

**Министерство транспорта и связи Украины
Украинская государственная академия железнодорожного
транспорта**

На правах рукописи

Артеменко Виктор Васильевич

УДК 621.152:656.2

**Совершенствование эффективности контроля при
ремонте тяговых электрических машин в условиях
депо**

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог и тяга поездов

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Доктор технических наук,
профессор Бабанин Александр Борисович

Харьков - 2006

СО Д Е Р Ж А Н И Е

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 5 |
| Раздел 1 АНАЛИЗ СИСТЕМЫ РЕМОНТА ТЕПЛОВОЗОВ..... | 11 |
| 1.1. Развитие системы обслуживания и ремонта локомотивов.... | 11 |
| 1.2. Организация испытаний тяговых электрических машин..... | 14 |
| 1.3. Анализ неисправностей тяговых электрических машин тепловозов..... | 17 |
| 1.4. Расчет надежности тяговых электрических машин, поступающих на ремонт..... | 22 |
| 1.5. Применение регрессионного анализа для определения факторов, влияющих на качество проведение испытаний..... | 37 |
| 1.6. Выводы..... | 44 |
| Раздел 2 ФОРМАЛИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ БЕЗОТКАЗНОСТИ ИСПЫТЫВАЕМОЙ ТЯГОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ НА ОСНОВЕ САМОБУЧЕНИЯ..... | 46 |
| 2.1 Постановка задачи самообучения на основе определения уровня безотказности при проведении испытаний..... | 46 |
| 2.2 Байесовский подход как основа процесса самообучения..... | 49 |
| 2.3 Двухточечные пространства исходов испытаний и принимаемые решения..... | 50 |
| 2.4 Процесс самообучения..... | 54 |
| 2.5 Планирование проведения испытаний с учетом эффективного риска..... | 57 |

| | |
|---|----|
| 2.6 Реализация процесса самообучения..... | 64 |
| 2.7 Выводы..... | 73 |

Раздел 3 ВИБРОМОНИТОРИНГ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

| | |
|---|-----|
| ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН..... | 75 |
| 3.1 Стадии развития дефектов подшипников качения..... | 75 |
| 3.2 Определение частот подшипниковых дефектов..... | 78 |
| 3.3 Методы вибромониторинга подшипников..... | 83 |
| 3.4 Вибромониторинг по спектрам вибросигналов..... | 86 |
| 3.5 Оценка вибромониторинга подшипников тяговых электрических машин..... | 91 |
| 3.6 Определение условий перекоса якорных подшипников, возникающих в тяговых электрических машинах..... | 94 |
| 3.7 Выделение дискретных составляющих в вибрационном сигнале..... | 103 |
| 3.8 Статистические методы виброконтроля подшипников..... | 104 |
| 3.9 Вибрационные исследования подшипников тяговых электрических машин..... | 109 |
| 3.10 Выводы..... | 117 |

Раздел 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ТЯГОВЫХ

| | |
|--|-----|
| ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ..... | 118 |
| 4.1 Тепловые процессы в тяговых электрических машинах..... | 118 |
| 4.2 Расчет кривых нагревания..... | 119 |
| 4.3 Измерения температуры обмоток существующими методами..... | 123 |
| 4.4 Расчет нагрева тяговых электрических машин..... | 126 |

| | |
|--|-----|
| 4.5 Измерение температуры при помощи инфракрасных пирометров..... | 139 |
| 4.6 Основные характеристики теплового инфракрасного излучения..... | 142 |
| 4.7 Определение основных температурных параметров при дистанционном измерении температуры тяговых двигателей.... | 150 |
| 4.8 Оценка временных параметров при измерении температуры тяговых электрических машин..... | 153 |
| 4.9 Выводы..... | 155 |

**Раздел 5 РАЗРАБОТКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ
МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ СИСТЕМЫ
КОНТРОЛЯ ПРИ РЕМОНТЕ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
МАШИН.....**

| | |
|--|-----|
| | 156 |
| 5.1 Организация системы контроля при испытаниях тяговых электрических машин с применением автоматизированных рабочих мест (АРМ)..... | 156 |
| 5.2 Модернизация испытательной станции тяговых двигателей тепловозов..... | 161 |
| 5.3 Аппаратные средства для контроля параметров тяговых электрических машин..... | 168 |
| 5.3.1 Анализатор спектра вибрации 795М..... | 168 |
| 5.3.2 Электронный стетоскоп..... | 169 |
| 5.3.3 Устройство для визуального диагностирования..... | 172 |
| 5.3.4 Пирометры частичного излучения типа "СМОТРИЧ"..... | 174 |
| 5.3.5 Прибор для оценки скоростных характеристик ТЭД..... | 175 |
| 5.4 Оценка окупаемости системы испытания тяговых | |

| | |
|--|-----|
| электрических машин..... | |
| 177 | |
| 5.5 Оценка эффективности внедрения капитальных вложений... | 182 |
| ВЫВОДЫ..... | |
| 185 | |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ..... | 188 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ..... | |
| 202 | |

ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние тягового подвижного состава железных дорог Украины нуждается в решении комплекса научных и практических задач его восстановления, содержания и ремонта. Напряженная экономическая ситуация в Украине не позволяет в полной мере пополнять парк тепловозов. Это вызывает увеличение его срока эксплуатации и требует разработку научно-обоснованных подходов и методических основ, которые должны обеспечить на надлежащем уровне их надежность.

Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью решения научной задачи по усовершенствованию эффективности контроля при ремонте тяговых электрических машин в условиях депо. Как известно высокая стоимость, а временами и невозможность капитального ремонта на ремонтных предприятиях, заставляет выполнять его в условиях локомотивного депо. Это значительно повышает требования к организации проведения ремонта, повышению объемов технологических операций, внедрению нового оборудования, и что самое главное, нуждается в разработке новых научных подходов по обеспечению контроля за качеством всей технологической цепи. Исходя из этого, научная задача диссертационной работы является своевременной и актуальной.

Связь работы с научными программами, планами, темами.

Диссертационная работа выполнена на кафедре "Эксплуатация и ремонт подвижного состава" Украинской государственной академии железнодорожного транспорта, которая является соисполнителем научно-технической части Государственной программы "Развитие рельсового подвижного состава социального назначения для железнодорожного транспорта и городского хозяйства" и

соответственно планам научно-исследовательских работ в рамках отраслевых программ Министерства транспорта и связи Украины и Укрзалізничці по темам "Научное обоснование реализации концепции развития систем диагностирования в локомотивном хозяйстве железных дорог Украины" (№ГР 0101U002465), "Разработка информационной системы управления локомотивным хозяйством Укрзалізничці" (№ГР 0198U005210).

Цель и задачи исследования. Целью исследования является усовершенствование эффективности контроля при ремонте тяговых электрических машин в условиях депо.

Исходя из этого, в диссертации поставлены следующие задачи:

- провести анализ неисправностей и отказов тяговых электрических машин, которые связаны с повышением их срока службы;
- формализовать задачу усовершенствования системы контроля технического состояния тяговых электрических машин во время их испытаний на ее основе самообучения;
- оценить и определить изменение производственного риска в зависимости от эффективности системы контроля;
- научно обосновать и определить зависимость новых параметров контроля при проведении испытаний;
- разработать метод вибрационного контроля и на его основе определить основные требования к усовершенствованию технологии ремонта во время испытаний тяговых электрических машин;
- доработать методы инструментального теплового контроля узлов тяговых электрических машин на основе дистанционного инфракрасного контроля с определением погрешности и диапазона измеряемых параметров;

- оценить эффективность направлений усовершенствования системы контроля тяговых электрических машин при внедрении современных средств диагностики, мониторинга и обработки информации.

Объектом исследования является процесс испытаний тяговых электрических машин в условиях депо.

Предметом исследования являются методы контроля технического состояния тяговых электрических машин.

Методы исследований. Решение научной задачи базируется на процедуре мониторинга технического состояния тяговых электрических машин с использованием методов статистического анализа, теории вероятностей, теории самообучения и методов численного эксперимента.

Научная новизна полученных результатов. В диссертационной работе путем разработки комплекса математических моделей решена научная задача усовершенствования системы контроля при ремонте тяговых электрических машин за счет разработки методов оценки их технического состояния во время испытаний в условиях депо.

Впервые разработано и предложено:

- методика комплексной оценки факторов, которые влияют на снижение технического состояния тяговых электрических машин при повышении их срока службы;

- модель определения предельных значений параметров энергетической установки тепловоза, которые влияют на состояние тяговых электрических машин и лимитируют их срок службы;

- комплексная модель усовершенствования системы контроля технического состояния тяговых электрических машин, в основу

которой положен принцип самообучения и предложены пути ее практической реализации.

Доработано:

- методика вибромониторинга узлов тяговых электрических машин на принципиально новой аппаратной основе с применением ПЭВМ и созданием соответствующей базы данных по браковочным параметрам;

- методика теплового контроля ответственных узлов тяговых электрических машин с применением принципиально новых технологических аппаратных средств на основе инфракрасных пирометрических приборов;

- создание теоретических и практических предпосылок по организации проведения выходного контроля, которые позволяют на более качественном уровне определять техническое состояние тяговых электрических машин и, как следствие, обеспечивать их надежность при повышении срока службы.

Практическое значение полученных результатов.

Разработанный комплекс моделей позволяет в условиях локомотивного депо, при выполнении тяговым электрическим машинам тепловозов текущего ремонта в объеме капитального, осуществлять эффективный выходной контроль, путем увеличения дополнительных параметров, которые позволяют оценить действительное техническое состояние, а также действенно влиять на существующие технологические процессы.

Применение разработанного комплекса моделей по усовершенствованию эффективности контроля дает возможность повысить качество ремонта тяговых электрических машин в условиях депо, улучшить их надежность и повысить коэффициент готовности

тепловозов на 0,1%, сократить время их непроизводительного простоя на 4% и повысить безотказность в эксплуатации на 7%.

Результаты диссертационных исследований внедрены в технологическом процессе текущего ремонта тепловозов локомотивного депо Лозовая Южной железной дороги, а также в учебном процессе УкрГАЗТ при изучении дисциплин "Основы надежности и технической диагностики", "Технология технического обслуживания и текущего ремонта локомотивов", при выполнении научно-исследовательских работ студентов и ФПК и ИППК при УкрГАЗТ при подготовке магистров. Результаты работы подтверждены соответствующими материалами о внедрении, которые приведены в приложениях к диссертационной работе.

Личный вклад соискателя.

Во время научных исследований все положения и результаты работы получены автором лично.

В работах, которые опубликованы в соавторстве, автору непосредственно принадлежат: в статье [1] - предложен метод определения технического состояния подшипников тяговых электрических машин во время проведения их испытаний на основании получения вибрационных характеристик; в статье [2] - проанализированы факторы, и получена зависимость их влияния на технологию обслуживания и ремонта тепловозов; в статье [3] - с помощью тополого-вероятностного метода определены предельные значения параметров энергетической установки тепловоза, которые оказывают непосредственное влияние на техническое состояние тяговых электрических машин; в статье [4] - предложено усовершенствование технологии испытаний тяговых электрических машин и получены зависимости, которые определяют сокращение времени на их проведение.

Апробация результатов диссертации.

Основные положения диссертации докладывались, обсуждались и были одобрены на следующих конференциях и семинарах:

- 62÷66 международных научно-технических конференциях кафедр УкрГАЖТ и работников железнодорожного транспорта, 2000-2005 гг.;

- заседании 16-й Международной школы-семинара "Перспективные системы управления на железнодорожном, промышленном и городском транспорте", 2003 г. (г. Алушта);

- 1-й Международной научно-практической конференции "Наука в транспортном измерении", Министерства транспорта и связи Украины, 2005 г. (г. Киев).

Полностью диссертационная работа докладывалась на расширенном заседании кафедры "Эксплуатация и ремонт подвижного состава" УкрГАЖТ с участием членов специализированного ученого совета Д64.820.04 (2005 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано пять научных работ (одна без соавторов) в изданиях, которые утверждены ВАК Украины.

Структура работы. Диссертация состоит из вступления, пяти разделов, выводов, списка использованных источников и приложений. Полный объем работы включает 153 страницы, из них объем основного текста 107 страниц; приложений, списка использованных источников, рисунков и таблиц на 46 страницах. Работа иллюстрирована 29 рисунками, приведено 11 таблиц. Список использованных источников состоит из 143 наименований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Авакян В.А. Исследование качества монтажа подшипников электрических машин путем вибродиагностики // Электротехника. - 1980. - №8. - С. 29-33.
2. Аврех Г.А., Федоренко Н.П., Щукин Е.П. Затраты и результаты: беседы об экономике. - М.: Наука, 1990. - 192 с.
3. Аксенова Г.П., Согомоян Е.С. Построение самопроверяемых схем встроенного контроля. // Автоматика и телемеханика. - 1975. - № 7. - С.132 - 138.
4. Антонов М. В., Акимова Н.А., Котеленец Н. Ф. Эксплуатация и ремонт электрических машин: Учеб. пособие для вузов. - М.: Высш. шк., 1989.
5. Анцелович Л.Л. Надёжность, безопасность и живучесть самолёта: Учебник для студ. вузов, обучающихся по специальности «Самолётостроение». – М.: Машиностроение, 1985. – 296 с.
6. Артеменко В.В. Планування випробувань тягових електричних двигунів тепловозів з урахуванням ефективного ризику // Зб. наук. праць. – УкрДАЗТ. – 2005. – Вип. 68. – С.119-126.
7. Бабанин А.Б. Автоматизация регистрации параметров локомотивов // Підвищення ефективності технології та техніки для виконання вантажно-розвантажувальних, будівельних і колійних робіт на залізничному транспорті: Зб. наук. пр. - Харків.: ХарДАЗТ, 1999. - Вип.36. - С.155-159.
8. Бабанин А.Б., Артеменко В.В. Совершенствование технологии испытаний тяговых электрических машин // Коммунальное хозяйство городов. – Харьков: Техника, 2004. - №55. – С.171-177.

9. Бабанін О.Б., Артеменко В.В. Вібромоніторинг підшипників тягових електричних машин при капітальному ремонті // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2003. - №4. – С. 9-12.

10. Бабанін О.Б., Артеменко В.В. Застосування регресійного аналізу для моделювання технологічних процесів обслуговування і ремонту // Зб. наук. праць. – УкрДАЗТ. – 2003. – Вип. 53. – С.35-40.

11. Бабанін О.Б., Артеменко В.В., Тараканов А.Л. Визначення граничних значень параметрів при збільшенні терміну служби локомотивів // Зб. наук. праць. – УкрДАЗТ. – 2003. – Вип. 55. – С.71-77.

12. Балицкий Ф.Я., Иванова М.А., Соколова А.Г. и др. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов. - М.: Машиностроение, 1984. - 176 с.

13. Баранов А.М., Козлов В.Е., Фельдман Э.Д. Развитие пропускной и провозной способности однопутных линий. - М.:Транспорт, 1964. - 196 с.

14. Баранов И.В., Ермолин Ю.А., Рева В.Ф. Некоторые вопросы конструирования и технологии изготовления элементов и узлов рам тележек подвижного состава, связанные с повышением усталостной прочности. – Тр. МИИТ, 1968. – Вып. 296. – М.: Транспорт.– С. 3–20.

15. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность / Пер. с англ. И.А. Ушакова. - М.: Наука, 1985. - 328с.

16. Бевзенко Л.Н., Кузнецов Г.А. Оценка эффективности повышения надёжности локомотивов. // В сб. Исследование надёжности и экономичности дизельного подвижного состава. Омский ин-т. инж. ж.-д. трансп. - Омск, 1981, - С. 10 - 14.

17. Беллман Р, Дрейфус С. Прикладные задачи динамического программирования. - М.: Наука, 1965. - 241 с.
18. Биргер И.А. Техническая диагностика. - М.: Машиностроение, 1978. - 240 с.
19. Болотин В. В. Статистические методы в строительной механике. 2–е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1965. – 279 с.
20. Бородюк В.П. Статистическое описание промышленных объектов. - М.: Энергия, 1971. - 111с.
21. Бородюк В.П. Экспериментально-статистические методы получения математического описания сложных технологических процессов. - М.: Изд. АН СССР, 1962. - 57с.
22. Брамсон М.А. Инфракрасное излучение нагретых тел. – М.: Наука, 1965. – 223с.
23. Брамсон М.А. Справочные таблицы по инфракрасному излучению. - М.: Наука, 1964, - 320 с.
24. Бройнич Г., Дитрих П., Глокман В.М. и др. Измерение температур в технике: Справочник / Под ред. Ф. Линевега. - М.: Металлургия, 1980. - 544 с.
25. Бутько Т.В. Совершенствование методов расчета параметров системы технического содержания локомотивов: Дис... докт. техн. наук. 05.22.07. - Харьков, 1996. - 321с.
26. Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория распознавания образов. - М.: Наука, 1974. - 416с.
27. Вентцель ЕС. Теория вероятностей. – М.: Физматгиз, 1962. – 564с.
28. Вознюк В.И. и др. Надёжность тепловозов. - М.: Транспорт, 1991. - 159 с.

29. Волков Л.И., Шишкевич А.М. Надёжность летательных аппаратов: Учеб. пособие для авиационных вузов. – М.: Высшая школа, 1975. – 296 с.

30. Галкин В.Г., Парамзин В.П., Четвергов В.А. Надёжность тягового подвижного состава: Учебное пособие. – М.: Транспорт, 1981.– 184 с.

31. Галкин В.Г., Челобанов П.С. Испытание тяговых двигателей // Электрическая и тепловозная тяга. - 1988. - №12. - С.27.

32. Гальчук В.Я., Соловьев А.П. Техника научного эксперимента. - Л.: Судостроение, 1982. - 256с.

33. Гаррисон Т. Радиационная пирометрия. - М.: Мир, 1974. - 544с.

34. Геращенко О.А. Основы теплотриии. – Киев.: Наук, думка, 1971. - 192 с.

35. Геращенко О.А., Гордов А.Н., Лах В.И. и др. Температурные измерения: Справочник. - Киев: Наук, думка, 1984. - 494 с.

36. Герцбах И.Б., Кордонский Х.Б. Модели отказов. – М.:Советское радио, 1968. – 186 с.

37. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьёв А.Д. Математические методы в теории надёжности. – М.: Наука, 1965. – 524 с.

38. Головки В.Ф. Прогнозирование эксплуатационных допусков энергетических установок автономного тягового подвижного состава: Дис... докт. техн. наук. 05.22.07. - Харьков, 1997. - 360с.

39. Голубович С.Р., Миловидов В.В., Самойлович В.Г. Прогнозирование перспективных образцов строительных и дорожных машин. - М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1976. - 58 с.
40. Гольдберг О. Д. Испытания электрических машин: Учеб. для вузов. - М.: Высш. шк., 2000.
41. Горский А.В., Воробьев А.А. Оптимизация системы ремонта локомотивов - М.: Транспорт, 1994. - 210 с.
42. ГОСТ 12327 Машины электрические вращающиеся. Остаточные дисбалансы роторов. Нормы и методы измерений.
43. ГОСТ 12379-87 Машины электрические вращающиеся. Методы оценки вибрации.
44. ГОСТ 18242-72 Статистический приемочный контроль по альтернативному признаку. Планы контроля.
45. ГОСТ 20736-75 Качество продукции. Статистический приемочный контроль по количественному признаку при нормальном распределении параметра.
46. ГОСТ 25000-89 Машины электрические вращающиеся. Методы испытаний на нагревание.
47. ГОСТ СЭВ 1107-78. Машины электрические вращающиеся. Метод определения сопротивления обмоток без отключения электрической машины от сети.
48. Гребенник В.М. Усталостная прочность и долговечность металлургического оборудования. – М.: Машиностроение, 1969. – 256 с.
49. Гриднев С.П., Реформаторский И.А. Метод бесконтактного измерения действительной температуры нагретых тел по их тепловому излучению // Техника радиационного эксперимента. - М. : Атомиздат, 1974. - Вып. 2. - С. 22-24.

50. Гриневич Г.П., Каменская Е.Л. и др. Надёжность строительных машин. - М.: Стройиздат, 1975. - 296 с.
51. Елизаветин М.А. Повышение надёжности машин. - М.: Машиностроение, 1973. - 450 с.
52. Ефремов Л.В. Определение показателей долговечности и безотказности оборудования судов // Надёжность и контроль качества. – М.: Издательство стандартов, 1977. – С. 14—20.
53. Ефремов Л.В. Практика инженерного анализа надёжности судовой техники. – Л.: Судостроение, 1980. – 176 с.
54. Жданов С.А. Экономические модели и методы в управлении. - М.: Дело и Сервис, 1998.
55. Жерве Г.К. Промышленные испытания электрических машин. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 408с.
56. Жуков А.Г., Горюнов А.Н., Кальфа А.А. Тепловизионные приборы и их применение. - М.: Радио и связь, 1983.
57. Журков С.Н., Бехтин В.И., Петров А.Я. Температурно–временная зависимость прочности металлов и сплавов в неравновесном состоянии // Физика металлов и металловедение, вып. 1,2, 1967. — 98 с.
58. Загоруйко Н.Г. Методы распознавания и их применение. – М.: Сов.радио, 1972. – 206с.
59. Засименко В.М., Самченко Г.П., Лах В.И. и др. Оценка технического уровня пирометров комплекса АПИР-С // Методы и средства оптической пирометрии. - М.: Наука, 1983. - С. 43—47.
60. Засименко В.М., Самченко Г.Я. Цифровые пирометры "Смотрич-4П" и "Смотрич-5П" агрегатного комплекса АПИР-11//ПСУ. - 1987. - № 2. - С. 20-21.
61. Зедгинидзе Г.П. Измерение температуры вращающихся деталей машин. – М.: Машгиз, 1962. – 271 с.

62. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов. – М.: Metallurgy, 1975. – 454 с.
63. Ивахненко А.Г. Самообучающиеся системы распознавания и автоматического управления. – К.: Техника, 1989. – 392с.
64. Исаев И.П. Проблемы повышения надёжности технических устройств железнодорожного транспорта. – М.: Транспорт, 1968. – 160 с.
65. Исаев И.П., Журавлёв С.И., Седов В.И. Разработка оптимальной системы ремонта локомотивов. // Железнодорожный транспорт, 1970. - № 10. - С. 40–44.
66. Исаев И.П., Матвеевичев А.П., Козлов Л.Г. Ускоренные испытания и прогнозирование надёжности электрооборудования локомотивов. – М.: Транспорт, 1984. – 248 с.
67. Калихович В.Н. Тяговые приводы локомотивов / Устройство, обслуживание, ремонт. – М.: Транспорт, 1983. – 111с.
68. Капур К., Ламберсон Л. Надёжность и проектирование систем. Пер. с англ./ Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Мир, 1980. – 604 с.
69. Кац Г.Б., Ковалёв А.П. Технико–экономический анализ и оптимизация конструкции машин. - М.: Машиностроение, 1981. – 214 с.
70. Ковалевский В.А. Методы оптимальных решений при распознавании изображений. – М.: Наука, 1976. – 234с.
71. Когаев В.П. Расчёты на прочность при напряжениях, переменных во времени. – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с.
72. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин: Учеб. пособие для машиностроительных специальностей вузов. – М.: Высшая школа, 1991. – 319 с.

73. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчёты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность. Основы проектирования машин: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985.–224 с.

74. Колмогоров В.А. Напряжения, деформации, разрушение. – М.: Metallurgy, 1970. – 230 с.

75. Контроль качества сварки / Под ред. В.Н. Волченко. Учеб. пособие для машиностроительных вузов. – М.: Машиностроение, 1975. –328 с.

76. Концепция автоматизированной системы управления локомотивным хозяйством (АСУТ). Проект. / Под ред. д-ра техн. наук, проф. Лакина И.К. - М.: Издательство Центра внедрения новой техники и технологий "Транспорт" МПС России, 2000, - 82 с.

77. Копылов И. П. Электрические машины: Учеб. для вузов. - М.: Высш. шк.: Логос, 2000.

78. Котеленец Н. Ф., Кузнецов Н.Л. Испытания и надежность электрических машин: Учеб. пособие для вузов. - М.: Высш. шк., 1988.

79. Крамер Г. Математические методы статистики. – М.: Мир, 1975.–648 с.

80. Крылов К.А., Хаймзон М.Е. Долговечность узлов трения самолётов. – М.: Транспорт, 1976. – 183 с.

81. Крылова Г.Д. Зарубежный опыт управления качеством. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 140 с.

82. Кузнецов Н.Д. и др. Технологические методы повышения надёжности деталей машин. Основы проектирования машин: Справочник / Н.Д. Кузнецов, В.И. Цейтлин, В.И. Волков. – М.: Машиностроение, 1992. – 304 с.

83. Кулаковский В. Б. Работа изоляции в генераторах. Возникновение и методы выявления дефектов. - М.: Энергоиздат, 1981.

84. Кундышева Е.С. Математическое моделирование в экономике. - М.: Издательско-торговая корпорация "Дашков и К°", 2004. - 352 с.

85. Лакин И.К., Феоктистов В.П., Тимченко А.Ю. и др. Информационная модель базы данных автоматизированной системы управления локомотивным хозяйством. Проект. / Под ред. д-ра техн. наук, проф. Лакина И.К. - М.: Издательство Центрав недрения новой техники и технологий «Транспорт» МПС России, 2000, 52 с.

86. Латышев А.Н., Петров В.Н., Чеховский В.Я. Излучательные свойства твердых материалов: Справочник. – М.: Энергия, 1974. – 472с.

87. Малозёмов Н.А., Шапошников В.А. Резервы тепловозной тяги. // Электр, и тепл. тяга. – 1967. - №2. - С. 24 - 36.

88. Мартынов Г.К., Фомин В.Н. Показатели надежности технических устройств. – М: Издательство Комитета стандартов, 1969. – 84 с.

89. Махутов Н.А. Деформационные критерии разрушения и расчёт элементов конструкций на прочность. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.

90. Меламедов И.М. Физические основы надежности. – Л.: Энергия, 1970.– 152 с.

91. Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений (Основные положения). - М.: Экономика, 1977. - 104 с.

92. Методика определения экономической эффективности капитальных вложений. - М.: Экономика, 2003. - 68 с.

93. Методика расчёта нормируемых показателей безотказности тепловозов на стадии проектирования (Рук. техн. материал). – Коломна: Всесоюзный научно–исследовательский тепловозный институт, 1980. – 42 с.

94. Механическая часть тягового подвижного состава: Учебник для вузов ж. д. трансп. / И.В. Бирюков, А.Н. Савоськин, Г.П. Бурчак и др.; Под ред. И.В. Бирюкова. – М.: Транспорт, 1992. – 440 с.

95. Минин Б.А. Качество. Как его анализировать? – М.: Финансы и статистика, 1989. – 96 с.

96. Надёжность и эффективность в технике: Справочник. Т.1. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.

97. Надёжность машин: Учеб. пособие для машиностроительных специальностей вузов / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев; Под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Высшая школа, 1988. – 238 с.

98. Объемы и нормы испытаний электрооборудования / Под ред. Б.А.Алексеева, Ф.Л.Когана, Л.Г.Мамиконянца. - М.: Научно-учебный центр ЭНАС, 2001.

99. Проников А.С. Надёжность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 197 с.

100. Проников А.С. Основы надежности и долговечности машин. – М.: Издательство Комитета стандартов, 1969. – 275 с.

101. Павлович Е.С. Техничко–экономические аспекты методов расчёта надёжности тепловозов: Учеб. пособие для студ.–заоч. специальности "Тепловозы и тепловозное хозяйство". – М.: ВЗИИТ, 1986.–76 с.

102. Повышение надёжности экипажной части тепловозов. Надёжность и качество / А.И. Беляев, Б.Б. Бунин, С.Н. Голубятников и др.; / Под. ред. Л.К. Добрынина. – М.: Транспорт, 1984. – 248 с.

103. Порт О., Шиллер З., Кинг Р. В поисках более эффективного пути производства // М.: Бизнес УИК, 1990. – №2 – С. 18–23.

104. Портак Р.А., Лах В.И., Полщук Е.С. Вопросы повышения точности измерения температуры рабочих поверхностей вращающихся объектов // Новые исследования в термометрии. – Львов.: Вища шк., 1974, - С. 142-147.

105. Поскачей А.А., Чариков Л.А. Пирометрия объектов с изменяющейся излучательной способностью. - М.: Metallurgy, 1978. - 199 с.

106. Проников А.С. Повышение долговечности станочного парка. - М: Высшая школа, 1961. - 155 с.

107. Прочность и безотказность подвижного состава железных дорог / А.Н. Савоськин, Г.П. Бурчак, А.П. Матвеевичев и др.; Под. общ. ред. А.Н. Савоськина. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.

108. Пузанков А.Д. Надёжность конструкций локомотивов: Учеб. пособие для вузов ж.–д. трансп. - М.: МИИТ, 1999 - 200 с.

109. Пузанков А.Д. Обоснование функции усилий на создание более качественных локомотивов. В сб. Управление технической эксплуатацией локомотивов / Харьковский ин–т инж. ж.–д. трансп. - Харьков. - Вып. 20, - 1992. - С. 1 - 13.

110. Работа дизелей в условиях эксплуатации: Справочник / А.К. Костин, Б.П. Пугачёв, Ю.Ю. Кочнов; Под. общ. ред. А.К. Костина. – Л.: Машиностроение, 1989. – 284 с.

111. Развитие локомотивной тяги / Н.А. Фурфрянский, А.Н. Долганов, А.С. Нестрахов и др. / Под ред. НА Фурфрянского и А.Н. Бевзенко. – 2–е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1988. – 344 с.

112. Рахматуллин М.Д. Методы определения сроков межремонтной работы тепловозов. - Тр. МИИТ, 1960, вып. 130. – С. 147 – 149.

113. Розенбликер А.Э., Сычѐв В.С., Чернышов С.П., Шур И.С. Основы технико–экономического анализа инженерных решений. - Киев, Выща школа, 1989. - 126 с.

114. Ротенберг Р.В. Основы надёжности машин (конспект лекций). – М.: МАДИ, 1973. – 96 с.

115. Рябинин И.А., Киреев Ю.Н. Надѐжность судовых энергетических систем и судового электрооборудования. – Л.: Судостроение, 1974. – 264 с.

116. Саакян Д.Н. Система показателей комплексной оценки мобильности машин. - М.: Агропромиздат, 1988. - 415 с.

117. Самойлович В. Г. Прогнозирование оптимального технико–экономического уровня машин. - М.: Машиностроение, 1987. - 136 с.

118. Сварные конструкции локомотивных тележек: Основные положения проектирования и изготовления / Под ред. К.П. Королѐва. – М.: Транспорт, 1984. – 72 с.

119. Свет Д.Я. Оптические методы измерения истинных температур. - М.: Наука, 1982. - 296 с.

120. Сервисен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.М. Несущая способность и расчѐты на прочность деталей машин. – М: Машиностроение, 1975. – 448 с.

121. Смирнов Н.В., Дунин–Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. – М.: Наука, 1969. – 348 с.

122. Смирнов О.Р., Юдицкий Ф.Л. Надѐжность судовых энергетических установок. – Л.: Судостроение, 1974. – 280 с.

123. Соколов Р. И. Эксплуатация и ремонт электродвигателей с терморезистивной изоляцией. - М.: Энергоатомиздат, 1992.

124. Сорин Я.М., Лебедев А.В. Беседы о надёжности. – М.: Знание, 1964.– 224 с.

125. Статистические методы обработки статистических данных. –М.: Издательство стандартов, 1978. – 230 с.

126. Стрельников В.Г., Исаев И.П. Комплексное управление качеством технического обслуживания и ремонта электровозов. - М.: Транспорт, 1980. - 207 с.

127. Тартаковский Э.Д. Качество ремонта и надежность тепловозов. - М.: Транспорт, 1973. - 134с.

128. Хазанова Л.Э. Математическое моделирование в экономике. - М.: БЕК, 1998.

129. Цыпкин А.З. Основы информационной теории идентификации. – М.: Наука, 1984. – 320с.

130. Червонный А.А., Лукьяненко В.И., Котин Л.В. Надёжность сложных систем. 2–е изд. перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1976. - 288 с.

131. Четвергов В.А., Пузанков А.Д. Надёжность локомотивов. – М.: Маршрут, 2003. – 415с.

132. Чивадзе З.Д., Вайнштейн Б.З., Сладкий В.А. Устройство для непрерывного контроля и дистанционного измерения температуры вращающихся частей электрических машин. // Сб.: Электротехн. пр-сть. Сер. Электрические машины. - 1970. - Вып. 3. - С. 21 - 22.

133. Шанченко П.А. Научно–технический прогресс в локомотивном хозяйстве: / Локомотивы и локомотивное хозяйство - М.: ЦНИИТЭИ МПС, 1987. – с.3 - 10.

134. Шарипов А. М. Измерение сопротивлений обмоток электрических машин под напряжением // Сб. Электротехн. пр-сть. Сер. Электрические машины. - 1982. - Вып.10(140). - С. 3-5.

135. Шишков А.Д. Народнохозяйственная эффективность повышения надёжности технических средств железнодорожного транспорта. - М.: Транспорт, 1986. - 118 с.

136. Шор Я.Б., Кузьмин Ф.И. Таблицы для анализа и контроля надёжности. – М.: Советское радио, 1968. – 284 с.

137. Эйкхофф П. Современные методы идентификации. – М.: Мир, 1983. – 400с.

138. Экономико-математические методы и прикладные модели / Под ред В.В. Федосеева. - М.: ЮНИТИ, 1999.

139. Эксплуатационная надёжность тепловозов. / Под ред. д-ра техн. наук Н.А. Фурьянского. - М.: Транспорт, 1966. - 208 с.

140. Электроподвижной состав. Эксплуатация, надёжность и ремонт: Учебник для вузов ж.д. трансп. / А.Т. Головатый, И.П. Исаев, П.И. Борцов и др.; Под ред. А.Т. Головатого и П.И. Борцова. – М.:Транспорт, 1983. – 350 с.

141. Ripling E.L., O'Donnell I.E. Njw fracture mechanics can help the designer. «SAE Prepr.», s.a., 710153, 12 p.

142. Ross P. Taguchi Techniques for Quality Engineering. - McGraw, 1996. - 300p.

143. Unal R., Dean E. Design for Cost and Quality: The Robust Design Approach Quality Progress. - April, 1997. - p.38-47.