

УНИВЕРСИТЕТЫ РОССИИ

В. В. Кафаров, И. Н. Дорохов, С. Ю. Арутюнов

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ И СМЕШЕНИЕ

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, С. Ю. Арутюнов

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ: ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ И СМЕШЕНИЕ

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 РФ, 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;

Арутюнов Сергей Юрьевич — доктор технических наук.

Ответственный редактор:

Жаворонков Николай Михайлович — доктор технических наук, профессор, академик АН 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 имени Н. С. Курнакова АН СССР.

Рецензенты:

Сажин Б. С. — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Процессы и аппараты и БЖД» Московского государственного текстильного университета, академик ряда Российских и Международных академий (РИА, МИА, МАНЭБ и др.), заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат премий правительств СССР и РФ, лауреат премии Международной инженерной академии;

Блиничев В. Н. — доктор технических наук, профессор.

Кафаров, В. В.

К30 Системный анализ процессов химической технологии: измельчение и смешение : монография / В. В. Кафаров, И. Н. Дорохов, С. Ю. Арутюнов ; отв. ред. Н. М. Жаворонков — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2018. — 440 с. — (Серия : Университеты России).

ISBN 978-5-534-07043-9

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 системный подход к анализу и количественному описанию процессов измельчения и смешения сыпучих материалов. Авторами проведен их качественный анализ, построены математические модели и рассмотрены вопросы оптимизации процессов измельчения и смешения. Также описаны особенности управления и синтеза систем управления процессами измельчения и смешения в устройствах различных типов.

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

ISBN 978-5-534-07043-9

© Коллектив авторов, 1985
© Коллектив авторов, 2018, с изменениями
© ООО «Издательство Юрайт», 2018

Оглавление

Предисловие	3
Глава первая. Процесс измельчения — смешения как сложная физико-механическая система	9
§ 1.1. Качественный анализ структуры процесса измельчения — смешения как физико-механической системы	9
1.1.1. Структура физико-механических аффектов.....	9
1.1.2. Система гидромеханических уравнений полидисперсной многофазной смеси с учетом дробления (измельчения) и смешения частиц дисперсных фаз	23
1.1.3. Структура движущих сил дробления (измельчения).....	54
1.1.4. Механизм разрушения частиц дисперсных фаз многофазной смеси.....	57
§ 1.2. Математическое описание процессов измельчения и смешения на основе случайных марковских процессов.....	77
1.2.1. Математическое описание процесса смешения бинарных композиций, содержащих твердую фазу	78
1.2.2. Математическое описание процесса смешения в непрерывнодействующих смесителях	85
1.2.3. Математическое описание процесса смешения при сопутствующем измельчении.....	95
1.2.4. Математическое описание процесса измельчения и агломерации	98
<i>Литература</i>	101
Глава вторая. Построение математических моделей процессов измельчения и смешения	106
§ 2.1. Ударно-центробежные устройства.....	110
2.1.1. Экспериментально-статистическое исследование процесса измельчения в ударно-центробежном устройстве периодического действия	110
2.1.2. Экспериментально-статистическое исследование процесса измельчения в ударно-центробежном устройстве непрерывного действия	116
2.1.3. Математические модели процесса измельчения сыпучих материалов на основе обобщенной системы гидромеханических уравнений и модельных представлений	122
§ 2.2. Ударно-отражательные устройства	133
§ 2.3. Молотковые измельчители.....	137
§ 2.4. Лопастные и инерционные смесители	140
§ 2.5. Спирально-винтовые смесители непрерывного действия.....	150

§ 2.6. Вибрационные смесители и измельчители	154
§ 2.7. Центробежные и пневматические смесители	166
§ 2.8. Струйные дезинтсграторы	169
2.8.1. Осадительная зона.....	171
2.8.2. Измельчительная зона	172
2.8.3. Классифицирующая зона.....	180
§ 2.9. Барабанные мельницы.....	184
2.9.1. Уравнение-изменения гранулометрического распределения при измельчении	189
2.9.2. Определение выражений для массы измельчаемых частиц, плотности пульпы и среднего времени пребывания их в аппарате	195
2.9.3. Построение функционального оператора процесса идеальной классификации	197
2.9.4. Построение математической модели непрерывного процесса измельчения с рециклом	198
<i>Литература</i>	201

Глава третья. Идентификация параметров и проверка адекватности математических моделей процессов измельчения и смешения 206

§ 3.1. Приборы и системы для определения гранулометрического состава сыпучих материалов	207
§ 3.2. Экспериментальные методы оценки качества смеси сыпучих материалов	224
3.2.1. Анализ распределения компонентов в смеси.....	224
3.2.2. Методика анализа качества смеси	234
§ 3.3. Ударно-центробежные устройства.....	245
3.3.1. Характер распределения времени пребывания измельчаемых частиц в ударно-центробежном устройстве.....	246
3.3.2. Определение параметров вероятности разрушения и распределительной функции	251
3.3.3. Проверка адекватности математической модели процесса измельчения.....	262
§ 3.4. Молотковые измельчители.....	268
§ 3.5. Лопастные и инерционные смесители	273
3.5.1. Математическая модель процесса смешения бинарной композиции.....	273
3.5.2. Математическая модель процесса смешения многокомпонентных композиций.....	294
3.5.3. Математическая модель каскада смесителей.....	300
§ 3.6. Спирально-винтовые смесители.....	303
3.6.1. Спирально-винтовые смесители периодического действия.....	303
3.6.2. Спирально-винтовые смесители непрерывного действия.....	306

§ 2.6. Вибрационные смесители и измельчители	154
§ 2.7. Центробежные и пневматические смесители.....	166
§ 2.8. Струйные дезитпсграгоры	169
2.8.1. Осадительная зона.....	171
2.8.2. Измельчительная зона	172
2.8.3. Классифицирующая зона.....	180
§ 2.9. Барабанные мельницы.....	184
2.9.1. Уравнение изменения гранулометрического распределения при измельчении.....	189
2.9.2. Определение выражений для массы измельчаемых частиц, плотности пульпы и среднего времени пребывания их в аппарате	195
2.9.3. Построение функционального оператора процесса идеальной классификации	197
2.9.4. Построение математической модели непрерывного процесса измельчения с рециклом	198
<i>Литература</i>	201

**Глава третья. Идентификация параметров и проверка
адекватности математических моделей процессов измельчения
и смешения 206**

§ 3.1. Приборы и системы для определения гранулометрического состава сыпучих материалов	207
§ 3.2. Экспериментальные методы оценки качества смеси сыпучих материалов.....	224
3.2.1. Анализ распределения компонентов в смеси.....	224
3.2.2. Методика анализа качества смеси	234
§ 3.3. Ударно-центробежные устройства.....	245
3.3.1. Характер распределения времени пребывания измельчаемых частиц в ударно-центробежном устройстве.....	246
3.3.2. Определение параметров вероятности разрушения и распределительной функции	251
3.3.3. Проверка адекватности математической модели процесса измельчения.....	262
§ 3.4. Молотковые измельчители.....	268
§ 3.5. Лопастные и инерционные смесители.....	273
3.5.1. Математическая модель процесса смешения бинарной композиции.....	273
3.5.2. Математическая модель процесса смешения многокомпонентных композиций.....	294
3.5.3. Математическая модель каскада смесителей.....	300
§ 3.6. Спирально-винтовые смесители.....	303
3.6.1. Спирально-винтовые смесители периодического действия.....	303
3.6.2. Спирально-винтовые смесители непрерывного действия.....	306

§ 3.7. Вибрационные смесители и измельчители	308
§ 3.8. Центробежные и пневматические смесители.....	331
§ 3.9. Струйные дезинтеграторы	334
§ 3.10. Барабанные мельницы	347
<i>Литература</i>	356

Глава четвертая. Оптимизация процессов измельчения и смешения 361

§ 4.1. Ударно-центробежные устройства.....	361
4.1.1. Моделирование и оптимизация процесса измельчения полимерного материала.....	361
4.1.2. Экспериментальная проверка результатов оптимизации на опытно-промышленном ударно-центробежном устройстве.....	366
§ 4.2. Вибрационные смесители.....	374
<i>Литература</i>	377

Глава пятая. Подходы к управлению процессами измельчения и смешения 379

§ 5.1. Автоматическое управление процессом измельчения в устройствах ударно-центробежного типа.....	380
§ 5.2. Управление процессом измельчения в барабанных мельницах.....	387
5.2.1. Анализ управляемости технологической системы измельчения с барабанной мельницей.....	387
5.2.2. Управление процессом измельчения с применением пилотной мельницы.....	400
5.2.3. Управление эффективностью процесса измельчения по энерготехнологическому показателю	409
5.2.4. Секционирование газоматериальных потоков в мельнице	412
§ 5.3. Синтез системы управления процессом измельчения в молотковом измельчителе и системы управления процессом смешения в пневмосмесителе.....	415
§ 5.4. Алгоритм оптимального управления струйным дезинтегратором.....	421
§ 5.5. Оптимальное управление непрерывными процессами измельчения с рециклом в барабанных мельницах.....	424
<i>Литература</i>	434