

НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



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 «Польемно-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

Глава 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

1.1. Основные понятия и показатели качества продукции

Качество продукции есть совокупность ее свойств, определяющих степень пригодности продукции для использования по назначению. Качество продукции охватывает не только потребительские, но и технологические ее свойства, надежность, конструкторские и художественные особенности, уровень унификации и стандартизации деталей и сборочных единиц в конструкции. Сложность решения проблем качества строительных машин и оборудования (СМиО) заключается в их межотраслевом характере, при котором необходимое качество машин и оборудования обеспечивают сотни предприятий.

Применяемые в международной и отечественной практике для характеристики обеспечения качества продукции и услуг основные понятия и положения определяются документами международных организаций — ИСО (International Organization for Standardization, ISO) и МЭК (Международная электротехническая комиссия), а также Госстандарта Российской Федерации [14—18].

Для эффективного управления качеством продукции требуется количественная ее оценка при обоснованно выбранных показателях качества. Качество характеризуется целым рядом количественных показателей. В зависимости от характеризующих свойств выделяют несколько групп показателей качества: показатели назначения, показатели надежности, показатели экономического использования, эргономические показатели, эстетические показатели, экологические показатели и показатели безопасности.

Количественная оценка заключается в определении численных значений показателей качества продукции. Эти значения применяются для обоснования выбора сравнительных вариантов оптимальных решений при управлении качеством, изучении динамики, контроле качества продукции. Для количественной оценки качества продукции используются методы квалиметрии.

Квалиметрия — область науки, предметом которой являются количественные методы оценки качества продукции. Качество характеризуется рядом количественных показателей.

Показатель качества — количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, составляющих ее качество. Международный стандарт ИСО 8402—94 (ИСО 9000:2000 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь) определяет качество как совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности.

Номенклатура основных показателей качества изделий машиностроения устанавливается ГОСТ 22851—77 (в настоящее время действует РД 50-64—84, актуализация 01.11.2014) и включает следующие основные показатели: назначения, надежности, технологичности, транспортабельности, безопасности, патентно-правовые, стандартизации и унификации, экологические, эргономические, эстетические, экономические.

Показатели назначения включают классификационные, функциональные, конструктивные, а также показатели эффективности, состава и структуры. Они обуславливают область применения продукции и характеризуют свойства, определяющие ее функции. Примерами показателей назначения (показателей технического эффекта) строительной техники являются: производительность экскаватора, напор насоса, степень измельчения материала дробилкой [17; 45].

Показатели надежности относятся к различным свойствам надежности: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохранности. Надежность рассматривается как один из основных показателей качества продукции.

Показатели, характеризующие эффективность использования труда, времени, материалов и средств при создании машин, являются *технологическими*. Технологичность изделий определяется показателями материалоемкости, трудоемкости и себестоимости. Любой из них может быть суммарным показателем, общим, структурным, удельным или относительным.

Показатели транспортабельности характеризуют приспособленность продукции к подготовительным, транспортным и заключительным операциям, которые связаны с перемещением продукции в пространстве.

Показатели безопасности характеризуют особенности строительной техники, обуславливающие безопасность человека при ее эксплуатации. Так, правила устройства и безопасной эксплуатации башенных кранов регламентируются Госгортехнадзором РФ и содержат нормы, которым должны удовлетворять грузоподъемные краны, а также нормы по их безопасности при эксплуатации на стройке.

Патентную защиту и чистоту продукции характеризуют *патентно-правовые показатели*.

Показатели унификации и стандартизации характеризуют уровень использования в машинах стандартных, унифицированных элементов и сборочных единиц.

Экологические показатели характеризуют уровень вредных воздействий на природу при эксплуатации машин в строительстве, при загрязнении рек и земли.

Эргономические показатели характеризуют качество продукции с позиций приспособленности ее к эксплуатации человеком; эти показатели подразделяют на антропометрические, физиологические и гигиенические.

Эргономика — научная дисциплина, изучающая характеристики человека, машины и среды, проявляющиеся в конкретных условиях их взаимодействия с учетом возможностей человека и особенностей машины и строительства.

Информационную выразительность, рациональность формы, целостность композиции, совершенство производственного исполнения и стабильность товарного вида строительной техники характеризуют *эстетические показатели качества*. Этими показателями являются своеобразие художественной формы, графическое и цветовое решения конструкции, внешняя отделка, четкость исполнения фирменных знаков и многое другое, что играет существенную роль в рыночных отношениях при создании конкурентоспособной техники.

Показатели экономического использования ресурсов характеризуют расход материалов при изготовлении и эффективность эксплуатации техники в строительстве.

1.2. Методы управления качеством строительной техники

Жизненный цикл строительной техники состоит из следующих этапов: исследование, проектирование и разработка образцов, подготовка производства, эксплуатация и утилизация.

На разных этапах жизненного цикла строительная техника предназначена для выполнения различных задач.

Законодательство страны предусматривает, чтобы изготовитель строительной техники продавал потребителю технику, которая соответствует требованиям качества по стандарту. Эти требования являются основой регламентации качества. Поэтому в документацию на технику включают показатели качества, номенклатура которых обуславливается назначением и областью применения строительной техники. Основные требования по качеству продукции нашли отражение в стандартах Системы показателей качества продукции (СПКП). Эти стандарты позволяют проектировщикам техники вместе со строителями решить вопрос о том, какие показатели включаются в техническое задание (ТЗ) на разработку новой техники, в технические условия и стандарты.

На следующем этапе информация о качестве продукции закладывается в техническую документацию на проектируемую технику. Принимается решение о постановке техники на производство и утверждаются документы контроля при изготовлении — нормативные документы по стандартизации, которые делятся на категории: государственные стандарты (ГОСТ), отраслевые стандарты (ОСТ), технические условия (ТУ). Далее технику изготавливают, соблюдая требования, которые содержатся в документации по технологии производства.

Очередной этап предполагает реализацию свойств качества техники в строительстве. Применительно к этой ситуации решается задача рационального обслуживания техники по данным о значениях показателей качества.

Последний этап жизненного цикла техники предполагает утилизацию, так как ее дальнейшая эксплуатация экономически неэффективна или опасна. Для регулирования процесса создания и проверки систем качества в ряде стран (США, Япония) были созданы стандарты, устанавливающие требования к системам обеспечения качества. Технический комитет международной организации по стандартизации (ISO) разработал стандарты и утвердил документы ISO 9000—9004 [16—18] в части комплексных систем управления качеством продукции. Стандарты ISO универсальны и применимы в компаниях любого сектора экономики, в том числе в промышленности и в строительстве.

В 90-е гг. XX в. в нашей стране были опубликованы некоторые международные стандарты, часть из которых была продублирована в виде ГОСТов, например:

ISO 8402—86. Качество. Словарь.

ISO 9000-1—94. Общее руководство качеством и стандарты по обеспечению качества. Руководящие указания по выбору и применению.

ISO 9001—94 (ГОСТ 40.9001—88). Система качества. Модель для обеспечения качества при проектировании и разработке, производстве, монтаже и обслуживании.

ISO 9002—94 (ГОСТ 40.9002—88). Система качества. Модель для обеспечения качества при производстве и монтаже.

ISO 9003—87 (ГОСТ 40.9003—88). Система качества. Модель для обеспечения качества при окончательном контроле и испытаниях (отменен).

ISO 9004—87. Общее руководство качеством и элементы системы качества. Руководящие указания.

На основании стандартов серии ISO 9000 в 2008 г. разработаны новые российские стандарты, регламентирующие управление качеством: ГОСТ Р ИСО 9000—2011, ГОСТ Р ИСО 9001—2011 на ГОСТ Р ИСО 9004—2010.

Общая идеология стандартов ISO серии 9000 сформулирована в следующем положении: система качества должна функционировать так, чтобы обеспечить уверенность в том, что проблемы предупреждаются, а не выявляются после возникновения. Стандарты ISO предлагают формализованные модели управления, в связи с чем осуществление принципов управления качеством во многом зависит от традиций и особенностей страны.

Современное управление качеством основано на использовании статистических методов, что дает организациям возможность повысить результативность и эффективность своей деятельности [3; 7; 13; 46]. Статистические методы могут помочь при измерении, описании, анализе и моделировании процессов изменения показателей надежности.

Статистический контроль качества подразумевает применение статистических принципов на всех стадиях производства. Методы статистического контроля используются для определения уровня качества, в частности, строительной техники.

Статистическое управление качеством — совокупность методов обнаружения неслучайных факторов, позволяющих диагностировать состояние процесса, корректировать его и способствовать улучшению качества производства.

По данным японских ученых и исследователей, таких методов сотни. Из них были отобраны семь обеспечивающих контроль качества на рабочих местах методов, наиболее простых в использовании и доступных для широкого круга работающих. Так, в 1962 г. заявила о себе японская концепция решения проблем, возникающих в процессе обеспечения качества продукции и услуг. Приведем *семь элементарных методов статистического контроля*:

- диаграмма Парето;
- схема Исикавы;
- гистограммы;
- точечный график;
- диаграммы разброса;
- табличный результат контроля;
- контрольные карты.

Эти семь элементарных методов статистического контроля характеризуются следующими положениями:

- они решают 95 % всех производственных проблем;
- их знают все — от рабочего до президента фирмы;
- они удобны для применения на рабочих местах.

С появлением ЭВМ появилась возможность получить более высокую точность обработки данных. При переходе к всеобщему (тотальному) контролю качества (TQS) область управления стала включать, помимо производственной сферы и сферы услуг, дело-производство, управление в широком смысле слова. Поэтому для решения этих проблем в 1977 г. были разработаны *семь новых методов контроля качества*. Произошла соответствующая современным требованиям научно-технического прогресса модификация концепции проблемы контроля качества. Ниже приведены семь новых методов статистического контроля:

- диаграмма сродства;
- диаграммы зависимостей;
- системная диаграмма;
- матричная диаграмма;
- стрелочная диаграмма;
- диаграмма планирования оценки процесса;
- анализ матричных данных.

Эти семь новых методов статистического контроля:

- решают 99 % всех производственных проблем;
- используются не только в производственной сфере, но и в делопроизводстве, сфере услуг, управления и пр.;
- предназначены для специалистов.

В 1969—1988 гг. японским ученым Тагути были представлены 43 учебных курса по статистическим методам контроля качества. Им разработаны следующие методы:

- расчета и оценки экспериментов, передовые для тех лет;
- многофакторного анализа;
- двухэтажного проектирования;
- анализа проблем.

Статистические методы, разработанные Тагути:

- решают в сочетании с другими методами все 100 % производственных проблем;
- используются для сложных производственных процессов;
- предназначены для ограниченного круга специалистов;
- обязательны для экспортной продукции.

В методах Тагути дальнейшее развитие получили такие направления науки, как логика, математика, статистика.

1.3. Нормирование и обеспечение надежности строительной техники

Основы нормирования и обеспечения надежности строительных машин, оборудования и механизмов регламентируются стандартами. Они служат нормативной базой для создания машин, оборудования и механизмов (МОиМ), обладающих необходимым уровнем надежности, регулируют взаимоотношения заказчиков, разработчиков, поставщиков и потребителей при решении проблемы обеспечения надежности продукции на всех стадиях жизненного цикла. Система стандартов по надежности включает меры организационного, технического, эксплуатационного, экономического характера, направленные на обеспечение и поддержание целесообразного технико-экономического уровня надежности изделий, на сокращение затрат времени, трудовых и материальных ресурсов при обеспечении надежности. Для машин и оборудования стандарты устанавливают количественные требования к показателям надежности и способам контроля надежности на всех этапах жизни изделия. Нормативно-техническая документация по надежно-

сти представляет собой комплекс взаимосвязанных нормативных документов, например, разработки Международной организации по стандартизации (ИСО) и Международной электротехнической комиссии (МЭК) [16—18].

Принципы и структура национальных стандартов по надежности техники разрабатывались советом по стандартизации МНТК «Надежность машин». Результаты работы отражены в ГОСТ [14]. Продолжение эта работа имела в рамках Технического комитета по стандартизации в области надежности (ТК-119) Госстандарта Российской Федерации. Техническим комитетам было предложено ввести три уровня стандартов: общетехнический, положения которого распространяются на технику в целом, стандарты на укрупненные группы однородной продукции и стандарты на группы однородной продукции. Новое поколение отечественных стандартов в значительной степени приближено к международному уровню, сохраняя в то же время традиции, заложенные в ранее принятых отечественных стандартах.

Среди организаций, которые вносят значительный вклад в разработку стандартов и норм, следует отметить американскую международную добровольную организацию American Society for Testing and Materials (ASTM), разрабатывающую и издающую стандарты для материалов, продуктов, систем и услуг. Основное направление ASTM — создание нормативно-технической и методической документации по испытаниям материалов, элементов, конструкций и деталей на конструктивную надежность.

ГОСТ 27.002—89. Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения [14], соответствующий стандартам ASTM и действующий в РФ по настоящее время, вводит 21 показатель надежности и 86 терминов, разделенных на группы: общие понятия, виды отказов, показатели надежности и термины, которые относятся к резервированию.

1.4. Понятия и определения теории надежности технических систем

Современные строительные машины и механическое оборудование представляют собой сложные технические системы, надежность которых зависит от надежности входящих в них сборочных единиц и элементов.

Вопросы надежности рассматриваются в рамках следующих обобщенных объектов:

- *изделие* — единица продукции, выпускаемая данным заводом или предприятием (экскаватор, мост, дробилка);
- *элемент* — составляющая часть изделия, которая состоит из множества деталей;
- *система* — совокупность совместно действующих элементов, предназначенная для выполнения заданных функций.

Строительную машину и оборудование, при установлении их надежности, рассматривают как систему, состоящую из отдельных элементов. Совокупность механизмов будет системой только тогда, когда эта совокупность взаимодействует определенным образом в процессе выполнения поставленной задачи.

В связи с появлением сложных технических систем, многообразием и ответственностью решаемых задач проблема обеспечения надежности этих систем становится все более актуальной. Успешное решение этой проблемы зависит от качества организационного, технического, информационного и методологического обеспечения.

Организационное обеспечение технических систем включает порядок планирования и реализации работ по обеспечению надежности, организацию служб надежности, экономические, административные и правовые отношения между заказчиком, проектировщиком, производителем продукции. Техническое обеспечение систем определяется их оснащением вычислительной техникой, экспериментальной базой, уровнем метрологии и технологии.

Под информационным обеспечением понимаются средства сбора, накопления, обработки и использования данных о процессах разработки и эксплуатации систем, результатов анализа отказов и дефектов, данных об изменении документации, нарушении стабильности производства, фактах отклонений от плановых сроков разработки и применения техники.

Методологическое обеспечение включает теоретическую базу и инженерные методы анализа надежности систем на различных стадиях разработки, а также методы и алгоритмы, используемые при реализации и анализе результатов внедрения программ обеспечения надежности.

Технический процесс при создании качественной и надежной строительной техники связан с созданием сложных, автоматизированных, современных машин, с повышенными требованиями к

их техническим характеристикам. Формирование показателей надежности разнообразной техники происходит по общим законам, общей логике событий, и раскрытие этих связей является главным для оценки и расчета этой техники, прогнозирования ее надежности, построения оптимальной системы производства, испытания и эксплуатации.

При исследовании надежности технических систем следует учитывать, что они делятся на подсистемы и элементы, причем в качестве подсистем могут рассматриваться функционально и конструктивно завершенные составные части системы. В качестве элементов могут выступать составные части системы, являющиеся результатом деления структуры или конструкций системы без соблюдения принципов функциональной и конструктивной завершенности частей.

Потерю системой надежности связывают с появлением отказов. По характеру влияния отказов на выполнение задачи системы делятся на простые и сложные.

Простая система при отказе элементов либо полностью прекращает выполнение своих функций, либо продолжает выполнять свои функции в полном объеме, если элемент резервирован. Отказ системы определяется как событие, обусловленное выходом показателей эффективности за допустимый предел. Очевидно, что простые системы являются частным случаем сложных, поэтому методы исследования надежности сложных систем могут быть применены и на простых системах.

Периодом эксплуатации технической системы является время ее применения по назначению. В этот период необходимо обеспечить безотказность системы, поэтому в процессе эксплуатации проводятся специальные ремонтно-профилактические работы, объединяемые в систему профилактического технического обслуживания (ТО). В зависимости от того, предполагается ли ТО, системы подразделяются на периодически обслуживаемые, со случайным периодом и комбинированным ТО.

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

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.

E-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