

М. И. Михайлов

НАДЕЖНОСТЬ И ДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Допущено Министерством образования
Республики Беларусь в качестве учебного пособия
для студентов учреждений высшего образования
по специальности «Технологическое оборудование
машиностроительного производства»*

Минск
РИВШ
2022

Михайлов, М. И. Надежность и диагностика технологических систем : учебное пособие / М. И. Михайлов. — Минск : РИВШ, 2022. — 359 с. : ил., табл. — Библиогр. : с. 349—351.

УДК 621.9.06-526-192(075.8)

ББК 34

Абонемент уч. лит. — 7 экз.

ОСБиИР — 1 экз.

Чит. зал №1 — 2 экз.

В учебном пособии приведены основные термины и определения понятия надежности технологических систем. Рассмотрены модели ремонтпригодности и безотказности технологических систем; описаны методики моделирования надежности невосстанавливаемых и восстанавливаемых систем с резервированием; раскрыты физические закономерности отказов; приведены конструкторские и технологические методы обеспечения надежности, описаны методики диагностики технологических систем.

Рекомендовано студентам, обучающимся по специальности «Технологическое оборудование машиностроительного производства», а также будет полезно аспирантам и специалистам в области надежности машин.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ	8
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НАДЕЖНОСТИ	9
1.1. Общие положения	9
1.2. Общие показатели надежности	18
1.3. Показатели безотказности	19
1.3.1. Термины и определения	19
1.3.2. Моделирование вероятности безотказности технологических систем	21
1.3.3. Характер изменения интенсивности отказов	24
1.4. Показатели долговечности	25
1.5. Показатели ремонтпригодности и сохраняемости	26
1.6. Нормирование показателей надежности	27
1.6.1. Метод равномерного распределения	28
1.6.2. Метод весовых коэффициентов	29
1.6.3. Метод минимизации затрат	30
1.6.4. Метод неопределенных множителей Лагранжа	32
1.7. Надежность станков	32
1.8. Надежность промышленных роботов	37
1.9. Надежность оперативного персонала	38
2. РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ	40
2.1. Структурный метод анализа ремонтпригодности при проектировании	40

2.2. Матричный метод анализа ремонтпригодности	43
2.3. Анализ ремонтпригодности по трудоемкости	51
3. БЕЗОТКАЗНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ	54
3.1. Анализ вероятности безотказности сложных систем	54
3.1.1. Метод перебора работоспособных состояний	54
3.1.2. Метод разложения относительно особого элемента ..	55
3.1.3. Метод минимальных путей и сечений.....	57
3.1.4. Метод теории событий.....	58
3.2. Анализ вероятности безотказности по определяющим параметрам.....	62
3.3. Типовые законы распределения, их анализ и возможности применения	74
3.4. Параметры надежности систем с произвольными законами.....	78
3.5. Вероятностные модели «нагрузка – прочность» при внезапных причинах отказов	83
3.6. Вероятностные модели «нагрузка – усталостное разрушение».....	90
4. НАДЕЖНОСТЬ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СИСТЕМ С РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ.....	94
4.1. Общие понятия о резервировании	94
4.2. Системы с постоянным резервированием	96
4.2.1. Общее постоянное резервирование с целой кратностью.....	97
4.2.2. Поэлементное резервирование	100
4.2.3. Резервирование с дробной кратностью.....	101
4.2.4. Нагрузочное резервирование.....	102
4.2.5. Резервирование с голосованием по большинству.....	107
4.2.6. Резервирование двухполюсных элементов	108

4.3 Системы с резервированием замещением	109
4.3.1. <i>Общее резервирование с мгновенным замещением отказавшего элемента</i>	110
4.3.2. <i>Поэлементное резервирование</i>	116
4.3.3. <i>Скользящее резервирование</i>	116
4.4. Оптимизации резервированных систем по критерию риска.....	119
5. НАДЕЖНОСТЬ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ СИСТЕМ С РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ.....	121
5.1. Моделирование на основе итегродифференциального уравнения надежности	121
5.2. Моделирование надежности восстанавливаемых систем методом переходных вероятностей	128
5.3. Моделирование надежности восстанавливаемых систем методом переходных интенсивностей	133
5.4. Надежность восстанавливаемых систем с постоянным резервированием	143
5.5. Надежность восстанавливаемых систем с резервированием замещением	149
6. ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОТКАЗОВ.....	152
6.1. Поверхностный слой и его параметры.....	155
6.1.1. <i>Геометрические параметры поверхностного слоя</i>	156
6.1.2. <i>Напряженное состояние поверхностного слоя</i>	158
6.1.3. <i>Строение поверхностного слоя</i>	162
6.1.4. <i>Поверхностные явления при наличии смазок</i>	166
6.2. Процессы старения	167
6.2.1. <i>Старение и его внешние проявления</i>	167
6.2.2. <i>Процессы повреждения материала детали (объемные явления)</i>	169
6.2.3. <i>Процессы разъедания</i>	173

6.2.4. Процессы наростообразования.....	175
6.2.5. Процессы старения в контакте поверхностей	176
6.3. Оценка степени повреждения материала детали	178
6.3.1. Полное повреждение поверхностей.....	180
6.3.2. Локальные повреждения поверхностей.....	181
6.4. Типовые закономерности протекания процессов старения во времени	187
6.4.1. Классификация временных закономерностей процессов старения	187
6.4.2. Временные зависимости процессов повреждения.....	192
6.4.3. Многостадийные процессы	198
6.4.4. Влияние режимов работы системы на скорость процессов старения	201
6.4.5. Стохастические модели процессов старения.....	205
7. КОНСТРУКТОРСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ.....	212
7.1. Обеспечение надежности при точении и фрезеровании....	212
7.1.1. Постоянное нагруженное резервирование, реализующееся ротационными видами инструментов.....	212
7.1.2. Резервирование режущего элемента инструмента замещением	215
7.2. Обеспечение надежности при осевой обработке	224
7.2.1. Постоянное нагруженное резервирование, реализующееся ротационными видами инструментов.....	224
7.2.2. Резервирование режущего элемента инструмента замещением	225
7.3. Резервирование с восстановлением режущего инструмента.....	226
7.3.1. Автоподладчики.....	227
7.3.2. Инструменты с ручным поворотом режущего элемента	230

7.3.3 Функциональное резервирование с восстановлением переточкой	235
7.4. Обеспечение надежности станков	238
7.5. Повышение надежности промышленных роботов	239
7.6. Технологические методы повышения надежности	240
7.6.1. Методы поверхностной модификации	240
7.6.2. Термическая обработка	267
7.6.3. Деформационная обработка	272
7.7. Испытания на надежность.....	275
7.8. Надежность систем защиты технологического оборудования	276
8. ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ	284
8.1. Общие положения.....	284
8.2. Выбор параметров диагностики	287
8.3. Анализ процесса диагностирования.....	292
8.4. Диагностика основных узлов и элементов станка	306
8.5. Диагностика режущих инструментов и процесса обработки	308
8.5.1. Прямые методы диагностики.....	311
8.5.2. Косвенные методы диагностики	317
8.6. Диагностика в рабочей зоне станка.....	331
8.7. Оценка параметров диагностики	333
8.8. Анализ надежности систем технологической диагностики.....	341
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	349
ПРИЛОЖЕНИЕ	352