

НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

М И С И



СТРОИТЕЛЬСТВО

НАДЕЖНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

НАДЕЖНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Под редакцией кандидата технических наук Б.А. Кайтукова
и кандидата технических наук В.И. Склея

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ
по образованию в области строительства в качестве учебника
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по программе бакалавриата
по направлению подготовки 08.03.01 Строительство
(профиль «Механизация и автоматизация строительства»)
(01.06.2015 г., № 102-15/891)*

Москва 2015

УДК 621.8+69.002.5

ББК 34.42

Н17

Рецензенты:

доктор технических наук, проф. *В.А. Уваров*,
заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции
Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова;
кандидат технических наук, академик Межрегиональной общественной организации
«Академия проблем качества» РФ *Ю.И. Гудков*,
директор Государственного конструкторско-технологического института
по механизации монтажных и специальных строительных работ;
доктор технических наук *А.П. Горносько*,
директор по развитию ЗАО «ПАТРИОТ-Инжиниринг»

Авторы:

*В.А. Черкасов, Б.А. Кайтуков, П.Д. Капырин,
В.И. Скель, М.А. Степанов*

Н17 Надежность машин и механизмов: учебник / В.А. Черкасов
и [др.], под ред. Б.А. Кайтукова и В.И. Скеля ; М-во образования
и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит.
ун-т. Москва : НИУ МГСУ, 2015. 272 с.

ISBN 978-5-7264-1184-2

Изложен курс дисциплины «Надежность машин и механизмов». Показано, как с помощью методов теории надежности можно решать вопросы обеспечения надежности строительных машин, оборудования и механизмов на разных этапах (проектирования, производства и эксплуатации) жизненного цикла машин и механизмов; раскрыты математические, инженерные, организационные и управленческие аспекты надежности машин. В необходимых случаях приведены примеры решения задач.

Для студентов, обучающихся по программе бакалавриата по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (профиль «Механизация и автоматизация строительства»). Может быть полезен студентам, изучающим дисциплину «Надежность механического оборудования и комплексов» по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (профиль «Механическое оборудование и технологические комплексы строительных материалов, изделий и конструкций») и дисциплину «Надежность машин и оборудования» по направлению подготовки 23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы (профиль «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование»). Представляет интерес для конструкторов, производителей и специалистов, эксплуатирующих строительную технику.

УДК 621.8+69.002.5

ББК 34.42

ISBN 978-5-7264-1184-2

© НИУ МГСУ, 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Строительная отрасль, развивающаяся в условиях острой конкуренции, — не только двигатель, но и барометр экономического развития государства. Современные тенденции развития строительной техники ставят перед машиностроителями сложные задачи. Интенсификация строительно-монтажных работ влечет за собой существенное повышение уровня механизации и автоматизации строительства. Для строительной техники в этих условиях характерны такие направления развития, как увеличение степени автоматизации, повышение нагрузок, скоростей, снижение габаритов и массы, повышение требований к точности функционирования, мощности и производительности. С принятием и реализацией национальных проектов по росту строительства жилья и дорог возникла необходимость в увеличении объемов производства различных качественных бетонов, цемента, щебня, камня, кирпича, плитки и других строительных материалов. В связи с этим проектировщики машиностроительной продукции для строительства начали предлагать новые технологии, повышающие автоматизацию и механизацию строительных операций, а изготовители — машины, комплексы и оборудование по производству и обработке современных материалов. Качественный прорыв в создании новой строительной техники требует от создателей выполнения комплекса мероприятий, направленных на достижение совокупности свойств строительных машин, оборудования и их элементов — надежности, технологичности, эргономичности, дизайна, унификации и экологичности [9; 10]. Развитие строительной техники характеризуется разработкой и внедрением качественных и надежных технологических систем. Для любого предприятия качество продукции и предоставляемых услуг является основной задачей.

В современных условиях интенсификации производства надежность машин и механизмов является важнейшим показателем качества продукции. Поэтому в учебные планы подготовки специалистов и бакалавров многих направлений, в том числе и строительства, включены дисциплины, в той или иной мере связанные с надежностью. Цель дисциплины «Надежность машин и механизмов» — сформировать у бакалавров-механиков научные основы создания (проектирования, производства) и эксплуатации качественных и надежных строительных машин, оборудования и механизмов.

Данный учебник основан на курсе лекций, читаемых в МГСУ студентам различных специальностей и профилей подготовки. В учебнике получил развитие положенный в его основу материал учебного пособия [10], что было вызвано появлением новых стандартов и методик в области надежности.

Основные понятия, показатели и методы управления качеством продукции, необходимые для машиностроителей, проектировщиков и эксплуатационников строительной техники, приведены в главе 1 учебника.

Надежность — одна из основных характеристик любой технической системы [1; 12]. Как внутреннее свойство надежность системы закладывается на этапе проектирования, обеспечивается в процессе производства и реализуется в процессе применения технической системы по назначению. При рациональном выборе мероприятий для обеспечения надежности строительных машин и оборудования (СМиО) большая роль принадлежит количественным методам исследований, применение которых позволяет: научно обосновать требования к вновь создаваемым образцам строительной техники; выбрать пути снижения экономических затрат и сокращения времени на разработку техники, повышения качества производства машин, получения объективной оценки технического состояния СМиО в период их эксплуатации.

Ненадежная машина или механизм не сможет эффективно выполнять свои функции. Особенностью проблемы надежности СМиО, а также их механизмов является связь со всеми этапами проектирования, производства и эксплуатации техники. Следовательно, основные решения по надежности, принятые на стадии проектирования или изготовления СМиО, непосредственно сказываются на их эксплуатационных и экономических показателях.

Наука о надежности изучает закономерности изменения показателей качества машин и на их основе разрабатывает методы, которые обеспечивают с наименьшими затратами времени и средств необходимую продолжительность и безотказность работы этих машин. Она базируется на фундаментальных математических и естественных науках. Основные понятия, определения и свойства надежности рассматриваются в главе 2 учебника.

Теоретической базой надежности является математический аппарат теории вероятностей и математической статистики. Математические методы теории надежности получили широкое развитие, они предоставляют большие возможности для решения практиче-

ских задач [2; 7]. Понятия и методы теории надежности нашли отражение в главе 3.

Современная строительная техника представляет собой сложную систему, состоящую из множества элементов. Отказ любого элемента влечет за собой существенные затраты на восстановление техники при ее эксплуатации. Поэтому машиностроители должны предлагать строителям надежную и качественную строительную технику, закладывая при проектировании перспективные технологии и создавая надежные образцы. Основные методы анализа, прогнозирования, управления и повышения уровня надежности строительных машин и оборудования приведены в главах 4—6 учебника.

Бакалавры-механики должны обладать определенным кругом теоретических знаний и владеть навыками оптимальной эксплуатации строительной техники. Современные возможности науки, накопленный опыт разработки, внедрения и эксплуатации качественных и надежных технических систем позволили определить основные направления развития теории и практики обеспечения надежности СМиО и их механизмов на разных стадиях: создание математических и физических моделей надежности и технологии их использования при проектировании, производстве и эксплуатации; создание методов определения дефектов, отказов, неисправностей и методов аварийных ситуаций, их диагностирования на всех стадиях жизни машин и оборудования; нормирование показателей надежности; прогнозирование надежности и ресурса; развитие методов и средств технической диагностики; оптимизация и внедрение сертификации и лизинга основных элементов машин и оборудования; развитие методов сбора и обработки статистической информации по отказам [19; 22; 30; 34; 36; 43; 45]. Основные методы технического диагностирования, сертификации и лизинга строительной техники описаны в главе 7.

В главе 8 даны методы определения экономической эффективности повышения надежности и качества строительных машин и оборудования.

Наконец, в главе 9 приведены примеры определения показателей надежности машин и их элементов, выбора структурных схем повышения надежности различных строительных машин и оборудования.

Авторы выражают благодарность рецензентам — доктору технических наук *В.А. Уварову*, кандидату технических наук *Ю.И. Гудкову*, доктору технических наук *А.П. Горносько* за ценные замечания.

Кроме того, авторы безмерно признательны коллективу Издательства МИСИ—МГСУ, принимавшему участие в подготовке учебника, — редактору *А.К. Смирновой*, корректору *В.К. Чупровой*, верстальщику *О.Г. Горюновой*, дизайнеру *Д.Л. Разумному*, благодаря профессиональной работе которых материал приобрел стройный и законченный вид.

Авторы надеются, что данная книга будет полезна студентам и специалистам, проектирующим и эксплуатирующим строительные машины и оборудование. Она позволит будущим специалистам приобрести навыки решения задач, связанных с повышением надежности строительной техники, а изготовителям и эксплуатационникам техники расширить свои знания в данном вопросе.

Будем признательны любым замечаниям и предложениям читателей по улучшению содержания книги. Отзывы следует направлять по электронной почте: *moidm@mgsu.ru*.

Авторы учебника

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	3
Глава 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	7
1.1. Основные понятия и показатели качества продукции	7
1.2. Методы управления качеством строительной техники	9
1.3. Нормирование и обеспечение надежности строительной техники.....	13
1.4. Понятия и определения теории надежности технических систем.....	14
Глава 2. ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ.....	17
2.1. Понятия и определения теории надежности.....	17
2.1.1. Состояния технического объекта	17
2.1.2. Классификация и критерии отказов технических объектов.....	19
2.2. Основные свойства надежности	21
2.2.1. Основные понятия надежности.....	21
2.2.2. Классификация машин и оборудования по надежности	23
2.3. Показатели свойств надежности.....	24
2.3.1. Временные понятия	24
2.3.2. Показатели свойств надежности	25
2.4. Надежность невосстанавливаемых и восстанавливаемых объектов	28
2.4.1. Системы эксплуатации объектов.....	28
2.4.2. Надежность невосстанавливаемых объектов	30
2.4.3. Надежность восстанавливаемых объектов	35
2.4.4. Процесс эксплуатации восстанавливаемого объекта	40
2.4.5. Показатели долговечности восстанавливаемых объектов.....	45
Глава 3. ЭЛЕМЕНТЫ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ	53
3.1. Основные методы теории надежности	53
3.2. Краткие сведения о понятиях теории надежности	54

3.2.1. Основные понятия теории надежности	54
3.2.2. Характеристики случайных величин.....	57
3.3. Законы распределения показателей надежности	61
3.3.1. Экспоненциальное распределение.....	61
3.3.2. Нормальное и логарифмически нормальное распределения	62
3.3.3. Распределение Вейбулла	64
3.3.4. Распределение Пуассона.....	66
3.3.5. Проверка гипотезы о законе распределения и определение числа наблюдаемых объектов.....	66
Глава 4. МЕТОДЫ АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ.....	76
4.1. Выбор критериев отказа элементов строительных машин и оборудования	76
4.2. Надежность систем. Структурные схемы ее определения	80
4.3. Расчет надежности систем методом блок-схем	82
4.3.1. Система с основным соединением элементов	82
4.3.2. Надежность систем с резервным соединением элементов.....	84
4.3.3. Общее постоянное резервирование с целой кратностью (параллельное соединение)	85
4.3.4. Система со смешанным соединением элементов	86
4.4. Методы составления и анализа структурных схем.....	89
4.4.1. Методы составления структурных схем	89
4.4.2. Системные методы анализа безотказности.....	92
Глава 5. ЭЛЕМЕНТЫ ФИЗИЧЕСКИХ ОСНОВ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ.....	105
5.1. Методы прогнозирования надежности и ресурса строительных машин и оборудования	105
5.1.1. Строительные машины и оборудование как механические системы	105
5.1.2. Вероятностные модели в расчетах строительных машин и оборудования	106
5.2. Основные факторы, определяющие надежность строительных машин и оборудования	109
5.2.1. Нагрузки на строительные машины, оборудование и их элементы	109
5.2.2. Схематизация нагруженности	110

5.3. Отказы и дефекты строительных машин и оборудования	115
5.3.1. Основные виды отказов строительных машин, оборудования и их элементов	115
5.3.2. Общие сведения о дефектах строительных машин и оборудования	119
5.4. Виды испытаний на надежность строительных машин и оборудования	121
5.4.1. Цели и виды испытаний технических систем	121
5.4.2. Оценка надежности машин и оборудования по данным стендовых испытаний и эксплуатации ...	122
5.5. Прогнозирование показателей надежности машин и оборудования по критерию усталости	125
5.5.1. Несущая способность элементов машин и оборудования	125
5.5.2. Определение безотказности и долговечности элементов строительных машин и оборудования	129
5.6. Прогнозирование показателей надежности строительных машин и оборудования по износу	136
5.6.1. Трение и изнашивание элементов машин и оборудования	136
5.6.2. Прогнозирование показателей надежности строительных машин и оборудования по износу	144
Глава 6. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	152
6.1. Управление надежностью строительных машин и оборудования	152
6.1.1. Система обеспечения надежности	152
6.1.2. Прогнозирование и нормирование показателей надежности строительных машин и оборудования	153
6.2. Обеспечение надежности строительных машин и оборудования при проектировании	157
6.2.1. Методы распределения норм надежности	157
6.2.2. Основные принципы обеспечения надежности строительных машин и оборудования при проектировании	159
6.3. Обеспечение надежности строительных машин и оборудования при производстве	164
6.3.1. Роль технологии в обеспечении надежности	164

6.3.2. Обеспечение надежности строительных машин и оборудования при производстве.....	169
6.4. Обеспечение надежности строительных машин и оборудования при эксплуатации	175
6.4.1. Инженерные методы и организационно-технические мероприятия для поддержания машин и оборудования в исправном состоянии	175
6.4.2. Определение ремонтно-обслуживающих воздействий на эксплуатируемые машины и оборудование	180
Глава 7. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ, ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, СЕРТИФИКАЦИЯ И ЛИЗИНГ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	187
7.1. Планирование числа запасных частей.....	187
7.1.1. Определение расхода запасных частей невосстанавливаемых объектов	187
7.1.2. Определение расхода запасных частей по сроку службы	189
7.1.3. Определение расхода запасных частей восстанавливаемых элементов.....	190
7.2. Диагностика надежности строительных машин и оборудования	193
7.2.1. Основные понятия и задачи технического диагностирования надежности.....	193
7.2.2. Методы технического диагностирования	196
7.2.3. Методика и порядок технического диагностирования	200
7.2.4. Основные средства технического диагностирования	204
7.2.5. Организационные формы технического диагностирования	206
7.3. Сертификация и надежность строительных машин и оборудования	208
7.3.1. Система сертификации надежности	208
7.3.2. Схемы и процедуры сертификации	210
7.4. Лизинг строительной техники	214
7.4.1. Предмет и виды лизинга	214
7.4.2. Аренда строительной техники	217

Глава 8. НАДЕЖНОСТЬ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ	221
8.1. Экономический анализ показателей свойств надежности строительных машин и оборудования	221
8.2. Методы определения эффективности показателей надежности	224
8.2.1. Методы определения эффективности по экономическим условиям	224
8.2.2. Экономия от повышения безотказности	226
8.2.3. Экономия от повышения надежности новой строительной техники	227
8.3. Маркетинг и менеджмент строительной техники	228
8.3.1. Основные принципы маркетинга строительной техники	228
8.3.2. Основные принципы менеджмента строительной техники	230
8.4. Пути повышения эффективности работы парка строительной техники	231
8.5. Стратегия увеличения объемов продаж продукции строительно-дорожного машиностроения	233
Глава 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ	237
9.1. Определение показателей надежности бетоносмесителей	237
9.1.1. Определение ресурса и коэффициента технического использования бетоносмесителей	237
9.1.2. Определение ресурса и коэффициента технического использования бетоносмесителя объемом 1500 л	239
9.2. Определение показателей надежности технологических линий по производству строительных материалов и изделий	244
9.3. Определение показателей надежности лифтов	252
Библиографический список	258
ПРИЛОЖЕНИЕ	261

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Учебное издание

**Черкасов Владимир Алексеевич, Кайтуков Батраз Амурханович,
Капырин Павел Дмитриевич и др.**

НАДЕЖНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Редактор *А.К. Смирнова*

Корректор *В.К. Чупрова*

Компьютерная верстка и правка *О.Г. Горюновой*

Дизайн обложки *Д.Л. Разумного*

Подписано в печать 6.12.2015 г. И-108. Формат 60×84/16.

Уч.-изд. 18,5. Усл.-печ. л. 15,8. Тираж 100 экз. Заказ 409

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет»

(НИУ МГСУ).

129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.

Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.

Е-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru.

Отпечатано в типографии Издательства МИСИ – МГСУ.

Тел. (499) 183-91-90, (499) 183-67-92, (499) 183-91-44