

519.2

A65

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

«Харьковский политехнический институт»

А. Г. АНДРЕЕВ, Г. И. ЛЬВОВ, А. В. ЩЕПКИН

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В МЕХАНИКЕ
И ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ**

Учебно-методическое пособие

Харьков 2018

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

А. Г. АНДРЕЕВ, Г. И. ЛЬВОВ, А. В. ЩЕПКИН

**СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В МЕХАНИКЕ
И ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ**

Учебно-методическое пособие
для студентов специальности
122 Компьютерные науки

Утверждено
редакционно-издательским
советом университета,
протокол № 2 от 24.05.2018

Харьков
НТУ «ХПИ»
2018

УДК 519.2 :658.562
А 65

Рецензенты:

Ткачук Н. А., д-р техн. наук, профессор, НТУ «ХПИ»;
Красников С. В., канд. техн. наук, доцент, ХНАДУ

У посібнику викладено основи теорії надійності, яка розробляє методи забезпечення максимальної ефективності виробів на всіх стадіях проектування, виготовлення, експлуатації. Теорія надійності є наукою комплексною, значна частина питань цієї науки досліджується методами теорії ймовірності та математичної статистики.

Призначено для студентів спеціальності 122 Комп'ютерні науки.

Андреев А. Г.

А65 Статистические методы в механике и элементы теории надежности : учеб.-метод. пособие / А. Г. Андреев, Г. И. Львов, А. В. Щепкин. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2018. – 187 с.

ISBN 978-617-7602-35-3

В пособии изложены основы теории надежности, разрабатывающей методы обеспечения максимальной эффективности изделий на всех стадиях проектирования, изготовления, эксплуатации. Теория надежности является наукой комплексной, значительная часть вопросов этой науки исследуется методами теории вероятности и математической статистики.

Предназначено для студентов специальности 122 Компьютерные науки.

Ил. 153. Табл. 9. Библиогр. 23 назв.

УДК 621.039.53:621.178.4

ISBN ISBN 978-617-7602-35-3

© А. Г. Андреев
Г. И. Львов
А. В. Щепкин
© НТУ «ХПИ», 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Элементы теории вероятностей.....	7
1.1. Предмет теории вероятностей.....	7
1.2. Основные понятия теории вероятностей	10
1.3. Основные теоремы теории вероятностей	15
1.4. Случайные величины	17
1.5. Основные числовые характеристики дискретных случайных величин	23
1.6. Производящие функции	27
1.7. Непрерывные случайные величины и функция распределения	32
1.8. Плотность распределения непрерывной случайной величины	37
1.9. Свойства плотности распределения	38
1.10. Равномерное распределение случайных величин.....	39
1.11. Основные числовые характеристики непрерывных случайных величин	42
1.12. Распределение Гаусса	46
1.13. Вычисление вероятности превышения гауссовской случайной величиной некоторого уровня	53
1.14. Законы распределения функции случайного аргумента .	55
1.15. Композиция случайных величин.....	57
1.16. Задача обоснования запаса статической прочности	60
1.17. Характеристические функции	61
1.18. Вычисление абсолютных моментов случайных величин	63
1.19. Характеристическая функция суммы независимых случайных величин	64
1.20. Характеристическая функция для гауссовского распределения	64
1.21. Закон распределения суммы независимых гауссовских случайных величин	65
1.22. Центральная предельная теорема.....	66
1.23. Многомерные распределения	68
1.24. Плотность распределения системы двух случайных величин	72
1.25. Свойства плоскости распределения системы.....	74
1.26. Законы распределения отдельных величин, входящих в систему	74
1.27. Числовые характеристики системы двух случайных ве-	

личин	75
1.28. Двумерная нормальная (гауссова) случайная величина	78
Вопросы для самопроверки и контроля	78
2. Основные понятия теории надежности невосстанавливаемых изделий	80
2.1. Классификация терминов надежности	80
2.2. Невосстанавливаемые изделия	86
2.3. Плотность распределения времени наработки на отказ («частота отказа») $P(x)$	88
2.4. Вероятность безотказной работы («функция выживания»)	91
2.5. Интенсивность отказов (« λ -характеристика»)	95
2.6. Методика экспериментального построения вероятностных характеристик наработки на отказ.....	99
2.7. Модель статической прочности.....	105
2.8. Генетические модели функции выживания (функция распределения наработки на отказ).....	109
2.9. Теория слабого звена	117
2.10. Модификация Г-моделей износа.....	124
2.11. Рандомизация.....	126
2.12. Элементы структурной теории надежности	129
2.12.1. Основное (последовательное) соединение элементов	129
2.12.2. Параллельное соединение элементов (горячее резервирование)	130
2.13. Закон распределения ресурса резервированного элемента	133
2.14. Простейшая модель «теплого» резервирования	136
2.14.1. Горячее резервирование.....	137
2.14.2. Холодное резервирование.....	139
2.15. Метод $h(P)$ -функции.....	140
Вопросы для самопроверки и контроля	142
3. Основные понятия теории надежности восстанавливаемых изделий	143
3.1. Преобразование Лапласа.....	143
3.2. Временная схема эксплуатации восстанавливаемых изделий	145
3.3. Основное интегральное уравнение теории восстановления	147
3.4. Предельная теорема Смита.....	150
3.5. Практическая оценка средней наработки на отказ экспоненциальной ненадежных изделий.....	152

3.6. Теория восстановления для вейбулловской наработки на отказ	153
3.7. Обобщение теории восстановления	158
3.7.1. Учет времени восстановления.....	158
3.7.2. Понятие о функции возобновления	159
3.8. Элементы теории готовности изделий.....	160
Вопросы для самопроверки и контроля	164
4. Элементы математической статистики.....	165
4.1. Вычисление доверительных интервалов для средней наработки на отказ.....	165
4.2. Оценка средней наработки для гауссовой совокупности элементов	169
4.3. Оценка доверительных интервалов стационарного коэффициента готовности	171
4.4. Точный метод оценки доверительных интервалов для КГ	173
4.5. Планы испытаний. Оценка параметров распределения наработки на отказ	175
4.6. Метод максимума правдоподобия.....	177
4.7. Метод моментов оценки неизвестных параметров.....	178
4.8. Метод квантилей оценки параметров.....	179
Вопросы для самопроверки и контроля	181
Список литературы	182