



ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ И НАДЕЖНОСТИ МАШИН

**О. В. БЕРЕСТНЕВ
Ю. Л. СОЛИТЕРМАН
А. М. ГОМАН**

**НОРМИРОВАНИЕ
НАДЕЖНОСТИ
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
МОНОГРАФИЯ**

**Минск
УП «Технопринт»
2004**

УДК 621-52.01-192
ББК 32.817
Б 48

*Книга издана при поддержке Белорусского
республиканского фонда фундаментальных исследований*

Рецензенты:

лауреат Государственной премии Беларуси, доктор технических наук,
профессор А. Т. Скойбеда; лауреат Государственной премии Беларуси,
доктор технических наук, профессор П. А. Амсельченко;
доктор технических наук Г. А. Велигурский

Берестнев О.В.

Б 48 Нормирование надежности технических систем:
Монография / О. В. Берестнев, Ю. Л. Солигерман,
А. М. Гоман — Мн.: УП «Технопринт», 2004. — 266 с.
ISBN 985-464-718-8

Монография написана на основе многолетних научных исследований, выполненных авторами в Институте механики и надежности машин НАН Беларуси, в области нормирования надежности сложных технических систем и практического использования полученных результатов для оценки надежности машин различного назначения, выпускаемых в Республике Беларусь и странах СНГ.

Книга предназначена для специалистов в области надежности сложных технических систем, а также может быть использована преподавателями вузов, аспирантами и студентами соответствующих специальностей.

УДК 621-52.01-192
ББК 32.817

6 392/197

ISBN 985-464-718-8

© Берестнев О. В.,
Солигерман Ю. Л., Гоман А. М., 2004
© Оформление УП «Технопринт», 2004

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1.СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ	
К НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	15
1.1. Основные показатели надежности технических систем ...	15
1.2. Нормы безотказности и долговечности	20
1.3. Комплексная оценка риска отказа сложной технической системы	24
1.3.1. Концепции анализа риска	26
1.3.2. Источники и виды отказов	26
1.3.3. Методы анализа риска	29
1.3.4. Управление риском.....	30
1.4. Нормы безопасности	35
Список использованных источников к главе 1	37
2.НОРМИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ	
СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	41
2.1. Структурные схемы надежности систем.....	41
2.1.1. Основные виды структурных схем.....	41
2.1.2. Блок-схемы надежности	44
2.1.3. Дерево событий или отказов	47
2.1.4. Граф (диаграмма) надежности	59
2.1.5. Примеры структурных схем надежности приводных механизмов и трансмиссий	63
2.2. Методы распределения требований к надежности между компонентами технических систем	69
2.2.1. Формулировка задачи нормирования показателей надежности отдельных компонентов	69
2.2.2. Метод равномерного распределения	72
2.2.3. Метод вставных коэффициентов (Метод аналогичного распределения требований к надежности по элементам)	73

2.2.4. Метод минимизации затрат	74
2.2.5. Метод неопределенных множителей Лагранжа	77
2.2.6. Метод учета влияющих факторов [15].....	78
2.2.7. Основные направления совершенствования методов нормирования показателей надежности отдельных компонентов сложных технических систем	78
2.3. Определение требований к надежности отдельных агрегатов и деталей	80
2.3.1. Нормирование надежности агрегатов и деталей... ..	80
2.3.2. Разработка требований к комплектующим изделиям сложной технической системы	90
2.3.3. Примеры нормирования надежности компонентов технической системы	92
Список использованных источников к главе 2	97
3. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ (на примере трансмиссий).....	102
3.1. Прогнозирование эксплуатационного режима нагружения	102
3.1.1. Методы прогнозирования нагрузочного режима..	102
3.1.2. Статистическая обработка экспериментальных данных эксплуатационных испытаний модели прототипа	105
3.1.3. Метод статистического моделирования	112
3.1.4. Метод динамического моделирования.....	117
3.1.5. Моделирование вариаций режима нагружения ...	120
3.1.6. Рекомендации по применению методов прогнозирования нагрузочного режима трансмиссий самоходных машин	124
3.2. Основные виды повреждений типовых деталей трансмиссии	125

3.2.1.	Повреждения зубчатых передач.....	125
3.2.1.1.	Изнашивание	129
3.2.1.2.	Коррозия	133
3.2.1.3.	Заедание.....	134
3.2.1.4.	Пластическая деформация	135
3.2.1.5.	Контактная усталость.....	137
3.2.1.6.	Возникновение и развитие трещин	140
3.2.1.7.	Излом зуба.....	141
3.2.2.	Повреждения подшипников качения и скольжения.....	145
3.2.2.1.	Износ колец и тел качения	147
3.2.2.2.	Образование вмятин на рабочих поверхностях (бриннелирование).....	147
3.2.2.3.	Коррозия	148
3.2.2.4.	Заедание	148
3.2.2.5.	Контактная усталость	149
3.2.2.6.	Повреждения подшипников скольжения	149
3.2.3.	Повреждения трансмиссионных валов.....	149
3.2.4.	Основные факторы, определяющие развитие повреждений	150
3.3.	Прогнозирование надежности основных деталей трансмиссии	152
3.3.1.	Прогнозирование надежности зубчатых передач .	152
3.3.1.1.	Нормы надежности зубчатых передач.....	152
3.3.1.2.	Основные виды прочностного расчета зубчатых передач.....	155
3.3.1.3.	Расчет нагруженности по контактным и изгибным напряжениям	157
3.3.1.4.	Механические характеристики материалов зубчатых колес	163
3.3.1.5.	Детерминированный расчет зубчатых передач на прочность	166

3.3.1.6. Детерминированный расчет зубчатых передач на долговечность	167
3.3.1.7. Прогнозирование надежности по внезапным отказам зубчатой передачи	168
3.3.1.8. Прогнозирование надежности по постепенным отказам зубчатой передачи	170
3.3.2. Прогнозирование надежности подшипников качения	175
3.3.2.1. Нормы надежности подшипников качения	175
3.3.2.2. Основные показатели надежности подшипников качения	176
3.3.2.3. Определение базовой долговечности по контактной выносливости	177
3.3.2.4. Распределение ресурса по контактной выносливости	180
3.3.2.5. Определение коэффициента запаса по статической прочности	185
3.3.2.6. Допускаемая предельная частота вращения	186
3.3.3. Прогнозирование надежности валов	189
3.3.3.1. Нормы надежности валов	189
3.3.2. Расчет валов на статическую прочность	190
3.3.3. Расчет валов на усталостную долговечность	192
3.4. Прогнозирование надежности отдельных агрегатов и трансмиссии в целом	195
Список использованных источников к главе 3	207

4. ИСПЫТАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА НАДЕЖНОСТЬ	215
4.1. Планирование испытаний	215
4.1.1. Основные виды испытаний на надежность, цели и задачи	215
4.1.2. Контрольные испытания на надежность	220
4.2. Анализ и оценка результатов испытаний	227
4.2.1. Статистическая обработка результатов контрольных испытаний на надежность	227
4.2.2. Сопоставление результатов контрольных испытаний на надежность с результатами предыдущих контрольных испытаний	238
Список использованных источников к главе 4	243
5. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ (САОН)	245
5.1. Назначение и возможности системы САОН	245
5.2. Структурная организация системы САОН	248
5.3. Основные принципы алгоритмов используемых программ	251
5.3.1. Программы прогнозирования надежности	251
5.3.2. Программы проектировочных расчетов	2566
5.3.3. Программы оценки эксплуатационной надежности и организации испытаний на надежность	26060
Список использованных источников к главе 5	261
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	264