

# СЛУЧАЙНАЯ ПРИРОДА И ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ



**В.П. Малышев,  
А.М. Макашева,  
Д.А. Кайкенов,  
Ю.С. Зубрина**



**В.П. Малышев, А.М. Макашева,  
Д.А. Кайкенов, Ю.С. Зубрина**

**СЛУЧАЙНАЯ ПРИРОДА И ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ  
ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ**

Москва  
Научный мир  
2017

УДК 622.73  
ББК 33.1  
М63

Ответственный редактор: *член-корреспондент НАН РК  
доктор технических наук, профессор М.Ж. Толымбеков*

**Малышев В.П., Макашева А.М., Кайкенов Д.А., Зубрина Ю.С.**  
М63 Случайная природа и вероятностная модель измельчения материалов. – М.: Научный мир, 2017. – 260 с.

ISBN 978-5-91522-437-6

Процесс измельчения материалов в барабанных шаровых мельницах рассмотрен в свете подчинения закономерностям динамического хаоса на основе подобия с теорией молекулярных соударений и кинетикой необратимых последовательных реакций неограниченного порядка. Раскрыта природа практически всех особенностей измельчения как результата взаимодействия концентрационного, стерического, активационного и частотного факторов в рамках единой вероятностной модели процесса. Дано описание работы шаровых, стержневых и мельниц самоизмельчения с учетом возврата песков и стадильности процесса. Представлены методы адаптации полученной модели к реальным условиям.

Впервые показано, что измельчение материалов сопровождается понижением энтропии смешения фракций в соответствии со стабилизацией логарифмически нормального их распределения. Это свидетельствует о самоорганизации хаотизированной механической системы измельчаемых и мелющих тел.

Книга может представить теоретический и практический интерес для начинающих и специалистов в области обогащения руд, а также для тех, кто пожелает использовать конструктивную роль хаотического начала в технических и иных системах.

Монография рекомендована к печати Ученым советом Химико-металлургического института (г. Караганда).

УДК 622.73  
ББК 33.1

ISBN 978-5-91522-437-6

© Малышев В.П., Макашева А.М.,  
Кайкенов Д.А., Зубрина Ю.С., 2017  
© Издание на русском языке, оформление.  
ООО «Издательство «Научный мир», 2017

---

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	6
Введение.....	7
<b>Глава 1. Разработка вероятностной теории измельчения материалов в шаровых мельницах.....</b>	<b>11</b>
1.1. Хаос и порядок в молекулярных взаимодействиях.....	11
1.2. Хаос и порядок в процессах измельчения.....	15
1.2.1. Разработка физической и математической модели частотного фактора измельчения.....	15
1.2.2. Разработка физической и математической модели стерического фактора измельчения.....	15
1.2.3. Разработка физической и математической модели активационного фактора измельчения.....	20
1.2.4. Разработка физической и математической модели концентрационного фактора и объединение всех факторов в единую вероятностную модель скорости измельчения.....	28
1.3. Разработка физической и математической модели для неограниченного числа стадий разрушения зерен шарами и для различных вариантов реализации процесса измельчения.....	30
1.3.1. Предыстория и современное состояние вопроса.....	30
1.3.2. Прямое интегрирование дифференциальных уравнений скорости последовательных превращений.....	32
1.3.3. Коррекция модели для условий мокрого измельчения.....	42
1.3.4. Учет воздействия смеси шаров разного размера при измельчении.....	43
1.3.5. Учет циркуляции песков в вероятностной модели измельчения.....	44
1.3.6. Разработка вероятностной модели измельчения применительно к работе стержневых мельниц.....	47
1.3.7. Отображение самоизмельчения материалов вероятностной теорией.....	51
1.4. Выводы.....	62

<b>Глава 2. Применение вероятностной теории измельчения для модельных объектов.....</b>	<b>64</b>
2.1. Основной модельный объект измельчения.....	64
2.2. Основные особенности фракционного состава при измельчении – контрастность, экстремальность и логарифмически нормальный закон распределения.....	65
2.3. Водопадный режим как диссипативная структура и форма самоорганизации процесса измельчения.....	72
2.4. Влияние содержания воды в смеси шаров и зерен на скорость, полноту и контрастность мокрого измельчения материалов.....	75
2.5. Влияние противодействия стерического и активационного факторов на эффективность процесса измельчения.....	83
2.5.1. Влияние размера шаров на противодействие стерического и активационного факторов.....	84
2.5.2. Влияние диаметра мельницы на противодействие стерического и активационного факторов.....	89
2.6. Влияние смеси шаров разного размера на скорость, полноту и контрастность измельчения.....	91
2.7. Влияние циркуляции песков на скорость, полноту и контрастность измельчения.....	99
2.8. Влияние стадийности измельчения на выход целевых классов.....	108
2.9. Сравнительный анализ процесса измельчения в шаровых и стержневых мельницах в модельных условиях.....	118
2.10. Использование вероятностной теории самоизмельчения для описания процесса в модельных условиях.....	130
2.11. Выводы.....	151
<b>Глава 3. Проверка и адаптация вероятностной теории измельчения по практическим данным.....</b>	<b>154</b>
3.1. Влияние масштабного фактора на скорость процесса в мельницах различного размера.....	155
3.2. Проверка вероятностной модели измельчения в лабораторном масштабе с использованием кварцевой руды.....	162
3.3. Проверка вероятностной модели измельчения в лабораторном масштабе с использованием речного песка.....	166
3.4. Проверка вероятностной модели измельчения в лабораторном масштабе с использованием медно-сульфидной руды.....	168
3.5. Оценка распределения по крупности и содержанию в нижнем (остаточном) классе по ситовому анализу в качестве исходных данных для вероятностной модели измельчения.....	171
3.6. Адаптация вероятностной модели к реальным условиям процесса измельчения.....	175

## *Оглавление*

---

3.7. Прямая проверка вероятностной модели измельчения применительно к работе промышленной мельницы.....	183
3.8. Выводы.....	191
<b>Заключение.....</b>	<b>193</b>
<b>Список использованных источников.....</b>	<b>195</b>
<b>Приложения.....</b>	<b>206</b>