

УНИВЕРСИТЕТЫ РОССИИ

В. В. Кафаров, И. Н. Дорохов

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ОСНОВЫ СТРАТЕГИИ

Ответственный редактор – *Н. М. Жаворонков*

МОНОГРАФИЯ
2-е издание



СООТВЕТСТВУЕТ
ПРОГРАММАМ
ВЕДУЩИХ НАУЧНО-
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ
ШКОЛ

 **Юрайт**
издательство
biblio-online.ru

В. В. Кафаров, И. Н. Дорохов

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ: ОСНОВЫ СТРАТЕГИИ

МОНОГРАФИЯ

Ответственный редактор — **Н. М. Жаворонков**

2-е издание, переработанное и дополненное

Книга доступна в электронной библиотечной системе
biblio-online.ru

Москва ■ Юрайт ■ 2018

УДК 543
ББК 24.4
К30

Авторы:

Кафаров Виктор Вячеславович — доктор технических наук, профессор, академик РАН.

Дорохов Игорь Николаевич — профессор, доктор технических наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор кафедры кибернетики химико-технологических процессов факультета информационных технологий и управления Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева, президент, учредитель и академик Международной академии системных исследований, председатель Бюро Президиума Международной академии системных исследований.

Ответственный редактор:

Жаворонков Николай Михайлович — профессор, доктор технических наук, академик Академии наук СССР, Герой Социалистического Труда (1907—1990), Лауреат Государственной премии СССР. С 1948 по 1962 г. ректор Российского химико-технологического университета имени Д. И. Менделеева. С 1962 по 1988 г. директор Института общей и неорганической химии им. Н. С. Курнакова Академии наук СССР.

Кафаров, В. В.

К30 Системный анализ процессов химической технологии : основы стратегии : монография / В. В. Кафаров, И. Н. Дорохов ; отв. ред. Н. М. Жаворонков. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 499 с. — (Серия : университеты России).

ISBN 978-5-534-06991-4

Серия «Университеты России» позволит высшим учебным заведениям нашей страны использовать в образовательном процессе издания (в том числе учебники и учебные пособия по различным дисциплинам), подготовленные преподавателями лучших университетов России и впервые опубликованные в издательствах университетов. Все представленные в этой серии работы прошли экспертную оценку учебно-методического отдела издательства и публикуются в оригинальной редакции.

В монографии рассматривается химико-технологический процесс как сложная кибернетическая система и определяются основы стратегии системного анализа в этой сфере. Дается характеристика формальных методов синтеза операторов физико-химических систем, методов механики сплошной среды и методов идентификации, описываемых линейными дифференциальными уравнениями. Описаны принципы идентификации объектов линейных и нелинейных систем.

Для студентов, обучающихся по естественнонаучным направлениям, аспирантов, преподавателей и всех интересующихся.

УДК 543
ББК 24.4

Разыскиваем правообладателей: <https://www.biblio-online.ru/inform>

Пожалуйста, обратитесь в Отдел договорной работы: +7 (495) 744-00-12; e-mail: expert@urait.ru



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

© Коллектив авторов, 1976

© Коллектив авторов, 2018, с изменениями

© ООО «Издательство Юрайт», 2018

ISBN 978-5-534-06991-4

Оглавление

Предисловие	3
Введение	6
Глава 1. Качественный анализ структуры физико-химической системы	23
§ 1.1. Иерархическая структура физико-химических эффектов в полидисперсной системе	23
§ 1.2. Система гидромеханических уравнений многокомпонентной многофазной среды с учетом химических, диффузионных и тепловых явлений	34
§ 1.3. Энергетические переходы при тепло- и массообмене между фазами ...	50
§ 1.4. Структура диссипативной функции многокомпонентной многофазной смеси, где протекают химические реакции и процессы тепло- и массопереноса	54
§ 1.5. Методы статистической физики для описания физико-химических процессов в полидисперсных средах. Уравнение баланса свойств ансамбля частиц	67
<i>Литература</i>	78
Глава 2. Формальные методы синтеза операторов физико-химических систем	81
§ 2.1. Подход к синтезу функционального оператора объекта на основе адаптации и обучения	82
§ 2.2. Построение функционального оператора как задача распознавания образов	86
§ 2.3. Экспериментально-статистические методы описания физико-химических систем	91
§ 2.4. Метод построения булевых моделей сложных физико-химических систем	100
§ 2.5. Принцип абстрактной реализации динамических систем	107
§ 2.6. Конечный автомат как формальная модель системы. Обучение автоматов	118
<i>Литература</i>	131
Глава 3. Описание физико-химических систем методами механики сплошной среды	134
§ 3.1. Принципы построения математического описания химических, тепловых и диффузионных процессов в полидисперсных средах	134
§ 3.2. Построение кинетической модели псевдооживленного слоя	160

3.3. Метод описания аэродинамики фонтанирующего слоя в аппаратах сложной конфигурации.....	172
§ 3.4. Описание смешения высокодисперсного материала с вязкой жидкостью в ротационном смесителе	188
<i>Литература</i>	196
Глава 4. Построение операторов физико-химических систем на основе модельных представлений	199
§ 4.1. Общие положения математического моделирования. Распределение элементов потока по времени пребывания в аппарате	199
§ 4.2. Основные типы моделей гидродинамических структур потоков в аппаратах химической технологии	218
§ 4.3. Статистический метод проверки гипотез о гидродинамической структуре потоков в технологических аппаратах.....	240
§ 4.4. Вероятностное моделирование систем с неидеальным перемешиванием с помощью марковских процессов	259
§ 4.5. Уравнение баланса свойств ансамбля частиц как основа математического моделирования стохастических особенностей процессов в полидисперсных средах. Модель процесса суспензионной полимеризации в периодическом реакторе.....	272
<i>Литература</i>	280
Глава 5. Общая задача характеристика идентификации	281
§ 5.1. Постановка общей задачи идентификации. Корректно и некорректно поставленные задачи.....	281
§ 5.2. Классификация методов идентификации	286
§ 5.3. Связь между дифференциальным уравнением, весовой и передаточной функциями динамической системы	288
§ 5.4. Весовая функция многомерного объекта.....	297
§ 5.5. Статистический подход к задаче идентификации.....	303
<i>Литература</i>	306
Глава 6. Методы идентификации объектов, описываемых линейными дифференциальными уравнениями.....	307
§ 6.1. Алгебраический метод определения весовой функции объекта.....	307
§ 6.2. Частотные методы идентификации	309
§ 6.3. Логарифмический метод определения передаточной функции объекта по функции отклика на единичное ступенчатое возмущение.....	314
§ 6.4. Корреляционные методы определения динамических характеристик линейных объектов	321
§ 6.5. Метод моментов в задачах идентификации объектов химической технологии	328
§ 6.6. Причины потери точности метода моментов и их устранение	337
<i>Литература</i>	343

Глава 7. Исследование гидродинамической структуры потоков в аппаратах химической технологии на основе методов идентификации линейных систем	345
§ 7.1. Математическая модель с распределенным источником для потоков в насадке и метод определения ее параметров	345
§ 7.2. Характер и интенсивность обменных процессов между потоком и застойными зонами	378
§ 7.3. Ячеечная модель с застойными зонами для потоков в насадке	382
§ 7.4. Ячеечная модель с обратными потоками между ячейками	392
§ 7.5. Гидродинамическая структура потоков в пористой среде	395
§ 7.6. Анализ динамики процесса абсорбции в насадочной колонне и аналитический синтез оптимального управления абсорбционным аппаратом	404
<i>Литература</i>	433
Глава 8. Идентификация объектов, описываемых нелинейными дифференциальными уравнениями	436
§ 8.1. Метод адаптирующейся модели	436
§ 8.2. Статистические методы идентификации нелинейных систем. Дисперсионные оценки степени нелинейности объекта	437
§ 8.3. Байесовский подход к решению задач идентификации. Фильтры Калмана	448
§ 8.4. Общий подход к задачам идентификации на основе понятия штрафных функций	466
§ 8.5. Статистический метод идентификации объектов с конечной «памятью» с применением аналитических случайных процессов. Оценка параметров состояния на основе интегральных операторов	474
<i>Литература</i>	496