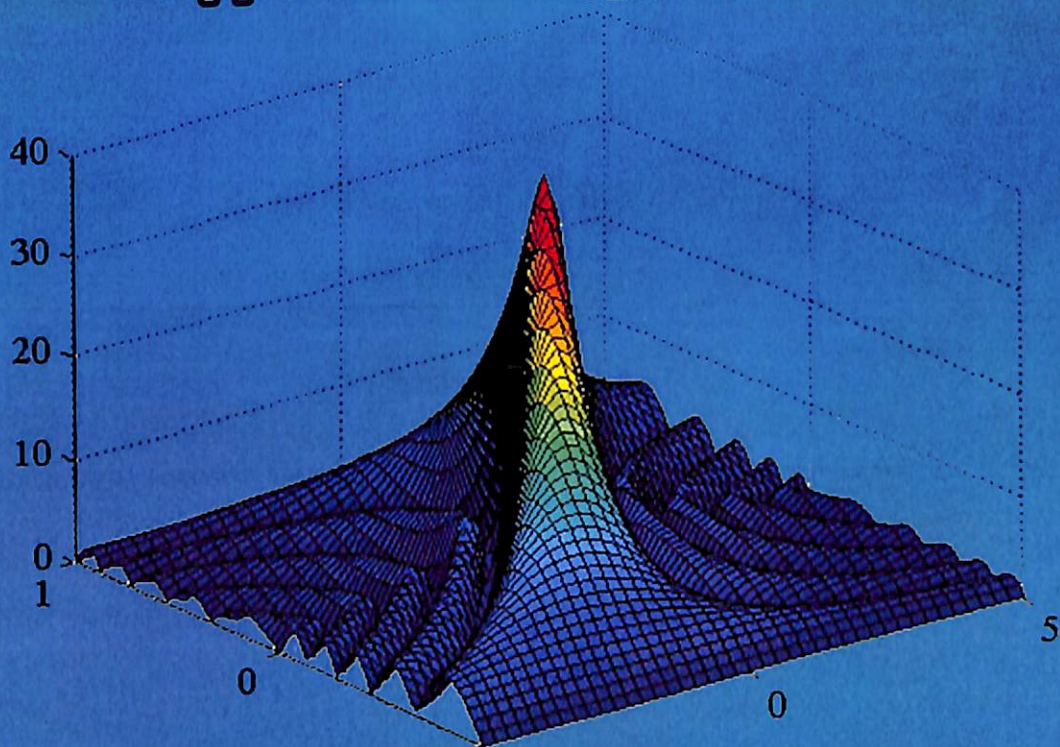


004.9  
М 34

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПОВІТРЯНИХ СИЛ імені ІВАНА КОЖЕДУБА



# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ



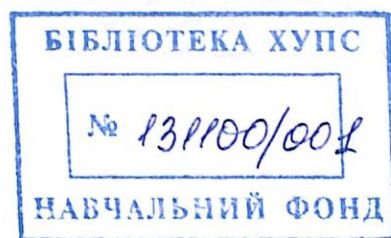
Харків  
2018

004.9  
МЗ4

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПОВІТРЯНИХ СИЛ імені ІВАНА КОЖЕДУБА

# МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Навчальний посібник



Харків  
2018



УДК 004.942:621.37 (075.8)  
М34

*Рекомендовано до друку вченою радою  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба  
(протокол № 2 від 20 січня 2016 р.)*

*Авторський колектив: П. Ю. Костенко, С. А. Макаров, О. В. Шаповалов,  
О. В. Мазуренко, В. В. Слободянюк*

*Рецензенти: М. А. Павленко, доктор технічних наук, професор;  
І. Л. Костенко, кандидат військових наук.*

**Математичне моделювання радіотехнічних систем : навч.  
М34 посіб. / П. Ю. Костенко, С. А. Макаров, О. В. Шаповалов та ін. –  
Х. : ХНУПС. – 2018, 276 с.: іл.**

Розглято основи теорії та засоби комп'ютерного моделювання радіотехнічних систем. Наведені основні поняття моделі та імітаційного моделювання радіотехнічних систем. Викладено сучасні програмні засоби математичного та імітаційного моделювання, способи опису радіотехнічних систем та пристроїв, а також окремі методи й алгоритми моделювання сигналів та завад і приклади інструментальних засобів моделювання деяких радіотехнічних систем та їх елементів.

Навчальний посібник надасть допомогу курсантам при вивченні навчальної дисципліни “Математичне моделювання систем радіотехнічного забезпечення польотів державної авіації”.

**УДК 004.942:621.37 (075.8)**

©Костенко П. Ю., Макаров С. А., Шаповалов О. В.,  
Мазуренко О. В., Слободянюк В. В., 2018

©Харківський національний університет  
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2018

## З М І С Т

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ .....	6
ВСТУП .....	8
1. ПОНЯТТЯ МОДЕЛІ Й МОДЕЛЮВАННЯ.....	11
1.1. Загальні відомості про моделі та моделювання.....	11
1.2. Класифікація абстрактних моделей.....	13
1.3. Ієрархія моделей.....	17
1.4. Поняття комп'ютерної моделі.....	19
1.5. Поняття чисельно-математичного та імітаційного моделювання	20
1.6. Етапи й цілі комп'ютерного моделювання .....	27
1.6.1. Етапи комп'ютерного моделювання.....	27
1.6.2. Формалізація й алгоритмізація комп'ютерних моделей .....	32
1.6.3. Побудова концептуальної моделі системи і її формалізація	33
1.6.4. Форми представлення моделюючих алгоритмів .....	36
1.6.5. Основні поняття й визначення методів моделювання	
РТС і П.....	37
1.6.6. Основні задачі та структурна схема моделювання.....	38
1.6.7. Статистичне моделювання при розв'язанні детермінованих	
задач.....	41
1.6.8. Класифікація математичних моделей РЕО .....	47
1.6.9. Методи імітаційного моделювання.....	48
1.6.10. Методологія імітаційного моделювання РТС і П.....	50
1.6.11. Класифікація, вибір і обґрунтування методів	
математичного моделювання .....	56
1.7. Класифікація функціональних ланок РТС і П .....	58
2. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ВПЛИВІВ НА РАДІОПРИСТРОЇ.....	60
2.1. Класифікація впливів .....	60
2.2. Дискретизація й квантування неперервних впливів .....	66
2.3. Методи й алгоритми моделювання впливів.....	70
2.3.1. Моделювання детермінованих сигналів.....	70
2.3.2. Методи моделювання випадкових величин .....	74
2.3.3. Моделювання випадкових величин з типовими законами	
розподілу .....	77
2.3.4. Загальний принцип моделювання випадкових процесів .....	80
2.3.5. Методи й алгоритми моделювання випадкових процесів з	
нормальним законом розподілу .....	83
2.3.6. Моделювання стаціонарного випадкового процесу,	
породжуваного нормальним процесом.....	88
2.3.7. Моделювання нестационарних випадкових процесів .....	90

2.4. Організація моделювання РТС на ЕОМ і обробка результатів моделювання.....	91
2.4.1. Основні етапи моделювання.....	91
2.4.2. Обчислювальні витрати при моделюванні.....	94
2.4.3. Вибір кроку дискретизації при моделюванні.....	96
2.4.4. Особливості математичного моделювання складних радіотехнічних систем.....	98
2.4.5. Проблеми побудови математичних моделей складних радіотехнічних систем та їх спрощення.....	99
3. ОПИС СИСТЕМ СТРУКТУРНОЮ СХЕМОЮ Й ПЕРЕДАВАЛЬНОЮ ФУНКЦІЄЮ.....	104
3.1. Опис систем структурною схемою.....	104
3.2. Опис систем диференціальними рівняннями.....	105
3.3. Взаємозв'язок описів.....	107
4. ДЕЯКІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ.....	108
4.1. Візуальне середовище математичного моделювання Mathcad.....	108
4.1.1. Основні можливості середовища Mathcad.....	109
4.1.2. Призначення й порівняльна характеристика.....	109
4.1.3. Інтерфейс та графіка середовища Mathcad.....	111
4.2. Формування сигналів у середовищі Mathcad.....	112
4.2.1. Задання в Mathcad сигналів у вигляді функцій і векторів.....	112
4.2.2. Гармонічний сигнал на інтервалі $T$ .....	114
4.2.3. Елементарні імпульсні сигнали.....	115
4.2.4. Імпульс з експоненціальними фронтами.....	118
4.2.5. Трапецеїдальний імпульс.....	119
4.2.6. Дзвоноподібний (гауссів) імпульс.....	120
4.2.7. Радіоімпульс.....	121
4.2.8. Формування сигналів, описуваних різними кодовими послідовностями.....	122
4.2.9. Моделювання джерел складних сигналів у програмному середовищі.....	123
4.3. Система чисельно-математичного моделювання MATLAB.....	131
4.3.1. Зовнішні інтерфейси.....	132
4.3.2. Набори інструментів.....	133
4.3.3. Робота в системі MATLAB.....	135
4.4. Основи візуального моделювання динамічних систем (пакет Simulink).....	144
4.4.1. Загальні відомості про Simulink.....	144
4.4.2. Запуск Simulink.....	145
4.4.3. Оглядач розділів бібліотеки Simulink.....	145

4.4.4. Створення моделі .....	148
4.4.5. Огляд основних розділів бібліотеки й блоків Simulink .....	153
4.4.6. Інші розділи бібліотеки Simulink .....	179
4.4.7. Функціональне моделювання радіосистем .....	189
4.4.8. Розробка динамічних функціональних моделей елементів радіосистем на основі апарата комплексної обвідної .....	193
4.4.9. Дослідження часових і частотних характеристик цифрових КІХ і НІХ фільтрів за допомогою динамічних функціональних моделей .....	198
<b>5. ПРИКЛАДИ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕЯКИХ РТС ТА ЇХ ЕЛЕМЕНТІВ</b>	<b>202</b>
5.1. Моделювання стежачого моноімпульсного амплітудного сумарно-різницевого пеленгатора .....	202
5.2. Математичне моделювання виявника сигналу .....	215
5.2.1. Приймання сигналу .....	215
5.2.2. Виявлення сигналу .....	220
5.3. Модель фільтра Калмана в середовищі Simulink .....	231
5.4. Фільтр Калмана .....	239
5.5. Моделювання системи автоматичного регулювання підсилення ..	245
5.6. Моделювання системи фазового автоматичного підстроювання частоти .....	252
5.7. Моделювання приймально-передавального тракту супутникової радіонавігаційної системи ГЛОНАСС .....	257
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	<b>274</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	<b>275</b>