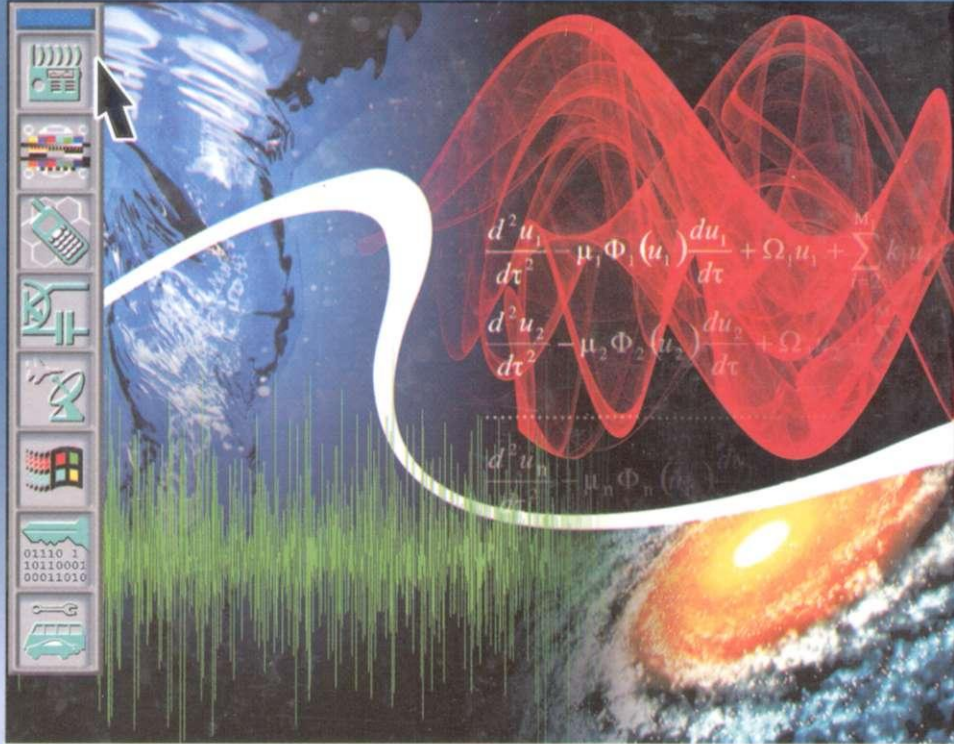


# УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

ДЛЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ



# Колебания и волны в природе и технике

Горячая линия-Телеком



В. И. Каганов

**В. И. Каганов**

# **Колебания и волны в природе и технике**

**Компьютеризированный курс**

*Рекомендовано Региональным отделением УрФО  
учебно-методического объединения вузов Российской Федерации  
по образованию в области радиотехники, электроники,  
биомедицинской техники и автоматизации  
в качестве учебного пособия для студентов  
высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению подготовки  
210300 - «Радиотехника» в УрФО.*

**Москва  
Горячая линия - Телеком  
2008**

УДК 621.39

ББК 32.88

К12

Рецензенты: академик Российской Академии наук, профессор, директор института «Радиотехники и электроники» Российской Академии наук *Ю. В. Гуляев*; академик Российской Академии наук, профессор, заведующий кафедрой Московского физико-технического института (МФТИ) *А. С. Бугаев*; доктор физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник института «Радиотехники и электроники» Российской Академии наук *Е. И. Нефёдов*

**Каганов В. И.**

**К12** Колебания и волны в природе и технике. Компьютеризированный курс: Учебное пособие для вузов. - М.: Горячая линия-Телеком, 2008. - 336 с: ил.

**ISBN 978-5-9912-0008-0.**

Изложены основы теории колебаний и волн различной физической природы в механических, электронных, биологических, химических системах и планетарного вида. Анализируются линейные, нелинейные, параметрические, случайные и хаотические колебания в разнообразных объектах. Исследуется прохождение электромагнитных волн в структурах распределенного типа и их распространение в свободном пространстве. Анализируются поверхностные, внутренние, уединенные, акустические и ударные волны в сплошных средах - жидкостях и газах. Рассматриваются волны природного характера, связанные с землетрясениями, цунами и циклонами. Приведено 76 программ на основе универсального математического пакета программ «MathCAD» по большинству разделов дисциплины, позволяющие с помощью компьютера анализировать и рассчитывать колебательные и волновые процессы в различных системах и средах, в том числе с использованием вейвлет-анализа.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям направления «Радиотехника», и аспирантов.

**ББК 32.88**

*Учебное издание*

**Каганов Вильям Ильич**

**Колебания и волны в природе и технике**

**Компьютеризированный курс**

Учебное пособие

Редактор *Ю. Н. Чернышев*

Художник *В. Г. Ситников*

Компьютерная верстка *Ю. Н. Чернышева*

Подписано в печать **26.07.2007**. Формат **60 x 90**/ . Гарнитура **Times**.

Усл. псч. л. **21**. Уч.-изд. л. **22,75**. Тираж **2000** экз. (1-й завод **1000** экз.). Изд. № **78**. Заказ № **8000**.

Отпечатано с готовых диапозитивов в ОАО ордена «Знак Почета»

«Смоленская областная типография им. В. И. Смирнова»

**214000**, г. Смоленск, проспект им. Ю. Гагарина, **2**.

**ISBN 978-5-9912-0008-0**

© В. И. Каганов, **2008**

© Оформление издательства  
«Горячая линия-Телеком», **2008**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
Введение .....	5
<b>Глава 1. Исходные положения теории колебаний .....</b>	<b>13</b>
1.1. Примеры колебаний и волн в природе и технике .....	13
1.2. Классификация колебаний .....	17
1.3. Общий математический подход к колебательным процес- сам .....	20
1.4. Спектральный Фурье-анализ колебаний .....	27
1.5. Устойчивость линейной системы .....	40
1.6. Фазовая плоскость .....	41
1.7. Синхронизация колебаний .....	46
1.8. Энергетический подход к исследованию колебаний .....	47
<i>Контрольные вопросы</i> .....	52
<b>Глава 2. Две базовые колебательные модели .....</b>	<b>53</b>
2.1. Колебательная модель второго порядка .....	53
2.2. Колебательный контур последовательного и параллель- ного типа .....	54
2.3. Вынужденные колебания в контуре .....	62
2.4. Свободные колебания маятника .....	67
2.5. Вынужденные колебания маятника .....	73
<i>Контрольные вопросы</i> .....	75
<b>Глава 3. Колебания при вращении твердых тел .....</b>	<b>77</b>
3.1. Модель с двумя видами движения .....	77
3.2. Движение твердого тела вокруг неподвижной точки .....	80
3.3. Взаимодействие двух тел в поле тяготения .....	87
3.4. Взаимодействие трех тел в поле тяготения .....	94
<i>Контрольные вопросы</i> .....	100

<b>Глава 4. Колебания в технических объектах</b> .....	101
4.1. Колебания корабля под действием морских волн .....	101
4.2. Колебания, разрушающие самолет .....	107
4.3. Колебания центробежного регулятора .....	111
<i>Контрольные вопросы</i> .....	116
<b>Глава 5. Колебания и автоколебания в электронных устройствах</b> .....	117
5.1. Определение автоколебаний .....	117
5.2. Электронный автогенератор высокочастотных колебаний .....	119
5.3. Синхронизация автогенератора внешним сигналом .....	125
5.4. Взаимная синхронизация автогенераторов .....	128
5.5. Фазовая синхронизация колебаний .....	131
5.6. Колебания в контуре с нелинейной индуктивностью .....	135
5.7. Колебания в контуре с нелинейной емкостью .....	140
5.8. Генерация релаксационных колебаний .....	143
5.9. Движение электрона в электрическом и магнитном полях .....	144
<i>Контрольные вопросы</i> .....	146
<b>Глава 6. Автоколебания в биологических и химических системах</b> .....	148
6.1. Механизм автоколебаний в биологических и химических системах .....	148
6.2. Автоколебания в мире животных .....	150
6.3. Автоколебательный химический процесс .....	153
6.4. Автоколебательный процесс энергообеспечения живой клетки .....	158
6.5. Автоколебательный процесс при кросскатализе .....	159
6.6. Моделирование аритмии сердца .....	161
<i>Контрольные вопросы</i> .....	165
<b>Глава 7. Параметрические колебания</b> .....	166
7.1. Уравнения системы с переменными параметрами .....	166
7.2. Маятник с переменными параметрами .....	167
7.3. Электрический контур с переменными параметрами .....	169
7.4. Параметрический делитель частоты .....	174
<i>Контрольные вопросы</i> .....	176
<b>Глава 8. Случайные колебания</b> .....	177
8.1. Стационарный (гауссовский) случайный процесс .....	177
8.2. Функция корреляции и энергетический спектр .....	180
8.3. Воздействие случайного колебания на колебательную систему .....	186

<i>Контрольные вопросы</i> .....	191
<b>Глава 9. Хаотические колебания</b> .....	192
9.1. Режим хаоса в колебательных системах .....	192
9.2. Тепловая конвекция в слое жидкости .....	195
9.3. Хаос при размножении колебаний .....	198
<i>Контрольные вопросы</i> .....	203
<b>Глава 10. Вейвлет-анализ колебаний</b> .....	204
10.1. Особенности Фурье-преобразования .....	204
10.2. Основные черты вейвлет-преобразования .....	205
10.3. Непрерывное вейвлет-преобразование с вейвлетом «мар- лет» .....	211
10.4. Анализ колебаний, излученных геологическим радаром .	214
10.5. Анализ электрокардиограммы .....	216
<i>Контрольные вопросы</i> .....	218
<b>Глава 11. Анализ волновых процессов</b> .....	219
11.1. Математические модели волновых процессов .....	219
11.2. Конечно-разностный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными .....	224
<i>Контрольные вопросы</i> .....	230
<b>Глава 12. Волны в структурах распределенного типа</b> .....	231
12.1. Волны в линейной бездисперсионной среде .....	231
12.2. Волны в линейной дисперсионной среде .....	236
12.3. Волны в активной среде .....	243
12.4. Волны в нелинейной среде .....	247
12.5. Волна-импульс в нелинейной среде .....	251
<i>Контрольные вопросы</i> .....	255
<b>Глава 13. Волны в сплошных средах</b> .....	256
13.1. Характеристика сплошной среды .....	256
13.2. Поверхностные волны в жидкости .....	258
13.3. Уединенная волна .....	265
13.4. Акустические волны .....	269
13.5. Внутренние волны .....	279
13.6. Ударные волны .....	280
<i>Контрольные вопросы</i> .....	287
<b>Глава 14. Электромагнитные волны</b> .....	289
14.1. Уравнения электромагнитной волны .....	289
14.2. Плоская электромагнитная волна .....	293
14.3. Излучение электромагнитных волн .....	295
14.4. Распространение радиоволн .....	298

14.5. Дифракция .....	302
<i>Контрольные вопросы</i> .....	307
<b>Глава 15. Волны, несущие разрушения</b> .....	<b>308</b>
15.1. Волны в природе .....	308
15.2. Сейсмические волны при землетрясениях .....	309
15.3. Океанические волны цунами .....	311
15.4. Тропический циклон как глобальная колебательная система .....	314
<i>Контрольные вопросы</i> .....	322
Приложения .....	323
Список литературы .....	327