сведения.....	100
4.2.2. Сорбенты и их характеристика.....	103
4.2.3. Технология сорбционной очистки.....	106
4.2.4. Регенерация сорбента.....	114
4.3. Экстракция	116
4.3.1. Общие сведения.....	116
4.3.2. Экстрагенты и их характеристика	117
4.3.3. Технологические расчеты установок для экстракции... ..	119
4.3.4. Экстракторы и их схемы	121
4.4. Очистка воды десорбцией	124
4.4.1. Общие сведения.....	124
4.4.2. Дегазаторы и их технологический расчет.....	127
4.4.3. Очистка воды методом отгонки (эвапорация).....	129
5. ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ЧЕТВЕРТОЙ ГРУППЫ ДИСПЕРСНОСТИ.....	134
5.1. Очистка методом ионного обмена	134
5.1.1. Общие положения	134
5.1.2. Иониты и их характеристики.....	138
5.1.3. Условия применения ионообменных установок с неподвижной и псевдосжиженной загрузкой.....	140
5.1.4. Технологический расчет и эксплуатация ионообменных установок.....	143
5.2. Мембранные методы очистки воды	149
5.2.1. Общие сведения.....	149

5.2.2. Очистка воды гиперфльтрацией и нанофльтрацией.....	150
5.2.3. Технологические расчеты установок обратного осмоса.....	157
5.2.4. Мембранные элементы и аппараты для обратного осмоса.....	160
5.2.5. Примеры очистки природных и сточных вод обратным осмосом.....	160
5.3. Очистка воды электродиализом.....	162
6. ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА.....	169
6.1. Краткие сведения из теории.....	169
6.2. Нейтрализация воды и корректировка рН.....	173
6.2.1. Общие сведения.....	173
6.2.2. Корректировка рН при коагуляции природных вод кислым коагулянтom.....	176
6.2.3. Корректировка рН для изменения формы загрязняющих примесей.....	178
6.2.4. Установки для нейтрализации воды и корректировки рН.....	179
6.3. Деструкция примесей окислением и восстановлением.....	182
6.3.1. Общие сведения.....	182
6.3.2. Окислители и процессы окисления.....	185
6.3.3. Восстановители и процессы восстановления.....	201
6.3.4. Аппаратура для очистки воды окислением и восстановлением.....	205
6.4. Перевод растворенных примесей в труднорастворимые формы.....	210
6.4.1. Общие сведения.....	210
6.4.2. Высаливание.....	212
6.4.3. Образование труднорастворимых соединений тяжелых металлов.....	214
6.4.4. Известкование как способ перевода некоторых примесей в труднорастворимое состояние.....	216
6.4.5. Реагентное умягчение воды.....	217
6.4.6. Некоторые способы перевода загрязнений в труднорастворимое состояние.....	218
6.5. Стабилизация воды.....	219
7. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА.....	223
7.1. Краткие сведения из теории.....	223
7.2. Разрушение молекул воды при электролизе.....	223
7.3. Электролиз хлоридов.....	224
7.4. Электрохимическая деструкция водных загрязнений.....	225
7.4.1. Очистка от соединений циана.....	226

7.4.2. Очистка от шестивалентного хрома и ионов тяжелых металлов.....	226
7.4.3. Электрохимическая деструкция органики	227
7.5. Установки для электрохимической очистки.....	229
8. БИОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА	233
8.1. Краткие сведения из теории	233
8.1.1. Область применения биохимической очистки	233
8.1.2. Ферменты, как катализаторы химических процессов	235
8.1.3. Скорость ферментивной реакции	236
8.1.4. Состав биоценозов.....	238
8.1.5. Физиология микроорганизмов	239
8.1.6. Закономерности синтеза биомассы.....	240
8.1.7. Влияние внешних факторов на микроорганизмы	242
8.2. Биохимические процессы очистки в аэробных условиях	246
8.2.1. Общие сведения.....	246
8.2.2. Биохимическая деструкция белков	246
8.2.3. Биохимическая деструкция жиров	247
8.2.4. Биохимическая деструкция углеводов	248
8.2.5. Биохимическая деструкция нуклеиновой кислоты.....	249
8.2.6. Биохимическая деструкция углеводов	250
8.2.7. Биохимическая деструкция загрязнений бытовых сточных вод	251
8.2.8. Аэробное окисление железа и марганца.....	252
8.3. Биохимические процессы очистки в анаэробных условиях.....	253
8.3.1. Общие сведения.....	253
8.3.2. Анаэробная денитрификация.....	254
8.3.3. Анаэробное восстановление тяжелых металлов	255
8.3.4. Биологическая дефосфатация в анаэробных условиях.....	255
8.4. Сооружения для аэробной очистки сточных вод	256
8.4.1. Общие сведения.....	256
8.4.2. Характеристика биологической массы	257
8.4.3. Аэротенки	258
8.4.4. Биореакторы с иммобилизованной микробиальной массой	266
8.4.5. Биофильтры с объемной загрузкой	267
8.4.6. Биосорберы	270
8.5. Сооружения для анаэробной очистки сточных вод	274
8.5.1. Общие сведения.....	274
8.5.2. Метантенки	275
8.5.3. Реакторы с иммобилизованным анаэробным илом	278
9. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ.....	283
9.1. Общие положения	283

9.2. Свойства осадка, влияющие на водоотдачу	284
9.3. Уплотнение осадков	286
9.3.1. Гравитационное уплотнение	287
9.3.2. Оптимизация условий гравитационного уплотнения осадков	288
9.3.3. Кондиционирование путем изменения основных свойств осадка.....	289
9.3.4. Уплотнение в полях массовых сил	290
9.3.5. Сгущение осадков большой влажности флотацией.....	290
9.4. Обезвоживание осадка	291
9.4.1. Методы кондиционирования осадка	291
9.4.2. Изменение дисперсного состава осадков	291
9.4.3. Стабилизационная обработка органических осадков	293
9.4.4. Сушка осадков	294
9.5. Ликвидация осадков	296
9.5.1. Компостирование органических осадков.....	296
9.5.2. Термическая деструкция органических осадков	296
9.6. Захоронение осадков	298
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	299
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	303