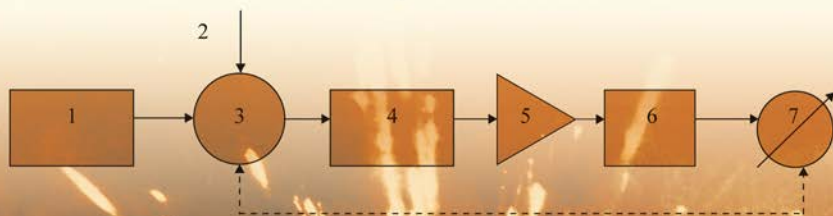


В. А. Огородников

# ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ



ФГУП «Российский федеральный ядерный центр –  
Всероссийский научно-исследовательский институт  
экспериментальной физики»

**В. А. Огородников**

**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ  
БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ**

Учебное издание

Саров  
2010

ББК 22.3  
О-39  
УДК 53

Рецензенты: доктор физ.-мат. наук О. Б. Дреннов,  
доктор техн. наук В. А. Пушков

**Огородников В. А.**

О-39 Физические основы информатики быстропротекающих процессов: Учебное издание. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2010. – 222 с.: ил.

ISBN 978-5-9515-0135-6

В книге изложены физические основы теории информации, метрологии, теории и техники измерений, построения информационных систем. Особое внимание уделено вопросам получения информации о кинематических и термодинамических параметрах быстропротекающих процессов.

Учебное издание рассчитано на студентов, аспирантов и научных работников, занимающихся проблемами получения информации о быстропротекающих процессах в условиях интенсивных ударно-волновых воздействий на вещество.

## СОДЕРЖАНИЕ

Основные обозначения и сокращения .....	6
Введение .....	8
Глава 1. Информационные и измерительные системы .....	11
1.1. Измерение как основа получения информации для построения объективной картины мира .....	11
1.2. Пассивная и активная формы информации, роль возбудителя и эталона .....	17
1.3. Единицы, система единиц и эталоны .....	19
1.4. Структура информационной (измерительной) системы .....	32
1.4.1. Измерительный преобразователь .....	37
1.4.2. Обработка информации .....	43
1.4.3. Устройства индикации .....	44
1.4.4. Регистрация и хранение информации .....	44
1.4.5. Управление и обратная связь .....	46
1.5. Методы акустических измерений как пример построения информационной (измерительной) системы .....	47
1.6. Планирование и организация измерений .....	53
Список рекомендуемой литературы .....	57
Глава 2. Метрология физических измерений .....	58
2.1. Общие сведения о метрологии, основные определения и термины .....	58
2.2. Измерение физических величин .....	59
2.3. Средства измерительной техники .....	62
2.4. Классификация измерений по принципу и физическому эффекту преобразования .....	70
2.5. Принципы, методы и методики измерений .....	71
2.6. Результаты измерения физических величин .....	73
2.7. Теория ошибок .....	75
2.7.1. Погрешности измерений .....	75

2.7.2. Нормальный закон распределения вероятности ...	84
2.7.3. Закон равномерного распределения вероятности .....	89
2.7.4. Доверительная вероятность и доверительный интервал .....	92
2.7.5. Случайные погрешности косвенных измерений ...	95
2.7.6. Метод наименьших квадратов .....	99
2.8. Методы квантовой метрологии .....	102
Список рекомендуемой литературы .....	105
Глава 3. Электрическая и оптическая формы получения, трансляции и обработки информации .....	106
3.1. Методы измерения малых напряжений, токов и зарядов .....	106
3.1.1. Магнитоэлектрические приборы .....	108
3.1.2. Электростатические приборы .....	110
3.2. Методы измерения высоких напряжений и больших токов .....	112
3.2.1. Шунты .....	113
3.2.2. Добавочные сопротивления .....	115
3.2.3. Делители напряжения .....	116
3.2.4. Метод масштабного преобразования .....	117
3.3. Электрофизические методы .....	119
3.3.1. Газоразрядный метод .....	120
3.3.2. Метод ускорения заряженных частиц .....	122
3.3.3. Метод резонансных ядерных реакций .....	123
3.4. Развитие электрических измерений и становление оптоэлектроники .....	123
3.4.1. Свет и его основные свойства .....	126
3.4.2. Эффекты, использующие модуляцию параметров света .....	128
3.4.3. Основные элементы схем оптических измерений .....	132
3.4.4. Применение (виды) волоконно-оптических датчиков .....	140
Список рекомендуемой литературы .....	150

Глава 4. Физические величины, характеризующие параметры динамических процессов, и методы их измерения .....	151
4.1. Особенности получения информации при исследовании быстропротекающих процессов .....	151
4.2. Измерение кинематических величин .....	153
4.2.1. Измерение деформации .....	153
4.2.2. Измерение перемещений .....	159
4.2.3. Измерение скорости .....	168
4.2.4. Измерение ускорения .....	174
4.3. Измерение термодинамических величин .....	178
4.3.1. Измерение давления .....	178
4.3.2. Измерение температуры .....	188
4.3.3. Измерение ионизирующих излучений .....	199
Список рекомендуемой литературы .....	207
Глава 5. О контроле качества продукции .....	208
5.1. Контроль геометрических размеров .....	208
5.2. Методы определения плотности .....	215
5.3. Методы определения разнотности детали .....	218
5.4. Методы контроля дефектности внутренней структуры .....	220
Список рекомендуемой литературы .....	221

неразрушающего контроля относится гаммаграфирование исследуемой детали ( $\gamma$ -графический метод). Метод основан на различии прохождения излучения через участки с разной плотностью материала. Коллимированный поток  $\gamma$ -излучения проходит через контролируемую зону детали с известной средней толщиной  $h$ . Ослабление потока определяется по формуле

$$\frac{n}{n_0} = \exp(-\mu\rho h),$$

где  $n$  – число частиц, фиксируемых детектором после прохождения  $\gamma$ -излучения через слой исследуемой детали толщиной  $h$ ;  $n_0$  – число частиц, фиксируемых детектором при прохождении  $\gamma$ -излучения через слой толщиной  $h_0$ ;  $\mu$  – массовый коэффициент поглощения материала детали;  $\rho$  – плотность детали.

Для известной толщины и плотности  $i$ -го участка детали можно записать

$$(\mu\rho h)_i = \ln \frac{n}{n_0},$$

а плотность  $i$ -го участка

$$\mu\rho_i = \frac{1}{h_i} \ln \frac{n}{n_0}.$$

Средняя плотность рассчитывается по формуле

$$\mu\bar{\rho} = \sum_{i=1}^m \frac{\mu\rho_i}{m},$$

где  $m$  – число замеров,  $\frac{n}{n_0}$ .

Отклонение значения  $\mu\rho_i$  от среднего  $\mu\bar{\rho}$  характеризует относительную разноплотность детали.

$$\frac{\mu\rho_i - \mu\bar{\rho}}{\mu\bar{\rho}} = \frac{\rho_i - \bar{\rho}}{\bar{\rho}}.$$

В общем случае установка для измерения локальной плотности и контроля разнотности состоит из механического стенда для просвечивания детали, устройства для измерения ее толщины и системы регистрации с управляющим вычислительным комплексом. Максимальная погрешность измерения плотности не превышает  $0,002 \text{ г/см}^3$ , что находится на уровне погрешности измерения плотности гидростатическим методом.

В более современном варианте метод контроля разнотности реализован в томографе, например, ВТ-300. Принцип работы томографа основан на реконструкции внутренней пространственной структуры детали (исследуемого образца) в результате одновременной вычислительной обработки теневых проекций, полученных при рентгеновском просвечивании детали в различных направлениях. Источник рентгеновского излучения работает в непрерывном режиме в течение 3–20 мин и сканирует деталь. Сигналы с рентгеновских детекторов и фотоэлектрических координатных датчиков в процессе движения объекта поступают на стойку управления томографом. Результаты вычислений могут быть представлены оператором в виде отдельных значений  $\rho_i$  или графической зависимости  $\rho_i(h)$ .

#### 5.4. Методы контроля дефектности внутренней структуры

Выявление дефектов внутренней структуры образцов (наружных и внутренних трещин, рыхлости, раковин и посторонних включений) носит название дефектоскопии. Среди наиболее распространенных методов дефектоскопии можно выделить визуальный, капиллярный и рентгеновский.

*Визуальный метод* используют при обнаружении внутренних дефектов в тонкостенных (до 20 мм) деталях, не имеющих в составе компонентов, ухудшающих прохождение света. Контроль осуществляют в проходящем свете от обычной лампы накаливания и визуально выявляют трещины, расслоения, раковины и посторонние включения.



*Капиллярный метод* применяется для контроля дефектов в виде поверхностных трещин и рыхлот. Капиллярная (цветная) дефектоскопия основана на заполнении полости дефектов (трещин) цветоконтрастными составами (например, чернилами) под воздействием капиллярных сил. После смыва чернил с поверхности они остаются в трещинах и дают окрас. Этот метод весьма чувствителен и позволяет выявлять микротрещины шириной до сотых долей миллиметра.

*Рентгеновский метод* наиболее распространен. Используется мягкое рентгеновское излучение. Внутренняя структура детали снимается на рентгеновскую пленку и сравнивается с аналогичной рентгенограммой эталонного образца без дефектов. Обычно используют рентгентелевизионный метод, позволяющий наблюдать внутреннюю структуру детали и сравнивать ее при необходимости с эталонной на экране монитора компьютера. С помощью этого метода выявляют раковины, посторонние включения, трещины в несколько десятых долей миллиметра.

### Список рекомендуемой литературы

Справочник металлиста. Т. 2. / Под ред. С. А. Чернавского. М.: Изд-во машиностроительной литературы, 1958.

*Федоренко В. А., Шошин А. И.* Справочник по машиностроительному черчению. М.: Машиностроение, 1981.

*Левшина Е. С., Новицкий П. В.* Электрические измерения физических величин. Л.: Энергоатомиздат, 1983.

Учебное издание

**Огородников Владимир Александрович**

**Физические основы информатики  
быстропротекающих процессов**

Редактор *Л. В. Мазан*

Компьютерная подготовка оригинала-макета *С. Н. Фролова*

---

Подписано в печать 24.12.2009    Формат 60×84/16

Печать офсетная. Усл. печ. л. ~ 13    Уч. изд. л. 9,2

Тираж 300 экз.    Зак. тип. 2042-2009

---

Отпечатано в Издательско-полиграфическом комплексе

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

607190, г. Саров Нижегородской обл.



Владимир Александрович Огородников — доктор физико-математических наук, начальник лаборатории симметрии и динамики Института экспериментальной газодинамики и физики взрыва Российского федерального ядерного центра — ВНИИ экспериментальной физики, профессор кафедры теоретической и экспериментальной механики физико-технического факультета Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Саров.

Области научных интересов: физика экстремальных состояний вещества и мощных ударных волн, динамическая прочность материалов, техническая физика. Руководитель ряда международных научно-технических проектов, автор около 400 научных работ.

ISBN 978-5-9515-0135-6



9 785951 501356