

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В. Н. КАРАЗІНА

**МЕТОДИ КОМП'ЮТЕРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ
В РАДІОФІЗИЦІ**

Навчальний посібник

Харків – 2015

УДК 537.8;004.94(075.8)
ББК 32.841я73
М 54

Рецензенти:

Г. І. Чурюмов – доктор фіз.-мат. наук, професор, академік Академії наук прикладної радіоелектроніки, професор кафедри фізичних основ електронної техніки Харківського національного університету радіоелектроніки;

С. О. Масалов – доктор фіз.-мат. наук, професор, завідувач відділу радіофізичної інтроскопії Інституту радіофізики та електроніки ім. О. Я. Усикова НАН України.

*Затверджено до друку рішенням Вченої ради
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна
(протокол № 11 від 25 листопада 2013 року)*

М 34 **Методи** комп'ютерного експерименту в радіофізиці : навчальний посібник / М. В. Андрєєв, С. Л. Бердник, О. Б. Гниленко та ін. – Х. : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2015. – 256 с.

ISBN 978-966-285-213-4

У навчальному посібнику викладено методи комп'ютерного моделювання, які знайшли широке застосування для проведення комп'ютерного експерименту в радіофізиці при розв'язанні граничних задач електродинаміки, дослідженні електродинамічних властивостей хвилевідних та резонаторних елементів, антенних систем, радіолокаційних характеристик об'єктів у вільному просторі, обробці експериментальних даних. Викладено методи цифрового спектрального аналізу даних, вейвлет-аналізу, метод скінченних різниць у часовій області, метод моментів, метод скінченних елементів, методи одновимірної оптимізації. Наведено приклади розв'язання типових задач, завдання для самостійного розв'язання та контрольні запитання для перевірки знань.

Посібник призначений для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямками підготовки «Прикладна фізика» і «Мікро- та наноелектроніка».

**УДК 537.8;004.94(075.8)
ББК 32.841я73**

ISBN 978-966-285-213-4

© Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2015

© Андрєєв М. В., Бердник С. Л.,
Гниленко О. Б., Дробахін О. О.,
Катрич В. О., Погарський С. О., 2015

© Дончик І. М., макет обкладинки, 2015

Зміст

ПЕРЕДМОВА	6
1. СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ НА ОСНОВІ ДИСКРЕТНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є	8
Перетворення Фур'є безперервного нескінченного сигналу.....	8
Перетворення Фур'є безперервного сигналу, заданого на інтервалі..	10
Перетворення Фур'є дискретизованого сигналу.....	13
Частота Найквіста та ефект підміни частоти.....	17
Зміст дискретних компонент дискретного перетворення Фур'є.....	19
Швидке дискретне перетворення Фур'є.....	21
Параметричний спектральний аналіз за допомогою перетворення Фур'є.....	22
Завдання для самостійного розв'язання.....	24
Контрольні запитання.....	26
Література.....	27
2. МЕТОД ПРОНІ	28
Теоретичне обґрунтування методу Проні.....	28
Вплив шагу дискретизації на точність методу Проні.....	31
Визначення амплітудних параметрів експоненціальних сигналів....	34
Завдання для самостійного розв'язання.....	36
Контрольні запитання.....	38
Література.....	39
3. МЕТОД ПУЧКА МАТРИЦЬ	40
Призначення методу пучка матриць.....	40
Матриця даних суми комплексних експонент та її розкладання.....	41
Теоретичне обґрунтування методу пучка матриць.....	45
Реалізація методу пучка матриць за допомогою сингулярного розкладання.....	50
Завдання для самостійного розв'язання.....	52
Контрольні запитання.....	55
Література.....	57
4. МЕТОД СКІНЧЕНИХ РІЗНИЦЬ У ЧАСОВІЙ ОБЛАСТІ	58
Рівняння методу скінчених різниць у часовій області.....	61
Вибір кроку дискретизації.....	67

Вибір джерела електромагнітного поля.....	70
Гармонійні та імпульсні джерела.....	70
Джерела, що замінюються, і джерела, що додаються.....	71
Метод повного/розсіяного поля.....	74
Граничні умови.....	80
Невідбиваючі граничні умови.....	80
Граничні умови Мура.....	82
Ідеально узгоджений шар.....	88
Контрольні запитання.....	96
Задачі для самостійного розв'язання.....	97
Література.....	110
5. МЕТОД МОМЕНТІВ.....	112
Основи методу моментів.....	113
Базисні і тестові функції.....	116
Базисні функції однієї змінної.....	116
Базисні функції декількох змінних.....	120
Метод Бубнова-Гальоркіна і варіаційні принципи.....	123
Інтегральні рівняння для електричного і магнітного струмів у тонких вібраторах і вузьких щілинах.....	125
Загальна постановка задачі.....	125
Розв'язання задачі методом моментів.....	132
Завдання і приклади для самостійного розв'язання.....	134
Контрольні запитання.....	146
Література.....	146
6. МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....	148
Послідовність розрахунків поля МСЕ із процедурою методу Гальоркіна.....	152
Приклад розрахунку поля МСЕ з використанням методу Гальоркіна.....	156
Варіаційне формулювання МСЕ.....	159
Приклад розрахунків поля МСЕ з використанням варіаційного принципу.....	164
Базисні функції та інтерполяційні формули.....	166
Завдання для самостійного розв'язання.....	170

Контрольні запитання.....	172
Література.....	172
7. ВЕЙВЛЕТИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ.....	173
Аналіз за допомогою базисних функцій.....	173
Недоліки спектрального аналізу на основі перетворення Фур'є.....	176
Віконне перетворення Фур'є та перетворення Габора.....	178
Атоми частотно-часового перетворення та принцип невизначеності.....	181
Оборотність та локалізація частотно-часового перетворення.....	184
Вейвлети та їх основні властивості.....	187
Неперервне вейвлет-перетворення.....	191
Приклади вейвлетоутворювальних функцій.....	194
Вейвлет-каркаси та ортогональні вейвлет-базиси.....	198
Кратномасштабний аналіз.....	200
Масштабувальна функція кратномасштабного розкладання.....	202
Вейвлети кратномасштабного розкладання.....	205
Вейвлет-розкладання та принципи конструювання вейвлет-базису...	208
Дискретне вейвлет-перетворення.....	212
Спряжені дзеркальні фільтри та базис ДВП.....	216
Дискретне вейвлет-перетворення періодичної послідовності.....	220
Дискретне вейвлет-перетворення скінченної послідовності.....	222
Видалення шумів із сигналу з використанням вейвлет-перетворення.....	225
Завдання для самостійного розв'язання.....	227
Контрольні запитання.....	235
Література.....	237
8. МЕТОДИ ОДНОВИМІРНОЇ МІНІМІЗАЦІЇ.....	238
Основні принципи одновимірної мінімізації унімодальної функції..	239
Методи виключення.....	241
Методи поліноміальної інтерполяції.....	247
Завдання для самостійного розв'язання.....	251
Контрольні запитання.....	254
Література.....	255