



ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Б.С. Ксенофонов
К.В. Титов

Очистка СТОЧНЫХ ВОД

компьютерные технологии
в решении задач флотации



УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

серия основана в 1996 г.



**Б.С. КСЕНОФОНТОВ
К.В. ТИТОВ**

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД

КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ФЛОТАЦИИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

*Допущено
Учебно-методическим объединением вузов Российской Федерации
по университетскому политехническому образованию
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по направлению подготовки «Техносферная безопасность»
(20.03.01 и 20.04.01)*

**Электронно-
Библиотечная**

znanium.com

Москва
ИД «ФОРУМ» — ИНФРА-М
2021

УДК 628.31(075.8)
ББК 38.761.2я73
К86

Рецензенты:

Акопян В.Б., доктор биологических наук, профессор, заведующий отделом Государственного научно-исследовательского института биосинтеза белковых веществ;

Луканин А.В., доктор технических наук, профессор, генеральный директор НПП «Медбиопром»

Ксенофонтов Б.С.

К86 Очистка сточных вод: компьютерные технологии в решении задач флотации : учебное пособие / Б.С. Ксенофонтов, К.В. Титов. — Москва : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2021. — 240 с. — (Высшее образование).

ISBN 978-5-8199-0910-2 (ИД «ФОРУМ»)

ISBN 978-5-16-016001-6 (ИНФРА-М, print)

ISBN 978-5-16-105324-9 (ИНФРА-М, online)

Очистка сточных вод является неотъемлемой частью практически любого технологического процесса, и поэтому эта дисциплина является универсальной для подготовки разработчиков различных уровней и всех направлений (бакалавров, магистров, аспирантов). Важнейшее место в этом направлении занимает флотация, эффективность использования которой резко возрастает с применением компьютерных технологий.

В предлагаемом пособии основной акцент сделан на компьютерном изложении математических методов практического решения задач очистки сточных вод флотацией. В целом такой подход связан с созданием электронных ресурсов в образовании, методическим насыщением и встраиванием систем компьютерной математики в образовательные технологии вузов.

Ориентировано на бакалавров, магистрантов, аспирантов, преподавателей и специалистов, интересующихся компьютерной математикой в решении задач флотационной очистки сточных вод, и рекомендуется для обучающихся по укрупненной группе специальностей и направлений 20.00.00 «Техносферная безопасность и природообустройство».

УДК 628.31(075.8)
ББК 38.761.2я73

ISBN 978-5-8199-0910-2 (ИД «ФОРУМ»)
ISBN 978-5-16-016001-6 (ИНФРА-М, print)
ISBN 978-5-16-105324-9 (ИНФРА-М, online)

© Ксенофонтов Б.С.,
Титов К.В., 2017
© ИД «ФОРУМ», 2017

Оглавление

Введение	3
Глава 1. ОСНОВЫ ФЛОТАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД	6
§ 1.1. Оборудование и технология флотационной очистки сточных вод	6
§ 1.2. Последовательные процессы и кинетика флотации	29
§ 1.3. Многостадийная модель кинетики флотации по Б.С. Ксенофонтову	31
Глава 2. КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ИЗУЧЕНИИ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ЗАДАЧ ФЛОТАЦИИ	40
§ 2.1. Жесткие системы дифференциальных уравнений, описывающих процессы флотации. Исследование на жесткость	40
§ 2.2. Решение системы дифференциальных уравнений n -го порядка с постоянными коэффициентами, записанной в нормальной форме и имеющей кратные корни характеристического уравнения	48
§ 2.3. Исследование устойчивости системы дифференциальных уравнений по критерию Гурвица	60
2.3.1. Многочлен и определители Гурвица	60
2.3.2. Пример определения устойчивости системы дифференциальных уравнений по критерию Гурвица	67

2.3.3.	Теорема вычетов	72
2.3.4.	Экспериментальная проверка некоторых теорем теории функций комплексного переменного	88
2.3.5.	Определение числа корней в полуплоскости	92
2.3.6.	Приложения теории функций комплексной переменной в технике	97
§ 2.4.	Решение системы дифференциальных уравнений в среде Maple, представляемое в общем случае рядом	104
2.4.1.	Метод решения системы линейных дифференциальных уравнений	104
2.4.2.	Системы дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами и правой частью	108
2.4.3.	Системы дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами и правой частью	114
2.4.4.	Нелинейные системы дифференциальных уравнений	120
§ 2.5.	Представление в СКМ моделей флотации	125
2.5.1.	Модель флотации. Численный расчет	125
2.5.2.	Нестационарные модели флотации	129
2.5.3.	Модель флотации взвешенных частиц	136
2.5.4.	Модель флотации взвешенных частиц с учетом явления коалесценции	144
§ 2.6.	Теория решения краевых задач методом припасовывания	154
2.6.1.	Пример решения краевых задач методом припасовывания	164
Глава 3.	МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ФЛОТАЦИИ	186
§ 3.1.	Определение устойчивости флотационной модели по критерию Гурвица	186
§ 3.2.	Графическое построение области устойчивости параметров флотационной модели	195
§ 3.3.	Модель флотации и ее решение в пакете <i>linalg</i>	197
§ 3.4.	Критерии выбора параметров модели флотации	207
§ 3.5.	Имитационная модель флотации в MatLAB	213

§ 3.6. Интерактивная имитационная модель кинетики бактериального выщелачивания	214
§ 3.7. Имитационное моделирование и операторный метод анализа процессов флотационной очистки воды	220
§ 3.8. Оптимизация по критерию качества задачи флотационной очистки воды	227
Заключение	234
Литература	235