

22-6453

НА ДОМ НЕ СЫГРАЕТСЯ



С.К. Тойгамбаев, О.Н. Дидманидзе,  
А.С. Апатенко, Е.П. Парлюк,  
Н.С. Севрюгина

22-06453

# РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ



Москва 2022



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –  
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»  
(ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина  
Кафедра «Технический сервис машин и оборудования»

С.К. Тойгамбаев, О.Н. Дидманидзе,  
А.С. Апатенко, Е.П. Парлюк,  
Н.С. Севрюгина

## РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Учебник для вузов по изучению дисциплины*

*Учебник для студентов по дисциплинам:  
«Основы работоспособности технических систем»,  
«Работоспособность технологических систем  
и оборудования», «Основы теории надежности»*



Москва 2022

УДК 621.01(075.8)

ББК 34.414я73

Т 50

*Утверждено Федеральным УМО по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки 23.00.00 «Техника и технологии наземного транспорта» в качестве учебного пособия для обучающихся по направлениям подготовки: 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы», уровень образования – бакалавриат; 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», уровень образования – бакалавриат; 23.03.03 «Техническая эксплуатация транспортных машин и транспортно-технологических машин и оборудования», уровень образования – бакалавриат; 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», уровень образования – специалитет.*

**Авторы:**

к.т.н., профессор кафедры «Технический сервис машин и оборудования»  
РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева  
*Тойгамбаев Серик Кокибаевич;*  
академик РАН, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Тракторы и автомобили»  
РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева  
*Дидманидзе Отари Назирович;*  
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технический сервис машин и оборудования»  
РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева  
*Апатенко Алексей Сергеевич;*  
к.э.н., доцент кафедры «Тракторы и автомобили»  
РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева  
*Парлюк Екатерина Петровна;*  
к.т.н., доцент кафедры «Технический сервис машин и оборудования»  
РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева  
*Северюгина Надежда Савельевна*

**Рецензенты:**

д.т.н., профессор кафедры ЛТ-4  
ФГБОУ ВО НИУ МГТУ им. Н.Э. Баумана  
*В.В. Быков;*  
д.т.н., профессор кафедры метрологии, стандартизации и управления качеством  
РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева  
*И.Н. Кравченко*

**Тойгамбаев С.К., Дидманидзе О.Н., Апатенко А.С. и др.**

Т 50

Работоспособность технических систем: Учебник для вузов по изучению дисциплины / С.К. Тойгамбаев, О.Н. Дидманидзе, А.С. Апатенко, Е.П. Парлюк, Н.С. Северюгина. – М.: Издательство «Спутник +», 2022. – 377 с.

ISBN 978-5-9973-6373-4

Учебник разработан на кафедре «Технический сервис машин и оборудования» ИМЭ им. В.П. Горячкина РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. В данном учебнике изложен курс по обеспечению работоспособности технических и технологических систем и оборудования по данным дисциплинам.

УДК 621.01(075.8)

ББК 34.414я73

Отпечатано с готового оригинал-макета.

ISBN 978-5-9973-6373-4

© Тойгамбаев С.К., Дидманидзе О.Н., Апатенко А.С.,  
Парлюк Е.П., Северюгина Н.С., 2022

## Содержание

Введение.....	3
Глава 1 Качество продукции.....	5
1.1. Основные понятия о качестве продукции.....	5
1.2. Основные факторы повышения качества изделия.....	7
1.3. Оценки качества изделия.....	9
1.4. Система управления качеством продукции.....	12
1.5. Контроль качества.....	17
Глава 2. Состояние технических средств и транспортно-технологических машин при эксплуатации.....	25
2.1. Понятия и определения.....	25
2.2. Критерии предельного состояния объекта.....	28
2.3. Три группы элементов предельного состояния.....	31
2.4. Оценка длительности эксплуатации объекта.....	32
Глава 3. Основные понятия о трении сопрягаемых поверхностей Деталей.....	34
3.1. Определение и понятия трения.....	34
3.2. Адгезионная теория трения.....	38
3.3. Молекулярная теория трения.....	40
3.4. Молекулярно-механическая теория.....	40
3.5. Тепловые процессы при трении.....	45
3.6. Влияние смазочного материала на процесс трения.....	47
3.7. Условия, определяющие характер трения.....	50
3.8. Трение эластомерных материалов.....	52
Глава 4. Виды изнашивания деталей машин.....	54
4.1. Виды изнашивания.....	54
4.2. Механическое изнашивание.....	58
4.3. Абразивное изнашивание.....	58
4.4. Абразивное изнашивание полимеров.....	63
4.5. Гидроабразивное изнашивание.....	64

4.6. Газообразивное изнашивание .....	64
4.7. Эрозионное изнашивание .....	64
4.8. Усталостное изнашивание.....	65
4.9. Изнашивание при заедании .....	69
4.10. Коррозионно-механическое изнашивание .....	73
4.11. Электрохимическая коррозия .....	78
4.12. Окислительное изнашивание .....	79
4.13. Изнашивание при действии электрического тока .....	79
4.14. Водородное изнашивание.....	79
4.15. Избирательный перенос.....	81
4.16. Факторы, влияющие на характер и интенсивность изнашивания элементов машин.....	84
Глава 5. Классификация отказов техники и ее элементов .....	91
Глава 6. Показатели и нормирование надежности .....	100
6.1. Виды показателей надежности .....	100
6.2. Оценочные показатели надежности .....	100
Глава 7. Система сбора информации о надежности технических средств и транспортно-технологических машин в период эксплуатации.....	103
7.1. Цель и задачи сбора информации.....	103
7.2. Методика проведения экспертного опроса .....	105
Глава 8. Методы обработки информации о надежности.....	111
8.1. Понятие о статистической совокупности, генеральной совокупности и выборке.....	113
Глава 9. Испытания технических систем и транспортно-технологических машин на надежность .....	116
9.1 Цели и задачи испытаний.....	116
9.2. Планы испытаний на надежность машин.....	118
9.3. Методика планирования испытаний по плану N U T.....	121
9.4. Методика планирования испытаний ограниченной Продолжительности .....	124

9. 5. Ускоренные испытания на надежность .....	126
Глава 10. Обработка данных информации о показателях надежности	
объекта методом математической статистикой .....	128
10.1. Последовательность действий обработки данных информации .....	128
10.2. Пример определения изменения параметра надежности	
(наработки на отказ) тракторов Т402.01 математической статистикой ....	133
Глава 11. Определение показателей надежности вероятностным	
Методом .....	138
11.1. Применение теоретических законов .....	138
11.2. Закон нормального распределения (ЗНР).....	140
11.3. Закон распределения Вейбулла (ЗРВ).....	142
11.4. Критерии согласия опытных и теоретических распределений	
показателей надежности .....	144
11.4.1. Определение критерия согласия Пирсона $\chi^2$ .....	145
11.5. Доверительные границы рассеивания значений	
показателя надежности .....	147
11.5.1. Определение доверительного интервала.....	147
11.5.2. При законе нормального распределения .....	148
11.5. 3. При законе распределения Вейбулла .....	151
11.6. Примеры определения доверительной вероятности и доверительного	
интервала рассеивания значений изучаемого показателя надежности ....	152
11.7. Определение относительной ошибки переноса характеристик	
показателя надежности на другие объекты .....	158
11.8. Определение теоретического закона при анализе	
статистических данных показателей надежности .....	159
11.8.1 Определение числовых значений (характеристик)	
статистического ряда .....	162
11.8.2 Определение теоретического закона распределения	
изучаемого параметра надежности (ТЗР).....	162
11.8.3 Определение наличия "выпадающих точек" информации .....	163

11.8.4. Определение значения дифференциальной функции закона нормального распределения $f_i$ .....	164
11.8.5. Определение интегральной функции закона нормального распределения.....	164
11.8.6. Определение интегральной функции закона распределения Вейбулла .....	165
11.8.7. Определение критерия согласия Пирсона $\chi^2$ (хи-квадрат) .....	165
11.8.8. Определение доверительных границ рассеивания среднего значения изучаемого параметра надежности.....	167
11.9. Определение относительной ошибки несовпадения опытных данных (данных информации) и значений, получаемых в соответствии с выбранным теоретическим законом.....	168
Глава 12. Использование теоретических законов при практических расчетах .....	169
12.1. Применение усеченного закона нормального распределения (ЗНР).....	169
12.2. Применение закона Вейбулла.....	175
Глава 13. Понятие безотказности технических систем и транспортно-технологических машин .....	187
13.1. Оценочные показатели безотказности .....	187
13.1.1 Вероятность безотказной работы .....	187
13.2. Средняя наработка на отказ .....	193
13.3. Поток отказов .....	195
13.4. Экономические показатели безотказности.....	197
Глава 14. Понятие о долговечности технических систем и транспортно-технологических машин .....	199
14.1. Оценочные показатели долговечности .....	199
14.2. Средний ресурс или средний срок службы .....	200
14.3. Определение остаточного ресурса детали.....	201
14.4. Определение остаточного ресурса сопряжения.....	203

14.5. Определение остаточного ресурса сопряжения вероятностным методом .....	207
14.6. Определение остаточного ресурса методом индивидуального Прогнозирования.....	211
14.7. Определение полного ресурса соединения и допустимых без ремонта размеров соединяемых деталей.....	214
14.8. Определение остаточного ресурса сопряжения с заменой одной детали .....	218
14.9. Гамма-процентный ресурс .....	222
14.9.1. Нахождение значения гамма-процентного ресурса в процессе испытаний или эксплуатации .....	226
14.9.2. Определение значения гамма-процентного ресурса вероятностным методом .....	229
14.10. Назначенный ресурс или срок службы .....	232
14.11. Экономические показатели долговечности.....	232
14.12. Анализ износа деталей технических систем и транспортно - технологических машин при их дефектовке.....	233
Глава 15. Ремонтпригодность технических систем и транспортно - технологических машин.....	250
Глава 16. Понятие о сохраняемости технических систем и транспортно -технологических машин.....	261
16.1. Оценочные показатели сохраняемости.....	261
16.2. Показатели надежности восстанавливаемых объектов.....	264
Глава 17. Комплексные показатели надежности .....	268
Глава 18. Надежность сложной системы .....	272
18.1. Структурная схема надежности.....	272
18.2. Определение безотказной работы системы (изделия).....	274
18.3. Резервирование ненадежных элементов системы (изделия).....	277
Глава 19. Работоспособность основных сборочных единиц технических систем и транспортно – технологических машин .....	282

19.1. Двигатель внутреннего сгорания.....	282
19.2. Режимы работы и работоспособность трансмиссии .....	290
19.3. Работоспособность привода управления .....	292
19.4. Работоспособность элементов ходовой части.....	294
19.5. Работоспособность электрооборудования машин .....	295
19.6. Влияние эксплуатационных факторов на работоспособность технических систем.....	2997
<b>Глава 20. Повышение работоспособности технических систем и транспортно - технологических машин .....</b>	<b>315</b>
20.1. Конструктивные мероприятия повышения надежности.....	316
20.2. Технологические мероприятия повышения работоспособности машин .....	322
20.3. Эксплуатационные мероприятия повышения работоспособности технических систем .....	329
<b>Глава 21. Эксплуатационные мероприятия повышения работоспособности технических систем .....</b>	<b>336</b>
21.1. Перечень мероприятий .....	336
21.2. Техническое диагностирование состояние машины .....	341
21.3. Хранение машин.....	347
Приложения .....	358
Библиографический список.....	366