

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ



С. П. Тимошенко, Б. М. Симонов, В. Н. Горошко

# НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

УЧЕБНИК и ПРАКТИКУМ



СООТВЕТСТВУЕТ  
ПРОГРАММАМ  
ВЕДУЩИХ НАУЧНО-  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ  
ШКОЛ

УМО ВО рекомендует

 **Юрайт**  
издательство

# Оглавление

<b>Предисловие</b> .....	<b>9</b>
<b>Введение</b> .....	<b>12</b>
<b>Глава 1. Основные понятия математической логики и подходы к пониманию терминов надежности</b> .....	<b>34</b>
1.1. Связь математической логики и моделей надежности.....	34
1.2. О терминах и аксиомах.....	37
1.3. О понятиях.....	41
1.4. Знаки (символы) и логические операции.....	44
1.5. Понятие множества.....	46
1.6. Предыстория математической логики и ее анализ.....	47
1.7. Выводы.....	68
Резюме.....	70
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i> .....	70
<i>Задания для самостоятельной работы</i> .....	71
<b>Глава 2. Основные элементы теории случайных процессов, используемые для построения динамических, статистических и функциональных моделей надежности</b> .....	<b>72</b>
2.1. Предварительные замечания по истории становления теории случайных процессов в рамках аксиоматической теории надежности.....	72
2.2. Понятие и определение случайного процесса. Классификация случайных процессов.....	77
2.3. Законы распределения и основные характеристики случайных процессов.....	88
Резюме.....	99
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i> .....	100
<i>Задания для самостоятельной работы</i> .....	101
<b>Глава 3. Математические модели долговечности элементов технических систем</b> .....	<b>102</b>
3.1. Топологическое описание элементов в составе компонентов и микросхем.....	102
3.1.1. Связь показателей надежности и топологического описания.....	106
3.1.2. Обсуждение возможных описаний качества элементов микросхем.....	106
3.2. Связь показателей надежности и топологического описания.....	107
3.2.1. Закономерности окисления металлических пленок.....	107
3.3. Динамические, статистические и логические модели надежности пленок и пленочных элементов.....	109
3.3.1. Динамические модели канонической топологии.....	109

3.3.2. Пленки в форме полуплоскости.....	110
3.3.3. Система параллельных прямоугольных полосок.....	113
Резюме.....	117
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i> .....	118
<i>Задания для самостоятельной работы</i> .....	118
<b>Глава 4. Анализ и оценка надежности элементов и компонентов технических систем .....</b>	<b>120</b>
4.1. Виды и категории испытаний (общая характеристика) .....	120
4.2. Анализ надежности тонких металлических пленок .....	129
4.3. Оценка надежности тонкопленочных резисторов .....	139
4.4. Модели надежности тонкопленочных конденсаторов .....	141
4.5. Модель для прогнозирования надежности <i>RC</i> -структур .....	143
4.6. Анализ дефектов, модель и методика оценки надежности многослойной коммутации на основе полиимидной пленки .....	145
4.7. Надежность паяных соединений, полученных методом <i>flip-chip</i> .....	151
4.8. Анализ проблемы обеспечения герметичности изделий .....	161
4.9. Анализ и прогнозирование надежности биомедицинских датчиков давления, температуры и кислотности в составе гастроэнтерологического зонда .....	166
4.10. Анализ конструкций и оценка надежности микромеханических акселерометров .....	180
Резюме.....	204
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i> .....	205
<i>Задания для самостоятельной работы</i> .....	205
<b>Глава 5. Организационно-технические и технологические способы повышения и обеспечения надежности технических систем .....</b>	<b>207</b>
5.1. Комплексные интегрированные системы в технике поверхностного монтажа .....	207
5.2. Очистка при помощи кавитационного потока в вакуумной камере.....	214
5.3. Предварительная плазменная обработка бескорпусных компонентов перед их сборкой и монтажом .....	217
5.4. Требования к созданию микроэлектромеханических систем .....	220
5.5. Направления совершенствования процессов сборки, монтажа и герметизации микроэлектромеханических систем .....	222
Резюме.....	230
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i> .....	231
<i>Задания для самостоятельной работы</i> .....	231
<b>Глава 6. Модели оценки надежности, риска и безопасности интеллектуальных технических и информационных систем .....</b>	<b>233</b>
6.1. Введение и постановка задачи.....	233
6.2. Термины и определения .....	237
6.3. Показатели надежности при оценке безопасности систем «человек — машина» .....	240
6.4. Роль инженерной психологии в обеспечении надежности .....	244

6.5. Основные функции информационных систем.....	247
6.6. Требования к рискам и математические модели .....	251
Резюме.....	279
<i>Вопросы и задания для самоконтроля.....</i>	<i>280</i>
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	<i>281</i>
<b>Глава 7. Математические модели оценки безопасности технических систем (модели анализа, диагностики и прогнозирования техногенного риска) .....</b>	<b>283</b>
7.1. Введение к проблематике обеспечения безопасности технических систем.....	283
7.1.1. Основы геометрических моделей оценки надежности конструктивов .....	283
7.1.2. Аксиомы $\langle \Gamma \rangle$ -пространства .....	285
7.2. Определения и символы, используемые при построении дерева.....	287
7.3. Построение дерева отказов и процедура его анализа.....	290
7.3.1. Построение дерева отказов.....	290
7.3.2. Процедура анализа дерева отказов.....	295
7.4. Оценка дерева отказов.....	297
7.5. Аналитический вывод для простых схем деревьев отказов.....	298
7.6. Дерево с повторяющимися событиями.....	300
7.7. Вероятностная оценка дерева отказов.....	301
7.8. Преимущества и недостатки метода дерева отказов .....	302
Резюме.....	303
<i>Вопросы и задания для самоконтроля.....</i>	<i>304</i>
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	<i>305</i>
<b>Глава 8. Основы теории и практики техногенного риска .....</b>	<b>307</b>
8.1. Понятие техногенного риска .....	307
8.2. Методология анализа и оценки риска .....	309
8.3. Качественные методы анализа риска.....	313
8.4. Количественная оценка риска.....	319
8.5. Критерии приемлемого риска .....	325
8.6. Управление риском .....	329
8.7. Применение теории риска в технических системах .....	331
8.8. Анализ и оценка риска при декларировании безопасности производственного объекта .....	335
8.9. Оценка риска аварий.....	337
8.10. Ионизирующее излучение как источник риска.....	339
Резюме.....	342
<i>Вопросы и задания для самоконтроля.....</i>	<i>344</i>
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	<i>344</i>
<b>Глава 9. Применение теории надежности для оценки безопасности технических систем .....</b>	<b>346</b>
9.1. Частная логико-вероятностная модель на примере Т-подсистемы.....	347
9.2. Частные вероятностные модели на примере Ч-подсистемы .....	350

9.3. Общая модель Ч-подсистемы (модели эргономических показателей технических систем на основе аксиоматической теории надежности) .....	354
Резюме .....	359
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i> .....	360
<i>Задания для самостоятельной работы</i> .....	361
<b>Глава 10. Модели прочности и результаты моделирования конструктивов в <math>\langle\Phi\rangle</math>-пространстве .....</b>	<b>363</b>
10.1. Связь надежности и прочности .....	363
10.2. Общие сведения о математических моделях .....	368
10.3. Этапы физико-математического моделирования .....	369
10.4. Математические модели на микроуровне .....	371
10.5. Процесс компьютерного проектирования .....	383
10.6. Моделирование объектов на этапе проектирования .....	387
10.6.1. Создание моделей .....	387
10.6.2. Работа со сборочными единицами .....	389
10.7. Определение собственных частот .....	392
Резюме .....	400
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i> .....	401
<i>Задания для самостоятельной работы</i> .....	402
<b>Глава 11. <math>\langle\Phi\rangle</math>-пространство: тепловые модели. Связь надежности с тепловой и другими энергиями .....</b>	<b>404</b>
11.1. Методология теплового проектирования .....	404
11.1.1. Подходы к теплому проектированию .....	404
11.1.2. Методы поэтапного моделирования .....	407
11.1.3. Вопросы понижения размерности уравнений .....	411
11.1.4. Проблема замыкания системы уравнений .....	412
11.1.5. Понятие температуры условной среды .....	414
11.2. Физико-математическая модель и принципы теплового проектирования .....	415
11.2.1. Условия однозначности .....	415
11.2.2. Принцип местного влияния .....	417
11.2.3. Фоновые и собственные перегревы .....	418
11.3. Метод конечных элементов .....	420
11.3.1. Выбор вида элемента и разбиение области .....	423
11.3.2. Формирование системы разностных уравнений и особенности решения нестационарных задач .....	425
11.4. Компьютерное моделирование теплонапряженных электрорадиоэлементов в блоке микросхемной аппаратуры .....	428
11.4.1. Особенности программной реализации метода конечных элементов .....	428
11.4.2. Пример оценки интенсивности отказов микросхемы с учетом теплового моделирования .....	432
Резюме .....	433
<i>Вопросы и задания для самоконтроля</i> .....	434
<i>Задания для самостоятельной работы</i> .....	435

<b>Глава 12. Статистические решения и выводы. Элементарная теория оценки рисков .....</b>	<b>437</b>
12.1. Цель и шаги статистических решений и выводов.....	437
12.2. Термины.....	439
12.3. Односторонний и двусторонний критерии оценки рисков.....	441
12.4. Историко-математический экскурс .....	447
Резюме.....	457
<i>Вопросы и задания для самоконтроля.....</i>	<i>458</i>
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	<i>459</i>
<b>Глава 13. Классификация моделей риска на основе марковских цепей.....</b>	<b>460</b>
13.1. Возникновение марковских цепей .....	460
13.2. Пример Маркова: описание задачи (общее).....	461
13.3. Анализ классификаций марковских процессов .....	467
13.4. Синтетическая классификация марковских цепей и моделей риска.....	468
Резюме.....	474
<i>Вопросы и задания для самоконтроля.....</i>	<i>475</i>
<i>Задания для самостоятельной работы.....</i>	<i>475</i>
<b>Заключение .....</b>	<b>478</b>
<b>Послесловие .....</b>	<b>481</b>
<b>Литература .....</b>	<b>482</b>
<b>Глоссарий .....</b>	<b>485</b>
<b>Приложение 1. Аксиомы <math>\langle \Gamma \rangle</math>-пространства согласно Гильберту.....</b>	<b>490</b>