

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Д. Ф. БОГДАНОВ
Ф. В. АБРАМОВ**

**ОСНОВИ НАДІЙНОСТІ
ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ
АПАРАТУРИ**

Рекомендовано Міністерством
освіти і науки України як
навчальний посібник для
студентів вищих навчальних
закладів

Харків НТУ “ХПІ” 2006

ББК 32. 844-02
Б73
УДК 6211.396.6.004.15

Рецензенти: *С.М. Сакало*, к.т.н, професор, декан радіотехнічного факультету, Харківський національний університет радіоелектроніки;
В.І. Гребенник, заступник директора з науки, головний конструктор, Харківський виробничо-технологічний комплекс з систем автоматизованого керування.

Б73 Богданов Д.Ф., Абрамов Ф.В. Основи надійності та експлуатації радіоелектронної апаратури: Навчальний посібник. – Харків: НТУ “ХПИ”, 2005. – 341 с.

Містить розділи теорії і практики надійності та експлуатації РЕА, які передбачені навчальною програмою. Основна увага приділяється питанням інженерних методик розрахунку надійності РЕА при основному та резервному з’єднаннях апаратури, а також методам апостеріорної оцінки надійності під час випробувань і дослідної експлуатації.

Містить також низку розділів, присвячених питанням технічного обслуговування, ремонту та зберігання РЕА.

Призначений для студентів спеціальності 7.070201 “Радіофізика і електроніка”, але може бути використаний студентами інших спеціальностей, які вивчають електронну апаратуру.

Содержит предусмотренные учебной программой разделы теории и практики надёжности, а также эксплуатации РЭА. Основное внимание уделяется вопросам инженерных методик надёжности РЭА при основном и резервном соединениях аппаратуры, а также методам апостериорной оценки надёжности в период истинной и опытной эксплуатации.

Содержит также ряд разделов, посвящённых вопросам технического обслуживания, ремонта и хранения РЭА.

Предназначен для студентов специальности 7.070201 “Радиофизика и электроника”, однако может быть использован студентами других специальностей, которые изучают электронную аппаратуру.

Лл. 117. Табл. 74. Бібліогр.: 16 назв.

ББК 32. 844-02

© Богданов Д.Ф.

Абрамов Ф.В. 2005 р.

ISBN

ЗМІСТ

Передмова.....	3
Вступ.....	5
Тема 1. Проблеми надійності РЕА	6
1.1. Виникнення та сутність проблеми надійності РЕА	6
1.2. Характеристика особливостей РЕА з точки зору проблем надійності ..	8
1.3. Основні різновиди відмов РЕА	9
1.4. Коротка характеристика чинників, які впливають на надійність РЕА ..	10
1.5. Структура та задачі служб надійності організацій-розробників і серійних підприємств	11
Тема 2. Основні поняття та математичні основи теорії надійності	12
2.1. Теорія ймовірностей як основний математичний апарат для дослідження надійності РЕА	12
2.1.1. Відмови РЕА як випадкові події	12
2.1.2. Статистичне визначення ймовірності.....	12
2.1.3. Ймовірність суми подій.....	15
2.1.4. Ймовірність добутку подій	15
2.1.5. Формула повної ймовірності.....	16
2.1.6. Формула ймовірностей гіпотез (формула Байєса).....	18
2.1.7. Формула Бернуллі	20
2.1.8. Граничні теореми теорії ймовірностей.....	23
2.1.9. Використання понять інтегрального та диференціального законів розподілу у теорії надійності.....	28
2.2. Основні закони розподілу, що використовуються у теорії надійності ..	32
2.2.1. Загальні положення.....	32
2.2.2. Експоненціальний (показовий) закон розподілу	32
2.2.3. Нормальний (гауссівський) закон розподілу	37
2.2.4. Логарифмічно-нормальний закон розподілу	41
2.3. Основні положення математичної статистики, що використовується у теорії надійності.....	43
2.3.1. Загальні положення.....	43

2.3.2. Статистична обробка вибірки	43
2.3.3. Числові (точкові) характеристики вибірки	48
2.3.4. Використання понять надійного інтервалу та надійної ймовірності.....	48
2.4. Основні поняття про випадкові процеси та потоки випадкових подій	49
2.5. Завдання для самостійної роботи	50
Тема 3. Імовірнісні критерії надійності РЕА	57
3.1. Імовірність відмови РЕА	57
3.2. Імовірність безвідмовної роботи РЕА.....	60
3.3. Частота відмов РЕА	61
3.4. Інтенсивність відмов (параметр потоку відмов) РЕА.....	64
3.5. Середній час безвідмовної роботи РЕА	68
3.6. Взаємозв'язок між імовірнісними критеріями надійності РЕА.....	71
3.6.1. Взаємозв'язок між імовірнісними критеріями надійності РЕА при будь-якому законі розподілу.....	71
3.6.2. Взаємозв'язок між імовірнісними критеріями надійності РЕА для експоненціального закону розподілу часу відмови.....	72
3.7. Кількісні критерії надійності систем, що відновлюються	73
3.8. Кількісні критерії довговічності та зберігання апаратури	76
3.9. Особливості ймовірнісних критеріїв надійності апаратури при її поступових відмовах	76
Тема 4. Характеристичні критерії оцінки надійності РЕА	78
4.1. Особливості та класифікація характеристичних (якісних) критеріїв надійності РЕА.....	78
4.2. Характеристичні критерії, які пов'язані з аналізом прийнятих схемних рішень	79
4.2.1. Критерії, які засновані на аналізі структурних та функціональних схем	79
4.2.2. Критерії, які засновані на аналізі принципів електричних схем апаратури.....	79
4.3. Характеристичні критерії, які пов'язані з якістю обраної елементної бази апаратури.....	80
4.3.1. Загальні зауваження	80

4.3.2. Критерії, що характеризують надійність елементів	81
4.3.3. Критерії, що характеризують режими роботи елементів	81
4.4. Характеристичні критерії, які пов'язані з аналізом прийнятих рішень щодо конструкції апаратури	81
4.4.1. Критерії, що оцінюють умови функціонування апаратури, виходячи з прийнятих конструктивних рішень	81
4.4.2. Критерії оцінки надійності апаратури з погляду досконалості технології їх монтажу, виготовлення та технічного обслуговування	82
4.5. Характеристичні критерії оцінки експлуатаційної надійності	82
4.5.1. Критерії, що оцінюють вплив чинників, які пов'язані з функціонуванням та технічним обслуговуванням апаратури	82
4.5.2. Критерії, що оцінюють достатність прийнятих вимог до умов експлуатації апаратури	83

Тема 5. Імовірнісні методи розрахунку надійності РЕА при основному з'єднанні елементів..... 83

5.1. Класифікація апріорних методів розрахунку надійності нерезервованих РТС	83
5.2. Розрахунок надійності систем за наявності раптових відмов її елементів	88
5.2.1. Загальні зауваження	88
5.2.2. Розрахунок надійності систем за середньогруповими інтенсивностями відмов її елементів	88
5.2.3. Розрахунок надійності систем за середнім рівнем надійності однотипної апаратури.....	96
5.2.4. Розрахунок надійності систем за коефіцієнтом перерахунку до реальних умов експлуатації	102
5.2.5. Розрахунок надійності систем коефіцієнтним методом	104
5.2.6. Розрахунок надійності систем графічним методом за допомогою номограми $P(t)$	112
5.2.7. Уточнений метод розрахунку надійності систем з використанням коефіцієнтів, що враховують фактичний вплив зовнішніх чинників та ступеня завантаженості її елементів	116
5.3. Розрахунок надійності систем за наявності їх поступових вімов	123
5.3.1. Використання нормального закону розподілу.....	123

5.3.2. Використання закону розподілу Релея	126
5.4. Графоаналітичний метод розрахунку надійності систем при довільному законі розподілу часу їх відмов.....	127
5.5. Розрахунок надійності систем з урахуванням ймовірнісних характеристик процесу відновлення апаратури	129
5.6. Завдання для самостійної роботи	131

Тема 6. Ймовірнісні методи розрахунку надійності РЕА при резервному з'єднанні елементів апаратури	139
6.1. Класифікація методів резервування РЕА	139
6.2. Розрахунок надійності РЕА при постійному (гарячому) резервуванні з цілою кратністю одноблочної системи	141
6.2.1. Дублювання при довільному законі розподілу часу відмов.....	141
6.2.2. Резервування будь-якої кратності при довільному законі розподілу часу відмов	142
6.2.3. Резервування довільної кратності при експоненціальному законі розподілу часу відмов	145
6.3. Розрахунок надійності РЕА при холодному резервуванні заміщенням з цілою кратністю одноблочної системи	146
6.3.1. Дублювання при довільному законі розподілу часу відмов.....	146
6.3.2. Дублювання при експоненціальному законі розподілу часу відмов.....	149
6.3.3. Резервування довільної кратності при експоненціальному законі розподілу часу відмов	150
6.4. Розрахунок надійності РЕА при гарячому резервуванні з цілою кратністю багатоблочної системи	153
6.4.1. Загальне резервування	153
6.4.2. Роздільне резервування	155
6.5. Розрахунок надійності РЕА при постійному (гарячому) резервуванні з дробовою кратністю одноблочної системи.....	157
6.6. Інші види резервування.....	162
6.6.1. Розрахунок надійності РЕА при холодному резервуванні з цілою кратністю багатоблочної системи без урахування надійності перемикальних пристроїв при експоненціальному законі розподілу часу відмов	162

6.6.1.1. Загальне резервування кратності m	162
6.6.1.2. Роздільне дублювання.....	163
6.6.2. Розрахунок надійності РЕА при гарячому ковзному резервуванні багатоблочної системи без урахування надійності перемикальних пристроїв і при експоненціальному законі розподілу часу відмов.....	165
6.6.2.1. Ковзне дублювання.....	165
6.6.2.2. Ковзне резервування кратності m	165
6.6.3. Розрахунок надійності РЕА при теплому резервуванні одиночного елемента кратності m без урахування надійності перемикальних пристроїв і експоненціальному законі розподілу часу відмов.....	166
6.6.4. Співвідношення для розрахунку надійності РЕА при рівній надійності та експоненціальному законі розподілу часу відмов усіх блоків основного та резервних каналів системи.....	167
6.7. Приклади розрахунку надійності РЕА при сполученні різноманітних методів резервування.....	167
6.8. Розрахунок надійності резервованих систем, відмови в елементах яких відбуваються винятково внаслідок обриву та короткого замикання.....	184
6.9. Оптимальне резервування РЕА.....	188
6.9.1. Основні задачі й методи оптимального резервування.....	188
6.9.2. Метод умовних екстремумів або невизначених множників Лагранжа.....	189
6.9.3. Метод найскорішого спуску (градієнтний метод або метод Коші.....	190
6.9.4. Метод динамічного програмування.....	192
6.9.5. Класичний метод пошуку екстремуму.....	193
6.9.6. Приклади розв'язання задач оптимального резервування.....	194
6.10. Завдання для самостійної роботи.....	215
Тема 7. Методи підвищення надійності РЕА.....	224
7.1. Особливості вимог щодо надійності, які ставляться до складних РТС.....	224
7.2. Методи підвищення надійності РЕА при проектуванні та виготовленні, крім структурної надмірності (резервування).....	226

7.3. Особливості застосування резервування як найбільш радикального методу підвищення надійності РЕА	228
7.3.1. Вплив кількості елементів в основному і відповідно резервних каналах на надійність резервування системи.....	228
7.3.2. Вплив тривалості функціонування резервованої апаратури на виграш її надійності за ймовірністю відмови.....	228
7.3.3. Залежність виграшу надійності за середнім часом безвідмовної роботи для різноманітних видів резервування від кратності резервування	232
7.3.4. Загальні висновки щодо доцільності застосування резервування як такого.....	233
7.4. Порівняння результатів підвищення надійності РЕА при одночасному застосуванні зниження інтенсивності відмов її елементів і резервування.....	234
7.5. Загальні висновки щодо вибору методів підвищення надійності РТС і їхнього взаємозв'язку.....	236
7.6. Приклад розв'язання задачі, пов'язаної з вибором необхідних заходів для забезпечення заданої надійності проектованої РЕА	237

Тема 8. Визначення показників надійності РЕА за результатами її випробувань на надійність, досвідної або штатної експлуатації.....	242
8.1. Сутність і особливості експериментальної оцінки надійності РЕА.....	242
8.2. Експериментальне визначення закону розподілу час між відмовами РЕА.....	243
8.3. Експериментальне визначення закону розподілу часу відновлення РЕА.....	251
8.4. Визначення ймовірнісних критеріїв надійності РЕА за допомогою номограм (таблиць) для надійних інтервалів і надійних ймовірностей	252
8.4.1. Оцінка ймовірності безвідмовної роботи РЕА при експоненціальному законі розподілу	252
8.4.2. Оцінка ймовірності відновлення апаратури в заданий час при розподілі часу відновлення за законом Ерланга	258
8.4.3. Оцінка коефіцієнта готовності	259
8.4.4. Оцінка середнього часу безвідмовної роботи РЕА при нормальному законі розподілу	262

8.4.5. Визначення надійного інтервалу значень імовірності безвідмовної роботи РЕА за відсутності відмов у процесі її випробувань на надійність	264
8.5. Застосування послідовного аналізу для оцінки результатів випробувань РЕА на надійність	267
8.6. Деякі типові задачі з експериментальної оцінки надійності РЕА	273
8.6.1. Оцінка надійності РЕА за результатами її випробувань.....	273
8.6.2. Обґрунтування мінімально необхідної кількості статистичних випробувань (дослідів) РТС.....	278
8.6.3. Визначення сподіваної тривалості випробувань РТС на надійність	278
8.6.4. Експериментальне визначення відповідності експлуатаційної надійності розрахунковим значенням та заданим вимогам до надійності РТС	279
8.7. Завдання для самостійної роботи	279
Тема 9. Основні положення теорії експлуатації РТС	284
9.1. Основні визначення	284
9.2. Задачі, які розв'язуються теорією експлуатації РТС	285
9.3. Експлуатаційні показники РТС	287
9.4. Ефективність застосування РТС.....	288
9.4.1. Технічна ефективність РТС.....	288
9.4.2. Економічна ефективність РТС	291
9.5. Організація експлуатації РТС.....	296
Тема 10. Технічне обслуговування, ремонт та збереження РТС	300
10.1. Контроль технічного стану РТС.....	300
10.1.1. Достовірність контролю РТС	300
10.1.2. Інші кількісні показники процесу контролю	303
10.1.3. Класифікація видів контролю	307
10.1.4. Вибір параметрів, що контролюються	307
10.1.5. Методи контролю працездатності	311
10.1.6. Методи діагностики відмов РТС.....	312
10.1.7. Прогнозування відмов	325
10.2. Технічне обслуговування РЕА	327

10.2.1. Основні задачі технічного обслуговування РЕА	327
10.2.2. Види технічного обслуговування РЕА	328
10.2.3. Основні показники процесу ТО	329
10.2.4. Періодичність ТО	330
10.3. Ремонт РТС.....	333
10.4. Зберігання РТС.....	334
10.5. Склад і основні вимоги до експлуатаційної документації РЕА.....	335
Тема 11. Особливості організації ТО окремих складових частин РТС	338
11.1. Радіопередавальні пристрої	338
11.1.1. Радіопередавальні пристрої з аналоговими методами модуляції	338
11.1.2. Радіопередавальні пристрої з імпульсними методами модуляції	340
11.2. Антенно-фідерні пристрої.....	341
11.3. Радіоприймальні пристрої.....	347
11.4. Пристрої виділення і реєстрації параметрів, що вимірюються	348
11.5. Джерела живлення.....	348
11.5.1. Структура систем електроживлення.....	348
11.5.2. Особливості контролю нестабілізованих випрямлячів	351
11.5.3. Оцінка параметрів стабілізованих випрямлячів	353
11.6. Підготовка РТС до застосування.....	354
11.6.1. Введення РТС до експлуатації	354
11.6.2. Перевірка параметрів РТС при роботі в реальних умовах	355
11.7. Заходи безпеки при роботі з РТС	357
11.7.1. Можливі види ураження при діянні електричних струмів низької частоти	357
11.7.2. Вплив НВЧ-випромінювань на людину та заходи захисту від них.....	358
Відповіді до задач і вправ, які наведено в розділах завдань для самостійної роботи до тем 2, 5, 6, 8	361
Список літератури	365

Навчальне видання

Богданов Дмитро Федорович
Абрамов Федір Володимирович

**ОСНОВИ НАДІЙНОСТІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ
АПАРАТУРИ**

Навчальний посібник
для студентів спеціальності “Радіофізика і електроніка”

Роботу до видання рекомендував проф. А. І. Рогачов

Редактор Л.Л.Яковлева

План 2003р., поз. 116/

Підписано до друку Формат 60x80 1/16. Папір друк.

Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 17,5. Обл.-вид. арк.
19,5.

Тираж прим. Зам. № . Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ “ХПІ”

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07. 2000р.

Друкарня НТУ “ХПІ”, 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21
