

ГАЖК «ЎЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙУЛЛАРИ»
Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта

Учебное пособие
по дисциплине
«Диагностика и надежность подвижного состава
электрического транспорта»
для магистров специальности
5А521310 – Электрический транспорт

ТАШКЕНТ – 2009

УДК 629.424.Л1621

Учебное пособие предназначено для проведения занятий по дисциплине «Диагностика и надежность ПС ЭТ» у студентов магистратуры специальности 5А521310 – Электрический транспорт. Рекомендованы к изданию решением учебно – методической комиссии Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта.

Составители: к.т.н.доц. Связев В.П. асс. Иксар Е.В.

Рецензенты: к.т.н., доц. ТашИИТ Нигай Р.П.
к.т.н., доц. ТашИИТ Нурходжаев Х.Э.
к.т.н., доц. ТГТУ Усманов Э.Г.

© Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, 2008

Содержание

- 1. Основные требования надёжности к электровозам. 4.**
- 2. Основные понятия надёжности. 6.**
- 3. Принципы построения методики расчета надёжности электровозов. 13.**
- 4. Основные понятия и краткие сведения из теории вероятностей. 46.**
- 5. Экспериментальная оценка надёжности. 57.**
- 6. Расчет надёжности с учетом внезапных отказов. 60.**
- 7. Расчет надёжности с учетом старения элементов. 65.**
- 8. Определение интенсивности отказов элементов в зависимости от уровня нагрузки. 72.**
- 9. Пример расчета надёжности тяевого электродвигателя электровоза 80..**
- 10. Диагностирование электровозов в системе их технического обслуживания и ремонта. 95.**
- 11. Опыт организации технического диагностирования электровозов. 98.**

- 12. Диагностика электрических цепей электропоезда. 106.**

- 13. Улучшение организации и повышение эффективности диагностирования электровозов. 121.**

- 14. Возможность автоматизации расчётов экономической эффективности технического диагностирования электровозов. 127**
- 15. Литература. 132.**

1. Основные требования надёжности к электровозам.

На железнодорожном транспорте успешно осуществляются постановления правительства о коренной технической реконструкции на базе массовой электрификации. Опыт эксплуатации свидетельствует о высоких технико-экономических показателях электровозов, которые выполняют более 93% грузооборота железнодорожного транспорта.

Повышение производительности труда на железнодорожном транспорте будет осуществляться, прежде всего, за счет дальнейшего совершенствования организации производства. Внедрения новых прогрессивных технологических процессов и передовых методов труда на базе широкого внедрения достижений науки и техники, внедрения новейших средств механизации и автоматизации производственных процессов, а также всемерной интенсификации использования основных средств железных дорог.

В современных электровозах находят все более широкое применение различные системы преобразования энергии, устройства автоматического управления, регулирования и контроля, которые выполняют различные ответственные задачи обеспечения безопасности движения поездов.

Однако при существующем положении рост сложности оборудования и интенсификация его использования опережают рост качества применяемых элементов. Вследствие этого увеличивается возможность ошибок в работе, отказов и выхода из строя этих элементов, что может привести к нарушению безопасности движения поездов, к простоям, а в ряде случаев и к авариям.

Вопросам повышения надёжности электровозов уделяется большое внимание. Кардинальное решение проблемы повышения надёжности электровозов выполнимо только на научной основе при использовании возможностей современных отраслей науки. Продолжительность безотказной работы локомотива определяется без учета повышения надёжности, являющейся следствием технических осмотров и профилактических ремонтов.

Известно, что проектирование и создание электровозов обходится тем дороже, чем более высокой надёжности хотят достичь. При низком уровне надёжности и долговечности повышение их обходится дороже, чем повышение на ту же величину при высоком уровне надёжности и долговечности. Чем ближе вероятность безотказной работы к единице, тем дороже обходится такое устройство. Иными словами, затраты на ремонт электровозов возрастают пропорционально увеличению их надёжности и долговечности. С другой стороны, более надёжный электровоз дешевле в эксплуатации, так как затрачивается меньше средств для поддержания его в работоспособном состоянии и меньше потери,

связанные с отказами. Следовательно, существует оптимальный уровень надежности, при котором стоимость ремонта электровоза оказывается минимальной.

Вместе с тем, комплексность решения задачи заключается не только в выполнении технико-экономического обоснования надежности, но и в том, что при нем должны быть учтены основные факторы, невыражаемые ни материальными, ни денежными затратами. К таким факторам относится в первую очередь безопасность движения, улучшение условий перевозок и т. п. При этом следует учесть, что требуемый уровень надежности узла электровоза должен соответствовать степени ответственности его функций. Если данный узел выполняет функции, связанные с обеспечением безопасности движения, то его надежность должна быть практически равна единице. Поэтому сложность решения проблемы заключается в установлении исходных предпосылок и количественном определении факторов, определяющих надежность электровозов, поскольку не всегда еще ясно от решения каких частных задач зависит успех решения в целом.

Однако, несмотря на всю актуальность проблемы, до сих пор не имеется методики анализа мероприятий по повышению надежности и долговечности электровозов.

Объясняется это сложностью самой проблемы, требующей для ее решения специальных методов исследования. Эти методы должны, с одной стороны, учитывать существующую пока неопределенность ряда зависимостей технико-экономических показателей надежности электровозов от условий производства и эксплуатации, с другой стороны, давать конкретные ответы на поставленные вопросы.

В настоящее время ряд объективных условий позволяет построить на научной основе инженерные методы расчета надежности электровозов с тем, чтобы при ремонте выдержать оптимальные показатели надежности, на долю эксплуатации оставить задачу поддержания требуемого уровня надежности при оптимальной системе обслуживания и ремонта.

Эти объективные условия заключаются: во-первых, в быстром развитии теории вероятностей и математической статистики как науки и выделении новых направлений таких, как общая теория надежности, теория точности производства, теория массового обслуживания, теория графов и т. п. Эти теории позволяют получить решение многих задач, связанных с расчетом надежности технических устройств вообще и локомотивов в частности.

Надежность проявляется как объективный результат многообразия действующих случайных факторов, законы изменения которых не могут быть установлены только классическими методами функционального анализа или математической физики.

В наши дни теория вероятностей и математическая статистика

представляют собой один из основных математических аппаратов исследования многих современных проблем техники. Именно требования практики привели к созданию новых разделов теории вероятностей и дифференциальных уравнений, в том числе теории оптимального управления, теории информации, теории автоматов и т. п.

Когда речь идет о применении методов теории вероятностей в надежности, об анализе накопленного материала и разработке на основе практических мероприятий по максимальному снижению отказов и аварий э.п.с..

К объективным условиям, способствующим решению проблемы надежности электровозов, относится значительный опыт и фактические данные, накопленные на заводах, а в службах дорог, научно-исследовательских организациях и учебных институтах по испытаниям и эксплуатации.

Однако большое количество данных, накопленных заводами-поставщиками, заводами-изготовителями и дорогами, остается пока неиспользованным в должной мере. Между тем, надлежащий анализ объективных статистических данных позволяет разработать конкретные мероприятия, направленные на повышение надежности электровозов, не прибегая к организации специальных дорогостоящих опытов.

Использование быстродействующих электронных вычислительных машин дискретного и непрерывного действия представляется возможным выполнить в короткие сроки несоизмеримо более полные расчеты вариантов повышения надежности, чем это мыслимо при обычных вычислительных средствах. При этом становится вполне возможным переход от расчета нескольких вариантов усиления надежности к выбору лучшего из всех возможных сочетаний проектных вариантов, т. е. осуществить оптимальный ремонт электровоза.

Большие возможности для эффективной оценки надежности как существующих, так и вновь проектируемых электровозов открываются при моделировании их работы на электронных вычислительных машинах. В результате моделирования оказывается возможным выбрать оптимальную схему расчета надежности электровоза.

Несомненно, что в решении проблемы надежности велика роль науки, как средства разработки оптимальных условий ремонта и эксплуатации электровозов.

2..Основные понятия надёжности

Чтобы правильно наметить пути повышения надежности электровозов необходимо знать факторы, влияющие на надежность и причины появления отказов. Задача состоит в том, чтобы выявить основные из этих

факторов, снижающие надежность и свести их влияние к минимуму. Возможные методы повышения надежности электровозов представлены на рис. 1..

К причинам отказов относятся: недостаточная технологическая и производственная дисциплина, неритмичная работа ремонтных предприятий, слабый контроль за качеством, отсутствие обоснованных нормативов на технологию и материалы и т. п.

Уровень надежности во многом определяется тем, насколько согласованы между собой мероприятия отдельных служб дорог, предприятий и организаций.

Практика показывает, что в ряде случаев из-за несогласованности реализуют только отдельные предложения, отстаивающие интересы данного предприятия, организации или службы дороги и не дающие решения проблемы в целом. При таком подходе не исключена вероятность того, что из поля зрения выпадет такой важный фактор как обеспечение безопасности движения.

Качество и надежность электротранспорта нередко снижаются из-за несогласованности разработанного технологического процесса с производственными возможностями его выполнения. Уровень надежности в эксплуатации в существенной мере зависит от неувязки между возможностями производства и технологией изготовления, с одной стороны, и требованиями эксплуатации — с другой.

На качестве и надежности конструкции особенно сказывается замена дефицитных материалов другими, более распространенными. В практике обычно мирятся с подобными заменами. Они рассматриваются как нормальное явление, хотя оказывают отрицательное влияние на качество локомотивов. Особенно неблагоприятное влияние на качество локомотивов оказывает отмена заключительных операций и, в частности, заводских наладочных испытаний по достаточно полной программе, предусматривающей обкатку электровоза под нагрузкой.

Известно, что в процессе обкатки выявляются и устраняются ошибки монтажа и регулировки узлов. Это делает обкатку необходимой составной частью технологического процесса ремонта электротранспорта. Отказ от заводских испытаний, воспроизводящих эксплуатационные условия, является недопустимым упрощением..

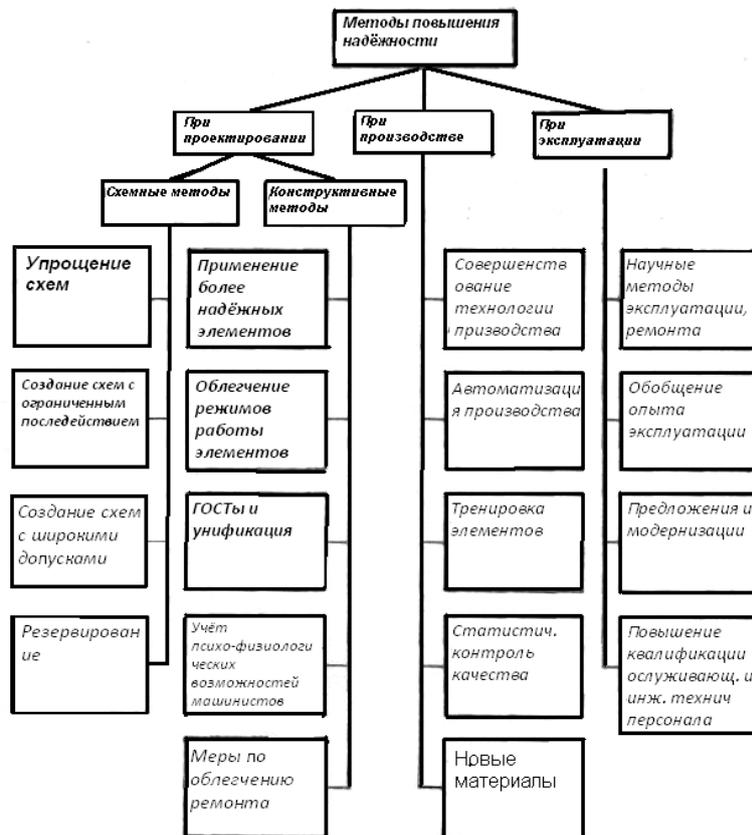


Рис. 1. Возможные методы повышения надёжности

Одной из главных причин выхода электровозов из строя, помимо указанных производственных факторов, являются также конструктивные ошибки, допущенные при проектировании. Все, что ниже уровня, достигнутого мировой наукой и техникой в области проектирования локомотивов, все, что допущено необоснованного в проекте из-за незнания современных методов расчета и конструирования или вследствие небрежности расчетов, является ошибкой сдачи в серию. Как известно, подобные системы организации и управления производством получают в настоящее время все большее развитие в различных отраслях народного хозяйства, в том числе и на железнодорожном транспорте.

Однако не все параметры и характеристики конструкции могут быть точно определены в процессе проектирования. Поэтому в ряде случаев возможно исполнение конструкций, не отвечающих поставленным требованиям. В таких случаях опытный образец конструкции в результате

специальных испытаний должен быть доведен до уровня поставленных требований.

Существующие необоснованные технологические нормалы, допуски, являющиеся отступлением от норм высокого качества, устарели. Они были временным, вынужденным явлением, обусловленным недостаточно высокой квалификацией специалистов и недостатком капиталовложений. Современный уровень дохода Р.У. «Узбекистан», наличие высококвалифицированных кадров создают условия для резкого повышения качества и надежности электро подвижного состава. Нужен новый подход к разработке нормативов и стандартов: исходить не из достигнутого уровня промышленности, а из показателей продукции лучшего качества, достигнутых в нашей республике и за рубежом.

Современные электровозы создаются в очень короткие сроки. Вместе с тем техническая сложность этих и тем более перспективных электровозов, разнообразие режимов их работы требуют проведения обстоятельных испытаний в определенной последовательности. Однако практика создания ряда образцов электровозов показывает, что на подготовку, изготовление и испытание новых серий отводятся чрезвычайно сжатые сроки, не позволяющие провести всесторонние испытания экспериментальных образцов. Поэтому работы по доводке новых электровозов обычно производятся работниками эксплуатации, что сопряжено с чрезмерной затратой труда и средств. Помимо этого работники эксплуатации, занятые выполнением непосредственных задач по обеспечению поездной работы, нередко не имеют соответствующих измерительных средств и специально подготовленного персонала, способного выполнить исследовательские работы и не в состоянии дать достаточно полную оценку работы экспериментальных образцов локомотивов. В этих условиях сроки испытаний опытных образцов и обработка их результатов задерживаются на несколько лет. По этой причине опытные экземпляры устройств безнадежно стареют еще до утверждения в серию. В связи с этим необходимо ввести научную организацию создания новых типов электровозов, заключающуюся в экономически обоснованной последовательности проектирования, изготовления и испытания новых конструкций электровозов в период серийного производства уже освоенных.

Основой такой научной организации является система сетевого планирования и управления производством, охватывающая все стадии разработки новой конструкции — от проектирования до испытаний и сдачи в серию. Как известно, подобные системы организации и управления производством получают в настоящее время все большее развитие в различных отраслях народного хозяйства, в том числе и на железнодорожном транспорте.

При определении экономически оправданных путей повышения

надежности следует иметь в виду, что проблема ценообразования играет очень ответственную роль. При этом особое значение приобретают вопросы выбора и планирования показателей надежности локомотивов. Конкретно показатели назначаются в зависимости от ответственности тех функций, которые должен выполнять данный узел локомотива. Важно, чтобы планируемые показатели были первостепенными с точки зрения надежности при их минимальном числе. В противном случае стоимость электровоза и его эксплуатация будут неоправданно завышены.

Электротранспорт новых серий, надежность которого должна быть выше существующих, изготавливаются преимущественно в индивидуальном и мелкосерийном производстве. При этом неизбежны единовременные затраты на проектирование и подготовку производства.

Естественно, что при освоении новых серий электровозов с улучшенными показателями надежности по сравнению с ранее выпускавшимися должны быть учтены более высокие технико-экономические показатели работы железных дорог, являющиеся следствием внедрения новых электровозов..

Надежность электровозов может быть обеспечена не только за счет разработки и внедрения в практику эксплуатации новых конструкций, но также и за счет правильных, экономически оправданных систем текущего содержания и ремонта существующих локомотивов.

Решение этих вопросов неразрывно связано с внедрением научной организации труда в локомотивных депо и на ремонтных заводах. В последнее время вопросы научной организации труда привлекают все большее внимание работников транспорта. Ценная инициатива коллектива по научной организации ремонта локомотивов нашла свое дальнейшее развитие в достижениях коллективов депо, разработавших и внедривших сетевые графики подъемочного ремонта локомотивов.

Применение сетевых методов при организации ремонта позволяет выявить и мобилизовать резервы времени и материальных ресурсов, скрытые в рациональной организации технологических процессов. Эти методы дают возможность осуществить управление процессами по циклу «ведущего звена» с прогнозированием и предупреждением возможных сбоев графика в ходе ремонта.

Эффективность использования сетевых методов планирования и организации зависит от двух условий:

насколько глубоко изучена сущность метода и его основные положения, а используемые показатели обоснованы. Показателен опыт депо, в котором при разработке сетевых графиков подъемочного ремонта электровозов ВЛ-80 была проведена большая работа по определению фактических затрат времени на различные ремонтные операции в зависимости от состава специализированных бригад;

- насколько тщательно разработан и продуман каждый этап графика.

Сетевой график дает наглядное представление о взаимосвязи отдельных технологических операций и их «удельном» весе в ремонтном цикле. Каждая ремонтная операция, с точки зрения сетевого графика, — событие. Связь между начальным и последующим конечным событием на данной операции графически изображают стрелкой, начинающейся в исходном событии и заканчивающейся в конечном для данной операции событии. Каждую пару таких событий обозначают своими номерами. Для сетевых графиков показателен не прием изображения событий или порядков их нумерации, а их следование друг за другом в строгом логическом порядке. Последующая работа не может начинаться, если не закончилось предшествующее событие, требующее наибольшей затраты времени.

Непрерывную последовательность работ от исходного события до завершающего называют путем; его длина равна сумме составляющих времен. В каждом сетевом графике может быть несколько путей; самый продолжительный из них называют критическим.

В отличие от ранее существовавших технологических графиков ремонта в виде параллельных полос с длиной, пропорциональной затратам времени на данную операцию, сетевой график позволяет наглядно проследить критический путь, вскрыть имеющиеся резервы и рационально распределить их для выполнения ремонта в более короткие сроки.

Нужно иметь в виду, что сами по себе сетевые графики есть только вспомогательное средство научной организации труда, позволяющее получить наглядное представление о наиболее целесообразной последовательности выполнения операций в неясных ситуациях. Разработка сетевого графика — не главное в научной организации труда. Главное принадлежит самой организации труда, ее передовым методам и приемам. На локомотиворемонтных заводах и в депо эти методы должны быть направлены, прежде всего на обеспечение высокого качества ремонта и надежности локомотивов.

К ним относится: разработка для каждого рабочего места подробных технологических карт, техническая учеба ремонтного персонала, введение аттестации слесарей, привлечение общественности к контролю качества и надежности ремонта и т. д. Трудоемкие процессы необходимо механизировать, внедрить упрочняющие ремонтные операции изнашивающихся деталей, изменить технологии выполнения ряда ремонтных операций локомотивов.

Осуществление такой системы ремонта позволило бы повысить пробеги электровозов между профилактическими и малыми периодическими ремонтами в два раза, между большими периодическими — на 10 тыс. км.

Бездефектный метод ремонта электровозов позволил бы увеличить

пробеги между большими периодическими ремонтами на 50 тыс. км и отказаться от малого периодического ремонта. Благодаря этому полезная работа каждого электровоза увеличилась на 300 ч в год.

При определении надежности локомотивов следует учитывать квалификацию локомотивных бригад, обслуживающего и ремонтного персонала, сказывающуюся, главным образом, на времени восстановления.

Опыт эксплуатации локомотивов и организации их ремонта показывает, что квалификация локомотивных бригад определяется не столько умением полно использовать мощность локомотивов в различных условиях движения, сколько быстротой обнаружения возникающих неисправностей. Чем яснее машинист и его помощник представляют себе устройство и взаимодействие аппаратов, а также электрические схемы локомотива, тем меньше бригаде потребуется времени на обнаружение причин отказа и принятие необходимых мер по его устранению.

Известно, что ремонт, выполненный работниками низкой квалификации, зачастую приводит к снижению надежности оборудования и локомотивов в целом, усложнению последующего ремонта и, как следствие, к неоправданному увеличению расходов.

Снизить количество отказов локомотивов можно за счет продуманной и систематической технической учебы локомотивных бригад, ремонтного персонала и инженерно-технических работников. Высокая культура обслуживания—непременное условие повышения качества ремонта, работоспособность и надежности локомотивов.

Необходимо систематически проверять знание обслуживающим и ремонтным персоналом конструкции, принципов действия и характеристик агрегатов локомотива, основы их взаимодействия и технологии ремонта. Нужно обращать особое внимание на узлы и детали, из-за неисправностей которых происходят отказы локомотивов в пути следования и заходы на внеплановые ремонты, учить квалифицированно, устранять причины этих отказов и их последствия.

В настоящее время разрабатываются специальные методы поиска неисправностей оборудования, которые нашли широкое применение в ряде отраслей техники и, по-видимому, могут быть эффективно использованы для обнаружения мест отказов в оборудовании и силовых цепях электровозов. В основе этих методов лежит определенная последовательность поиска места отказа, обеспечивающая минимальное время поиска.

Последовательность поиска заключается в том, что если оборудование состоит из узлов, равных по надежности, но требующих разного времени для проверки их работоспособности, то первым проверяют узел с минимальным временем проверки. Если надежность узлов разная, то первым проверяют тот узел, у которого надежность минимальная, т. е. имеющий наибольшую вероятность отказа.

Часто в электровозах надежность узлов и время их проверки бывают различны. В таком случае, для определения последовательности проверки инженерно-техническому персоналу целесообразно разработать специальные карты поиска неисправностей оборудования локомотива данной серии. В их основу следует положить по данным эксплуатации коэффициенты для каждого агрегата или узла, представляющие собой отношение вероятности безотказной работы к вероятности его отказа. Первым проверяют тот узел, для которого произведение времени проверки на этот коэффициент есть величина максимальная.

Помимо техники обучения отыскания неисправностей, нужно внедрять современные технические средства контроля за качеством ремонта и обнаружения неисправностей. Для оценки качества ремонта могут быть созданы, например, устройства автоматического контроля правильности монтажа и прочности соединений. Известно, что такие установки, контролирующие качество монтажа по эталонным цепям, нашли широкое применение в массовом и крупносерийном производстве. Автоматические устройства с программным управлением способны проверить большое количество аппаратуры самого различного назначения.

Оптимизация процессов технического обслуживания на основе современных методов научной организации труда, включающей в себя систему профилактических осмотров, ремонтов и снабжения запасными частями, является существенным фактором обеспечения надежности локомотивов в процессе их эксплуатации.

Такие системы обслуживания и ремонта должны отражать происшедшие на транспорте изменения, связанные с его технической реконструкцией ..

3. Принципы построения методики расчета надежности электровозов

Надежность электровозов, как и многих технических устройств вообще, проявляется как объективный результат многообразия действующих случайных факторов, законы изменения которых не могут быть установлены только классическими методами функционального анализа или математической физики. Эти законы нуждаются в специальных методах исследования, поэтому пока еще не существует твердой системы критериев надежности локомотивов и методики ее расчета.

Поскольку сама наука о надежности локомотивов сравнительно молода, то первоначально, как и в любой отрасли знаний, вводятся различные условности, из смежных отраслей знаний заимствуются некоторые общие положения. С течением времени, благодаря проверке в реальных условиях, выявятся достоинства и недостатки принятых

критериев, установится апробированная система понятий и величин, свойственная именно теории надежности электровозов, отражающая их специфические свойства, условия эксплуатации и ремонта.

Методика расчета надежности электровозов может оказать серьезную помощь при их эксплуатации для всесторонней технико-экономической оценки и разработки мероприятий по повышению их качества.

Поэтому сказываются необходимыми специальные методы расчета локомотивов на надежность. Один из таких методов — вероятностный метод прогнозирования надежности. Этот метод заключается в оценке влияния на надежность локомотива его основных деталей и узлов, данные, о надежности которых позволяют вычислить общую надежность локомотива.

При этом методика прогнозирования должна быть, с одной стороны, настолько общей, чтобы на основании ее можно было получить количественное выражение надежности э.п.с. любого типа: С другой стороны, эта методика должна быть настолько конкретной, чтобы можно было получить количественную оценку влияния надежности любого узла локомотива на его общую надежность.

При разработке методов расчета надежности локомотивов в первую очередь возникает вопрос об определении основных понятий таких, как надежность и отказ, а также о выборе критериев для количественной оценки надежности.

Под надежностью электровоза понимается вероятность выполнения им заданных перевозок при определенных условиях эксплуатации, зависящую от его безотказности, восстанавливаемости и долговечности.

Безотказность понимается, как свойство электровоза сохранять работоспособность в течение заданного времени в определенных условиях эксплуатации; восстанавливаемость — как приспособленность электровоза к обнаружению и устранению отказов; долговечность — как свойство сохранять работоспособность до момента технической или экономической нецелесообразности дальнейшей эксплуатации.

Опыт показывает, что при определении надежности локомотивов целесообразно различать: заводскую надежность, найденную путем испытания оборудования электровозов в заводских условиях при типовых режимах, техническими условиями на постановку этого оборудования; эксплуатационную надежность, под которой понимается надежность, определяемая в условиях работы электровоза на линии с учетом его реальных нагрузочных режимов и системы обслуживания.

Отказом принято называть нарушение нормальной работы, при котором электровоз полностью или частично теряет тяговые свойства вследствие выхода за установленные пределы значений одного или нескольких основных его параметров. Имеется в виду не только полная

потеря тяговых свойств, но и снижение их ниже установленных пределов. Например, снижение тягового усилия электровоза ниже допустимого по техническим условиям вследствие выхода одного тягового двигателя из строя является отказом, несмотря на то, что электровоз может продолжать работать с пониженной силой тяги.

Следует учитывать, что отказ, возникший и устраненный за время между поездками, не нарушает работоспособности э.п.с.. Отказ, возникший в пути следования, но устраненный за время меньшее, чем допустимое время простоя локомотива на перегоне $\tau_{\dot{\lambda}}$, также не нарушает его работоспособности. Поэтому под отказом электровоза в данной методике понимается такой отказ, который длится дольше, чем допустимое время простоя на перегоне $\tau_{\dot{\lambda}}$. Такой отказ вызывает заход электровоза на межпоездной ремонт, выбытие из графика оборота, и невыполнение суточного задания по перевозкам. Отказы возникают случайно. Теория надежности учитывает именно эти, случайно возникающие отказы и разрабатывает меры борьбы с ними. В зависимости от характера возникновения отказы бывают внезапными и постепенными.

Сложность предупреждения внезапных отказов связана с тем, что их возникновению никакие внешние признаки не предшествуют. Хотя в основе этих отказов лежат определенные физические явления, однако выявить те изменения, которые происходят, в деталях и узлах локомотивов, подверженных внезапным отказам, заранее не удастся.

В отличие от этого наступлению постепенных отказов обычно предшествует постепенное изменение параметров устройств, вызываемое воздействием ряда факторов. К ним в первую очередь относятся старение и износ. Поскольку предсказать, когда именно произойдет повреждение устройства не удастся, то, следовательно, отказы являются случайными событиями и могут быть охарактеризованы вероятностными методами.

Соответственно принятому выше определению надежности для расчета приняты следующие основные критерии надежности локомотива: критерии безотказности, такие как вероятность безотказной работы, наработка на отказ, частота отказов, интенсивность отказов, параметр потока отказов; критерий восстанавливаемости в виде вероятности восстановления, среднего времени восстановления на перегоне и в депо.

При установлении взаимосвязи между указанными критериями приняты следующие допущения:

вероятность проявления двух и более отказов за бесконечно малый интервал времени (или пробег электровоза) убывает быстрее, чем длина этого интервала, т. е. поток отказов, является ординарным. Это означает, что вероятность одновременного отказа нескольких элементов или узлов электровоза весьма мала, что имеет место в действительности;

отказы элементов и узлов электровоза являются событиями независимыми и отказ любого из рассматриваемых элементов приводит к отказу электровоза. Отказ одного элемента может привести к повреждению других элементов. Однако в первом приближении эти «вторичные отказы» можно не учитывать, т. к. они возникают в системе, которая уже вышла из строя из-за первичного отказа; для целей практики необходимо уметь рассчитать прежде всего вероятность проявления именно первичного повреждения.

Поскольку, согласно приведенному выше определению, надежность локомотива является совокупностью трех свойств: безотказности, восстанавливаемости и долговечности, то необходимо иметь обобщающий критерий надежности локомотива, одновременно учитывающий все эти свойства. В качестве такого критерия устанавливается вероятность нормального функционирования э.п.с..

Для определения вероятности нормального функционирования исходим из того, что электровоз выполнит свое плановое задание, совершит за время t заданный объем работы в тонно-километрах брутто при любой из следующих ситуаций (рис. 2):

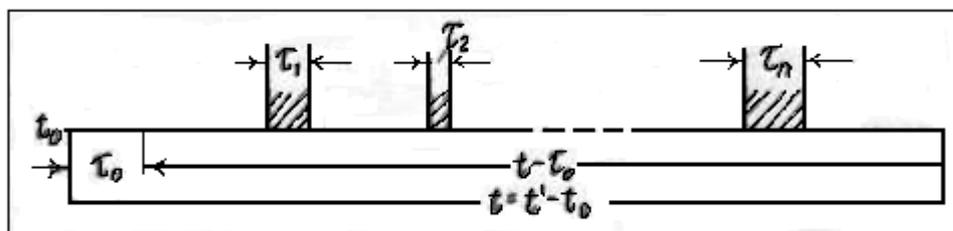


Рис. 2. График состояний электровоза

- локомотив исправен к моменту t_0 выдачи его на контрольный пункт и не откажет за оперативное время t , требуемое для выполнения задания;

- локомотив не исправен к моменту t_0 , но восстанавливается за время $\tau_0 < t$ и не откажет за оставшееся время $t - \tau_0$, еще достаточное для выполнения задания;

- после первого и последующих отказов на перегоне локомотив восстанавливается за время меньше допустимого времени простоя на перегоне τ_A .

Вероятность того, что задание по перевозкам не будет сорвано из-за ненадежности локомотива, определяется формулой полной вероятности сложного события ¹:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{нф}}(t) = & P_0(t) \{ P(t) + [I - P(t)] \nu(\tau_1) P(t - \tau_1) + [I - P(t - \tau_1)] \times \\
 & \times \nu(\tau_2) P(t - \tau_1 - \tau_2) + \dots + [I - P(t - \sum_1^{n-1} \tau_i)] \nu(\tau_n) \times \\
 & \times P(t - \sum_1^n \tau_i) \} + [I - P_0(t)] \{ \nu(\tau_0) P(t - \tau_0) + \\
 & + [I - P(t - \tau_0)] \nu(\tau_1) P(t - \tau_0 - \tau_1) + \dots \\
 & \dots + [I - P(t - \sum_0^{n-1} \tau_i)] \nu(\tau_n) P(t - \sum_0^n \tau_i) \}, \quad (1)
 \end{aligned}$$

где

P_{i0} — вероятность нормального функционирования за время t ;

$P_0(t)$ — вероятность исправного состояния локомотива к моменту выхода на контрольный пункт;

$P(t)$ — вероятность безотказной работы за время t ;

$\nu(\tau_0)$ — вероятность восстановления работоспособности локомотива за время τ_0 ;

$\nu(\tau_i)$ — вероятность восстановления работоспособности локомотива на перегоне после i -го отказа за время $\tau_i \leq \tau_{\bar{A}}$;

$P(t - \sum_1^n \tau_i)$ — вероятность безотказной работы локомотива за оставшееся после n -ого отказа время $t - \sum_1^n \tau_i$, еще достаточное для выполнения заданного объема перевозок.

Из условия задачи следует также, что всегда

$$\tau_0 + \sum_1^n \tau_i \leq t \quad \text{и} \quad \tau_i \leq \tau_{\bar{A}} \quad (2)$$

Опыт показывает, что при определении вероятности нормального функционирования локомотива наиболее целесообразно выбрать за оперативное время t интервал между его профилактическими осмотрами.

Статистическим путем установлено, что, например, для существующих электровозов переменного тока с кремниевыми выпрямителями пробег между профилактическими осмотрами

составляет 7 000+ 14 000 км. Для таких пробегов локомотивов $P_0(t) \approx 1$. Поэтому в формуле (1) можно пренебречь второй фигурной скобкой.

Тогда получим

$$P_{\text{нф}}(t) \cong P_0(t) \{ P(t) + [1 - P(t)] \nu(\tau_1) P(t - \tau_1) + \\ + [1 - P(t - \tau_1)] \nu(\tau_2) P(t - \tau_1 - \tau_2) + \dots \\ \dots + [1 - P(t - \sum_1^{n-1} \tau_i)] \nu(\tau_n) P(t - \sum_1^n \tau_i) \}.$$

Следует иметь в виду, что на практике $\sum_1^n \tau_i \leq t$, т. к. время восстановления на перегоне $\tau_i \leq \tau_{\bar{A}}$. Учитывая, что по существующим нормам допустимое время простоя локомотива на линии $\tau_{\bar{A}}$ заключено в пределах от 10 до 30 мин, а число отказов n за время t обычно не превышает 3÷5, при расчете надежности локомотивов можно принять с допустимым для практических целей приближением, что вероятность восстановления на перегоне и вероятность безотказной работы за время после устранения отказа на перегоне являются величинами постоянными, т. е.

$$\nu(\tau_1) \approx \nu(\tau_2) \approx \dots \approx \nu(\tau_n) \approx \nu(\tau_{\bar{A}}), \quad (4)$$

$$P(t - \tau_1) \approx P(t - \tau_1 - \tau_1 - \tau_2) \approx \dots \approx P(t - \sum_1^n \tau_i) \approx P(t). \quad (5)$$

При этих допущениях формулу (3) можно записать в более компактном виде. С этой целью заметим, что слагаемые в фигурных скобках выражают вероятность нормального функционирования локомотива после 1, 2, ..., n -го отказа на перегоне. Эта вероятность является вероятностью сложного события, складывающегося из трех простых: возникновения отказа, восстановления после отказа, безотказной работы после восстановления. Определим вероятность этого сложного события, исходя из следующих соображений:

- в силу равенства (5) вероятность безотказной работы после восстановления 1, 2, ..., n -го отказа будет равна $p = P(t)$;

- вероятность возникновения первого отказа $q = 1 - p$;

- вероятность исправного состояния после устранения первого отказа $q_1 = q \cdot \nu(\tau_{\bar{A}})$;

- вероятность нормального функционирования после устранения первого отказа $p' = p_1 p = q \nu(\tau_{\bar{A}}) p$;

- вероятность возникновения второго отказа
 $p_1q = qv(\tau_{\bar{A}})q = q^2v(\tau_{\bar{A}});$

- вероятность исправного состояния после устранения второго отказа

$$p_2 = q^2v(\tau_{\bar{A}})v(\tau_{\bar{A}}) = q^2v^2(\tau_{\bar{A}});$$

вероятность нормального функционирования после устранения второго отказа $p'' = p_2p = q^2v^2(\tau_{\bar{A}})p$ и т. д.

Подставляя эти значения в (3), получим вероятность нормального функционирования электровоза в виде:

$$P_{\text{нф}}(t) = P_0(t)P(t) \left\{ 1 + \sum_1^n v^k(\tau_{\bar{A}}) [1 - P(t)]^k \right\}. \quad (6)$$

Равенство (6) является расчетным уравнением надежности как локомотива в целом, так и любого его элемента или узла, если рассматривается надежность невосстанавливаемых элементов или узлов, то следует принять $v(\tau_D) = 0$. Необходимо однако помнить, что уравнение (1), а, следовательно, и уравнение (6) получены в предположении, что локомотив (или любой его узел) является простой восстанавливаемой системой, т. е. имеет лишь два уровня функционирования: 100% — когда все элементы и узлы его исправны и 0% — когда хоть один элемент или узел отказал. Это допущение хотя и идеализирует реальную картину, однако позволяет получить приближенную оценку надежности локомотива для двух практически важных крайних случаев.

Кроме того, в уравнениях (1) — (6) не учитывается момент возникновения отказов. Расчет ведется в предположении, что первый отказ произошел в конце периода t , второй — в конце периода $t - \tau_1$ и т.д. В действительности, отказы происходят не в конце интервала работы, а раньше — в любые моменты времени t_1, t_2, \dots, t_n после начала работы. При этом вероятность возникновения отказа на перегоне и вероятность безотказной работы за время после устранения этого отказа уже не будут постоянными величинами.

Учитывая, что в рассматриваемых условиях для любого k -того отказа после первого ($k = 2, 3, \dots, n$), соблюдается условие

$$\sum_1^{k-1} t_i + \sum_1^{k-1} \tau_j \leq t \quad (7)$$

и, кроме того, практически

$$\sum_1^n \tau_j \ll \sum_1^n t_i$$

аналогичным путем,
как и при выводе выражения (6), можно получить следующую формулу для определения вероятности нормального функционирования:

$$P_{\text{нф}}(t) = P_0(t) [P(t_1) + q(t_1) v(\tau_1) P(t - t_1) + q(t_1) q(t_2) \times \\ \times v^2(\tau_2) P(t - t_1 - t_2) + \dots + q(t_1) q(t_2) \dots q(t_n) v^n(\tau_n) \times P(t - \sum_1^n t_i)]. \quad (8)$$

Расчет надежности по этой формуле ведется с учетом различных моментов возникновения отдельных отказов. Результаты расчетов показывают, что надежность локомотива, найденная по формуле (6), несколько ниже, чем ее значение, определяемое равенством (8). Поскольку это обстоятельство не ухудшает эксплуатационных свойств исследуемого электровоза, так как он в действительности будет работать несколько надежнее, чем найдено по формуле (6), то в дальнейшем определение надежности ведется как первое приближение по формуле (6).

Для отыскания наиболее эффективных путей повышения надежности нужно определить влияние отдельных составляющих на изменение вероятности нормального функционирования. Фиксируя для этой цели оперативное время t , найдем на основании равенства (6) полное приращение вероятности нормального функционирования

$$dP_{\text{нф}} = \frac{\partial P_{\text{нф}}}{\partial P_0} dP_0 + \frac{\partial P_{\text{нф}}}{\partial P} dP + \frac{\partial P_{\text{нф}}}{\partial v} dv. \quad (9)$$

Дифференцированием равенства (6) находим частные производные, входящие в уравнение (9). Подставив в полученные формулы числовые значения соответствующих вероятностей, определим конкретные значения частных производных, а тем самым и степень влияния отдельных составляющих на вероятность нормального функционирования локомотива. В качестве примера в табл. 1 приведены значения параметров, полученные в результате статистической обработки эксплуатационных данных электровозов переменного тока двух серий, работающих на Северо-Кавказской железной дороге (по нормам $t_d = 0,5$ ч).

Используя данные табл. 1 для вычисления значения полных приращений вероятности нормального функционирования, получим для электровозов серии К и ВЛ60^к

$$\begin{aligned} dP_{\text{нф}} &= 0,796dP_0 + 0,60dP + 0,48dv \\ dP_{\text{нф}} &= 0,789dP_0 + 0,605dP + 0,484dv \end{aligned} \quad (10)$$

Таблица 1

Серия электровоза \ Параметр	Пробег, км	$P_0(t)$	$P(t)$	$v(\tau_d)$	$P_{\text{нф}}(t)$
К	7 000	0,923	0,55	0,69	0,73
ВЛ60 ^к	6 000	0,907	0,54	0,68	0,69

Эти результаты показывают, что составляющие, входящие в формулу (6), оказывают примерно одинаковое влияние на изменение вероятности нормального функционирования. На рис. 3 представлен график относительного влияния этих составляющих. Поэтому при определении надежности локомотивов нельзя пренебречь какой-либо из этих составляющих.

Действительно, расчеты по формуле (9) показывают, что при изменении составляющих вероятностей $P_0(t)$, $P(t)$ и $v(\tau_d)$, например на 5%, вероятность нормального функционирования электровозов серии К увеличивается почти на 10%.

Если в расчетах учитывать, как это делалось до сих пор, только вероятность безотказной работы, то увеличение этой вероятности на 5% приводит к росту вероятности нормального функционирования электровозов серии К всего на 2,3% что свидетельствует о заниженной оценке надежности локомотива. Таким образом, задача по расчету

надежности локомотива в дальнейшем сводится к одновременному определению вероятностей $P_o(t)$, $P(t)$ и $v(\tau_d)$

Вероятность исправного состояния $P_o(t)$ является количественной характеристикой готовности локомотива, под которой понимается степень его работоспособности в любой момент оперативного времени t .

Согласно сделанным выше предположениям о двух уровнях функционирования локомотива любой его узел рассматривается как дискретная система с двумя состояниями и непрерывным временем. В случайные моменты времени локомотив (или его узел, элемент) может переходить из исправного состояния в неисправное (отказ) и наоборот (восстановление).

Из-за старения электрооборудования и механического износа элементов и узлов случайный процесс возникновения и устранения отказов локомотива не будет марковским, поскольку в этих условиях отказы представляют собой поток с последствием. Однако экспериментальные исследования, проводимые в последние годы ЦНИИ

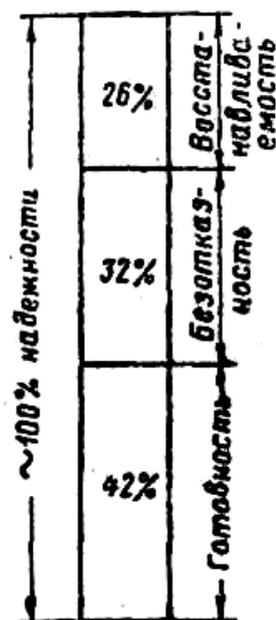


Рис. 3. Степень влияния, безотказности и восстанавливаемости электровозов серии ВЛ60^к и К на их надежность

Интенсивность отказов сравнительно невелика. Поэтому для периода между двумя профилактическими осмотрами (7 000 + 14 000 км) влиянием старения и износа на вероятность нормального функционирования электровоза можно пренебречь. Кроме того, в силу предельной теоремы теории массового обслуживания суммарный поток отказов большинства узлов электровозов и локомотивов в целом в период эксплуатации оказывается весьма близким к простейшему потоку. Учитывая сказанное, процесс возникновения отказов локомотива за пробег между профилактическими осмотрами можно рассматривать с допустимым приближением как Марковский.

Хотя процесс восстановления отказов описывается законом распределения времени восстановления, он зависит, главным образом, от его среднего значения. Поэтому можно принять с некоторым приближением, что и процесс восстановления является также Марковским. Тогда для определения вероятности $P_0(t)$ можно использовать известные из теории массового обслуживания уравнения Эрланга. Решение этих уравнений применительно к рассматриваемой задаче имеет вид:

$$P_0(t) = \frac{T_0}{T_0 + T_B} + \left(1 - \frac{T_0}{T_0 + T_B}\right) e^{-\frac{T_0 + T_B}{T_0} t}, \quad (11)$$

где

T_0 - наработка на отказ;

T_B - среднее время межпоездного ремонта.

Анализ формулы (11) показывает, что при $t \rightarrow \infty$

$$P_0(t) \rightarrow \frac{T_0}{T_0 + T_B} = K_r, \quad (12)$$

где

K_r - коэффициент готовности.

Практические расчеты на основании данных эксплуатации и ремонтов показывают, что для локомотивов и большинства их узлов вероятность $P_0(t)$ быстро сводится к своему стационарному значению K_r . Например, для электровозов серии К и ВЛ60^к уже при 2 000 км пробега после профилактического осмотра $P_0(t) \approx K_r$ (рис. 4). При этом для электровозов серии К с достоверностью 95% значения коэффициента готовности заключены в пределах $0,90 \div 0,94$; для электровозов серии ВЛ60^к — в пределах $0,84 \div 0,95$.

Как видно из выражения (12), вероятность исправного состояния локомотива, а следовательно, и значение его коэффициента готовности, могут быть увеличены как за счет повышения наработки на отказ T_o , так и за счет уменьшения среднего времени межпоездного ремонта T_B . Отсюда очевидно, что наряду с необходимостью повышения безотказности следует разрабатывать мероприятия, способствующие быстрой восстанавливаемости электровозов после отказов.

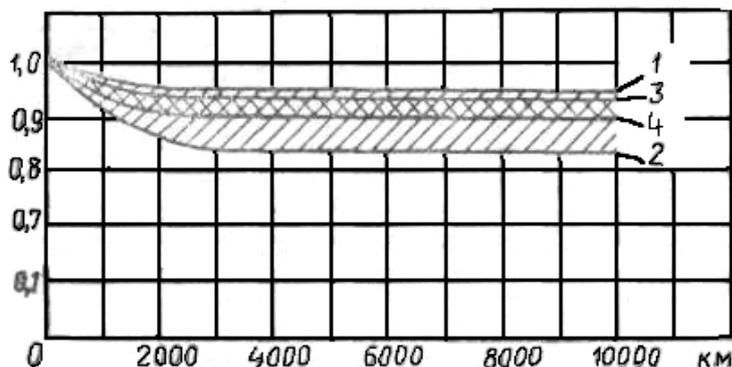


Рис. 4. Коэффициент готовности электровозов серии ВЛ60^к (кривые 1,2; $p_1 = 0,192$ и $p_2 = 0,053$) и серии К (кривые 3, 4; $P_1 = 0,112$ и $P_2 = 0,064$)

Считая внезапные и постепенные отказы взаимно независимыми, можно принять следующую формулу для расчета полной вероятности безотказной работы локомотива:

$$P(t) = P_{BH}(t), \quad (13)$$

где

$P_{BH}(t)$ - вероятность безотказной работы при внезапных отказах;

$P_n(t)$ - вероятность безотказной работы при постепенных отказах.

При расчете вероятности безотказной работы локомотива в целом за время между профилактическими осмотрами можно принять с допустимым приближением, что $P_n(t) = 1$ и $P(t) \approx P_{BH}(t)$. Основой этого допущения является тот факт, что основная масса постепенных отказов предотвращается путем проведения профилактических осмотров и ремонтов, а интенсивность этих отказов невелика. Поэтому в первом приближении достаточно определить только вероятность $P_{BH}(t)$

Исходным материалом для расчета вероятности $P_{BH}(t)$ является интенсивность отказов отдельных узлов $\lambda_i(t)$. При этом вероятность повреждения i - того узла составит $q_i = \int \lambda_i(t) dt$. Вероятность безотказной работы этого узла, как события противоположного, будет равна

$$1 - q_i$$

Поскольку локомотив состоит из k самостоятельных узлов, первичный выход из строя одного из которых не зависит от выхода другого, то надежность работы электровоза может быть представлена в виде

$$P(t) = \prod_1^k [1 - q_i]$$

и ненадежность

$$Q = 1 - \prod_1^k [1 - q_i]. \quad (14)$$

Учитывая, что локомотив должен обладать высокой степенью надежности, можно приближенно записать, что

$$Q = q_1 + q_2 + \dots + q_k.$$

Тогда получим

$$Q = \int \lambda_1(t) dt + \int \lambda_2(t) dt + \dots + \int \lambda_k(t) dt.$$

Если обозначить через $A(t)$ интенсивность отказов всего локомотива как единого целого, то на основании предыдущего равенства можно записать, что

$$Q = \int \Lambda(t) dt, \text{ где } \Lambda(t) = \sum_1^k \lambda_i(t).$$

Это значит, что при сделанных выше предположениях интенсивность отказов локомотива равна сумме интенсивностей отказов его узлов. Тогда, пользуясь сделанным выше предположением о том, что внезапные отказы являются независимыми событиями, вероятность безотказной работы локомотива можно определить по формуле

$$P_{BH}(t) = e^{-\int_0^t \Lambda(t) dt}. \quad (15)$$

Обычно по окончании периода приработки и, следовательно

$$\Lambda(t) = \Lambda_0 = \frac{1}{T_0} = \text{const}$$

$$P_{BH}(t) = e^{-\frac{t}{T_0}}. \quad (16)$$

Таким образом, распределение времени безотказной работы локомотива имеет экспоненциальный характер.

При определении эксплуатационной надежности исходной информацией является параметр потока отказов локомотива $\Omega(t)$ или его элементов $\omega_i(t)$, которые связаны уравнением, аналогичным (14). В этом случае для определения вероятности $P_{BH}(t)$ следует исходить из закона Пуассона:

$$P_m(t) = \frac{(\Omega_{cp} t)^m}{m!} e^{-\Omega_{cp} t}, \quad (17)$$

где

$P_m(t)$ — вероятность возникновения m отказов за время (t_0, t_1) .

Принимая в уравнении (17) $m = 0$, получим формулу для определения

$P_{\text{вн}}(t)$:

$$P_{\text{вн}}(t) = e^{-\int_{t_0}^{t_1} \Omega(t) dt} \quad (18)$$

Анализ показывает, что по окончании периода приработки

$\Omega(t) \rightarrow \frac{1}{T_0}$ следовательно, расчет можно вести по более

простой формуле (16).

Величины $\lambda_i(t)$, $\omega_i(t)$, $\Lambda(t)$, $\Omega(t)$, T_0 определяются статистическим путем по экспериментальным данным, накопленным в эксплуатации.

Предположение о том, что время безотказной работы локомотивов имеет экспоненциальное распределение, подтверждается данными обработки материалов по отказам электровозов серии К и ВЛ60^к за трехлетний период эксплуатации на Северо-Кавказской железной дороге. В результате статистической обработки этих материалов получены с достоверностью 95% следующие значения параметров безотказной работы:

$$К: 10\ 850 \leq T_0 \leq 13\ 350 \text{ км.}$$

для электровозов серии К:

$$0,75 \cdot 10^{-4} \leq \Omega_{\text{ср}} \leq 0,92 \cdot 10^{-4} \text{ км}^{-1};$$

для электровозов серии ВЛ60^к : $7\ 630 \ll T_0 \leq 13\ 090 \text{ км.}$

$$0,765 \cdot 10^{-4} \leq \Omega_{\text{ср}} \leq 1,31 \cdot 10^{-4} \text{ км}^{-1}.$$

Для закона распределения времени между отказами в результате статистической обработки данных эксплуатации получены следующие выражения:

$$f(L) = 0,78 \cdot 10^{-4} e^{-0,78 \cdot 10^{-4} L}$$

для электровозов серии К:

$$\text{для электровозов серии ВЛ60к} \quad f(L) = 1,01 \cdot 10^{-4} e^{-1,01 \cdot 10^{-4} L} .$$

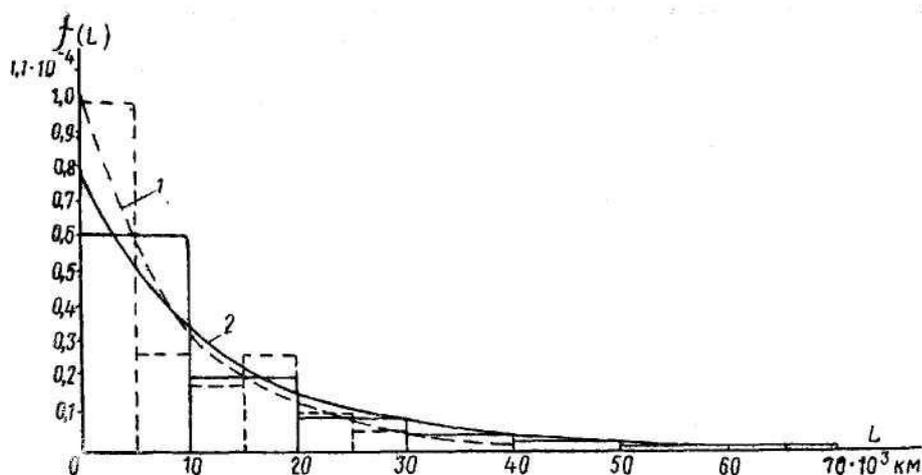


Рис. 5. Распределение времени между отказами электровозов серии ВЛ60^к (кривая 1) и серии К (кривая 2)

Проверка согласия этих функций с экспериментальными данными при помощи критерия Пирсона показывает, что они не противоречат опытным данным (вероятности равны 60% и 20% соответственно).

Вероятность $\nu(\tau_d)$, входящая в формулу (6), количественно характеризует восстанавливаемость локомотивов данной серии на перегоне; восстанавливаемость в депо характеризуется вероятностью $F(\tau)$. Это введение различия понятий вероятности восстановления

необходимо потому, что часть возникших отказов (задержки и остановки) устраняется на перегоне за допустимое время простоя силами локомотивной бригады. Другие отказы (порчи) не могут быть устранены локомотивной бригадой и локомотив отправляется на межпоездной ремонт. Порчи являются теми длительными отказами, которые необходимо учитывать при определении вероятности безотказной работы.

Вероятность $v(\tau)$ определяется статистическим путем по данным о длительности задержек и остановок, а вероятность $F(\tau)$ — по данным о длительности межпоездных ремонтов. Опыт показывает, что законы распределения времени восстановления на перегоне $v(\tau)$ и на межпоездных ремонтах $f(\tau)$ хорошо описываются логарифмически нормальным законом или законом Эрланга. Например, по данным о длительности межпоездных ремонтов электровозов с полупроводниковыми преобразователями за 15 месяцев работы были установлены следующие законы распределения времени межпоездного ремонта:

для электровозов серии К

$$f(\tau) = \frac{0,9}{\tau\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\lg\tau-1,018)^2}{2\cdot 0,482^2}}; \quad (19)$$

для электровозов серии ВЛ60^к

$$f(\tau) = \frac{1,01}{\tau\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\lg\tau-1,083)^2}{2\cdot 0,434^2}}. \quad (19a)$$

Обработка материалов эксплуатации по определению среднего времени межпоездного ремонта T_e показала, что для электровозов серии К с достоверностью 95% это время заключено в доверительном интервале $16,25 \div 23,0$ ч, а для электровозов серии ВЛ60^к — в пределах $13,71 \div 29,17$ ч.

На основании данных о задержках и остановках за тот же календарный срок найдено, что закон распределения времени восстановления на перегоне можно представить в виде:

для электровозов серии К

$$v(\tau) = \frac{1,46}{\tau\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(lg\tau-1,341)^2}{2 \cdot 0,239^2}}; \quad (20)$$

для электровозов серии ВЛ60^к

$$v(\tau) = \frac{1,52}{\tau\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(lg\tau-1,351)^2}{2 \cdot 0,265^2}}. \quad (20a)$$

Среднее время восстановления на перегоне $t_{\text{в}}$, оказалось равным примерно 28 мин для электровозов обеих серий.

При допустимом времени простоя $\tau_{\text{д}} = 30$ мин вероятность восстановления на перегоне электровозов серии К с доверительной вероятностью 95% заключена в пределах $0,60 \leq v(30) \leq 0,78$; для электровозов серии ВЛ60^к—в пределах $0,55 \leq v(30) \leq 0,88$.

Основываясь на приведенных данных, по формуле (16) определены области наиболее возможных значений вероятности безотказной работы для электровозов серии К и ВЛ60^к.

Предварительно статистическим путем был найден средний пробег между профилактическими осмотрами. Для электровозов серии ВЛ60^к этот фактический пробег оказался равным примерно 6 000 км и для электровозов серии К—7 000 км. К концу этих пробегов с достоверностью 95% получены следующие значения доверительных интервалов вероятности безотказной работы для электровозов серии К: $0,525 \div 0,570$; для электровозов серии ВЛ60^к: $0,44 \div 0,63$. Эти границы на рис. 6 а и б нанесены пунктирными кривыми.

Области наиболее возможных значений вероятности нормального функционирования электровозов определены на основании найденных составляющих вероятностей по формуле (6) с достоверностью 95% « показаны заштрихованными на рис. 6 а и б. К концу указанных пробегов между профилактическими осмотрами вероятность нормального функционирования электровозов серии К заключена в пределах $0,65 + 0,81$ и электровозов серии ВЛ60^к — в пределах $0,56+0,82$.

Полученный результат означает, что, например, от 65 до 81 % электровозов серии К выполняют свои задания по перевозкам, а остальные не смогут, так как будут простаивать на межпоездном ремонте. Чтобы определить влияние параметров T_0 , T_6 и $\tau_{\text{в}}$ на вероятность нормального функционирования, следует найти полное ее приращение в зависимости от приращения этих параметров.

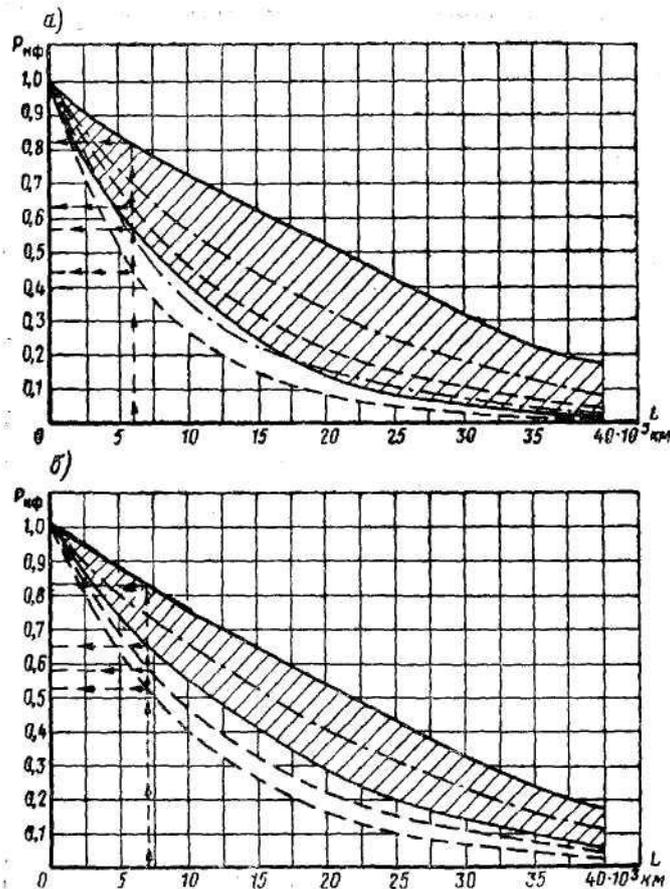


Рис. 6. Вероятность нормального функционирования электровозов:
 а) серии ВЛ60^к; б) серии К
 (пунктирная кривая—вероятность безотказной работы)

Полученные таким путем результаты подтверждают большое влияние восстанавливаемости на надежность электроподвижного состава. Например, уменьшение среднего времени межпоездного ремонта электровозов серии К на один час равносильно увеличению наработки на отказ приблизительно 2,7 ч (140 км пробега) без применения более надежных элементов. Влияние среднего времени восстановления на перегоне на надежность электровозов оказывается еще сильнее.

Таким образом, на основании изложенной методики расчета надежности локомотивов, можно заключить:

надежность локомотивов представляет собой совокупность их безотказности, восстанавливаемости и долговечности. Предложенные количественные показатели оценки надежности локомотивов учитывают совокупность указанных факторов в каждый момент времени. Обобщающим критерием надежности является вероятность нормального функционирования локомотива;

для электровозов переменного тока с кремниевыми выпрямителями доказано существование экспоненциального закона распределения времени безотказной работы и логарифмически нормального закона распределения времени восстановления как на перегоне, так и на межпоездном ремонте. Это позволяет при инженерных расчетах надежности пользоваться табулированными функциями;

используя предложенные зависимости можно оценить влияние таких факторов, как ремонтпригодность аппаратуры, наличие запасных деталей, квалификацию обслуживающего персонала на надежность локомотивов, что в свою очередь позволит разработать наиболее эффективные мероприятия по повышению надежности.

Анализ полученных результатов показывает, что повышение надежности локомотивов целесообразно осуществлять за счет мероприятий, проводимых в трех направлениях:

по повышению качества изготовления локомотивов и связанного с этим увеличения наработки оборудования и узлов локомотивов на отказ;

уменьшением времени восстановления на перегоне, (что может быть достигнуто улучшением ремонтпригодности оборудования и повышением квалификации локомотивных бригад);

уменьшением среднего времени межпоездного ремонта за счет повышения ремонтпригодности, введения научной организации труда, создания оптимальной системы ремонта и снабжения запасными частями, а также путем повышения квалификации ремонтных бригад.

Решающее значение на выбор того или иного варианта мер по повышению надежности и долговечности локомотивов могут оказать законы распределения, характер неисправностей и отказов, найденные на основе экспериментальных данных. Поэтому ценность всех практических расчетов надежности электровозов зависит от достоверности исходных данных, на базе которых эти расчеты выполняются. Таким образом, сбор, учет и обобщение данных об отказах элементов являются важными составными частями методики расчета и предопределения надежности локомотивов.

Правильная организация сбора и учета данных о неисправностях и отказах локомотивов должна обеспечить объективность всех статистических сведений, быстроту их передачи и оперативный обмен мнениями эксплуатационников и проектировщиков для принятия решений по совершенствованию деталей и узлов локомотивов.

Особенность организации работы по сбору статистических сведений об отказах заключается в том, что депо эксплуатируют, но не строят локомотивы, в то время как локомотивостроительные заводы не

занимаются эксплуатацией локомотивов и не в силах иметь своего представителя в каждом депо, пункте технического осмотра и т. п. Поэтому для надлежащей организации сбора и обработки статистических данных, накопленных при постройке, испытаниях и эксплуатации различных типов локомотивов, а также разработки предложений о том, какие узлы и в каком направлении должны быть усовершенствованы и изменены для повышения надежности, целесообразно создать специальную службу надежности, которая должна быть как на локомотивостроительных заводах, так и в депо, пунктах технического осмотра и т. д. Эти службы должны работать слаженно и оперативно, для того чтобы осуществить эффективный обмен информацией. Опыт создания и работы службы (бюро) надежности на ряде локомотивостроительных заводов показывает, что эта служба должна прежде всего заниматься следующими вопросами:

сбором и анализом сведений о повреждаемости локомотивов различных лет выпуска для сравнительной оценки уровня технологического процесса создания локомотивов на их надежность;

расчетом надежности локомотивов в процессе их проектирования и разработкой мероприятий по обеспечению надежности в процессе изготовления;

разработкой методики и организации ускоренных или специальных заводских испытаний узлов и деталей локомотива на надежность при отсутствии необходимых статистических данных;

анализом причин повреждаемости, выявлением конструкторских и технических недостатков и технико-экономической оценкой эффективности предлагаемых мероприятий по повышению заводской надежности локомотивов;

осуществлением совместно со службой ОТК контроля таким образом, чтобы в процессе производства локомотивов исключить, во-первых, изготовление дефектных деталей и узлов, а, во-вторых, возможность выпуска локомотивов с большим процентом не выявленных дефектных узлов, которые в эксплуатации могут резко нарушить надежность локомотивов. Выполнение последнего вида контроля связано с регистрацией отказов по времени, и поэтому требует участия служб надежности эксплуатации локомотивов.

На основании данных контроля необходимо разработать мероприятия, исключающие появление дефектных деталей и узлов. С этой целью следует ввести не только контроль за качеством изготавливаемой на заводе продукции, но и контроль за отказами оборудования, поступающего от заводов-поставщиков, так называемый входной контроль. Поэтому должны быть разработаны соответствующие методы организации и объемы обоих видов контроля.

Для обеспечения требуемого уровня надежности локомотивов работниками заводов и эксплуатации должны быть разработаны специальные технические условия. Основными элементами технических условий на надежность являются следующие:

конструктивные принципы устройства элемента, узла и локомотива в целом;

информация о гарантийных сроках службы;

количественные критерии удовлетворительной надежности;

методы определения надежности и условия, применительно к которым надежность определяется, понятие отказа и т. п.

Разработка требований по надежности локомотивов с целью выполнения поставленных технических условий состоит из нескольких этапов:

1. Ознакомление с имеющимися данными по интенсивностям отказов аналогичных узлов на основании опыта эксплуатации отечественных и зарубежных локомотивов различных типов и конструкций, литературных данных и т. п.

2. Четкое представление конструктивного решения проектируемого элемента или узла, возможность и целесообразность резервирования, замены элементов, доступностью их при ремонте и т. п.

3. Ориентировочный расчет надежности в предположении, что все узлы локомотива соединены последовательно, хотя это может быть в действительности и не так. Однако, как это было показано в предыдущем параграфе, случай последовательного соединения узлов с точки зрения надежности является наихудшим. Это значит, что если требуемая надежность удовлетворяется при последовательном соединении, то тем более она будет сохранена при параллельном включении узлов.

4. Уточняющий расчет при неудовлетворительной надежности с учетом наличия функционального соединения деталей или узлов данного локомотива.

5. Осуществление изменения функциональной схемы узла (детали) или использование мер по повышению надежности (резервирование, введение новых элементов и т. п.) в случае, если необходимый уровень надежности все еще не обеспечивается.

6. Разработка макета локомотива и опытного образца на основе сетевого графика планирования.

7. Осуществление контроля за выполнением разработанных мероприятий, создание обоснованных форм учета и контроля надежности в эксплуатации (совместно со службой надежности в эксплуатации).

Заводская служба надежности совместно с эксплуатационниками должна разрабатывать технические условия на надежность локомотивов,

а с конструкторскими и технологическими службами заводов — конкретные мероприятия по обеспечению требуемой надежности локомотивов.

Технические условия надежности локомотивов должны предусматривать необходимые изменения, оценки и методику прогнозирования надежности.

Подобные технические условия и требования должны быть разработаны также для заводов-смежников. Эти требования и условия на поставку деталей, узлов и комплектующих изделий при их исчерпывающей полноте должны быть лаконичными и ясными, не вызывающими различных толкований.

С целью обеспечения требований надежности и практических мероприятий по реализации ее требуемого уровня рассмотрение основной технической документации по выпуску новых локомотивов должно проводиться работниками служб надежности совместно с другими заводскими службами до рассмотрения всей документации руководством завода. Заключение служб надежности должно быть неизменным условием при утверждении технической документации на изготовление и поставку локомотивов.

Однако в некоторых случаях из-за спешки вследствие сжатых сроков поставки локомотивов и отсутствия опыта технические условия составляют на основе непроверенных данных, игнорируя требования надежности. При этом в процессе монтажа и сборки локомотивов неизбежны большие потери на дополнительный монтаж оборудования, на подгонку деталей, узлов и обеспечение их исправной работы. Во избежание этого в руководстве по обеспечению надежности должны быть указаны способы ее прогнозирования, приведены указания по регистрации отказов и критерии надежности локомотивов, формы сборов данных об отказе и т. п.

Необходимо предусматривать возможность пересмотра технических условий с тем, чтобы отразить изменения в требованиях заказчика, произошедшие за рассматриваемый промежуток времени, или учесть результаты испытаний, проведенных на заводе при выпуске новых локомотивов, а также на линии при эксплуатации уже существующих локомотивов. Предложения об изменении технических условий должны содержать также указания по практическому обеспечению надежности узлов.

Технические условия при необходимости могут содержать предложения об изменении технологического процесса изготовления данного узла, предложения по унификации и замене деталей и т. д. Ценность всех этих предложений и нормативов будет существенно определяться их конкретностью.

Особого внимания и детального технико-экономического обоснования при перспективном планировании требуют мероприятия, реализация которых связана со специализацией и реконструкцией предприятий; с капиталовложениями в их основные фонды и замену оборудования; организацией централизованного производства высококачественных деталей, узлов и комплектующих изделий; оснащением предприятий современной измерительной и вычислительной техникой и т. д.

Сроки выполнения каждого мероприятия необходимо планировать, основываясь на технико-экономических показателях целесообразности их осуществления.

Расчет, прогнозирование и определение требуемого уровня надежности локомотивов следует производить с учетом данных эксплуатации. Эти данные должны охватывать широкий круг вопросов, быть достаточно полными и содержать объективные сведения. Для их сбора и анализа целесообразно организовать эксплуатационную службу надежности, на которую возложить исполнение следующих функций:

1. Изучение условий эксплуатации локомотивов данной серии и установление соответствия их нормам и техническим условиям.

2. Разработку совместно с заводскими службами надежности программ эксплуатационных, а в необходимых случаях и специальных испытаний локомотивов.

Особое значение для эффективности испытаний имеет соответствие их проведения эксплуатационным условиям и, в частности, режимам работы, которые не могут быть назначены произвольно.

3. Разработку совместно с заводскими службами надежности инструкций по техническому обслуживанию локомотивов и документации для регистрации отказов их узлов на линии. Часто заводы-изготовители снабжают эксплуатационников инструкциями по осмотру и ремонту локомотивов в точном соответствии с заводскими условиями их производства. Эти инструкции должны характеризовать работоспособность локомотивов и соответствие их параметров требованиям технических условий.

Однако в ряде случаев методики заводских испытаний не соответствуют условиям эксплуатации, а имеющаяся техническая документация не способствует быстрому обнаружению отказов. Поэтому в разработке инструкций по эксплуатации локомотивов необходимо участие служб надежности заказчика этих локомотивов.

4. Разработку и обоснование предложений по повышению надежности локомотивов данной серии при ремонте в депо и на заводах, а также при выпуске новых локомотивов. Эти предложения должны базироваться на количественных данных, характеризующих

надежность и долговечность применительно к определенным условиям эксплуатации, системы обслуживания и ремонта локомотивов.

5. Техничко-экономическую оценку надежности эксплуатируемых локомотивов и установление совместно с работниками заводских служб требуемого уровня надежности локомотивов.

Работники эксплуатационной службы надежности должны уделять необходимое внимание сбору и регистрации первичных данных по повреждениям и отказам деталей и узлов локомотивов, стремясь получить как можно более полные и достоверные сведения.

Для объективной оценки надежности локомотивов нужно знать степень достоверности данных, получаемых при эксплуатации, отражающих действительное состояние надежности локомотивов. К сожалению, существующую форму учета, сбора и обработки информации по отказам не представляется возможным использовать для расчета и прогнозирования надежности локомотивов.

Поскольку в настоящее время при внеплановых ремонтах локомотивов в депо не учитывается повреждаемость их отдельных деталей и распределение повреждений внутри данной группы отказов, статистические сведения, имеющиеся в эксплуатации, не могут служить основанием для определения показателей надежности. Существующая система учета показателей повреждаемости локомотивов без разбивки их на эксплуатационные и ремонтные по сериям локомотивов не дает необходимого исходного материала для расчета интенсивности отказов деталей и узлов, определения срока службы локомотивов, сравнительной оценки их надежности и долговечности.

Опыт показывает, что первичная информация для определения надежности электровозов должна иметь необходимый минимум сведений, содержащий следующие основные данные:

1. Серия электровоза.
2. Точный узел (деталь), в котором произошла неисправность.
3. Вид неисправности, дата, момент обнаружения и режим работы локомотива.
4. Пробег до появления неисправности и пробег от начала эксплуатации, заводского, и подъемочного ремонта (если деталь заменяется или произошла порча в пути, то от последней замены).
5. Вид ремонта.
6. Продолжительность ремонта (в месяцах).
7. Затраты рабочей силы на ремонт (в человеко-часах).
8. Затраты на рабочую силу (в руб.).
9. Затраты на материалы (в руб.).
10. Дополнительные замечания, которые помогут провести анализ причин неисправностей.

Помимо отмеченных данных целесообразно для общего анализа надежности локомотивов знать интенсивность рабочих режимов локомотивов и эксплуатационные условия: средний вес поезда, среднесуточный пробег, условия обслуживания и ремонта, обеспеченность депо запасными частями, ремонтным оборудованием, приспособлениями и т. д.

Основная — меньшая часть этих сведений—фиксируется непосредственно машинистом при обнаружении неисправности, а большая часть сведений, носящих вспомогательный характер, но необходимых для обоснования расчета надежности локомотивов и разработки мероприятий по ее повышению — работниками служб или бюро надежности депо.

Для сокращения времени, затрачиваемого локомотивной бригадой на регистрацию отказов и их причин, инструкции и инструкционные книги локомотивов должны содержать дополнительные экземпляры схем с тем, чтобы локомотивная бригада могла оперативно отметить неисправности каждого локомотива, обнаруженные на линии при каждом случае отказа. В настоящее время техническая документация, которой снабжаются локомотивы, выпускаемые заводами и, в частности, их электрические схемы не содержат какой-либо дополнительной информации, необходимой для эффективного обнаружения неисправностей в условиях эксплуатации и не учитывают основного требования обслуживающего персонала — удобства ремонта. В этом отношении желательно, чтобы чертежи содержали примерную последовательность проверок, контрольную точку проверок и т. д. Эти сведения должны периодически исправляться и дополняться опытом эксплуатации. В процессе эксплуатации должны также проверяться нормативы технических условий на надежность локомотивов и устанавливаться степень их обоснованности и достоверности.

Взаимная связь и обмен информации между заводской и эксплуатационной службами надежности схематично представлены на рис. 7.

Следует подчеркнуть, что задача служб надежности — не подменять ответственность конструкторов, технологов и эксплуатационников, а объединять их усилия в области повышения надежности локомотивов. Заводские и эксплуатационные службы надежности призваны организовывать все работы, связанные с проведением мероприятий по обеспечению высокого уровня надежности локомотивов, с анализом фактического уровня их надежности и причин неисправностей при изготовлении и в эксплуатации, с внедрением в производство

обоснованных технико-экономических рекомендаций.

Для успешной организации и методического руководства всеми работами по обеспечению требуемого уровня надежности локомотивов служба надежности должна быть независимой и достаточно авторитетной. Чтобы обеспечить эту независимость на предприятиях ее нельзя включать в состав отдела технического контроля или отдела главного технолога. Целесообразнее всего службу надежности подчинить руководителю завода (депо) или главному инженеру.

Создание службы надежности неразрывно связано с перераспределением функций ряда отделов завода и должностных лиц, требует четкого определения взаимоотношений между ними. Однако опыт работы некоторых служб надежности показывает, что иногда стараются не нарушать сложившиеся отношения и часто работникам служб надежности поручают несвойственные им функции и исключают их из сферы обработки документации и нормативов, определяющих фактические показатели надежности.

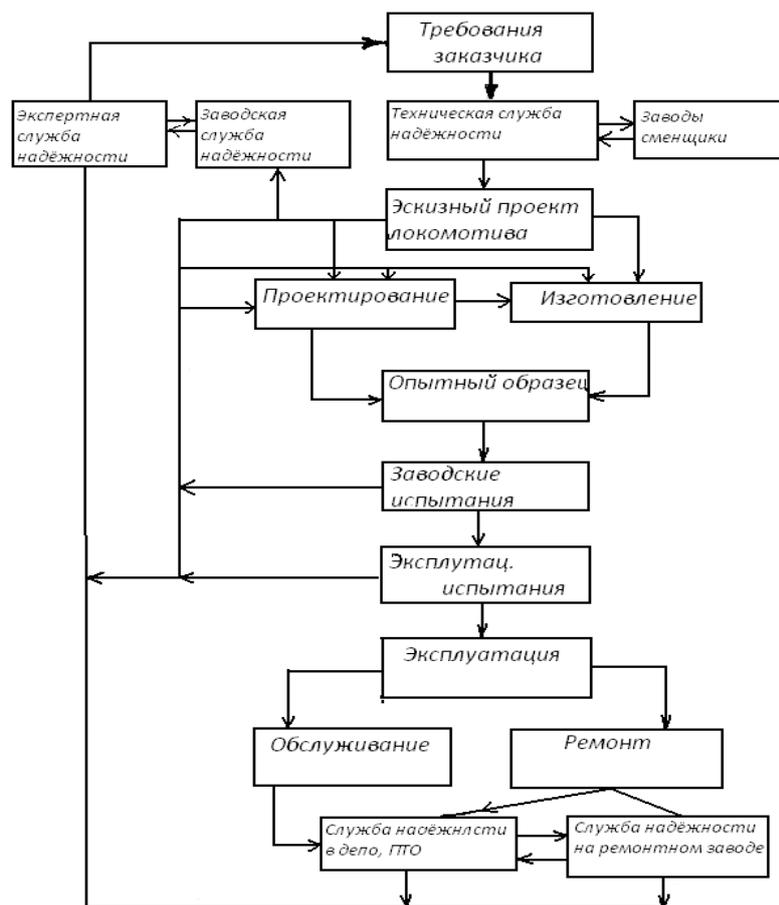


Рис. 7. Связь служб надежности в процессе проектирования, изготовления и эксплуатации электровозов

Поскольку числовые значения параметров надежности при испытаниях определяются по отдельным деталям и узлам электровоза, а условия проведения экспериментов не являются строго одинаковыми для всех электровозов, то числовые значения, характеризующие время безотказной работы и время восстановления (различных элементов, могут быть установлены только в определенных доверительных интервалах. В связи с этим средние значения параметров надежности целесообразно использовать для ориентировочных расчетов, «после которых следует определить при выбранном доверительном уровне максимальное и минимальное значение надежности и попытаться оценить влияние этих отклонений параметров на эксплуатационные условия работы локомотивов.

Расчеты надежности электровозов могут быть наиболее эффективно выполнены на электронных цифровых вычислительных машинах (ЭЦВМ). При этих расчетах ЭЦВМ используются в двух направлениях: для автоматизации вычислений показателей надежности и вероятности нормального функционирования локомотивов по разработанным аналитическим формулам и для статистического моделирования не только внезапных, но и постепенных отказов.

Хотя первая из этих двух задач является относительно узкой, она важна для стадии проектирования локомотивов, когда идет предварительная оценка и прогнозирование надежности при разработке новой схемы локомотива. При этом для выбора оптимального решения невозможно обойтись без сравнения вариантов во всей их полноте. При ручном счете практически не представляется возможным решить такую задачу из-за большого объема вычислений, особенно если хотим учесть влияние системы обслуживания и эксплуатации локомотивов.

В качестве примера использования ЭЦВМ для решения данной задачи на рис. 8 приведена блок-схема расчета надежности (вероятности нормального функционирования) локомотива по формуле (6).

В этой блок-схеме с целью сокращения программы для вычисления однотипных величин при различных значениях параметров предусмотрены операции циклов. Так, для вычисления значений вероятности безотказной работы электровоза по формуле (16) организованы циклы по двум переменным — A и t при этом цикл по t , как входящий в стандартную подпрограмму вычисления экспоненциальной функции, на блок-схеме не указан.

Для вычисления вероятности восстановления электровоза на

перегоне (формула 20 и 20а) организованы циклы по четырем переменным — $a_i b_i c_q$ и τ , причем b_i означает данное значение центральной ординаты логарифмически-нормального распределения времени восстановления; b_j — логарифм данного среднего значения времени восстановления и c_q — данное значение дисперсии этого времени. На блок-схеме цикл по τ не указан. Для расчета коэффициента готовности по формуле (12) предусмотрена организация циклов по параметрам T_0 и T_6 .

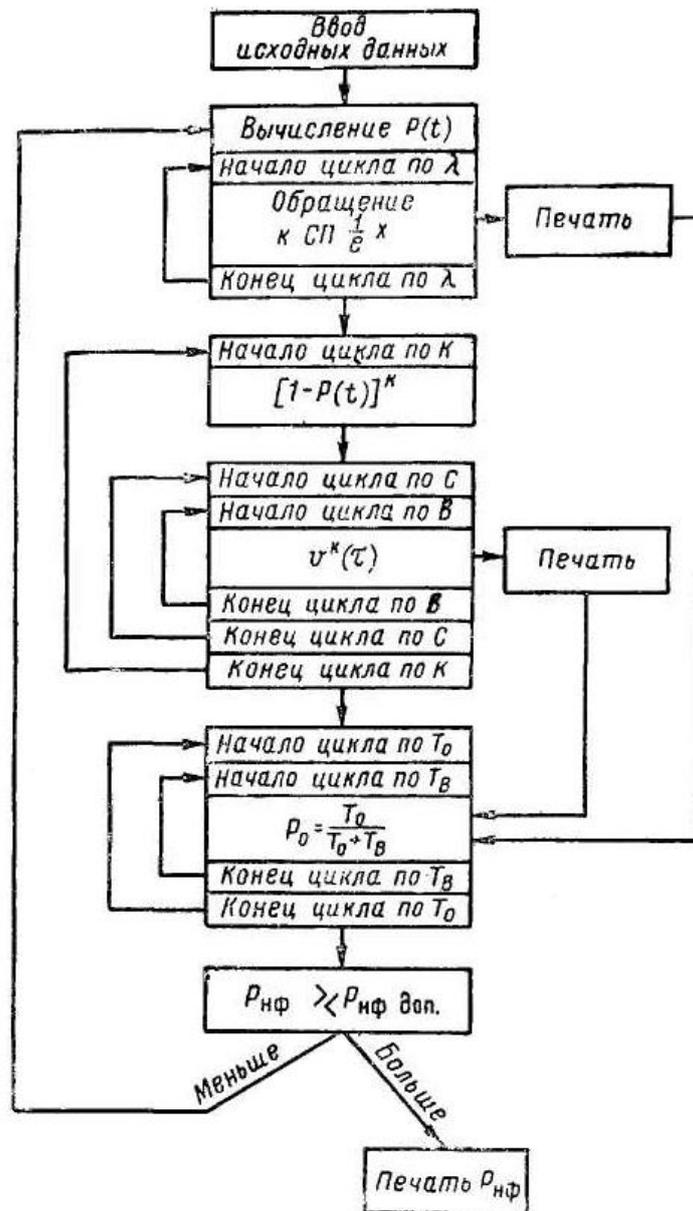


Рис. 8. Блок-схема расчета на ЭЦВМ вероятности нормального функционирования электровоза.

Вычисленные значения вероятностей записываются в памяти ЭЦВМ, откуда вызываются при расчете $P_{нф}$. На заключительном этапе расчета предусмотрено сравнение полученной вероятности нормального функционирования с заданной; если вариант неприемлем, то $P_{нф}$ рассчитывается при очередных значениях параметров. На печать поступают варианты, у которых найденная вероятность функционирования больше (или равна) заданной. Полученные значения $P_{нф}$ используются для расчета надежности узлов и элементов схемы локомотива.

Результат расчета на ЭЦВМ также, как и при натуральных испытаниях является приближенным. Однако, поскольку в действительности количество опытов с натурными образцами всегда крайне ограничено, полученный результат может быть далеким от действительного.- В противоположность этому при моделировании процессов на ЭЦВМ количество реализаций может быть весьма велико и полученный объем статистических данных может быть достаточно полным для того, чтобы иметь конечный результат решения задачи с требуемой точностью.

Однако использование ЭЦВМ имеет ряд трудностей. Основные трудности возникают при разработке алгоритма моделирования или правил выработки показателей надежности. При этом сложность алгоритма не является непреодолимым препятствием, так как достоверно доказано, что не только все известные к настоящему времени системы точно сформулированных правил получения результата можно выразить через операции современных вычислительных машин, но и любые системы таких правил.

Разветвленность алгоритма не может стать непреодолимым препятствием так же и потому, что объем памяти и быстродействие современных ЭЦВМ достаточно велики.

Трудность состоит в том, чтобы тщательно учесть все возникающие в процессе проектирования, изготовления и эксплуатации локомотивов ситуации, предусмотреть необходимую последовательность операций, возможно полнее отражающих состояние узла, детали или локомотива, надежность которого моделируется.

Опыт показывает, что программа расчета надежности становится значительно компактнее при использовании имеющейся системы математического обеспечения ЭЦВМ — библиотеки стандартных подпрограмм.

В настоящее время наиболее полно блок-схемы и программы решения многих задач по расчету надежности изложены в работе «Решение задач надежности и эксплуатации на универсальных ЭЦВМ» [7]. Несмотря на то, что вопросы, рассматриваемые в этой работе, относятся, в основном, к радиоэлектронным устройствам общая методология решения их может

быть полезной применительно к элементам, узлам и локомотиву в целом.

Методом статистического моделирования или статистических испытаний решают задачи, не сформулированные в виде уравнений или формул. На каждом этапе решения вычислитель оперирует конкретными числами, соответственно чему и конечный результат получается не в виде аналитических зависимостей, а в виде чисел, представляющих собой вероятности событий или числовые характеристики случайных величин.

По своей сущности этот метод не связан с ЭЦВМ. Однако его практическое применение оказывается невозможным без использования ЭЦВМ, так как требует большого числа реализаций для достаточной точности решения.

В основе статистического решения задач надежности на ЭЦВМ лежит моделирование случайных явлений. Такие случайные величины как, например, длительность безотказной работы элемента, время его восстановления в различных условиях и т. п., воспроизводятся на ЭЦВМ в соответствии с законами распределения, характеризующими эти случайные величины. Каждая реализация процесса является случайной. После выполнения достаточно большого числа реализаций определяются средние характеристики, например, наработка системы на отказ, коэффициент готовности и т. п.

Статистический метод решения задач надежности позволяет получить законы распределения выходных параметров, вероятность безотказной работы элемента, узла и локомотива в целом, а также вероятность их нормального функционирования с учетом не только внезапных, но и постепенных отказов.

Использование современной вычислительной техники для определения надежности требует от проектировщиков и работников служб надежности постоянного повышения своих знаний, улучшения специальной подготовки и изучения новой техники.

Инженеры служб надежности должны уметь анализировать современными математическими методами первичную информацию и результаты заводских и эксплуатационных испытаний с точки зрения их точности, достоверности и полноты, и объяснять полученные результаты.

Работники служб надежности должны уметь выявить с (точки зрения надежности) критические узлы и предложить наиболее целесообразные мероприятия по повышению их надежности на основе изменений, вносимых в технологию их изготовления; постоянно совершенствовать требования технических условий, нормативов и методологию испытаний; уметь статистически сравнивать результаты испытаний и анализировать наиболее возможное сочетание причин отказа данного узла.

Естественно, что всю совокупность таких вопросов может решить состав службы или бюро надежности, имеющий квалифицированных специалистов, обладающих специальными знаниями.

Службы надежности должны нести ответственность за качество информации, правильность рекомендуемых мероприятий и их технико-экономическое обоснование, а также за подготовку и выдачу руководящих технических указаний и материалов по надежности для проектировщиков, технологов и работников эксплуатации.

4. Основные понятия и краткие сведения из теории вероятностей

Математический аппарат теории надежности основывается главным образом на вероятностных методах, поскольку сам процесс появления отказов" в аппаратуре и механизмах по своей физической природе носит вероятностный характер. Отсюда вытекает необходимость ознакомления с основными понятиями теории вероятностей до изучения практических приемов расчета надежности систем и элементов.

Рассмотрим основные понятия теории вероятностей.

Случайное событие — событие, которое в результате произведенного опыта может произойти или не произойти. Обозначается символом A .

Достоверное событие — событие, которое непременно должно произойти. Обозначается символом E .

Невозможное событие — событие, которое заведомо произойти не может. Обозначается символом I .

Совместные (несовместные) события — события, появление одного из которых не исключает (исключает) появления другого.

Зависимые (независимые) события — события, появление одного из которых влияет (не влияет) на появление другого.

Противоположные события — два единственно возможные и несовместимые события.

Полная группа событий — совокупность событий, когда в результате опыта обязательно должно произойти хотя бы одно из событий этой совокупности.

Например события A и \bar{A} составляют полную группу событий, так как в результате опыта возможны только два исхода: либо A , либо \bar{A} . Случайная величина — переменная величина, которая в результате опыта может принять то или иное значение.

Случайный процесс — совокупность случайных величин, зависящих от определенного параметра (например, от времени).

Вероятностью случайного события A называется отношение числа K (исход испытания, в котором наблюдается событие A) к общему числу n

всех исходов:

$$R(A) = \frac{K}{m}.$$

Основные свойства вероятности

Вероятности случайных событий обладают следующими основными свойствами:

$$\begin{aligned} R(\emptyset) &= 0; \\ R(E) &= 1; \\ 0 = R(\emptyset) &\leq R(A) \leq R(E) = 1; \\ R(A) + R(\bar{A}) &= 1. \end{aligned}$$

Теорема сложения вероятностей

Если A_1, A_2, \dots, A_n — несовместимые события и A есть сумма этих событий, то вероятность события A равняется сумме вероятностей событий A_1, A_2, \dots, A_n .

$$R(A) = \sum R(A_i) = R(A_1) + R(A_2) + \dots + R(A_n).$$

Теорема умножения вероятностей

Вероятность совместного появления двух событий A_1 и A_2 в данном опыте равняется вероятности появления одного из них, умноженной на условную вероятность другого, вычисленную в предположении, что первое событие появилось, т. е.

$$R(A_1 \wedge A_2) = R(A_2)R\left(\frac{A_1}{A_2}\right);$$

значком \wedge обозначается произведение вероятностей.

Для независимых событий теорема умножения вероятностей имеет вид:

$$R(A_1 A_2 \dots A_n) = R(A_1) R(A_2) \dots R(A_n) = \prod_{i=1}^n R(A_i),$$

т. е. вероятность одновременного возникновения ряда независимых событий равна произведению вероятностей этих событий.

Законом распределения случайной величины называется всякое соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями. Случайная величина будет полностью описана с вероятностной точки зрения, если известно распределение ее, т. е. если известно, какой вероятностью обладает каждое значение случайной величины.

На практике закон распределения случайной величины обычно получают графически: по оси абсцисс откладываются возможные значения случайной величины, по оси ординат — вероятность этих значений (частота их повторений). Полученные точки соединяются прямыми. Полученный многоугольник называется многоугольником распределения; он, так же как закон распределения, полностью характеризует случайную величину.

При расчете надежности наиболее часто употребляются показательный закон распределения и нормальный закон распределения. Рассмотрим построение многоугольника распределения на примере.

Возьмем данные по удельному расходу топлива тепловозами (в кг/тыс, ткм. брутто) по депо Х. Наблюдался 21 электровоз. Случайной величиной является удельный расход топлива. Возможным значением случайной величины—число тепловозов с одинаковым удельным расходом топлива.

Составим таблицу.

Таблица 1

Таблица 1

Удельный расход, кг/тыс. ткм. брутто	2,8 ÷ 3,0	3,0 ÷ 3,2	3,2 ÷ 3,4	3,4 ÷ 3,6	3,6 ÷ 3,8	3,8 ÷ 4,0	4,0 ÷ 4,2	4,2 ÷ 4,4
Кол-во тепловозов с данным расходом топлива	1	2	3	4	5	3	2	1

По данным табл. 1 строим многоугольник распределения (рис. 9). Основываясь на форме многоугольника распределения, можно подобрать наиболее близко подходящий к нему математический закон распределения, известный из теории: вероятностей.

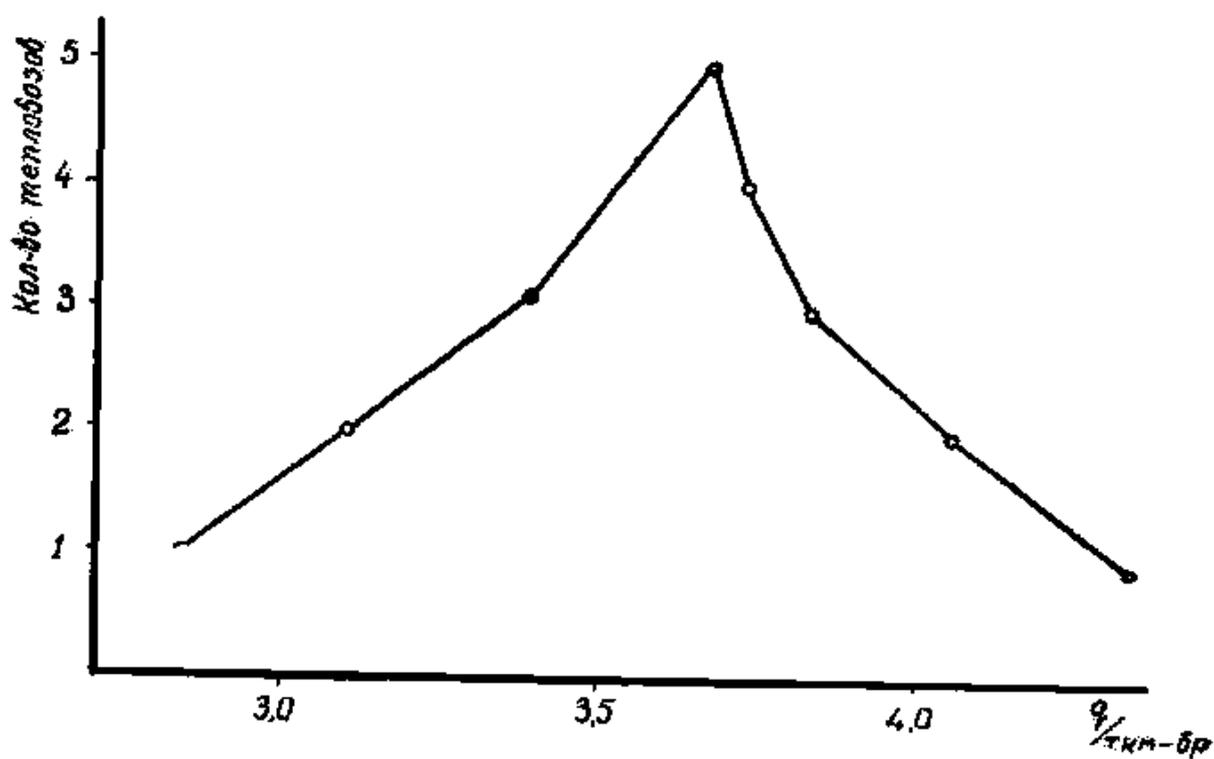


Рис.9.

Термины теории надежности

В параграфе приводятся наиболее распространенные термины, без знания которых чтение настоящего пособия и рекомендованной литературы вызовет затруднения.

Все приводимые термины расположены в алфавитном порядке.

Безотказность — свойство изделия или системы сохранять работоспособность в течение заданного промежутка времени при определенных условиях эксплуатации. Этот термин в какой-то мере аналогичен определению надежности.

Вероятность отказа — вероятность того, что в течение заданного промежутка времени возникает хотя бы один отказ изделия или системы.

Восстанавливаемое устройство — устройство, параметры которого после отказа могут быть восстановлены в полном объеме. Для ряда локомотивного оборудования это понятие условно, например: тяговый электродвигатель после отказа восстанавливается, но это связано с отстранением тепловоза от работы и заменой данного двигателя другим. Таким образом, он выступает как восстанавливаемая и невосстанавливаемая система одновременно. В ряде случаев, например для полупроводниковых приборов, таких сомнений не возникает.

Восстанавливаемость — свойства изделия приобретать после ремонта первоначальные параметры.

Время восстановления — время, затрачиваемое на обнаружение и устранение отказа.

Интенсивность восстановления — количество восстановлений (ремонтов) одноименного оборудования, произведенное в рассматриваемый промежуток времени.

Интенсивность отказов — количество отказов в единицу времени, отнесенное к числу элементов, оставшихся исправными к началу рассматриваемого промежутка времени.

Надежность — вероятность исправной работы элемента (системы) в течение заданного времени при определенных условиях эксплуатации.

Невосстанавливаемое устройство — устройство, работа которого после отказа считается невозможной; устройство восстановлению не подлежит.

Отказ — событие, заключающееся в полной либо частичной потере элементом (системой) работоспособности. Параметры устройства отклоняются за допустимые пределы. В свою очередь отказы по характеру их проявления подразделяются на внезапные, постепенные и перемежающиеся.

Внезапный отказ — отказ элемента, возникающий в результате резкого изменения нагрузки. Возникает случайно, неожиданно. Исключить их полностью нельзя. Именно этот вид отказа характерен для большинства технических устройств в период эксплуатации. Причины отказа могут быть технологического и конструктивного характера; отказ может возникнуть в результате нарушения условий эксплуатации.

Постепенный отказ — отказ, возникающий в результате изменения свойств элемента. Обычно вызывается старением (износом).

Перебегающий отказ — отказ, связанный со значительным изменением какого-либо внешнего параметра. При достижении возмущающим параметром расчетных значений система начинает функционировать нормально. Расчет влияния на системы перебегающих отказов наиболее затруднителен, так как в большинстве случаев не удается своевременно установить истинную причину его возникновения. Наиболее характерен для электрических цепей.

Полный отказ — отказ, до устранения которого система непригодна для выполнения требуемой работы.

Ремонтопригодность—свойство системы, выражающееся в приспособленности ее к обнаружению и устранению отказа. Для аналогичных систем различных серий локомотивов равна времени, необходимому на обнаружение к устранение неисправности.

Среднее время безотказной работы — время работы до первого отказа. Обычно определяется для однотипных элементов.

Средняя наработка на отказ—время между двумя отказами. Является одним из важнейших показателей для восстанавливаемых систем. Для периода нормальной эксплуатации равна среднему времени безотказной работы.

Частичный отказ — отказ, до устранения которого остается возможность использовать систему по назначению.

Частота отказов—число отказов в выбранный период времени, отнесенное к общему числу работающих в этот период однотипных элементов (систем).

Определение таких понятий как элемент и система в каждом конкретном случае требует уточнения. Так, локомотив в целом может рассматриваться как система, тогда элементами являются отдельные узлы энергетической установки. В свою очередь каждый узел может рассматриваться как система, состоящая из ряда элементов.

Критерии надежности

Надежность рассматривается как внутреннее свойство системы, как ее параметр. Для полной оценки надежности одной вероятностной оценки мало. Нужны количественные характеристики— критерии надежности, т. е. признак, по которому можно судить о надежности рассматриваемой системы.

Количественные значения критерия надежности называются характеристикой надежности, которая и является технической характеристикой системы. Критерии надежности делятся на несколько групп:

- 1) критерии безотказности: вероятность безотказной работы, частота

отказов, интенсивность отказов, среднее время безотказной работы, наработка на отказ;

2) критерии восстанавливаемости: вероятность восстановления, среднее время восстановления, интенсивность восстановления;

3) эксплуатационные критерии: коэффициент использования, коэффициент готовности, коэффициент простоя, коэффициент стоимости эксплуатации.

Рассмотрим каждый критерий в отдельности.

Вероятность безотказной работы — самый распространенный критерий надежности. Численно определяется как отношение

$$R(t) = \frac{N - n_i}{N},$$

где

N — число эксплуатируемых в рассматриваемый период времени однотипных элементов;

n_i — число отказов за тот же период времени.

Пример. Из 200 кремниевых вентилях *ВК-200* за 1000 ч работы отказало 8 шт. Определить вероятность исправной работы.

$$R(t) = \frac{200 - 8}{200} = 0,96.$$

$R(t)$ можно представить как вероятность того, что время исправной работы элемента будет больше некоторого заданного времени:

$$R(t) = R\{T > t\}.$$

Чем больше выбранный промежуток времени, тем меньше вероятность безотказной работы.

Частота отказов определяется по выражению

$$f_i = \frac{\Delta n_i}{N \Delta t} \quad 1/ч \text{ или } 1/км,$$

Δn_i — число отказавших элементов за время Δt .

Отказавшие элементы не заменяются новыми и общее их число

уменьшается.

Если отказавшие элементы заменяются новыми, что характерно для работы локомотивов, то

$$f_{\text{ср}} = \frac{\Delta n_i}{N \Delta t}$$

называется средней частотой отказов. Достоинством этого критерия является возможность судить о количестве элементов, которые могут отказать за определенный промежуток времени.

Пример. Для предыдущего случая с диодами ВК-200 средняя частота отказов составит

$$f_{\text{ср}} = \frac{8}{200 \cdot 1000} \cdot 0,00004 = 4 \cdot 10^{-5} \text{ 1/ч.}$$

Имея $f_{\text{ср}}$ можно определить ожидаемый выход из строя диодов за любой промежуток времени.

Интенсивность отказов — показатель, характеризующий надежность элемента в каждый данный момент времени. Является универсальной характеристикой невосстанавливаемых элементов. Количественно определяется из уравнения

$$\lambda_i = \frac{\Delta n_i}{(N - n_i) \Delta t} \quad [1/\text{ч} \text{ или } 1/\text{км}],$$

где

n_i — число отказавших элементов с начала эксплуатации до рассматриваемого периода включительно;

Δn_i — число отказавших элементов за время Δt ;

N — начальное число элементов.

Следовательно, интенсивность отказов показывает, какая доля от работающих в некоторый момент времени элементов отказывает в единицу времени после этого момента.

Значения λ получают в результате обработки эксплуатационных и экспериментальных материалов. Для локомотивов источником сведений об отказах являются материалы локомотивных депо.

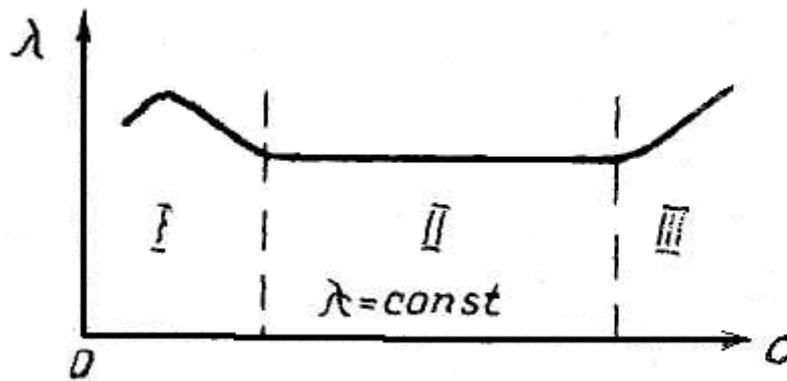


Рис. 10.

Если по рассчитанным частным значениям λ для однотипных элементов построить кривую, то получаем функцию интенсивности отказов, $\lambda = f(t)$, называемую лямбда характеристикой (рис. 10).

На кривой $\lambda = f(t)$ можно выделить три характерных участка: I — начальные отказы, зависящие от технологических причин и выявляемые в результате испытания аппаратуры после изготовления или ремонта; II — отказы, зависящие от случайных концентраций нагрузки, либо внешних воздействий, возникающих в период нормальной эксплуатации устройства; III — износные отказы, появляющиеся в результате износа и старения элементов. Появление износных отказов может служить критерием долговечности устройства.

Для практики важен случай, когда интенсивность отказов постоянна во времени

$$\lambda(t) = \lambda = f_{\text{ср}}$$

Этот случай наиболее часто употребляется при расчетах надежности систем длительного использования, к которым целиком относятся локомотивные системы.

Среднее время безотказной работы — математическое ожидание времени исправной работы элементов. Среднее время безотказной работы определяется по статистическим данным по формуле

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{N},$$

где

t_i — время исправной работы i -ого элемента;

N — общее число испытываемых элементов.

Для восстанавливаемых систем $T_{\text{ср}}$ отражает время эксплуатации до первого отказа.

Наработка на отказ — критерий надежности, более удобный для практики. Степень надежности в этом случае оценивается средним числом часов работы между двумя отказами, взятыми за определенное время эксплуатации:

$$T_o = \frac{T_p}{n}.$$

Вероятность восстановления — вероятность того, что отказавший элемент будет восстановлен за заданное время при известных условиях ремонта, т.е.

$$V(t) = R \{t \geq T\}.$$

Среднее время восстановления принимается как среднеарифметическое время, необходимое для восстановления отказавшего узла:

$$T_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{n}.$$

На время $T_{\text{в}}$ оказывает влияние квалификация ремонтного персонала.

Интенсивность восстановления величина обратная среднему времени восстановления:

$$\mu = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \tau_i}.$$

Этот показатель характеризует производительность работ.

Коэффициент использования — отношение времени работы локомотива за месяц к календарному времени¹.

$$K_{\text{и}} = \frac{\sum t_{\text{раб}}}{T_{\text{к}}}.$$

Коэффициент готовности — отношение времени готовности локомотива к эксплуатации к календарному времени:

$$K_{\text{г}} = \frac{\sum t_{\text{раб}} + \sum t_{\text{п}}}{T_{\text{к}}},$$

Где

$\sum t_{\text{п}}$ — время простоя элс в ожидании работы.

Коэффициент простоя — отношение времени простоя электровоза во всех видах осмотров и ремонтов к календарному времени.

$$K_n = \frac{\sum t_{\text{рем}}}{T_k},$$

$\sum t_{\text{рем}}$ — время простоя электровоза во всех видах ремонтов, и осмотров и в ожидании их.

Если в числителе учитывать только время на ремонт и обнаружение неисправности, то получим коэффициент, характеризующий ремонтно-пригодность.

Коэффициент стоимости эксплуатации служит для оценки расхода средств, необходимых для поддержания оборудования локомотивов в надлежащем состоянии г. процессе эксплуатации

$$K_{cs} = \frac{C_1}{C_0},$$

где

C_1 — стоимость обслуживания локомотивов в течение года;

C_0 — строительная стоимость локомотивов.

Чем выше надежность, тем ниже стоимость обслуживания локомотивов. В стоимость C_1 не включаются расходы депо, необходимые для обеспечения поездной работы (локомотивные бригады, работники экипировки, нарядчики и т. д.).

Перечисленные критерии надежности позволяют всесторонне и полно судить о надежности рассматриваемой системы или тепловоза в целом, и могут применяться при проектировании новых локомотивных систем.

5. Экспериментальная оценка надежности

Теоретические расчеты дают, как правило, приближенное представление о надежности. Точные результаты можно получить только на основе обработки данных реальной эксплуатации, когда учитываются все многообразные воздействия на систему и их корреляционные связи.

Однако для получения достоверных показателей надежности требуется большое количество экспериментов: большое количество эксплуатируемых объектов и длительное время наблюдения за ними. Обычно полученные экспериментальные материалы успевают устареть и не приносят пользу при новом проектировании.

Ограничивая количество испытываемых объектов и срок наблюдения за ними, получаем не конкретные значения параметра надежности, а границы его возможных значений. В результате можно сказать, что исследуемый параметр, например наработка на отказ

$$T_{\min} < T_0 < T_{\max}$$

Значения T_{\min} и T_{\max} могут быть определены по уравнениям

$$T_{\min} = T_0 - t_{\frac{p}{2}}(n-1) \frac{S}{\sqrt{n-1}} ;$$

$$T_{\max} = T_0 + t_{\frac{p}{2}}(n-1) \frac{S}{\sqrt{n-1}} ;$$

$$T_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$$

Здесь T_0 — средняя наработка на отказ;

n — число отказов.

S — оценка среднеквадратичного отклонения;

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (T_i - T_0)^2} ;$$

$$t_{\frac{p}{2}}$$

— величина, зависящая от числа опытов n и доверительной вероятности.

$p = (1-\alpha)$, где α — заданная точность определения показателей надежности.

Величина

$$t_{\frac{p}{2}}$$

определяется по табл. 2

Таблица 2

p	p					
	0,50	0,25	0,10	0,05	0,01	0,005
1	1,000	2,414	6,314	12,706	63,657	127,32
2	0,817	1,604	2,920	4,303	9,925	14,089
3	0,765	1,423	2,353	3,183	5,841	7,453
4	0,741	1,344	2,132	2,776	4,604	5,598
5	0,727	1,301	2,015	2,571	4,032	4,773
6	0,718	1,273	1,943	2,447	3,707	4,317
7	0,711	1,254	1,895	2,365	3,500	4,029
8	0,706	1,240	1,860	2,306	3,355	3,832
9	0,703	1,230	1,833	2,262	3,250	3,690
10	0,700	1,221	1,813	2,228	3,169	3,581
15	0,691	1,197	1,753	2,132	2,947	3,286
20	0,687	1,185	1,725	2,086	2,845	3,153
25	0,684	1,178	1,708	2,060	2,787	3,078
30	0,683	1,173	1,697	2,042	2,750	3,030
40	0,681	1,167	1,689	2,021	2,705	2,971
60	0,679	1,162	1,671	2,000	2,660	2,915
120	0,677	1,156	1,658	1,980	2,617	2,860
∞	0,674	1,150	1,645	1,960	2,576	2,807

При обработке статистического материала в депо определяются следующие величины:

$$T_{cp} = \sum t_i;$$

T_{cp} — суммарная наработка системы;

τ_v — суммарное время восстановления,

Отсюда могут быть определены расчетным путем:

T_o — наработка на отказ,

$$\tau_v = \sum \tau_i;$$

T_v — среднее время восстановления,

$$T_v = \frac{\tau_v}{n};$$

K_r - коэффициент готовности,

$$K_r = \frac{T_o}{T_o + T_B}$$

Определение T_p и T_B не представляет труда, так как в депо ведется необходимая документация и необходимые исходные данные для расчета получить легко.

6. Расчет надежности с учетом внезапных отказов

В простейшем случае, когда отказы независимы и происходят в случайные моменты времени и среднее значение числа отказов одинаково для равных по длительности периодов работы, надежность устройства определяется экспоненциальной формулой

$$R(t) = e^{-\lambda t},$$

где

λ — интенсивность отказов;

e — основание натуральных логарифмов ($e = 2,7182$);

t — время работы, для которого определяется надежность.

Особенностью полученной информации о величине λ является весьма большой разброс ее значений. Однако приведенные в отечественной и зарубежной литературе данные можно использовать для ориентировочных расчетов (см. табл. 3).

Вычисленное $R(t)$ представляет собой вероятность того, что устройство с интенсивностью отказов λ не откажет в течение времени t . Эта формула справедлива для всех устройств, которые прошли приработку и не испытывают пока влияния износа и старения. Период работы, для которого справедливо выражение, называется нормальной эксплуатацией устройства.

Длительность этого периода для различных устройств различна, однако время в формуле никогда не может быть больше периода

нормальной эксплуатации устройства. В период нормальной эксплуатации надежность устройства примерно одинакова для равных по длительности периодов работы, но с увеличением общего времени работы надежность снижается.

Например, $R(t)$ для элемента с $\lambda = 0,0001$ 1/ч для отрезка времени 10 ч, выбранного в любом месте периода нормальной эксплуатации устройства, составит

$$t = \frac{m}{100} \quad R(t) = 0,99 \text{ и т. д.}$$

Вероятность же того, что устройство не откажет за период работы, равный 1000 ч

$$R(t) = e^{-0,0001 \cdot 1000} = 0,905.$$

Параметр λ в этом случае полностью определяет надежность устройства.

При предварительной оценке надежности устройства удобно пользоваться обратной величиной, называемой средней наработкой на отказ m , которая равна

$$m = \frac{1}{\lambda}.$$

На рис. 3, а приведен график $R(t)$. Отметим, что абсцисса t не измеряет общего времени работы устройства. Она отражает только часы произвольно выбранного периода работы, начало которого в частном случае может совпадать и с началом работы устройства в эксплуатации.

При определении надежности устройства обычно требуется найти вероятность безотказной работы в течение интересующего отрезка времени, длительность которого всегда много меньше средней наработки на отказ. Следовательно, расчет надежности производится для промежутков времени, которые соответствуют крайней левой части кривой надежности (см. рис. 3, а). На кривой, представленной на рис. 3, б, имеется ряд точек, которые легко запомнить и с помощью которых можно производить первое грубое предсказание надежности устройства. Так, вероятность безотказной работы устройства в течение интервала времени $t = m$ равна 0,368 ($\approx 0,37$).

Для

$$t = \frac{m}{10} \quad R(t) = 0,9;$$

для $t = \frac{m}{100}$ $R(t) = 0,99$ и т. д.

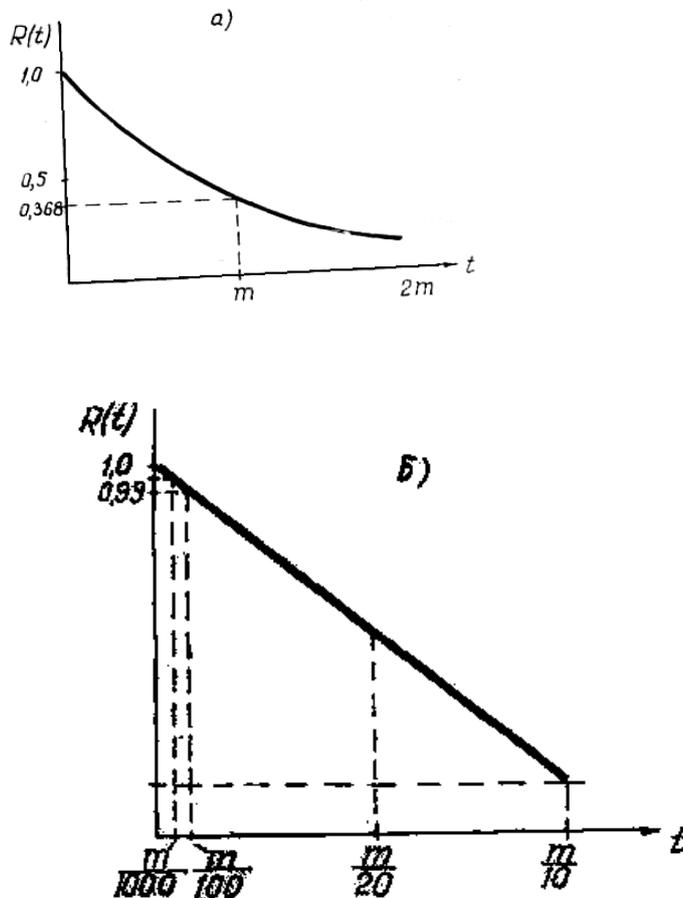


Рис. 12

Эти точки на кривой надежности применимы к любым элементам и системам при учете только внезапных отказов с частотой λ . Следовательно, зависимость $R(t)$, в которой t используется как единица времени, является универсальной кривой надежности.

Система, состоящая из n одинаковых элементов, у каждого из которых средняя наработка на отказ m_i , будет иметь среднюю наработку на отказ если отказ любого из этих элементов вызывает отказ системы

$$\frac{m_i}{n}$$

(последовательное соединение). Это замечание также относится и к неоднотипным элементам, если под m_i понимать среднее значение нарабо-

ток на отказ неоднотипных элементов.

Для оценки надежности сложной системы (локомотив или его узлы) в первую очередь необходимо установить, каким образом отдельные узлы влияют на безотказность системы в целом. Обычно считают, что система отказывает при отказе хотя бы одного входящего в нее элемента и отказы отдельных элементов независимы. В этом случае $R(t)$ нерезервированной системы с учетом только внезапных отказов при условии, что все элементы работают одновременно, может быть определено по выражению

$$R(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots \cdot R_n(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t),$$

где

n — число элементов, составляющих систему;

$R_i(t)$ — надежность i -го элемента.

Таким образом, надежность любой системы определяется произведением $R(t)$ входящих в нее элементов.

Для оценки надежности системы в целом без разбивки ее на звенья или смысловые блоки можно использовать величину суммарной интенсивности отказов системы Λ , равную сумме интенсивностей отказов элементов, входящих в эту систему:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i.$$

Обычно локомотивная система объединяет несколько групп аналогичных элементов. Для любых элементов интенсивность отказов, а следовательно, и надежность зависит от режимов работы и времени.

На первом этапе расчета, при определении надежности только с учетом внезапных отказов, когда еще не известны режимы работы, можно предположить, что все элементы системы работают в номинальном режиме, т. е. интенсивность отказов у них постоянна и равна табличным значениям. В табл. 3 приведены значения λ_0 и M_0 для наиболее часто встречающихся элементов.

Наименование элемента или узла	λ_0	M_0	
1	2	3	
Автотрансформатор	0,25	0,05	
Аккумуляторы	7,2	0,008	вкл.
Амортизаторы	0,037	—	
Амперметры	0,29	1,0	изм.
Баки	1,5	—	
Выключатели быстродействующие	0,4	0,02	
Воздуходувки	2,23	—	
Тумблеры	0,06	0,05	
Генераторы переменного тока	0,7	0,001	
Генераторы постоянного тока	12,4	0,006	
Датчики давления	3,5	0,35	
Датчики температуры	3,3	0,01	
Двигатели асинхронные	2,25	0,007	
Диоды германиевые:			
малой мощности	0,3	0,0006	
силовые	0,6	0,0003	
Диоды кремниевые:			
малой мощности	0,564	0,004	
силовые	7,0	0,0008	
Изоляторы	0,05	—	
Изоляция	0,5	0,05	
Кабели (в сборе на схему)	0,2	—	
Коллекторы электр. машины	2,9	—	
Клапаны	5,1	0,15	сраб.
Катушки соленоидные	0,04	0,08	
Катушки, реле и индуктивности	0,02	0,15	
Катушки настроечные	0,15	0,08	
Конденсаторы бумажные	0,05	0,01	
Катушки высокого напряжения	0,4	0,009	
Контакты (на контакт)	0,25	0,05	вкл.
Контакты	0,3	0,04	вкл.
Коробки передач (редукторы)	0,63	0,04	
Лампы накаливания	0,64	0,01	
Манометры гидравлические	0,12	0,1	изм.
Муфты электромагнитные	0,6	—	
Муфты фрикционные	0,3	—	
Насосы с механическим приводом	13,5	—	
Радиаторы	4,2	—	
Приводы ременные	3,87	—	
Подшипники легкой серии	0,875	0,006	
Прокладки пробковые	0,04	—	
Потенциометр проволочный	1,2	0,002	
Передачи зубчатые	0,12	—	

Продолжение табл. 3

1	2	3
Предохранитель плавкий	0,5	—
Поршни гидравлические	0,2	—
Пружины	0,22	—
Обмотки электр. машин	0,03	0,05
Пусковые двигатели (стартеры)	10,0	—
Регуляторы давления	4,25	0,0015
Регуляторы напряжения	8,82	0,02
Реле общего назначения	0,25	0,2 цикл.
Реле термические	0,4	0,2 цикл.
Реле электромагнитные	0,3	0,003
Реостаты (проволочные)	0,13	0,03
Сопротивления переменные	0,06	0,016
Сопротивления нерегулируемые	0,087	0,01
Тахометры	0,3	0,01
Термостаты	0,3	0,25 цикл.
Триоды германиевые	0,53	0,14
Триоды кремниевые	0,74	—
Трансформаторы	0,2	0,01
Тумблер	0,06	0,05
Усилитель магнитный	0,085	—
Щетки электрических машин	0,1	0,003
Щеткодержатели	1,3	—
Шланги дюритовые	2,0	—
Реле пневматическое	0,35	—

Примечание. 1. При умножении данных гр. 2 на 10^{-6} — размерность $1/ч$, при умножении данных гр. 3 на 10^6 , если нет наименования, размерность в часах. 2. Данные таблицы могут быть использованы только для учебных либо сравнительных расчетов надежности. Более полные таблицы см. [2, 4, 5].

7. Расчет надежности с учетом старения элементов

Расчет надежности элементов и систем с учетом старения и износа производится с целью определения сроков профилактических ремонтов и замены элементов. Замена элементов и текущие ремонты необходимы в тех случаях, когда время эксплуатации устройства превышает срок службы элементов T_n , входящих в это устройство, что обычно справедливо для всех промышленных и транспортных устройств. В результате замены и ремонта элементов аппаратура восстанавливается и приходит в такое состояние, когда вероятность возникновения износового отказа незначительна. Система с правильно выбранным периодом профилактики практически не стареет, несмотря на то, что остается некоторая интенсивность внезапных отказов, система в общем будет весьма надежной.

Для износовых отказов характерно нормальное распределение (рис. 4), когда половина отказов возникает до момента, соответствующего среднему значению долговечности элемента M , а половина после этого момента. Поэтому надежную работу элемента можно получить для большего интервала времени, близкого по значению к долговечности элемента, что в каждом конкретном случае будет зависеть от величины среднеквадратичного отклонения, определяющего форму кривой распределения отказов.

Для большинства элементов значения M гораздо меньше значений t (наработки на отказ). Следовательно, даже если элемент мог бы работать с почти абсолютной надежностью по внезапным отказам в течение периода его нормальной эксплуатации, эта высокая надежность существовала бы только в течение сравнительно короткого периода до T_n . Отказ элемента неизменно произойдет или от случайного повреждения или от износа, если элемент не будет изъят из употребления или отремонтирован прежде, чем это случится.

В большинстве случаев износовые явления хорошо описываются нормальным законом распределения отказов, что и учитывается при расчете надежности элементов. Плотность (вид функции) нормального распределения выражается формулой

$$f(T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T-M)^2}{2\sigma^2}}$$

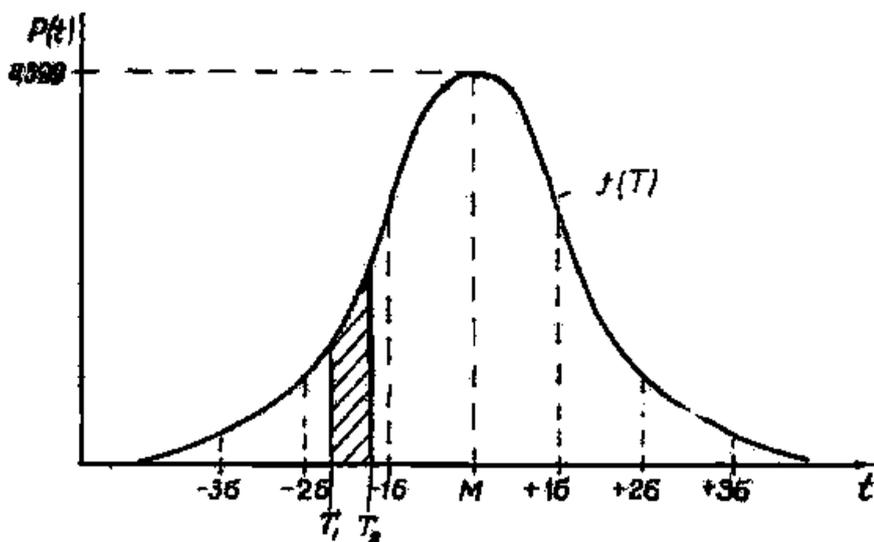


Рис. 13.

где
 M — средняя долговечность;
 T — время эксплуатации или общее время работы системы;
 σ — стандартное отклонение от средней долговечности, определяемое по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (T_i - M)^2}{N}}$$

Величина N обозначает число отказов, происходящих спустя время T , которое суммируется в выражении $\sum (T - M)^2$. Общая площадь под кривой $f(T)$ равна единице (рис. 4). Любой участок площади под этой кривой (например, от T_1 до T_2) указывает долю отказов за данный промежуток времени. Полную вероятность отказа для периода от $T = 0$ до $T = T_{II}$ определяет площадь, находящаяся с левой стороны от T_{II} .

Расчет надежности элементов по износу сводится к построению

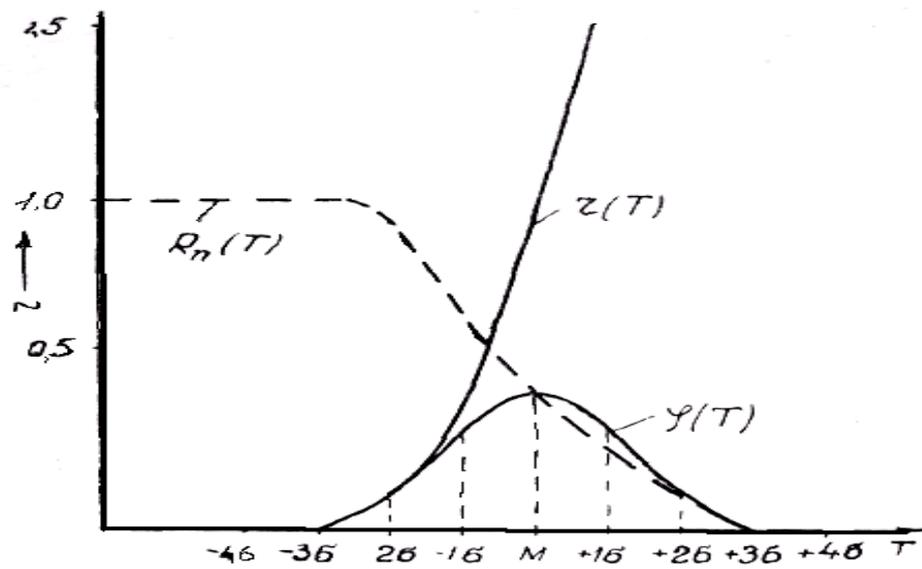
кривой $f(T)$, для чего необходимо располагать величинами M и σ . За M при проектировании может быть принят гарантийный срок работы элемента, указываемый в его паспорте, техническом описании, а также данные табл. 1.

Значения σ могут определяться только при обработке статистических данных. Величина отклонения может изменяться в очень широких пределах. При учебных расчетах σ может приниматься от 10 до 30% от значений M .

Для упрощения расчетов можно пользоваться рис. 5 и табл. 4.

Таблица 4

t	$\varphi(t)$	$R_n(t)$	$r(t) = \frac{\varphi(t)}{R_n(t)}$
- 3,5 σ	0,0009	0,9998	0,0009
- 3,0 σ	0,0044	0,9987	0,0044
- 2,5 σ	0,0175	0,9938	0,0176
- 2,0 σ	0,0540	0,9772	0,0553
- 1,5 σ	0,1295	0,9332	0,1389
- 1,0 σ	0,2420	0,8413	0,2877
- 0,5 σ	0,3521	0,6915	0,5092
M	0,3989	0,5000	0,7978
+ 0,5 σ	0,3521	0,3085	1,1413
+ 1,0 σ	0,2420	0,1587	1,5249
+ 1,5 σ	0,1295	0,0668	1,9386
+ 2,0 σ	0,0540	0,0228	2,3684
+ 2,5 σ	0,0175	0,0062	2,8226
+ 3,0 σ	0,0044	0,0013	3,3846
+ 3,5 σ	0,0009	0,0002	4,5000



Puc.14

В этом случае используется универсальная функции плотности отказов, выраженная в единицах стандартного отклонения:

$$\varphi(t) = \sigma(t).$$

Значения $\phi(t)$ вместе со значениями $R_n(t)$ могут быть получены непосредственно из таблиц нормального распределения. Таким путем получается универсальная функция интенсивности отказов:

$$r(t) = \frac{\varphi(t)}{R_n(t)},$$

откуда интенсивность износных отказов

$$\lambda_n = \frac{f(t)}{R_n(t)} = \frac{\varphi(t)}{\sigma R_n(t)} = \frac{r(t)}{\sigma}.$$

Определив λ_n , можно установить момент времени T_{II} когда элемент должен быть изъят из употребления и заменен, чтобы предотвратить износный отказ во время работы. Время замены элемента T_{II} выбирается так, чтобы интегральная вероятность износного отказа $Q(t)$ оставалась на минимально приемлемом уровне в соответствии с требованиями к надежности данного устройства. Величина $Q(t)$ определяется по формуле

$$Q(t) = 1 - \int_T^{+\infty} f(t) dt,$$

где интеграл численно равен площади под кривой распределения плотности отказов, расположенной слева от T . Если T_{II} выбрано правильно, вероятность безотказной работы вплоть до момента T_{II} близка к 100%.

Возрастание вероятности отказа со временем эксплуатации элемента, характерное для износных явлений, не имеет места для вероятности внезапных отказов, которые от продолжительности эксплуатации не зависят и остаются постоянными в период нормальной эксплуатации элемента. При необходимости оценить совместное влияние внезапных и износных отказов в течение времени работы, необходимо определить суммарную вероятность отказа, которая за время t равна вероятности отказа за счет износа и за счет случайной неисправности.

$$Q(t) = Q_n(t) + Q_b(t) - Q_n(t) \cdot Q_b(t).$$

Здесь индексы «в» и «п» указывают, соответственно, на внезапный и износный отказы.

$Q(t)$ является величиной, противоположной $R(t)$. Можно также определить полную вероятность безотказной работы (надежность) элемента для промежутка времени длительностью t от T до $T + \Delta t$ по выражению

$$R(t) = e^{-\lambda_B t} \frac{R_n(T + \Delta t)}{R_n(t)}.$$

Общая надежность элемента может быть выражена также через общую интенсивность отказов. Если обозначить через $\lambda = \lambda_B + \lambda_n$ общую интенсивность отказов, то можно записать

$$R(t) = e^{-\lambda_B t} \frac{R_n(T + \Delta t)}{R_n(t)} = \exp \left[-\int_T^{T+t} \lambda dt \right].$$

Для небольших отрезков времени либо при приближенных расчетах можно приближенно оценить надежность, подставляя среднеарифметическое значение интенсивности износных отказов:

$$\lambda_{n \text{ ср}} = \frac{1}{2} [\lambda_n(t) + \lambda_n(T + \Delta t)],$$

тогда общая надежность определяется как

$$R(t) = \exp \{ -[\lambda_B + \lambda_{n \text{ ср}}] t \}.$$

Естественно, что при $t > M$ большее влияние будут оказывать отказы по старению, при $t < M$ — внезапные отказы.

При последовательном соединении в системе надежность системы равна произведению полных надежностей всех элементов.

При расчете надежности отдельного элемента удобно вначале построить графики надежности по видам отказов, а затем — результирующую кривую надежности (рис. 15).

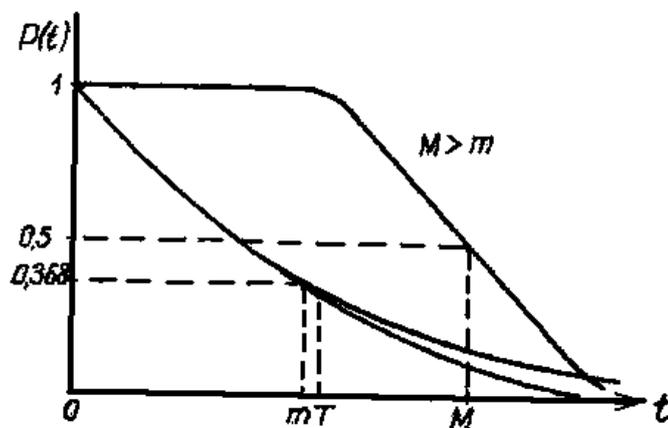
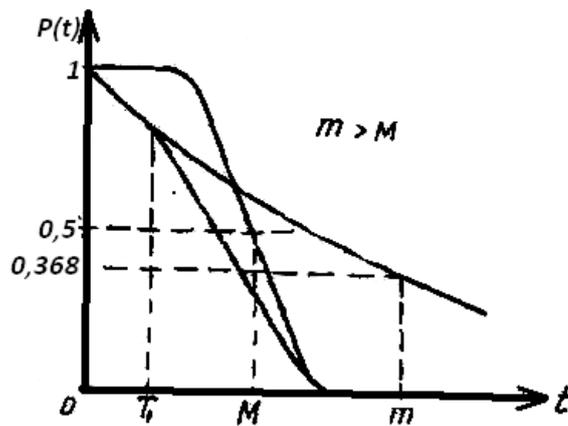


Рис. 15

8. Определение интенсивности отказов элементов в зависимости от уровня нагрузки

При рассмотрении законов распределения отказов было выяснено, что интенсивности отказов элементов могут быть либо постоянными, либо меняться в зависимости от времени эксплуатации. Для систем длительного использования, к которым относятся все транспортные системы, предусматривается профилактическое обслуживание, что практически исключает влияние износных отказов, поэтому возникают только внезапные отказы.

Это в значительной мере упрощает расчет надежности. Однако сложные системы состоят из множества элементов, соединенных различным способом. Когда система находится эксплуатации, некоторые ее элементы работают непрерывно, другие — только в определенные промежутки времени, третьи — выполняют лишь короткие операции включения или подключения. Следовательно, в течение заданного промежутка времени лишь у части элементов время работы совпадает со временем работы системы, другие же работают более короткое время.

В этом случае для расчета наработки заданной системы рассматривается только время, в течение которого элемент включен; такой подход возможен, если допустить, что в течение периодов, когда элементы не включены в работу системы, их интенсивность отказов равна нулю.

С точки зрения надежности наиболее распространена схема последовательного соединения элементов. В этом случае при расчете используется правило произведения надежностей:

$$R_c(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t_i),$$

где $R(t_i)$ — надежность i -го элемента, который включается на t_i часов из общего времени работы системы t .

Для расчетов может быть использован так называемый коэффициент занятости, равный

$$d_i = \frac{t_i}{t},$$

т. е. отношению времени работы элемента ко времени работы системы. Практический смысл этого коэффициента состоит в том, что для элемента с известной интенсивностью отказов λ_i интенсивность отказов в системе с учетом времени работы будет равна

$$\lambda = d_i \lambda_i,$$

Такой же подход может быть использован по отношению к отдельным узлам системы.

Другим фактором, который следует учитывать при анализе надежности системы, является уровень рабочей нагрузки, с которой элементы работают в системе, так как он в значительной мере определяет величину ожидаемой интенсивности отказов.

Интенсивность отказов элементов существенно меняется даже при небольших изменениях рабочей нагрузки, воздействующей на них.

В данном случае основное затруднение при расчете вызывается

многообразием факторов, определяющий как понятие прочности элемента, так и понятие нагрузки.

Прочность элемента объединяет его сопротивление механическим нагрузкам, вибрациям, давлению, ускорению и т. д. К категории прочности относятся также сопротивления тепловым нагрузкам, электрическая прочность, влагостойкость, стойкость против коррозии и ряд других свойств. Поэтому прочность не может быть выражена некоторой числовой величиной и нет единиц измерения прочности, учитывающих все эти факторы. Также многообразны проявления нагрузки. Поэтому для оценки прочности и нагрузки используются статистические методы, с помощью которых определяется наблюдаемый эффект отказа элемента во времени под действием ряда нагрузок или под действием преимущественной нагрузки.

Элементы проектируются так, чтобы они могли выдержать номинальные нагрузки. При эксплуатации элементов в условиях номинальных нагрузок наблюдается определенная закономерность интенсивности их внезапных отказов. Эта интенсивность называется номинальной интенсивностью внезапных отказов элементов, и она является исходной величиной для определения действительной интенсивности внезапных отказов реального элемента (с учетом времени работы и рабочей нагрузки).

Для реального элемента или системы в настоящее время учитываются три основных воздействия окружающей среды: механические, тепловые и рабочие нагрузки.

Влияние механических воздействий учитывается коэффициентом K_λ , величина которого определяется местом установки аппаратуры, и может быть принята равной:

<i>для лабораторий и благоустроенных помещений</i>	— 1
<i>„ стационарных наземных установок</i>	— 10
<i>„ железнодорожного подвижного состава</i>	— 30.

Номинальная интенсивность внезапных отказов, выбранная по табл. 3, должна быть увеличена в K_λ раз в зависимости от места установки аппарата в эксплуатации.

Кривые рис. 7 иллюстрируют общий характер изменения интенсивности внезапных отказов электрических и электронных элементов в зависимости от температуры нагрева и величины рабочей нагрузки.

Интенсивность внезапных отказов с увеличением рабочей нагрузки, как видно из приведенных кривых, возрастает по логарифмическому закону. Из этих кривых также видно, каким образом можно уменьшить интенсивность внезапных отказов элементов даже до величины, меньшей номинального значения. Существенное сокращение интенсивности внезапных отказов достигается в том

случае, если элементы работают при нагрузках ниже номинальных значений.

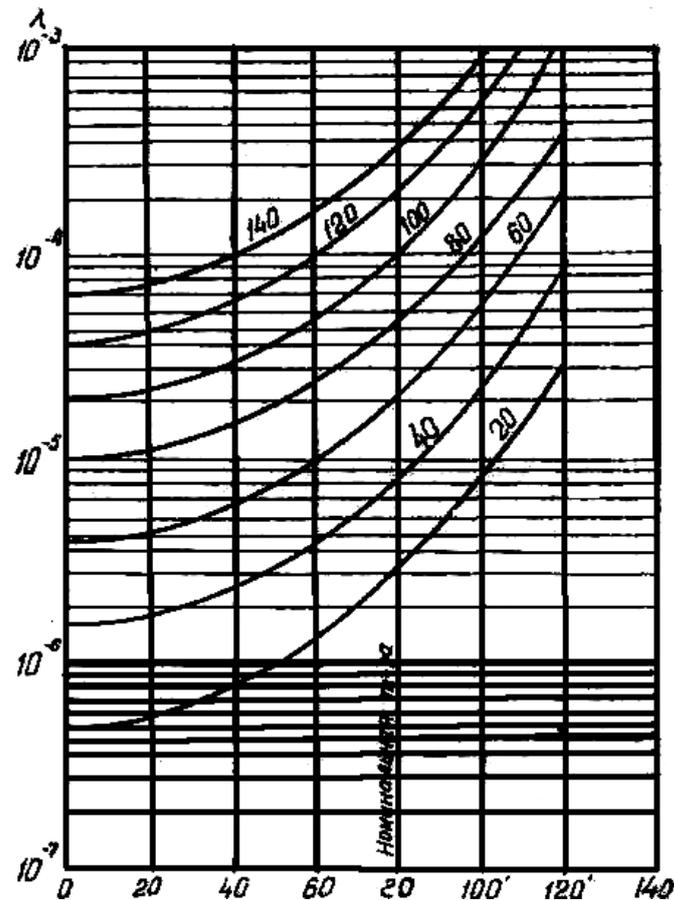


Рис. 16

Рис. 7 может быть использован при проведении ориентировочных (учебных) расчетов надежности любых электрических и электронных элементов. Номинальному режиму в этом случае соответствует температура 80°C и 100% рабочей нагрузки.

Если расчетные параметры элемента отличаются от номинальных значений, то по кривым рис. 7 может быть определено увеличение λ для выбранных параметров и получено отношение λ/λ_0 на которое и умножается величина интенсивности отказов рассматриваемого элемента.

Высокая надежность может быть заложена при проектировании элементов и систем. Для этого необходимо стремиться к уменьшению температуры элементов при работе и применять элементы с повышенными

номинальными параметрами, что равносильно снижению рабочих нагрузок.

Увеличение стоимости изготовления изделия в любом случае окупается за счет сокращения эксплуатационных расходов.

Интенсивность отказов для элементов электрических цепей в зависимости от нагрузки может быть определена так же по эмпирическим формулам. В частности, в зависимости от рабочего напряжения и температуры

$$\lambda_2 = \lambda_1 \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^n \cdot K^{(t_2 - t_1)},$$

где

λ_1 — табличное значение при номинальном напряжении U_1 и температуре t_1 .

λ_2 — интенсивность отказов при рабочем напряжении U_2 и температуре t_2 .

Предполагается, что механические воздействия остаются на прежнем уровне. В зависимости от вида и типа элементов значение n , меняется от 4 до 10, а значение K в пределах $1,02 \div 1,15$.

При определении реальной интенсивности отказов элементов необходимо хорошо представлять величину ожидаемых уровней нагрузок, при которых элементы будут работать, рассчитать величины электрических и тепловых параметров с учетом переходных режимов. Правильное выявление нагрузок, воздействующих на отдельные элементы, приводит к значительному повышению точности расчета надежности.

При расчете надежности с учетом износных отказов необходимо также учитывать условие эксплуатации. Значения долговечности M , приведенные в табл. 3, так же как и λ относятся к номинальному режиму нагрузки и лабораторным условиям. Все элементы, работающие в других условиях, имеют долговечность, отличающуюся от той на величину K_{Π} . Величина K_{Π} может быть принята равной:

для лаборатории	— 1,0
„ наземных установок	— 0,3
„ железнодорожного подвижного состава	— 0,17

Небольшие колебания коэффициента K_{Π} возможны для аппаратуры различного назначения.

Для определения ожидаемой долговечности M необходимо

среднюю (номинальную) долговечность, определенную по таблице, умножить на коэффициент K_{II} .

При отсутствии материалов, необходимых для определения интенсивности отказов в зависимости от уровней нагрузки, может быть использован коэффициентный метод расчета интенсивности отказов.

Сущность коэффициентного метода расчета сводится к тому, что при расчете критериев надежности аппаратуры используются коэффициенты, связывающие интенсивность отказов элементов различных типов с интенсивностью отказов элемента, характеристики надежности которого достоверно известны.

Предполагается, что справедлив экспоненциальный закон надежности, а интенсивности отказов элементов всех типов изменяются в зависимости от условий эксплуатации в одинаковой степени. Последнее допущение означает, что при различных условиях эксплуатации справедливо соотношение

$$\frac{\lambda_i}{\lambda_0} = K_i = \text{const},$$

где

λ_0 — интенсивность отказов элемента, количественные характеристики которого известны;

K_i — коэффициент надежности i -го элемента. Элемент с интенсивностью отказов λ_0 называется основным элементом расчета системы. При вычислении коэффициентов K_i за основной элемент расчета системы принимается проволочное_нерегулируемое сопротивление. В данном случае для расчета надежности системы не требуется знать интенсивность отказа элементов всех типов. Достаточно знать лишь коэффициенты надежности K_i , число элементов в схеме и интенсивность отказов основного элемента расчета λ_0 . Так как K_i имеет разброс значений, то надежность проверяется как для K_{\min} , так и для K_{\max} . Значения K_i , определенные на основании анализа данных по интенсивностям отказов, для аппаратуры различного назначения приведены в табл. 5.

Таблица 5

Элементы	K_i		Элементы	K_i	
	min	max		min	max
Электровакуумные приборы	18,3	26,6	Электродвигатели	17,0	22,0
Сопротивления	1,0	1,0	Полупроводниковые диоды	11,7	15,4
Конденсаторы	0,33	0,61	Полупроводниковые триоды	12,5	16,2
Трансформаторы	1,3	3,0	Штепсельные розетки	10,7	15,3
Дроссели, катушки индуктивности	1,0	2,0	Потенциометры	7,2	12
Реле электромеханические	3,3	5,5	Селеновые и купроксные выпрямители	16,7	20

Интенсивность отказов основного элемента расчета (в данном случае сопротивления) следует определять как средневзвешенное значение интенсивностей отказов сопротивлений, применяемых в проектируемой системе, т. е.

$$\lambda_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_{R_i} N_R}{m},$$

где

λ_{R_i} и N_R — интенсивность отказов и количество сопротивлений i -го типа и номинала;

m — число типов и номиналов сопротивлений.

Построение результирующей зависимости надежности системы от времени эксплуатации желательно производить как для значений K_{\min} , так и для K_{\max} .

Располагая сведениями о надежности отдельных элементов, входящих в систему, можно дать общую оценку надежности системы и определить блоки и узлы, требующие дальнейшей доработки. Для этого исследуемая система разбивается на узлы по конструктивному либо смысловому признаку (составляется структурная схема). Для

каждого выбранного узла определяется надежность (узлы, имеющие меньшую надежность требуют доработки и усовершенствования в первую очередь).

При сравнении надежности узлов, а тем более различных вариантов систем, следует помнить, что абсолютная величина надежности не отражает поведения системы в эксплуатации и ее эффективности. Одна и та же величина надежности системы может быть достигнута в одном случае за счет основных элементов, ремонт и смена которых требует значительного времени и больших материальных затрат (для электровоза—отстранение от поездной работы), в другом случае это мелкие элементы, смена которых производится обслуживающим персоналом без отстранения машины от работы. Поэтому для сравнительного анализа проектируемых систем рекомендуется сравнивать надежности элементов, аналогичных по своему значению и последствиям, возникающим в результате их отказов.

При ориентировочных расчетах надежности можно пользоваться данными опыта эксплуатации аналогичных систем, что в какой-то мере учитывает условия эксплуатации. Расчет в этом случае может осуществляться двумя путями: по среднему уровню надежности однотипной аппаратуры или по коэффициенту пересчета к реальным условиям эксплуатации.

В основе расчета по среднему уровню надежности лежит предположение, что λ проектируемой аппаратуры и эксплуатируемого образца равны. Это можно допустить при одинаковых элементах, аналогичных системах и одинаковом соотношении элементов в системе.

Сущность метода состоит в том, что

$$\lambda_{\text{ср}} = \frac{1}{N_a T_{oa}} = \frac{1}{N_{II} T_{oII}}$$

Здесь

N_a и T_{oa} — число элементов и наработка на отказ аппаратуры — образца;

N_{II} и T_{oII} — то же проектируемой аппаратуры. Из данного соотношения легко определить наработку на отказ для проектируемой аппаратуры:

$$T_{оп} = \frac{N_a}{N_{п}} T_{оа}$$

Достоинство метода — простота. Недостатки — отсутствие, как правило, образца эксплуатируемой аппаратуры, пригодного для сравнения с проектируемым устройством.

В основе расчета по второму способу лежит определение коэффициента пересчета, учитывающего условия эксплуатации аналогичной аппаратуры. Для его определения выбирается аналогичная система, эксплуатируемая в заданных условиях. Остальные требования могут не соблюдаться. Для выбранной эксплуатируемой системы определяются показатели надежности с использованием данных табл. 3, отдельно определяются те же показатели по эксплуатационным данным.

Коэффициент пересчета определяется как отношение

$$K_3 = \frac{T_{оэ}}{T_{оа}};$$

$T_{оэ}$ — наработка на отказ по данным эксплуатации;

$T_{оа}$ — наработка на отказ по расчету.

Для проектируемой аппаратуры расчет показателей надежности производится с использованием тех же табличных данных, что и для эксплуатируемой системы. После чего полученные результаты умножаются на K_3 .

Коэффициент K_3 учитывает реальные условия эксплуатации, — профилактические ремонты и их качество, замены деталей между ремонтами, квалификацию обслуживающего персонала, состояние оборудования депо и т. д., чего нельзя предусмотреть при других способах расчета. Значения K_3 могут быть и больше единицы.

Любой из рассмотренных методов расчета может быть произведен на заданную надежность, т. е. методом от противного — от надежности системы и наработки на отказ к выбору показателей составляющих элементов.

9. Пример расчета надежности тяевого электродвигателя

электровоза.

Для расчета надежности выбираем систему возбуждения тэд электровоза .

Расчет системы может быть произведен приближенно и полно. Для приближенного расчета достаточно знать количество элементов N_{Σ} и их интенсивности отказов λ . Для полного расчета необходимо располагать данными о режимах, времени работы и величинах внешних воздействий. При приближенном расчете простейшим способом является использование экспоненциального закона.

Под безотказной работой системы подразумеваем отсутствие внезапных и износowych отказов элементов. Считаем, что отказы случайны и взаимно независимы; поскольку тепловоз регулярно проходит профилактические ремонты, считаем, что износowe отказы отсутствуют.

По схеме электрических соединений электровоза составляем логическую структурную схему, а на основании ее — принципиальную расчетную схему (рис. 8). На расчетной схеме приняты следующие обозначения, которые объединяют ряд элементов и блоков системы:

РН — регулятор напряжения;

ВГ — вспомогательный генератор;

СВ — синхронный возбудитель, три регулируемых сопротивления в цепи *СВ* а контакты *РУ8* и *РУ10*;

АТВ — автотрансформатор;

АМ — амплистат;

РМ — регулятор мощности, три регулируемых сопротивления и один контакт;

ТГ — тахогенератор и его регулируемое сопротивление;

ГПИ, ТПТ - трансформаторы постоянного напряжения и тока и четыре регулируемых сопротивления;

БВ — блок выпрямителей (13 силовых диодов и 12 слаботочных);

ОВГ — независимая обмотка возбуждения главного генератора, нерегулируемое сопротивление и контакторы *КУ* и *КВ*;

ТР — раздаточный трансформатор;

ТК — трансформатор коррекции.

Соединение элементов в расчетной схеме может рассматриваться как последовательное, поэтому надежность системы определяется произведением надежностей входящих в нее элементов, т. е.

$$R_c(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots \cdot R_n(t).$$

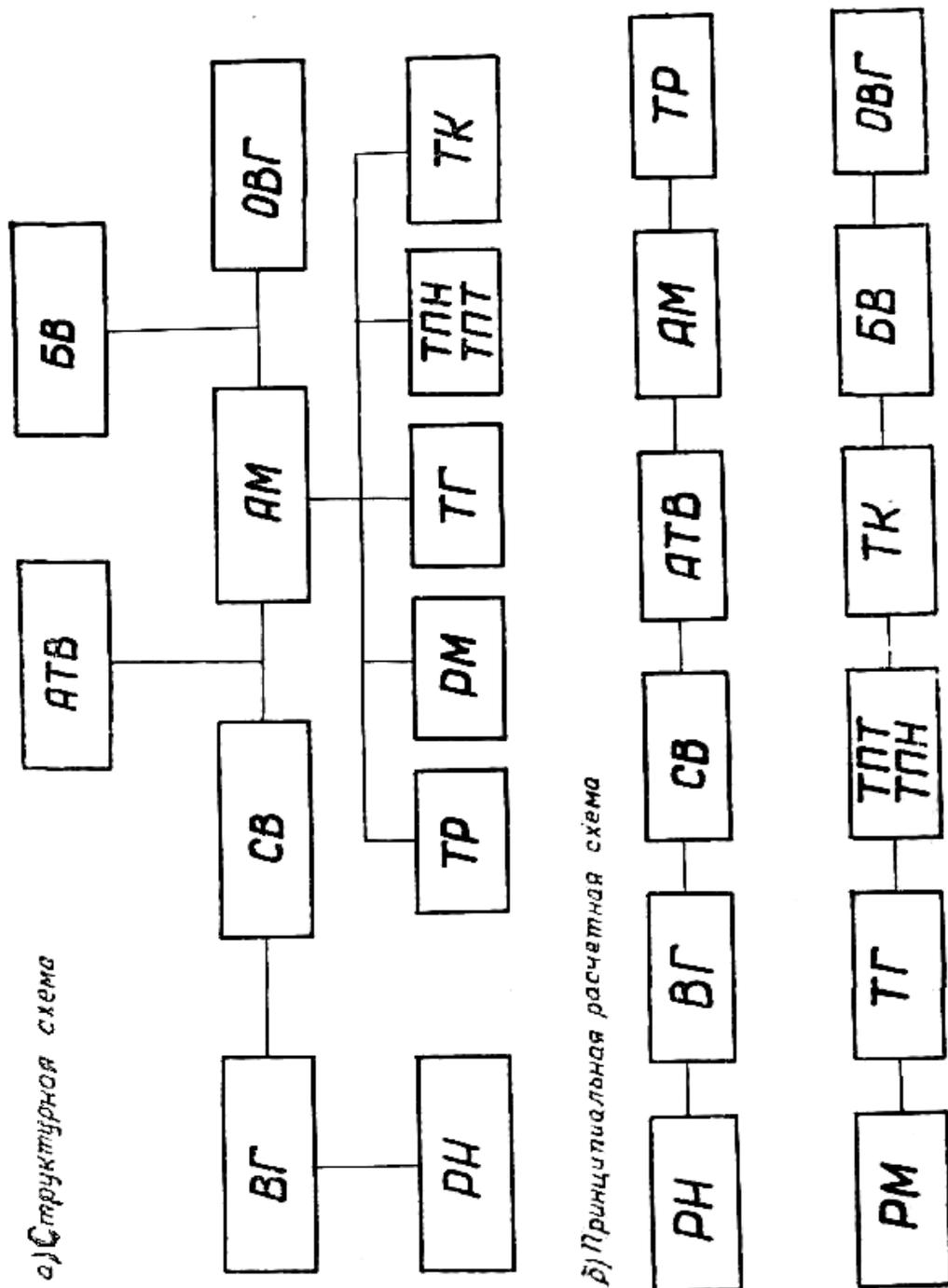


Рис. 17

Считаем, что однотипные элементы, входящие в систему, имеют один и тот же «возраст» и равнонадежны. Расчет надежности по этому уравнению при принятых допущениях называется расчетом по

среднегрупповым интенсивностям отказов.

При расчете надежности системы возбуждения интенсивность отказов отдельных элементов взята из табл. 3. Данные расчета f_c для системы сведены в табл. 6.

Интенсивность отказов λ , приведенная в табл. 3, соответствует лабораторным условиям. Ожидаемую истинную частоту отказов определяют с учетом места работы (подвижной состав) и возможных перегрузок (перегревов). Для этого табличную частоту отказов нужно умножить на $K\lambda = 30$ и на 1,5, учитывая возможные перегрузки и перегревы:

$$\Sigma N_s \lambda = 27,84 \cdot 10^{-6} \cdot 30 \cdot 1,5 = 12,5 \cdot 10^{-4} \text{ 1/ч.}$$

Таблица 6

Наименование элементов	Количество элементов N_s	λ	$N_s \lambda$
Обмотки электрических машин	4	0,03	0,12
Катушки аппаратов высокого напряжения	1	0,4	0,4
Катушки индуктивности	13	0,02	0,26
соленоидные	6	0,04	0,24
настроечные	5	0,15	0,75
Коллекторы электрических машин	3	2,9	8,7
Щетки электрических машин	4	0,1	0,4
Диоды германиевые			
силовые	13	0,6	7,8
слаботочные	12	0,3	3,60
Сопротивления регулируемые	18	0,06	1,87
нерегулируемые	1	0,087	0,087
Предохранители	4	0,5	2,0
Контакты	8	0,3	2,4

$$\Sigma N_s \lambda = 27,84$$

Примечание. Для получения λ в $1/ч$ все значения умножить на 10^{-6} .

Располагая этими данными, можно определить ожидаемое время безотказной работы:

$$T = \frac{1}{12,5 \cdot 10^{-4}} = 800 \text{ ч.}$$

Полученные результаты позволяют построить кривую вероятности безотказной работы системы в функции времени.

При расчете принимаем экспоненциальный закон распределения отказов, поэтому пользуемся расчетным уравнением

$$R(t) = e^{-\lambda t}.$$

Результаты расчета $R(t)$ сведены в табл. 7.

Таблица 7

$T_{\text{час}}$	$R(t) = e^{-\lambda t}$	
	λt	$e^{-\lambda t}$
0	0,00	1,00
100	0,08	0,923
200	0,16	0,852
300	0,24	0,786
400	0,32	0,726
500	0,40	0,670
600	0,48	0,618
700	0,56	0,571
800	0,64	0,527
900	0,72	0,486
1000	0,80	0,449

На основании табл. 7 строится кривая надежности $R(t)$, которая показана на рис. 18.

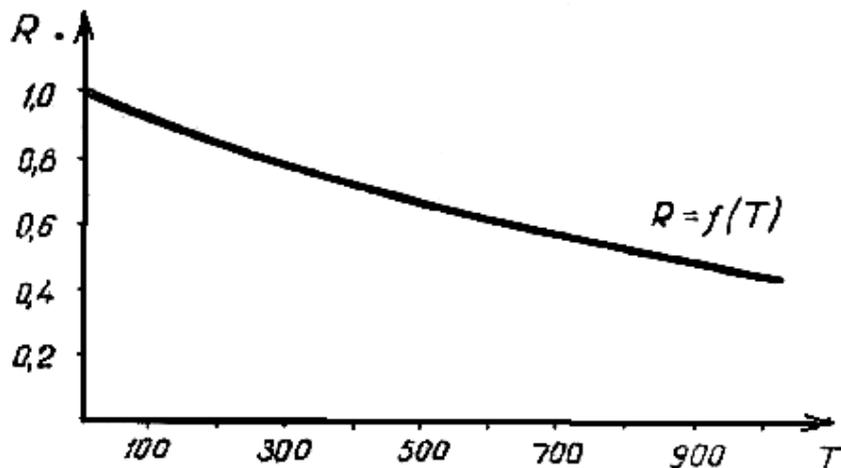


Рис. 18

Мероприятия по обеспечению необходимого уровня надежности должны осуществляться как в процессе создания (проектирования и постройки), так и в процессе использования локомотивов (в период эксплуатации и ремонта).

Требуемый уровень надежности электро подвижного состава должен обеспечиваться в период их создания путем соответствующего выполнения качества всех работ, связанных с проектированием и постройкой машин. Имеется много различных способов повышения надежности локомотивов в процессе проектирования, среди которых в первую очередь можно назвать проектирование узлов, агрегатов и деталей с заданной долговечностью с учетом данных о надежности собранных в реальной эксплуатации существующих типов локомотивов.

К числу наиболее эффективных приемов, применяемых конструкторами и технологами для решения этой задачи, относятся:

- внедрение прогрессивных машиностроительных материалов;
- обеспечение условий равнопрочности деталей и частей конструкции;

- создание конструкций с регулируемыми и быстросъемными изнашиваемыми элементами;

- широкое использование упрочняющих и отделочных технологических методов, в частности, термической, термохимической и термомеханической обработки, гальванических покрытий, металлизации распылением, дробеструйной обдувки, накатки и т. д.;

дифференцируемый учет условий, в которых будет работать ремонтной электровоз;

— создание узлов и элементов с повышенными номинальными нагрузками.

Другим важнейшим направлением отработки локомотивов является обеспечение их ремонтной технологичности. Объемы ремонтных работ должны быть минимальными, а межремонтные пробеги максимальными. Ремонт необходимо свести к быстрой замене легко доступных деталей, при котором сама замена будет выполняться без трудоемких и длительных разборочно-сборочных, пригоночных и других слесарных операций.

Для обеспечения этого условия основным моментом является анализ фактических сроков службы всех основных конструктивных элементов — узлов и деталей электровоза, особенно тех, которые непосредственно влияют на его надежность. Необходимо использовать все средства конструктивного и технологического упрочнения для продления сроков службы лимитирующих узлов и деталей. При этом следует добиваться экономически целесообразной унификации этих средств на основе их равенства или кратности.

Унификация сроков службы должна позволить распределять все смежные детали по минимально возможному количеству отдельных групп (наборов) узлов и деталей, заменяемых или ремонтируемых на определенных плановых ремонтах.

Необходимым условием обеспечения соответствующего уровня надежности локомотивов в процессе их проектирования и изготовления является развитие и улучшение оснащения экспериментальных работ. Особого внимания требует этап создания, исследования и доводки опытных образцов локомотивов, а также их отдельных агрегатов, ответственных узлов и деталей. Слабость экспериментальной базы отрицательно сказывается на качестве продукции.

Работы по выверке и доводке узлов локомотивов необходимо проводить в наиболее ранние этапы его освоения, обязательно до стадии развернутого выпуска и начала массовой эксплуатации.

Как показала практика, экономически выгоднее внести дополнительные затраты при проектировании и создании локомотивов повышенной надежности, чем устранять неисправности, возникающие в эксплуатации.

В настоящее время конструкторы имеют значительный статистический материал по отказам узлов и деталей локомотивов в эксплуатации. Результаты анализа надежности узлов локомотивов на основании данных эксплуатации могут быть успешно использованы при создании новых машин. Чем полнее и достовернее статистический материал по надежности, тем больше возможностей создать более надежную конструкцию нового узла и локомотива в целом.

Научная дисциплина - диагностика локомотивов - базируется на ряде понятий и определений, установленных государственными стандартами.

Несмотря на то, что технической диагностике посвящено большое число работ и исследований (6-16), всё ещё допускается неоднозначность используемых терминов и толкований. В данном учебном пособии приняты следующие основные понятия.

Диагностика - наука о методах, средствах, технологии диагностирования.

Диагностирование - процесс установления диагноза с определенной точностью с указанием места, вида и причины дефекта.

Метод диагностирования - статистический или инструментальный, основанный на физических, механических, химических и других явлениях, положенных в основу информации о состоянии объекта.

Средства диагностирования - измерительные приборы, пульты, стенды и другие устройства.

Технология диагностирования - последовательность и способы применения методов и средств диагностирования.

Система технического диагностирования - совокупность объектов, методов и средств, а также исполнителей, позволяющая осуществить диагностирование по правилам, установленным соответствующей документацией. Она должна быть обязательной составной частью системы планово - предупредительного ремонта подвижного состава железных дорог.

Системы технического диагностирования предназначены для решения следующих задач:

- проверки исправности;
- проверки работоспособности;
- проверки правильного функционирования;
- поиска дефектов.

Устанавливаются следующие области применения систем диагностирования локомотивов:

- при испытании и наладке локомотивов в процессе производства;
- при техническом обслуживании в процессе эксплуатации;
- при ремонте тепловозов и электровозов.

Выбор вида системы диагностирования должен осуществляться на основании технико-экономических расчётов и технических требований, отражающих специфику процесса диагностирования локомотивов в процессе производства, эксплуатации и ремонта.

В основу организации ремонта локомотивов положен принцип планово-предупредительного выполнения работ. Совершенствование системы ремонта предполагает научное обоснование объёмов,

периодичности, пробегов между ремонтами, закономерностей развития постепенных и внезапных отказов оборудования. Накопление знаний о причинах отказов, методах объективного контроля за состоянием деталей и сборочных единиц, гарантирующего их безотказную работу на определенный срок службы, неизбежно приведёт к качественному изменению системы ремонта, целесообразному сочетанию принципов планово-предупредительного ремонта, определяющего плановые начала организации ремонта, с ремонтом по фактическому состоянию. Внедрение методов ремонта по фактическому состоянию связано с усовершенствованием методики и созданием средств технической диагностики.

Практикой определены следующие виды технической диагностики локомотивов:

- по назначению - техническая диагностика может быть специализированной и совмещенной с плановыми обслуживаниями и ремонтами (имеется в виду проведение отдельных обследований и комплексная оценка состояния при плановых ремонтах);

- по технологическому оборудованию - диагноз проводится специализированными устройствами или основными приборами;

- по режиму проведения - плановая диагностика и по потребности;

- по месту в системе технического обслуживания - на поточной линии комплексной технической диагностики при определении состояния или заключительная проверка после выполненного ремонта;

- по типу применяемых средств диагностирования - на стационарных пунктах, с помощью бортовых систем, с помощью переносных или передвижных средств.

Для получения информации о состоянии той или иной части элементов или протекающих процессах может изучаться любая часть этих элементов. Так тепловоз имеет несколько параметров, характеризующих качество его функционирования. Такими параметрами в первую очередь являются мощность при установленной частоте вращения коленчатого вала и экономичность. Поэтому диагностирование тепловоза следует начинать с контроля именно этих функциональных параметров. В случае отклонения функционального параметра от нормальных значений необходимо проконтролировать функциональные параметры его подсистем и оценить их техническое состояние.

Однако разработка методов и средств ТДЛ локомотивов и технология применения этих средств при ремонте и техническом обслуживании локомотивов является только частью большой проблемы организации технического диагностирования локомотивов. Структурная схема, отражающая основные элементы организации ТДЛ, приведена на рис. 1.1.

Эксплуатационные показатели работы железных дорог тесно

связаны с качеством электрического подвижного состава.

Например, качество электровоза, как совокупность свойств, обуславливающих его способность удовлетворять потребности народного хозяйства в перевозках на железнодорожном транспорте, характеризуется в свою очередь такими важным свойством как мощность, (рис.2.1 и 2.2).

На рис. 2.1 представлено блочное изображение качества электровоза при изготовлении – K_T , время эксплуатации $t=0$, т.е. электровоз после изготовления (постройки) ещё не работал. Качество электровоза K_T в этом случае определяется состоянием сборочных единиц и деталей в момент выпуска электровоза с завода-изготовителя. Мощность, топливная экономичность определяются измерением. Надёжность, эффективность и экономический эффект - методом прогнозирования.

На рис. 2.2 дано блочное изображение качества электровоза в момент времени, определяемое техническим состоянием его сборочных единиц и деталей в момент времени t_1 , (после определённого пробега или периода эксплуатации). В этом случае мощность Net_4 и топливная экономичность могут быть определены измерительными приборами, эффективность и экономический эффект от момента начала эксплуатации электровоза до момента времени t_1 - рассчитаны по фактическим данным, а от момента времени t_1 - до исключения из инвентаря T_{cl} - на основании методов прогнозирования.

Значения всех показателей могут быть определены (измерены, рассчитаны, прогнозированы) на первый год эксплуатации, на весь срок службы, на любой год эксплуатации в пределах срока службы и в среднем на год эксплуатации за период использования.

При изготовлении электровоза (рис. 2.1) может быть два варианта: вариант А - бортовые (встроенные) средства технического диагностирования установлены на электровоз; вариант Б - бортовые (встроенные) средства технического диагностирования на электровозе не установлены.



Рис. 1.1. Структурная схема организации ТДИ

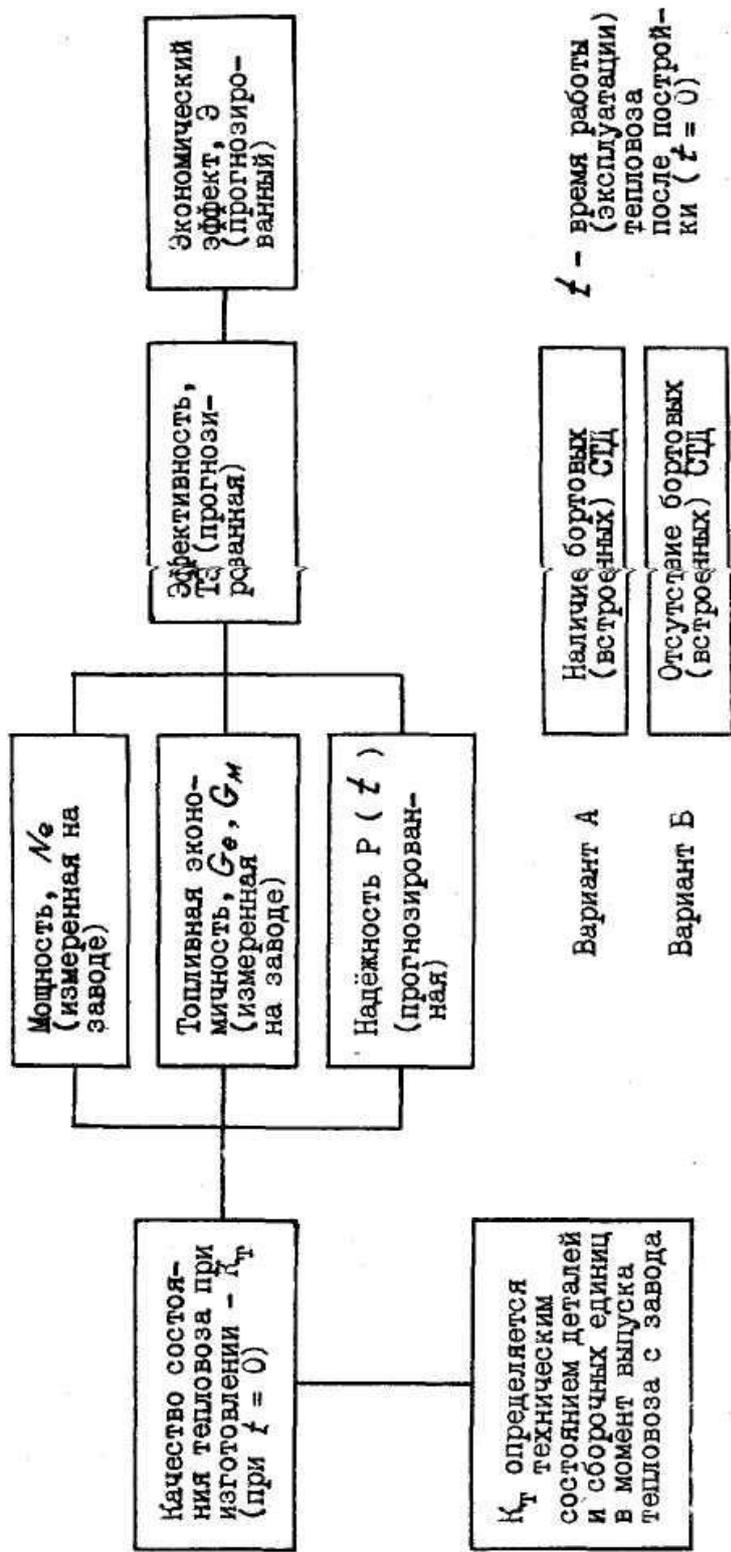


Рис. 2.1. Качество (мощность, топливная экономичность, надёжность), эффективность, экономический эффект к моменту выпуска тепловоза с завода-изготовителя (при $t = 0$)

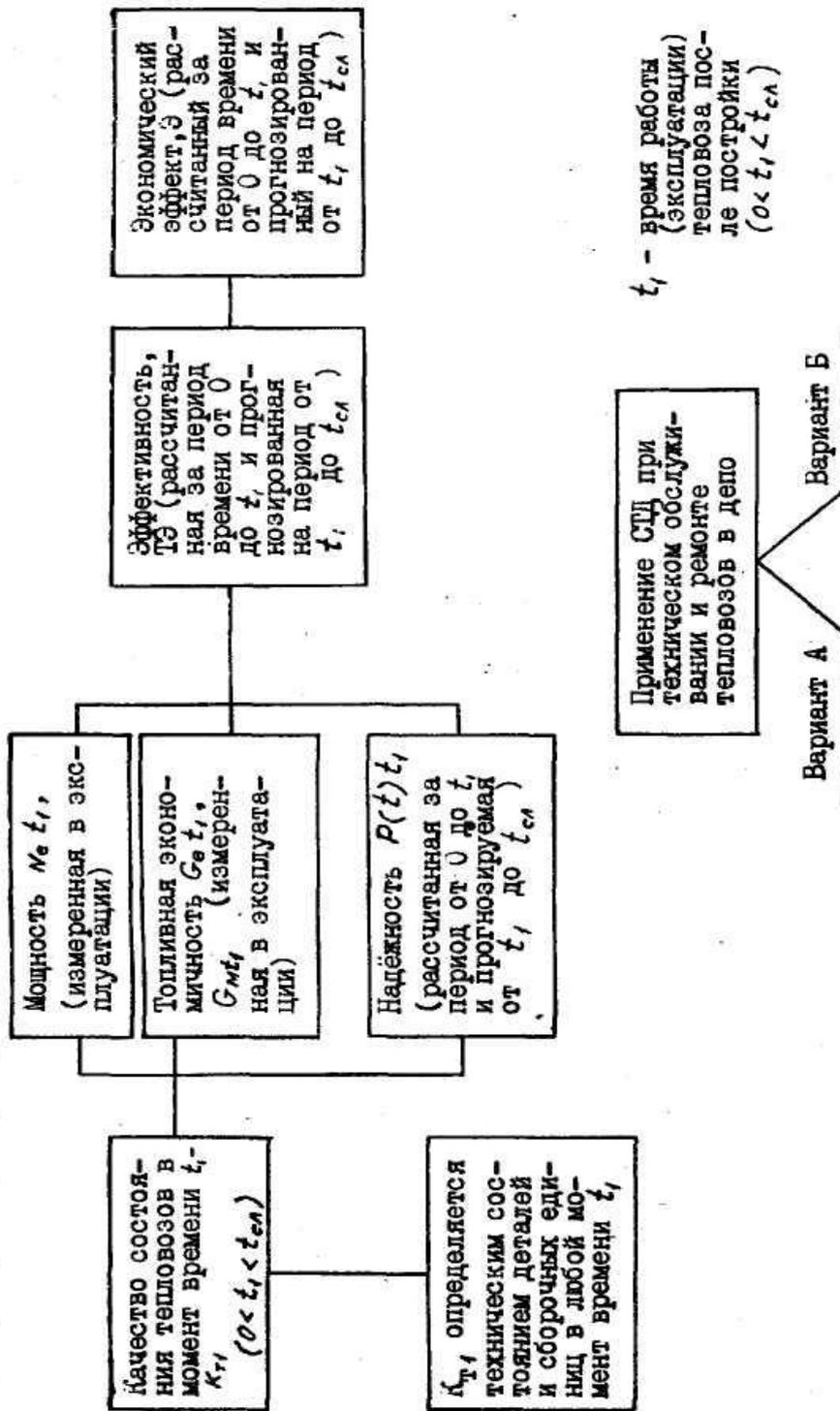


Рис. 2.2. Качество (мощность, топливная экономичность, надёжность),
эффективность, экономический эффект к моменту времени t_1

В процессе эксплуатации электровоза (рис. 2.2) применение технического диагностирования при техническом обслуживании и ремонте электровозов в депо осуществляется с учётом наличия или отсутствия бортовых диагностических устройств.

Качество тягового подвижного состава (ПС) оказывает существенное влияние на уровень пропускной и провозной способности железнодорожных линий, показатели использования подвижного состава, фондоотдачу, себестоимость перевозок и производительность труда. Важными показателями качества тягового подвижного состава являются мощность, коэффициент полезного действия, надёжность, а также другие показатели технического уровня. Но самые совершенные начальные характеристики ПС - это необходимое, но ещё недостаточное условие его высокого качества. Начальные характеристики, номинальные параметры ПС показывают его технические возможности. Эти возможности могут быть определены и реализованы лишь в процессе использования. Следовательно, ПС должен иметь не только высокие начальные характеристики, но и обладать способностью сохранять эти характеристики в течение всего периода эксплуатации /4/.

С течением времени эксплуатации параметры качества изменяются и могут достигнуть критических значений, при которых состояние ПС считается неудовлетворительным. Событие, состоящее в нежелательном изменении параметра качества, в переходе из удовлетворительного (работоспособного) в неудовлетворительное (неисправное) состояние, принято называть отказом /20/.

Методы технической диагностики электровозов должны предусматривать в первую очередь определение основных выходных параметров, характеризующих работоспособность двигателя (таких, как мощность, расходы топлива и масла, ресурсы), а затем в случае их несоответствия установленным требованиям, параметров, характеризующих работу деталей цилиндро-поршневой группы и систем двигателя /4/.

Степень отклонения параметров свидетельствует об уровне изменений процессов, происходящих в двигателе. Но для каждого параметра существует поле допуска, обусловленное точностью измерений и допустимыми отклонениями, в пределах которых считается, что локомотив находится в исправном состоянии.

Одна из наиболее существенных составляющих частей качества - надёжность, которая представляет собой свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах

и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования

Надёжность является сложным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения состоит из сочетаний свойств: безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

Надёжность зависит от качества создания (изготовления) и условий, в которых происходит использование локомотивов (эксплуатация, техническое обслуживание, ремонт, транспортировка, хранение).

Качество эксплуатации - это совокупность свойств процесса эксплуатации, от которых зависит соответствие этого процесса установленным заводом-изготовителем требованиям. Оно зависит от климатических и погодных условий, плана и профиля пути, массы и длины поездов, вида работы (грузовое, пассажирское движение, маневры и т.д.), квалификации локомотивных бригад и их отношения к исполнению своих обязанностей, качества топлива, масла, воды и т.д. /21/.

Качество технического обслуживания и ремонта зависит от состояния локомотивного парка (в частности, его возраста и времени эксплуатации от последнего капитального ремонта), а также от укомплектованности штата и квалификации ремонтных рабочих (их отношения к порученной работе). Немаловажное значение для обеспечения надлежащего качества технического обслуживания и ремонта имеет наличие в локомотивных депо соответствующего оборудования, в том числе и для технического диагностирования локомотивов. Повышение надёжности локомотивов, как одного из важнейших факторов интенсификации производства имеет большее значение для улучшения работы железнодорожного транспорта /22/.

Повышение уровня надёжности локомотивов даёт возможность снизить потребность в них на железных дорогах. Это позволяет определенное время не увеличивать их поставки и тем же количеством локомотивов приписного парка выполнять больший объём работы.

В результате повышения надёжности деталей и узлов электровозов и электровозов представляется возможность увеличить сроки между плановыми техническими осмотрами и ремонтами, сократить объёмы ремонтных работ, снизить затраты трудовых и материальных ресурсов.

Повышение уровня надёжности локомотивов позволяет сократить число порч их на линии и заходов на неплановые ремонты, уменьшить время простоев поездов из-за отказов по вине работников локомотивного хозяйства, повысить скорость движения поездов.

Последнее способствует ускорению доставки грузов и экономии оборотных средств народного хозяйства.

Повышение уровня надёжности локомотивов оказывает положительное влияние на увеличение пропускной способности и тем

самым в ряде случаев позволяет отложить на некоторое время капитальные вложения на усиление мощности линий.

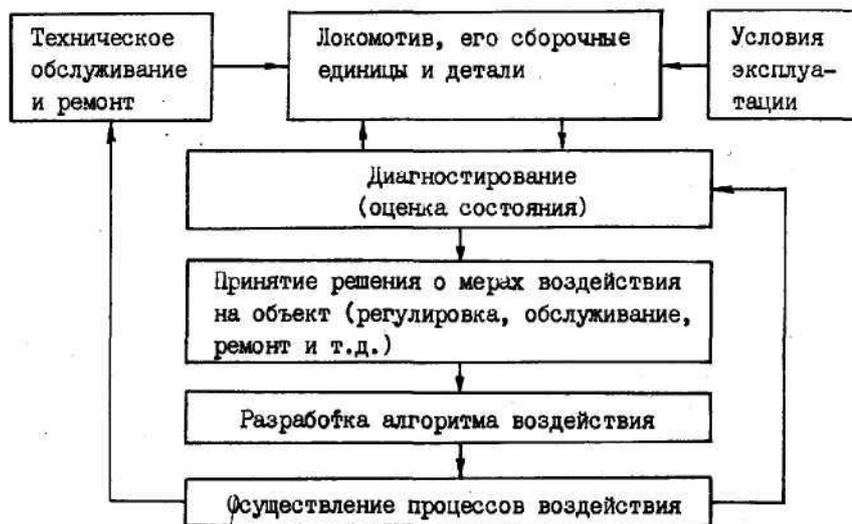
Сокращение потребности в локомотивах, увеличение сроков между плановыми техническими осмотрами и ремонтами, уменьшение числа порч локомотивов в пути и неплановых ремонтов, рост пропускной способности в результате повышения их надёжности позволяет улучшить использование основных фондов железных дорог.

В локомотивных депо сети железных дорог страны уже достигнуты определенные положительные результаты в области создания и внедрения практических методов и эффективных средств технического диагностирования локомотивов.

Во ВНИЖТе, ВНИТИ, в других организациях и вузах ведутся работы по созданию автоматизированных систем технического диагностирования локомотивов (АСЦТД). Серийное производство универсальных технических средств диагностирования создаст условия для широкого внедрения их в локомотивных депо при эксплуатации, обслуживании и ремонте тепловозов и электровозов. Это позволит улучшить техническое состояние локомотивного парка и повысить его надёжность, сократить трудоёмкость работ по техническому обслуживанию и ремонту тепловозов и электровозов, получить экономию материалов и запчастей, а также топливно-энергетических ресурсов.

10. Диагностирование электровозов в системе их технического обслуживания и ремонта

На рис. 3.1. представлена структурная схема формирования процессов диагностирования и технического обслуживания и ремонта локомотивов. Как видно объект диагностирования - электровоз находится с одной стороны под разрушающим воздействием условия эксплуатации, а с другой стороны под восстанавливающим воздействием технического обслуживания и ремонта. Поэтому техническое состояние электровоза может постоянно меняться и характеризуется законами изменения параметров технического состояния и диагностических параметров, а также законами распределения показателя надёжности его сборочных единиц и деталей в функции от времени или пробега. Экономические показатели характеризуются затратами трудовых, материальных, топливно-энергетических и финансовых ресурсов на диагностирование, обслуживание и ремонт. В связи с тем, что процессы формирования системы диагностирования, технического обслуживания и ремонта локомотивов связаны в единый комплекс, методически удобно рассматривать его не только с точки зрения физических характеристик, но и как математические модели описания их изменений в процессе эксплуатации электровозов.



3.1. Схема формирования процессов диагностирования, технологического обслуживания и ремонта локомотива

Разработка и создание системы технического диагностирования базируется на изучении объекта (узла или детали электровоза). Их возможных отказов, признаков этих отказов и включает в себя построение и анализ математических моделей, математическая модель объекта диагностирования представляет формальное описание объекта в исправном состоянии в виде детерминированных или вероятностных зависимостей воздействиями на объект и его реакциями на эти воздействия.

При построении математических моделей принято обозначать символом X_m - мерный вектор, компонентами которого являются значения переменных величин на входе объекта, характеризующих воспринимаемые им воздействия x_1, x_2, \dots, x_m .

Аналогично обозначают Y_n - мерный вектор n параметров технического состояния или иначе внутренних структурных параметров Y_1, Y_2, \dots, Y_n , а Z обозначают z - мерный вектор значения z диагностических параметров на выходе объекта или иначе выходных функций Z_1, Z_2, \dots, Z_z на, ..., n .

Запись
$$Z = \Psi (X, Y_{нач}, t) \quad (3.1)$$

может обозначать аналитическую, векторную, табличную или другую форму представления системы передаточных функций исправного объекта

диагностирования, отражающих зависимость реализуемых выходных функций Z от входных переменных X , начального значения $U_{нач}$ внутренних переменных и времени (наработки) t .

Система (3.1) является математической моделью исправного объекта. Можно выделить для рассмотрения конечное множество 3 возможных неисправностей объекта. При наличии в объекте неисправности

$SiCS$, $i=1,2,\dots$, / S / говорят, что он находится в i -неисправном состоянии или является i -неисправным. Объект, находящийся в i -неисправном состоянии, реализует систему передаточных функций

$$z_i = \psi_i(x, u_{нач}, t), \quad (3.2)$$

представленных в той же форме, что и передаточные функции (3.1). Система (3.2) для фиксированного i является математической моделью i -неисправного объекта.

Система (3.1) и совокупность систем (3.2) для всех $SiCS$ образует модель объекта диагностирования. Часто в явном виде задаётся только модель исправного объекта, т.е. зависимость (3.1), а поведение объекта в i -неисправных состояниях задаётся косвенно, через множество S возможных неисправностей (неявная модель объекта).

Показатели динамики изменения параметров деталей и сборочных единиц локомотивов в эксплуатации находят по результатам измерений и статистической обработки полученных данных. Отклонение значения структурного параметра (параметра состояния объекта) от номинала выражается случайной функцией:

$$s(t) = v_c t^\alpha + b_1 + z_1, \quad (3.3)$$

где

v_c - показатель случайной скорости отклонения параметра при наработке $t=1$, уменьшенной в L - раз (ед. параметра/ед. наработки);

t - наработка (ч, км, ткм и т.д.);

α - показатель степени, характеризующий кривизну реализаций на всём диапазоне их измерения;

b_1 - показатель приработки детали (в ед. параметра);

Z_1 - стационарная случайная функция отклонения параметра с нулевым математическим ожиданием (в ед. параметра).

При выборе диагностических параметров деталей и сборочных единиц локомотивов в результате анализа статистических рядов значений структурных и диагностических параметров находят по каждому структурному параметру функцию его математического ожидания

$$n = f(\pi_{ji}) (j = 1, 2, \dots, k), \quad (3.4)$$

Где

- величины структурного и j -го диагностического параметров.

Затем с помощью критерия тесноты связи - коэффициента z устанавливают корреляционную зависимость между j -м диагностическим параметром и структурным. Диагностические параметры, для которых z мал, исключают. Для остальных рассчитывают значения обобщающего показателя связи:

$$p = \frac{\bar{z}}{\partial f / \partial \pi_{ji}} (j = 1, 2, \dots, l), \quad (3.5)$$

где

$\partial f / \partial \pi_{ji}$

- частная производная функция в точке, ордината которой равна допусжаемому значению параметра;

l - число оставшихся исследуемых диагностических параметров.

Большие значения обобщающего показателя служат в пользу выбора данного диагностического параметра.

На железных дорогах действует планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта локомотивов (ТО и Р). Ремонтный цикл состоит из ремонтов разного объёма, следующих друг за другом с определенной периодичностью.

Номенклатура ТО и РР для электровозов установлена приказом Министра путей сообщения № 2В Ц от 2и июня 1986 года.

11. Опыт организации технического диагностирования электровозов.

Основная цель диагностирования электровозов заключается в обеспечении максимальной эффективности эксплуатации и уменьшении затрат трудовых, материальных, топливно-энергетических и финансовых ресурсов на их техническое обслуживание и ремонт. Указанная цель достигается за счёт своевременной и квалифицированной оценки технического состояния сборочных единиц и деталей локомотивов. На основании этой оценки даются наиболее реальные рекомендации по

дальнейшему использованию отдельных составных частей и каждого локомотива в целом: продолжению эксплуатации без проведения каких-либо дополнительных работ, профилактике, ремонту, замене отдельных деталей, выполнению регулировок и т.д.

Практика показывает, что совершенствование системы обслуживания и ремонта электровозов с использованием средств и методов диагностирования технического состояния их узлов и систем позволяет снизить число unplanned ремонтов, уменьшить эксплуатационный расход топлива и сократить время простоя на unplanned ремонтах.

Эффективность применения методов и средств диагностирования повышается при внедрении автоматизированных диагностических комплексов (АДК на базе микро-ЭВМ, мини-ЭВМ, ПЭВМ и ЭВМ серии ЕС. 6 настоящее время созданы и применяются локальные АДК, для решения локальных вопросов диагностирования отдельных систем и узлов локомотивов на базе микро-ЭВМ и специализированные управляющие вычислительные комплексы (УВКС) на базе мини-ЭВМ и ПЭВМ для диагностирования различных узлов и систем локомотивов.

Анализ существующей системы планово-предупредительного ремонта эпис и практика создания средств диагностирования показывают, что наиболее целесообразно использовать иерархический принцип организации и использования в депо систем диагностирования технического состояния эпис на трёх уровнях.

На первом уровне используются локальные АДК с использованием микро-ЭВМ типа ДВК-2М, "Электроника-60", "Искра-226", СМ-18Ш и др. Локальные АДК ориентированы на диагностирование отдельных систем локомотивов, а также на проведение укрупненной диагностики локомотивов- по параметрической надёжности.

На втором уровне используют УВКС на базе М-6Ш0, СМ-1634, СМ-2М, СМ-1210 и др. Специализированные УВКС ориентированы на комплексное г диагностирование узлов и систем локомотивов, создание банков данных и организацию ремонта в депо с учётом фактического состояния локомотивов. Эти вопросы решаются в рамках автоматизированной системы управления ремонтом локомотивов (АСУРЛ).

На третьем уровне используются специализированные УВКС на базе модулей агрегатной системы средств вычислительной техники на перестраиваемых структурах (АСВТ. ПС) типа ПС-1001, ПС-2000, ПС-3000. Специализированные УВКС ориентированы на углубленное комплексное диагностирование узлов и систем локомотивов, создание банков данных и организацию ремонта локомотивов в системе АСУ РЛ, организацию эксплуатации локомотивов в автоматизированной системе управления железнодорожным транспортом (АСУ ЖТ).

При организации диагностирования электровозов на втором и третьем уровнях создаются, как правило, стационарные пункты диагностики. Необходимый уровень организации- ТДЛ выбирается с учётом серии локомотивов, парка локомотивов, технической оснащённости ремонтных цехов депо, квалификации персонала депо, технико-экономического потенциала, который может быть реализован в результате внедрения ТДЛ.

Электровоз является сложной автоматизированной электромеханической системой и состоит из большого числа сборочных единиц (деталей, узлов и агрегатов), объединенных в несколько систем. Такие крупные системы электровоза как дизель-генераторная установка, электрическая передача, экипажная часть, а также разнообразное вспомогательное оборудование требуют применения принципиально различных средств и методов диагностирования их технического состояния, различных организационных, технологических приёмов. В связи с этим организация технического диагностирования электровозов должна основываться на комплексном подходе.

Такой является поточная линия диагностики электровозов, созданная работниками депо и сотрудниками ХИИТа /23/. В локомотивном депо освоен комплексный метод диагностирования систем, узлов и агрегатов электровозов с определением действительной потребности в работах, выполняемых при каждом техническом обслуживании, а также прогнозированием остаточного ресурса. Технология предусматривает непрерывность организации работ (поточность) и комплексную механизацию. Полный цикл линии диагностики составляет 4 ч 57 мин. Поточная линия расположена на тракционных путях депо протяженностью 300 м. Все операции ведутся на четырёх позициях.

Первая позиция предназначена для очистки электровоза и основных систем на механизированной обмывочной площадке и предварительной диагностики. На этой позиции выполняются следующие операции:

- запрос данных о предыдущей диагностике, ремонте и основных параметрах работы электровоза;
- оценка технического состояния по данным журнала формы ТУ-152;
- осмотр электровоза, съём информации с встроенных диагностических устройств;
- составление программы - плана диагностических проверок; отбор проб и отправка на химический и спектральный анализ масел из картера дизеля, ванн моторно-осевых подшипников, компрессора, а также редукторов, имеющих индивидуальную систему смазки;
- очистка электровоза, промывка лабиринтных уплотнений турбокомпрессоров ТК-34 и секций холодильника.

Вторая позиция предназначена для диагностики и технического

обслуживания экипажной части. Сюда входят следующие операции:

- динамическое диагностирование узлов колесно-моторных блоков (якорных, буксовых и моторно-осевых подшипников);
- осмотро-смазочные работы с учётом результатов спектрального и химического анализов масел;
- замер наддува тяговых двигателей дифференциальным манометром.

Третья позиция представляет собой специализированное двухэтажное здание - центральный пост диагностики (ЦПД). На первом этаже расположены два отделения: контрольно-измерительных приборов и электроники, а также механическое. На втором этаже ЦВД расположено «отделение для проведения диагностики дизель-генераторной установки и схемы возбуждения при работающем дизеле, проверки вспомогательных электрических машин, топливной аппаратуры, системы воздухо-снабжения и вспомогательного оборудования электровозов. Все операции диагностирования ведут с помощью комплекса специальных стендов, установок, приборов и специализированного технологического оборудования.

Диагностика и техническое обслуживание дизель-генераторов, электрического и вспомогательного оборудования на ЦПД включает следующую последовательность операций. А электровозу подсоединяют диагностическое оборудование и в автоматическом режиме проверяют коммутацию основных электрических цепей управления, определяют места корпусных замыканий и утечек тока в схеме. Затем диагностируют пожарную сигнализацию, контрольно-измерительные приборы и электрическое оборудование. Определяют токи в обмотках амплистата возбуждения и параметры синхронного подвозбудителя, селективной и внешней характеристики дизель-генератора, проверяют частоту вращения коленчатого вала дизеля.

Диагностируют схему автоматического управления холодильником и эффективность работы охлаждающих устройств. Контролируют частоту вращения вентилятора холодильника, параметры срабатывания реле переходов, времени и боксования. Диагностируют аккумуляторные батареи и систему их зарядки, аварийно-предупредительную защиту, контакты контактов ослабления поля возбуждения тяговых двигателей, сопротивление изоляции.

Затем диагностируют топливную аппаратуру, газоздушный тракт, элементы вертикальной передачи, водяную и масляную системы, карданные передачи. Контролируют состояние дюритовых соединений, механических узлов вспомогательных электрических машин, объединенного регулятора. Узлы и агрегаты электровоза в труднодоступных местах проверяют с помощью эндоскопов.

После проведения всех этих работ заполняют карточку диагностики

электровоза и с необходимыми рекомендациями выдают в цех ремонта. Если объём работ, выявленных при диагностировании электровоза невелик, то их выполняют прямо на центральном посту диагностики.

Четвертая позиция предназначена для завершения технического обслуживания и экипировки электровоза. Электровоз снабжают водой, смазкой, топливом и песком, а затем выдают на контрольный пост, в эксплуатацию или направляют в цех для ремонта по программе, определенной по результатам диагностирования.

Для контроля всего технологического процесса диагностирования и технического обслуживания электровозов на втором этаже ЦПД установлен пульт оператора с вмонтированным сетевым графиком полного технического процесса диагностирования, выполненный в виде светящихся табло.

С помощью сетевого графика оператор контролирует выполнение работ, а также место нахождения электровозов на позициях.

Наряду с комплексным подходом к организации диагностирования электровозов в отдельных депо сети железных дорог страны используются локальные АДК и специализированные системы диагностирования, разработанные в железнодорожных вузах страны на локомотивных кафедрах.

Конструкторско-технологическим бюро совместно с сотрудниками ОмИИТа создан ДДК на базе микро-ЭВМ "Электроника-60" /24/. Комплекс проходит опытную эксплуатацию в локомотивном депо железной дороги. С помощью автоматизированного диагностического комплекса контролируют работоспособность топливной аппаратуры, величину внутрицилиндрового давления, сопротивлений элементов силовых цепей, технико-экономические характеристики.

В составе измерительной системы автоматизированного диагностического комплекса одно из центральных мест занимает блок контроля работоспособности топливной аппаратуры БКТА. С помощью этого блока определяя фактический угол опережения впрыска топлива по отдельным цилиндрам дизеля, качество работы топливных насосов и форсунок, неравномерность подачи топлива по цилиндрам и частоту вращения коленчатого вала. Время опроса датчиков и принятия решения о наличии неисправностей с помощью микро-ЭВМ составляет 7 мин, а при автономной работе - 20 мин.

Опыт применения БКТА показал, что существующая технология текущего ремонта и технического обслуживания допускает выпуск электровозов в эксплуатацию с отклонением от установленных норм по углу опережения подачи топлива - в среднем у 30% топливных насосов, по качеству распыливания топлива - у 25% форсунок. Зафиксированы также случаи выпуска локомотивов с неисправными топливными насосами и форсунками.

Полученные в депо результаты свидетельствуют о том, что

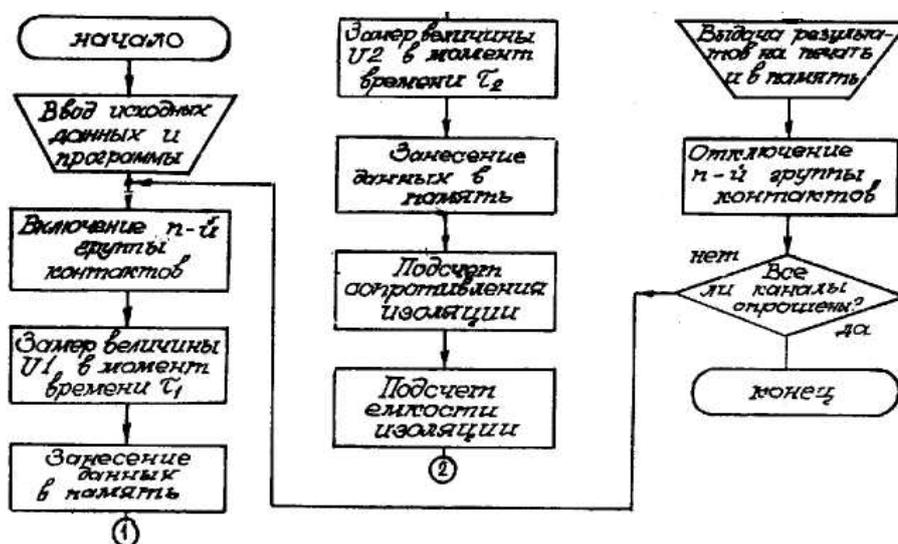
применение автоматизированного диагностического комплекса позволяет существенно повысить качество отремонтированных электровозов за счёт правильной их настройки по характеристикам дизель-генераторной установки, исключения дефектов в силовых контактах, выравнивал нагрузки по цилиндрам дизеля, выявления неисправных форсунок и отклонений в фактических углах опережения подачи топлива. Благодаря этому, эксплуатационный расход топлива снижается в среднем на 1 кг на измеритель $1 \cdot 10^4$ т км брутто, выход из строя поршней уменьшается в 10 раз, поршневых колец и цилиндрических гильз в 2 раза. Число случаев разжижения масла топливом сокращается в 10 раз /24/.

Для автоматизации контроля и диагностики электрического оборудования, Силовых цепей и топливной аппаратуры при безреостатных испытаниях электровозов в локомотивном депо совместно с сотрудниками ТашИИТа создан стационарный пункт диагностики. На пункте диагностики размещен специфицированный управляющий вычислительный комплекс на базе мини-ЭВМ архитектурной линии СМ-1/СМ-2 /25-28/. Комплекс изготовлен промышленностью по спецификации заказчика - депо Ташкент. В настоящее время эту линию составляют конструктивно и программно совместимые микро- и мини-ЭВМ М-6000, СМ 1634, СМ-2М, ПС-1001, СМ-1210, ПС-2000, ПС-3000.

Диагностирование электрооборудования /25/, силовых цепей /26/, топливной аппаратуры и изоляции /27,28,29/ проводят на стационарном пункте диагностики, расположенном отдельно от станции реостата испытаний, при безреостатных испытаниях в автоматизированном режиме по командам УВКС.

Диагностирование изоляции выполняет при неработающем дизеле, выключенной аккумуляторной батарее, разомкнутых контактах всех автоматов /27/. Принципиальная схема автоматической диагностики изоляции электрических цепей приведена на рисунке.

Для быстрого подключения входов контактных модулей кодового управления МКУК УВКС к контрольным точкам электрических цепей электровозов вначале используют разъёмы РВД и Р и выполняют укрупненное диагностирование изоляции при подаче постоянного напряжения 1000 В или 500 В от источника испытательного напряжения ИИН. По сигналам процессора *Pr* поочередно замыкаются и размыкаются в требуемой последовательности контакты МКУК. После замыкания необходимого контакта МКУК ток в цепи, имеющей достаточное сопротивление и ёмкость относительно корпуса и других цепей, увеличивается в течение 0,2-1,5 с. УВКС измеряет величину этих токов для двух значений времени τ_1 и τ_2 , задаваемых таймером. Выполняется расчёт сопротивления, ёмкости, постоянной времени и других параметров диагностируемой цепи.



Блок – схема алгоритма диагностирования изоляции

Если при укрупненном диагнозе обнаружено повреждение изоляции, то с I помощью УВКС выполняют поэлементный контроль, для этого вводы I, 2, 3... n МКУК подключают к штырям разъёмов минусовых замыкателей 1М, 2М, 3М, гнездам разъёмов 28, 1Т, 2Т, 3Т. По сигналам процессора поочерёдно замыкаются и размыкаются контакты МКУК. УВКС измеряет токи, проходящие во времени через изоляцию конкретных электрических цепей, рассчитывает сопротивление, ёмкость, другие параметры, указывает на повреждения /28/.

При укрупненной диагностике основное время затрачивается на стыковку кабелей длиной 5 м между разъёмами РВД, Р и модулями УВКС и составляет 3 мин. Каждую цепь комплекс контролирует в течение 10 с, из них 5 с - в режиме нарастания тока в изоляции, а следующие 5с - при уменьшении тока.

Управляют всем комплексом через пульт оператора (дисплейный модуль ДМ-2000). Датчики ДВМТ и ДПИФ устанавливают на заглушённом дизеле. В качестве ДВМТ используют индукционный датчик, устанавливаемый на указательной стрелке градуировочного диска валоприворотного механизма дизеля. В качестве датчика подъёма иглы форсунки используется дифференциальный индуктивный датчик с линейной характеристикой. Чувствительность тракта датчик-усилитель 5В на 1 мм хода иглы форсунки. Разрешающая способность при измерении угла опережения подачи топлива составляет $0,2^\circ$ на 15-й и $0,08^\circ$ на нулевой позиции коллектора.

В локомотивном депо создан пункт технического диагностирования,

расположенный рядом со станцией реостатных испытаний. В нем размещена диагностическая информационно-измерительная система ДИИС-2.

Результаты эксплуатационных испытаний подтвердили высокую разрешающую способность, информативность и технологичность созданных средств технической диагностики. Они логически вписываются в существующую технологию реостатных испытаний и не приводят к увеличению общего времени на проведение реостатных испытаний. Подготовительные работы и измерение фактического угла опережения впрыска топлива по всем форсункам на дизеле занимают около 1 часа (или 3 минуты на одну форсунку). Время измерения расхода топлива зависит от режима работы тепловоза и занимает 1-3 минуты. Диапазон измеряемых расходов при необходимости можно перестраивать.

Анализ контрольных регулировок электровозов показал, что в результате установки фактического угла опережения впрыска топлива мощность тепловоза возрастает на 3-6 процентов, одновременно на 2-3 процента снижается удельный расход топлива.

С целью повышения достоверности диагноза при проведении ремонтных работ на электровозах необходимо применять средства диагностики более высокого уровня. Применение таких средств должно быть ориентировано в первую очередь на проведение работ по текущему ремонту электровозов. В этом случае размещение средств диагностирования целесообразно вести на пунктах диагностики, совмещённых со станциями реостатных испытаний. Применение этих средств позволит сократить объёмы - ремонта и повысить его качество. Структура построения таких систем находится в стадии разработки.

Внедрение комплексной системы диагностики позволит дорогостоящие, трудоёмкие планово-предупредительные виды ремонта заменить на ремонт по техническому состоянию.

12. Диагностика электрических цепей электропоезда.

Своевременное и высококачественное выполнение в полном объёме технического обслуживания и текущего ремонта в соответствии с установленной планово-предупредительной системой является важнейшим условием поддержания высокой надёжности и эффективности электропоездов. В свою очередь качество выполнения работ при ремонте и техническом обслуживании зависит от объёма выявленных неисправностей и чёткости их устранения, наличия и степени совершенства средств технической диагностики. Эффективность обслуживания и ремонта электропоезда будет намного выше, а затраты значительно ниже, если постановка на ремонт и выполнение ремонтного цикла будут производиться с учётом фактического состояния оборудования, определить которое можно путём организации тестового

или функционального диагностирования.

Средства технического диагностирования (СТД) в зависимости от того, подключаются ли они к объекту диагностирования только на период проверки его состояния или соединены с ним, делят на внешние и встроенные.

Внешние СТД могут быть универсальными (общими), специализированными напольными (устанавливаемыми на перегоне). Универсальное (общее) СТД предназначено для диагностирования объектов различного конструктивного выполнения и функционального назначения и позволяет осуществить проверку всего электропоезда или существенных узлов.

Первым в мировой практике универсальным СТД электропоезда является установленная в 1967 г. в локомотивном депо Москва - Пассажирская - Курская проверочная универсальная машина-автомат ПУМА-Э, предназначенная для всесторонней автоматической проверки электрических цепей и аппаратов пассажирского электропоезда. Примерно в те же годы на железных дорогах США стала применяться близкая к ПУМА—Э по исполнению и техническим возможностям установка SEARCH для диагностирования электрического оборудования электропоезда. Для подсоединения к таким СВД на электропоезде устанавливают стыковочное устройство - щит со штепсельными разъёмами, к которым подсоединяют провода от различных аппаратов и участков электрических цепей. Кроме того, на отдельных узлах и агрегатах электропоезда постоянно или на время проверки могут устанавливать датчики.

Электропоезд для проверки ставят в депо и гибкими кабелями соединяют с машиной. Проверку выполняют по заданной программе, нанесенной в двоичном коде на ленту - программноноситель в виде системы отверстий.

Коды команд читаются фотоэлектрическим вводом программного устройства, расшифровываются в блоке дешифровки и далее распределяются по блокам машины.

Блок выбора объекта контроля позволяет в любой момент времени начать проверку одного из двух электропоездов, стоящих на плановом ремонте и состыкованных с ПУМА.- Э.

Перед началом ремонта и после его выполнения производят диагностирование по нескольким программам. Скорость работы машины позволяет производить до 40 элементарных проверок в минуту. Программа, содержащая 500 измерений, может быть осуществлена за 15-20 мин. При традиционных методах контроля подобный объём работы требует не менее 100 чел-ч без гарантии объективности полученных результатов.

Управление машиной осуществляется блоком управления автоматически. Это обеспечивается обратными связями с блоком

дешифровки и блоком оценки результатов измерений. Возможно ручное управление ПУМА-Э с главного пульта управления /32/.

В 70-х годах в других отраслях народного хозяйства и за рубежом, были созданы диагностические комплексы с использованием управляющих ЭВМ. Подобная автоматизированная диагностическая установка применяется для проверки технического состояния скоростных электропоездов линии Новая Токайдо.

Для определения фактического состояния электропоезда и проверки качества ремонта электропоездов, кроме построения структуры ремонтного цикла в зависимости от степени загрузки электропоезда, применяются универсальные СТД.

Электропоезд как объект диагностирования был разбит на 4 подсистемы: высоковольтное оборудование и соответствующие цепи; низковольтное оборудование и цепи; узлы экипажной части; пневматическое оборудование и цепи. В каждой подсистеме выделялись составные части, с точностью до которых необходимо проводить поиск дефектов при функционировании. Электропоезд в качестве объекта диагностирования представляет собой совокупность функциональных блоков, связанных между собой и с внешними входами и выходами. Границы смежных блоков определяются глубиной поиска, функциональными свойствами их схем, обратной связью, конструктивными требованиями. Чаще всего блоками считают функционально законченные узлы.

Для выполнения тестового или функционального диагностирования электропоезда его схема через стыковочные устройства соединяется с пультом дотационного управления и измерительным пультом. Контрольные точки подключения в схеме электропоезда выбраны так, чтобы с помощью одного кабеля можно было производить наибольшее число диагностических измерений, обеспечивая при этом наименьшую их погрешность и удобство монтажа.

На измерительном пульте смонтированы приборы и аппараты, необходимые для выполнения цикла диагностики. В их числе цифровой вольтметр, килоамперметр, миллиамперметр, цифровой омметр, указатель статического напора воздуха охлаждения тяговых двигателей, указатель позиций группового переключателя, указатели подъёма токоприёмника и его нажатия, табло контроля программы диагностирования электропоезда и др. .

Определение фактических характеристик электропоезда позволяет принять меры к их стабилизации (если в этом есть необходимость и возможность) либо временно эксплуатировать локомотив на таких участках и в таких условиях, которые соответствуют его тяговым свойствам и состоянию.

При выполнении технического обслуживания и ремонта

непосредственно на электроподвижном составе, а также при ремонте снятых узлов и агрегатов в цехах всё более широко применяют внешние специализированные цеховые СТД, рассчитанные на выполнение одной или нескольких операций технической диагностики ограниченного числа типов объектов. Такие специализированные контрольно-наладочные стенды, переносные и автоматизированные передвижные установки могут быть объединены в комплексную систему деповской или заводской технической диагностики. При необходимости результаты диагностирования, проводимого с помощью таких СТД, могут выдаваться в виде печатного документа.

В качестве примера специализированного СТД может быть представлен полуавтомат для диагностирования главных переключателей электропоезда. В программе работы полуавтомата реализованы те же методы диагностирования и та же система допусков, что и на ПУМА-Э. При небольших изменениях такой полуавтомат может контролировать как непосредственно на локомотиве, так и при ремонте в цехе групповые переключатели других электропоездов.

Взросшие требования к качеству ремонта электронного оборудования и аппаратуры управления электропоездов потребовали новых подходов к оздоровлению узлов. Так, работниками депо разработана контрольно-измерительная система (ИС) на основе серийно выпускаемой информационно-измерительной системы К-200-4 с цифropечатающим устройством. Система не только качественно контролирует параметры, но и составляет протокол проверки. Это дает возможность прогнозировать вероятность отказа панели питания автоматики.

Аппаратуру управления (АУ) диагностируют непосредственно перед постановкой электропоезда на плановый ремонт.

Диагностирование АУ электропоездов выполняют два электромеханика. Один из них находится на локомотиве и выполняет технические операции, второй работает в качестве оператора ИС. Между собой они переговариваются с помощью переносных радиостанций "Транспорт"..

В процессе длительной эксплуатации на электровозах и электропоездах состояние электрических тяговых и вспомогательных аппаратов, проводов, кабелей, изоляторов, постепенно ухудшается. Это может приводить к отказам в работе как всего электровоза или электропоезда так и вынужденному отключению части их оборудования. Такой отказ в процессе эксплуатации отдельного электровоза или электропоезда вызывает нарушение работы целого участка дороги на длительное время. Степень возникшего повреждения в значительной мере определяет возможность быстрого восстановления работоспособности э.п.с. и объём последующих работ по устранению отказа. Рассматривая возможные

повреждения можно разделить их на две подгруппы: первая- повреждения, выявляемые в процессе эксплуатации и выявляемые локомотивными бригадами. Вторая - повреждения, выявляемые при выполнении в депо технического обслуживания.

Неисправности электрооборудования можно разделить на несколько разновидностей, из которых наиболее распространены короткие замыкания токоведущих частей, обрывы электрической проводки, нарушение коммутации электрических машин постоянного тока. Разновидностью коротких замыканий считаются также межвитковые замыкания катушек полюсов электрических машин, катушек приводов электроаппаратов, катушек систем дугогашения, коммутационных и защитных электроаппаратов. характер всех этих повреждений совершенно различен, соответственно и последствия их несхожи, что существенно облегчает уточнение вида неисправности электрооборудования э.п.с.

Короткие замыкания. под ними понимают резкое снижение сопротивление электрической цепи вследствие соединения друг с другом проводников постоянного тока разной полярности, или двух-трёх проводников различных фаз переменного тока, при котором нагрузка (потребитель электроэнергии) остаётся полностью или частично выключенным из цепи. Причиной короткого замыкания является плохое состояние изоляционных- частей, их загрязнение или увлажнение, старение из-за чрезмерных нагрузок., частым случаем короткого замыкания можно считать потерю запирающих свойств полупроводниковых приборов выпрямительно- преобразовательной установки.

Большие токи, близкие к коротким замыканиям возникают при резком снижении частоты вращения якорей (роторов) электрических машин. Это происходит при порче подшипников, изломе блиндажей якорей, при «заклинивании» зубчатой передачи или буксовых подшипников колёсных пар.

Диагностика электрических цепей.

На всех пассажирских электровозах, блоки обнаружения неисправностей в цепях управления. Отличие в принципе построения низковольтных цепей этих электровозов по сравнению с отечественными, на электровозах переменного тока создало предпосылки для установки на каждом электровозе таких блоков, располагаемых в коридорах кузова в непосредственной близости от кабин управления. Эти устройства, описанные в специальной литературе, дают возможность как локомотивной бригаде в пути следования, так и обслуживающему ремонтному персоналу обнаруживать обрыв той или иной цепи управления без применения других вспомогательных средств. Выявление обрыва какой-либо из основных цепей сводится к переключению двух пакетных выключателей и одной из нескольких кнопок в по-

ложение поиска. По погасанию соответствующей зеленой лампы и загоранию красной обнаруживают точку обрыва. Во всех случаях поиск осуществляется при выключении БВ и опущенном токоприемнике, что отвечает требованиям техники безопасности. Данная установка относится к системе «бортовой» диагностики локомотива.

Внедряемая на электровозах ВЛ8, ВЛ10, ВЛ10\ ВЛ80^к, ВЛ80^т трехпроводная телемеханическая система многих единиц СМЕТ также может быть отнесена к системе «бортовой» диагностики, позволяя за 5—6 мин проверять действие цепей управления этих электровозов.

Неисправности электрических машин. У тяговых и вспомогательных машин постоянного тока различают три вида повреждений — механические, электрические и коммутационные, которые могут являться следствием проявления неисправностей первых двух видов.

Механические повреждения двигателей. В эксплуатации при нормальных условиях работы наиболее интенсивно изнашиваются щетки, рабочая поверхность коллектора и внутренние стенки окон щеткодержателей; однако иногда наблюдаются повышенный износ щеток и коллектора, неравномерный износ его.

Причинами этого могут быть как повышенное, так и заниженное нажатие на щетки, большие отклонения в значениях нажатия на разные щетки, установка на двигатель щеток разных марок, грубая обработка коллектора при ремонте, выступание миканита между пластинами коллектора, износ гнезда под щетки в щеткодержателях и др.

Помимо перечисленного, у самих щеток возможны сколы рабочей (контактной) поверхности как вследствие плохого состояния коллектора, так и из-за повышенного износа стенок окна щеткодержателя по толщине щетки, когда после смены направления движения щетка перекашивается, опираясь на коллектор узкой полосой; это приводит к повышенной плотности тока в месте контакта щетки, ее чрезмерному нагреву и разрушению.

У вспомогательных машин постоянного тока с односторонним вращением якоря возможно «заедание» щетки в окне корпуса щеткодержателя с потерей его контакта с поверхностью коллектора.

Пальцы кронштейнов щеткодержателей, их изоляторы могут иметь следы перебросов электрической дуги на остов (на траверсу). Реже встречаются такие серьезные повреждения, как размотка бандажей якоря, задир и рассыпание коллектора, излом деталей щеткодержателя, обрыв болтов полюсов, болтов кронштейна щеткодержателя, трещины остова, потеря крышки смотрового люка, порча подшипников, ослабление крепления подшипникового щита, излом вала якоря.

Задир коллектора происходит при падении посторонних предметов на его поверхность и изломе деталей щеткодержателей; в этом случае в депо осуществляют обточку и дальнейшую обработку коллектора без снятия двигателя с электровоза (моторного вагона) .

Рассыпание (разрушение) коллектора, т. е. возвышение над поверхностью коллектора одной или нескольких пластин, устранить в эксплуатации нельзя — двигатель, как правило, в данном случае требует ремонта по заводской характеристике со снятием обмотки якоря и заменой коллектора.

Большинство остальных указанных неисправностей выявляется визуально. Например, ослабление посадки подшипникового щита в остове двигателя обнаруживается по следам ржавчины, видимым по всему наружному контуру *прилегания щита*, и по ослаблению крепежных болтов.

Повреждение подшипников якоря обычно обнаруживают машинисты, делая об этом соответствующую запись в Журнале технического состояния локомотива; при осмотре двигателя с таким повреждением видны следы нагрева крышки подшипника, смазки, попавшей во внутренние полости остова, а у моторных вагонов и на сетки, защищающие места выхода воздуха из двигателя.

Для уточнения наличия данного повреждения в депо колесную пару, спаренную с данным тяговым двигателем, вывешивают, подставляя под ее буксы домкраты, и к выводным кабелям двигателя подводят пониженное напряжение; при вращении якоря с поврежденным подшипником будет прослушиваться характерный шум; для более точной оценки его состояния используют стетоскоп. При сильном повреждении подшипника может происходить просадка якоря; если это подшипник со стороны коллектора, то через смотровой люк можно определить степень присадки якоря, применив пластинчатый или шариковый щуп, который представляет собой стержень-рукоятку с закрепленным на конце калиброванным шариком. Нормы зазоров между якорем и полюсом приведены в Правилах ремонта.

В процессе ТО и ТР проверяют также общее состояние и крепление межкатушечных соединений и выводных кабелей; возможность перетирания их изоляции о стенки остова или траверсу устраняют, усиливая крепление, подкладывая и закрепляя изоляционные прокладки.

У вспомогательных машин постоянного тока характер возможных повреждений механической части примерно такой же; у асинхронных двигателей, за исключением повреждения подшипников ротора, других механических неисправностей обычно не встречается.

Электрические повреждения двигателей. Как уже указывалось, наиболее часто возникают пробой изоляции, обрывы проводов, *межвитковые замыкания* обмотки, нарушения нормальной коммутации. Все эти виды повреждений в эксплуатации вызывают срабатывание защиты.

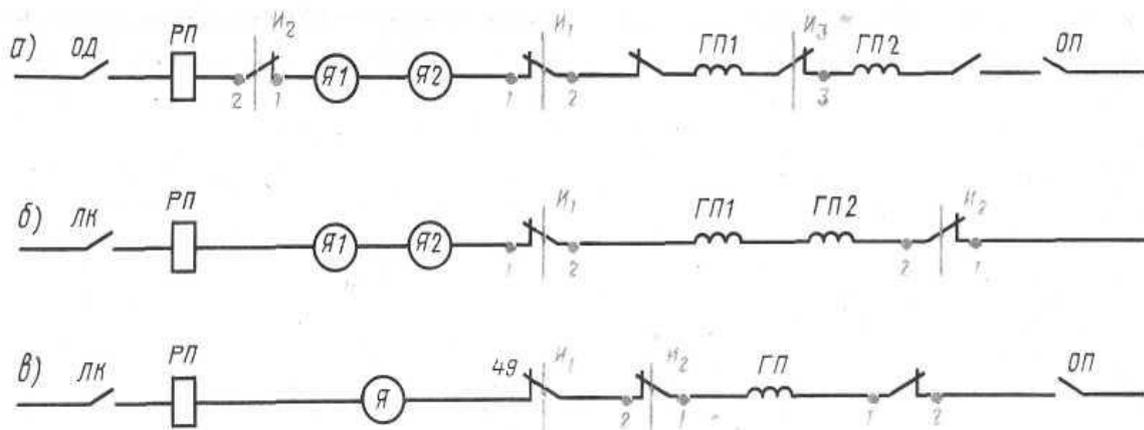
Пробой изоляции. Причины: старение изоляции вследствие чрезмерных нагревов, механические повреждения в процессе изготовления, ремонта или эксплуатации; резкое снижение изоляционных свойств при частых значительных перенапряжениях, попадании влаги, пыли и т. д.

Пробой изоляции обмоток якорей чаще всего происходят по механическим

причинам в месте изгиба секций у выхода из пазов сердечника. При неправильной укладке клиньев или бандажей пробой возникает вследствие продавливания поверхностей изоляции (при повышенном давлении) или истирании изоляции, когда при слабом закреплении секции «дышат»; в этом случае при высокой частоте вращения под действием центробежной силы обмотка удаляется от сердечника якоря, а при снижении частоты вращения ложится на место.

Повреждения обмоток с возможным последующим пробоем изоляции возникают и при попадании в двигатели посторонних предметов.

У катушек главных и добавочных полюсов пробой наружной изоляции возникает значительно реже, чем у катушек якорей. В большинстве случаев пробой катушек полюсов происходит в месте скрепления выводных концов с последним витком и во внутренних углах, где напряженность электрического поля наивысшая. Кроме того, в этих местах при насадке катушки на сердечник наиболее вероятны механические повреждения изоляции. У компенсационной обмотки наиболее вероятен пробой в месте выхода стержней из сердечника полюса



Схемы выявления места к. з. в тяговом двигателе без его снятия с электровоза постоянного тока (а), с моторного вагона (б), электровоза переменного тока (в)

вследствие постоянной вибрации выступающей части.

Пробой изоляции обмоток якорей и полюсов в эксплуатации устранить нельзя, двигатель необходимо снять с э.п.с. При пробое изоляции выводных кабелей тяговых двигателей и кабелей, соединяющих катушки дополнительных полюсов, поврежденную поверхность иногда можно изолировать, намотав несколько слоев лакоткани, натуральной резины и электрокартона и затем обвязав их шпагатом; концы шпагата обрезают; кабели вне двигателей изолируют смоляной лентой.

Пробой или перекрытия поверхности пальцев кронштейнов щеткодержателей электрической дугой обычно происходят в сырую погоду. Попадание влаги между фарфоровым изолятором кронштейна и изоляцией пальца щеткодержателей вызывает перекрытие пальца по длине и прожигание слюды до металла. Попадание влаги возможно в случае плохой заливки торцов изолятора компаундной массой, особенно при неправильной его

форме (эллиптичности).

Пробой и перекрытия пальцев кронштейнов происходят также при повышенном напряжении на двигателе, при ненормальных режимах электрического торможения и длительном боксовании колесных пар.

Место к.з. выявляют вначале визуально, а затем проверкой цепи мегаомметром на 2500 В, для чего эту цепь отсоединяют от остальной части силовой цепи э.п.с. путем отключения двигателя ножами *ОД* (рис. 6.8) или подкладывая изоляцию *И₁*, *И₂*, *И₃* под контакты какого-либо аппарата (реверсора — точки 1, 2, тормозного переключателя — точка 3, переключателя 49) и разъединяя кабели или шины; присоединив вывод «3» мегаомметра к «Земле», второй его вывод поочередно подсоединяют к точкам 1, 2, 3 и т. д. с «прозвонкой» каждой части цепи.

Если установлено, что к.з. имеется в цепи якорей, то следует до снятия двигателя вынуть все щетки или подложить изоляцию под них, изолировав друг от друга якоря, а затем и цепь добавочных полюсов, компенсационной обмотки и пальцы кронштейнов щеткодержателей от обмотки якоря; затем вновь применить мегаомметр. Если повреждены кронштейн щеткодержателей или кабельная перемычка добавочных полюсов, то во многих случаях устранение данной неисправности исключает необходимость в такой трудоемкой работе, как снятие двигателя с электровоза (моторного вагона). Ремонт проводят путем смены кронштейна или изолированием перемычки.

Обрыв цепи двигателя. Цепь двигателя может быть разорвана в результате обрыва обмоток полюсов или перегорания кабеля, соединяющего катушки. У обмоток катушек полюсов подобные повреждения бывают лишь в местах выхода выводных концов или соединения их с концом другой катушки. Обрыв межкатушечных соединений приводит к отключению защиты с последующим нарушением цепи одного двигателя на электровозах переменного тока. На э.п.с. постоянного тока разрывается вся силовая цепь — не собирается схема на 1-й позиции (нет тяги моторного вагона).

Обрыв обмотки в последние годы благодаря улучшению технологии изготовления почти не встречается; место возможного обрыва — вход проводника обмотки в шлицевую прорезь петушка коллекторной пластины. Причины — изменение длины проводника при его нагреве, постоянная тряска двигателя, при которой проводник имеет большую амплитуду колебания, чем коллектор. Обнаруживается обрыв в эксплуатации по срабатыванию защиты силовой цепи, а при осмотре коллектора на изоляции между двумя его медными пластинами выявляют подгар, мелкие брызги меди, так как при работе двигателя в этом месте постоянно возникают небольшие искры, в критических случаях способствующие возникновению кругового огня.

Межвитковые замыкания обмоток. Причины таких замыканий примерно те же, что и причины пробоев, но проявляются несколько иначе.

Межвитковое замыкание внутри катушки главного полюса вызывает ослабление его магнитного потока. Если замкнуты всего два или три витка, тяговый двигатель достаточно долго работает без заметных признаков повреждения, только несколько повышается искрение на коллекторе, и колесная пара, связанная с двигателем, немного чаще других боксует (у двигателя как бы несколько ослаблено возбуждение).

Замыкание витков добавочного полюса проявляется более сильным искрением под щетками одной пары щеткодержателей и приводит к частому срабатыванию защиты. Такое повреждение возникает очень редко.

Межвитковое замыкание проводников обмотки якоря проявляется вспышками на коллекторе и срабатыванием защиты силовой цепи из-за возникновения очень большого тока в контуре короткозамкнутого витка, образованного соединившимися; друг с другом

проводниками, так как электрическое сопротивление этого витка очень мало. Например, при напряжении на двигателе 1500 В в короткозамкнутом витке якоря двигателя ТЛ-2К возникает э.д.с. примерно 17 В. Если условно принять сопротивление такого витка равным 0,01 Ом, то по нему течет ток $I = 17 : 0,01 = 1700$ А.

Обычно межвитковое замыкание быстро вызывает пробой изоляции секции проводников якоря на сердечник в результате ее сгорания из-за нагрева таким большим током.

Нарушение коммутации двигателей. Оно проявляется в повышенном искрении на коллекторе под щеткой. Причины такого нарушения очень разнообразны. Кратковременные быстро гаснущие искры не повреждают поверхность коллектора и не нарушают работы тягового двигателя. При продолжительном сильном искрении опасность повреждения коллектора, щеток и всей машины возрастает: возможно образование из .искр отдельных электрических дуг, которые, увеличиваясь, могут вызвать сплошной круговой огонь, т. е. практически короткое замыкание между щетками разной полярности или между кбллектором и заземленными частями машины. Степень искрения в значительной степени зависит от качества сборки двигателя (правильного положения главных и добавочных полюсов), состояния коллектора и щеток.

Когда двигатель находится в хорошем состоянии, наибольшее искрение наблюдается в тяговом режиме при ослаблении магнитного потока главных полюсов (поле реакции якоря как бы «теснит» поле полюсов). В режиме рекуперативного торможения при движении с высокими скоростями магнитное поле также сильно искажается, что осложняет процесс коммутации.

Искрение на коллекторе усиливается при повышении напряжения, подводимого к тяговому - двигателю, так как возрастает среднее напряжение

между пластинами. Опасны также резкие колебания напряжения сети, при которых быстрое изменение поля реакции якоря не компенсируется изменением магнитного поля как добавочных полюсов, так и компенсационной обмотки.

К механическим причинам нарушения коммутации относят: плохое состояние поверхности коллектора (выступание миканита, заусенцы, задиры, подгар пластин, выступание отдельных пластин, загрязнение), низкое качество щеток, неправильное их положение, ненормальное нажатие на них, повышенную «игру» щеток в щеткодержателе, появление разъедания или сколов их рабочей части при установке на двигателе щеток разных марок, так как переходные сопротивления под щетками будут неодинаковыми для отдельных параллельных цепей обмотки якоря и токи в этих цепях станут разными. Искрение усиливается также при омеднении рабочей поверхности щеток.

Все отмеченные выше неисправности двигателей выявляют и устраняют при их техническом обслуживании. При обнаружении серьезных повреждений, причину которых без разборки тягового двигателя устранить нельзя, его выкатывают из-под электровоза и направляют для исследования и ремонта.

Повреждения вспомогательных электрических машин. Повреждения вспомогательных машин постоянного тока, которые могут возникать при эксплуатации э.п.с, в основном аналогичны повреждениям тяговых двигателей.

У вспомогательных асинхронных электрических машин электровозов переменного тока, не имеющих коллектора и обмоток ротора, число возможных повреждений значительно меньше. Наиболее часто в эксплуатации встречаются следующие их повреждения: межвитковые замыкания обмотки статора; обрыв проводов одной из фаз, повреждение подшипников.

Межвитковое замыкание обмотки статора обнаруживают по срабатыванию теплового реле, неравномерному нагреву корпуса двигателя и повышенному гудению. При обрыве одной из фаз цепи двигатель не запускается — сильно гудит, начинает греться, происходит срабатывание тепловой защиты

(реле ТРТ) и отключение контактора. В случае небольшого повреждения подшипников ротор испытывает одностороннее притяжение, «прилипает», разгон его замедленный, но по мере повышения частоты вращения двигатель начинает работать нормально.

Повреждения электрических аппаратов. Общие сведения. Для высоковольтных аппаратов, предназначенных для переключения цепей тяговых двигателей и вспомогательных машин, а также для аппаратов защиты, имеющих подвижные детали, наиболее характерны следующие неисправности; электрические — подгар контактов и дугогасительных

камер, пробой или перекрытие изоляции; механические — замедленное включение и отключение, поломка деталей, нарушение регулировки, обрыв гибких шунтов; во многих случаях электрические повреждения вызываются механическими неисправностями, т. е. взаимосвязаны.

Подгар контактов. Как в высоковольтных, так и в низковольтных цепях подгар контактов происходит от слабого их взаимного нажатия, неправильного притирания (ослабление пружины), замедленного расхождения при выключении, ненормального действия дугогасительных устройств и цепей, когда аппараты размыкают цепь с большой индуктивностью под током, превышающим расчетное значение.

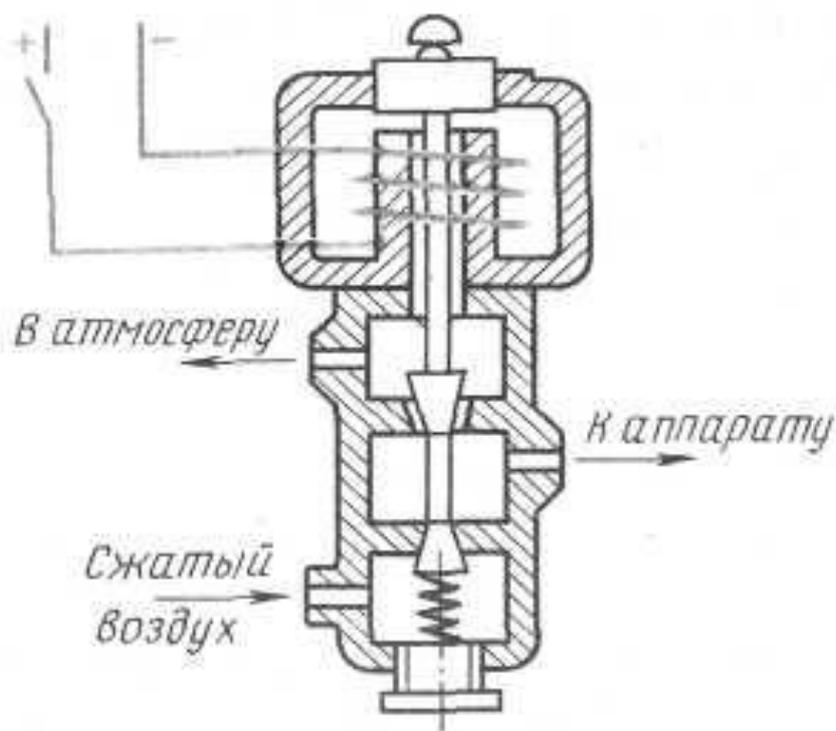
Обнаруживают подгар контактов во время наружного осмотра аппаратов (следы оплавления, «разъедание» контактных поверхностей), а также по чрезмерно большим выхлопам дуги из камер в момент переключения цепей. При наружном осмотре аппаратуры заметна копоть на асбестоцементных перегородках камер. Зачистка поверхности контактов не устраняет причину их подгара. Подгар контактов высоковольтных переключателей, не оборудованных дугогасительными устройствами (реверсор, тормозной переключатель), возникает редко. Причина неисправности — нарушение нормального контакта (ослабление нажатия, старения изоляции, ее механического повреждения, загрязнения (запыления)).

Иногда изоляция перекрывается при сильной ионизации окружающего воздуха, возникающей в результате неоднократного срабатывания аппаратов с нарушенным дугогашением, а также при перенапряжениях между отдельными участками цепей. Возможны пробой стоек и изоляционных тяг индивидуальных контакторов, стоек реверсоров и тормозных переключателей. У пусковых резисторов иногда при повышенной влажности атмосферного воздуха происходит пробой изоляционных шпилек и втулок подвесных изоляторов.

В случае повреждения изоляции аппарат обычно заменяют. У токоприемников, помимо пробоя опорных изоляторов, из-за несвоевременной их замены или загрязнения выходят из строя воздухоподводящие трубки. Замедленное включение и выключение аппаратов. При электропневматическом приводе это может быть вызвано неисправностью их вентилях или механическим заеданием подвижных частей. Основные неисправности вентилях включающего типа (рис. 6.9), приводящие к замедленной работе аппарата, следующие: износ вертикального ствола по высоте, плохая притирка клапанов к седлам, попадание под клапаны посторонних частиц.

Если невозбужденный вентиль «шипит», то причина неисправности — попадание пыли, окалина или нарушение притирки у нижнего клапана. Если же «шипит» вентиль возбужденный (включенный вручную), нарушена притирка верхнего клапана. Как правило, для устранения этих неисправ-

ностей достаточно несколько раз нажать на кнопку вентиля. Замедленное включение аппарата может быть также результатом повреждения уплотняющих манжет поршней цилиндров его привода, что обнаруживают обычно при нажатии на кнопку вентиля привода аппарата по характерному шипению. Для улучшения уплотнения обычно в цилиндр нажатия)



Схематическое устройство электропневматического вентиля включающего типа

или неправильное действие блокировок в низковольтной цепи. У групповых переключателей кулачкового типа подгар может произойти из-за нарушения профиля кулачковых шайб или их положения на валу, а также из-за повреждения пружин. Подгар ножей разъединителя ГВ на э.п.с. переменного тока может возникать при ухудшении условий гашения дуги основными контактами и при преждевременном повороте изолятора разъединителя.

Подгар дугогасительных камер. Он возникает вследствие тех же причин, что и подгар контактов. Ненормальное гашение дуги обычно происходит также в результате замыкания между собой витков дугогасительных катушек, плохого прилегания полюсов камеры к сердечнику этой катушки, плохой очистки стенок камер при ремонте, слабого контакта

дугогасительных рогов с другими токопроводящими деталями данного аппарата, недостаточного разрыва или замедленного расхождения контактов. У главного выключателя ВОВ-25-4 и контакторных элементов ЭКГ-8 ненормальное гашение дуги может произойти при снижении давления воздуха.

Если сгорела дугогасительная камера какого-либо аппарата, то после выяснения причин этого сменяют ее или весь аппарат.

Пробой и перекрытие изоляции аппаратов. Как и у тяговых двигателей, эти повреждения аппаратов происходят в результате лютуют несколько капель смазки, после чего нужно «расходить» поршень. Замедленное отключение аппаратов может быть следствием¹ ослабления или излома отключающих пружин и взаимного приваривания силовых контактов. У групповых переключателей с пневматическим приводом замедленное действие может быть следствием порчи вентиля и манжет привода (чаще в зимнее время), подшипников и искривления кулачкового вала.

На электровозах переменного тока при замедленном повороте вала главного контроллера ЭКГ срабатывает реле времени 204, защищая контакторные элементы от подгорания медленно разрывающейся дугой, а также секции вторичной обмотки тягового трансформатора и переходные дроссели от перегрузок током. В морозы причиной медленной работы привода ЭКГ служит застывание смазки в картере редуктора привода, а после длительной эксплуатации привода без ремонта — износ его подвижных частей. В редких случаях причиной застревания ЭКГ на какой-либо позиции может быть приваривание силовых контактов.

У электромагнитных контакторов замедленное включение происходит при механическом заедании подвижных частей или перекосе якоря. Нарушение регулировки аппаратов защиты, как правило, является следствием механического повреждения — ослабления пружин, износа шарниров у подвижных частей, изгиба деталей, заедания подвижных деталей. У плавких предохранителей ток уставки сильно снижается при ослаблении нажатия пружинных контактов. Вставки некоторых типов требуют периодической замены, как правило, — один раз в полгода.

Оснащение предлагаемой ИС пунктов технического обслуживания, ремонтирующих электронное оборудование электровозов ВЛ80Р и ВЛ85, позволит значительно сократить время отыскания и устранения неисправностей АУ, исключить необоснованные отправки локомотивов резервом на неплановый ремонт в основное депо /34/.

Автоматизированная станция технического диагностирования (АСВД), разработанная в МИИТе и внедренная в локомотивное депо Боготол, выполняет примерно те же функции, что и ИС. Однако АСВД ещё осуществляет контроль сопротивления цепей относительно "земли", составляем и печатает протокол контроля диагностических параметров,

производит автоматический анализ результатов.

В локомотивном депо Петропавловск Южно-Уральской железной дороги создана деповская система диагностики электропоезда ~ универсальный микропроцессорный комплекс (УМК) на основе использования ЭВМ "Искра-1256". УМК позволяет контролировать техническое состояние электрических цепей, аппаратов, тяговых двигателей и вспомогательных машин.

В депо Иркутск Восточно-Сибирской железной дороги функционирует полуавтоматическая установка для оценки геометрии бандажей колесных пар измерения проката, толщины и высоты гребня и проверки отсутствия его подреза. Здесь же осуществляется проверка якорей на межвитковое «замыкание без снятия тяговых двигателей и вспомогательных машин с локомотива, применяется прибор для измерения величины сопротивлений пусковых резисторов по позициям и налажена проверка работоспособности аппаратуры СМЕТ.

Используя СТД, ремонтный персонал получает возможность объективно оценивать остаточный ресурс электропоездов, управлять их надёжностью и вместе с другими мероприятиями решать задачу полного устранения порч.

Экономический эффект от применения СТД определяется прежде всего тем обстоятельством, что при использовании традиционных методов около 50 % суммарных затрат; на техническое обслуживание и текущий ремонт (около 75 % затрат на заработную плату) прямо или косвенно расходуется на контроль технического состояния, комплексное внедрение различных СТД позволяет снизить эти затраты почти в 3 раза. При этом следует также учесть эффект от ликвидации порч и непланового ремонта.

Однако, говоря о широком внедрении СТД, нельзя забывать о человеке-исполнителе. Дело не только в том, что имеется большое число неисправностей, которые может определить человек, а прежде всего в том, что ведущая роль в организации диагностики принадлежит человеку. Только он в состоянии осуществить выбор цели - постановку задачи, определить необходимый объём информации, организовать её сбор и переработку с последующим полным анализом, оценить ситуацию и наметить решение (поставить конечный диагноз), организовать выполнение решения (ремонт), оценить эффективность принятых решений и вносить коррективы на основе анализа данных.

Задача первого этапа внедрения диагностирования локомотивов состоит в доводке диагностического оборудования и отработке методик: выполнения диагностических операций, обучении, обслуживающего персонала, уточнении областей применения и объёма диагностирования разработке соответствующей технической документации.

В период освоения процесса диагностирования должна быть подготовлена следующая техническая документация:

- номенклатура параметров диагностирования с указанием номинальных допусковых к предельным значениям;
- технологические карты диагностирования отдельных параметров;
- алгоритмы более глубокого диагностирования параметров, значения которых вышли за норматив;
- варианты диагностических указаний по ремонту и регулировке сборочных единиц тепловозов или электровозов;
- графики технологического процесса диагностирования;
- графики маршрутной технологии диагностирования или диагностирования в процессе ТО и ТР;
- форма документа (контрольно-диагностическая карты), в которой фиксируются результаты диагностирования;
- положение об организации и оплате труда мастеров-диагностов, мастеров-наладчиков, локомотивных бригад и слесарей-ремонтников;
- инструкция о порядке проверки качества ремонта;
- инструкция по технике безопасности при диагностировании тепловозов или электровозов,

Кроме того, должны быть разработаны учебные планы и программы и организована подготовка специалистов по техническому диагностированию электропоездов. Типовой учебный план и программа подготовки специалистов по техническому диагностированию электропоездов приведены в приложениях 1 и 2.

13. Улучшение организации и повышение эффективности диагностирования электровозов.

Внедрение ТДЛ в локомотивных депо с характеризуется разными вариантами организации работ, различными направлениями и уровнями применимости диагностики. Например, в депо Основа создана поточная линия технического обслуживания тепловозов с диагностикой, в депо Полтава - пост диагностики, в депо «Узбекистан» - стенд комплексной оценки состояния, станция комплексного контроля и технической диагностики электровозов, в депо Ташкент, технического диагностирования э.п.с. и т.д.

При этом в качестве первоочередных в депо Ташкент ставится задача разработать и внедрить технические средства и методы диагностики узлов и агрегатов тепловозов, обеспечивающие повышение надёжности тепловозного парка, сокращение порч в пути следования, заходов тепловозов на неплановые ремонты

Анализ организации ТДЛ в локомотивных депо сети позволил представить декомпозицию процесса разработки и внедрения ТДЛ

применительно к тепловозам, приведенную в табл. 5.1. В ней, в частности, рассмотрены объекты диагностирования применительно к локальным и комплексным (общим) системам ТД. Указываются эксплуатационные показатели, на которые влияет диагностирование конкретных объектов. Приводятся основные показатели надёжности и связь эксплуатационных расходов с измерителями.

Поэтому, прежде, чем разрабатывать методы и средства ТДЛ (или приобретать их) необходимо в каждом депо установить: что нужно диагностировать (например, мощность, топливную экономичность, надёжность и т.д.) и целесообразную (с точки зрения экономической эффективности - получение максимального эффекта в кратчайшие сроки) последовательность внедрения ТДЛ, исходя, конечно, из высшего критерия - полного обеспечения исправными локомотивами перевозочного процесса.

Процесс разработки и внедрения ТДЛ является многоплановым и сложным. В табл. 5.1. представлена декомпозиция этого процесса с выделением 3-х уровней: сетевого, дорожного и объектного.

Здесь же рассмотрены функции, которые выполняются в настоящее время и которые предлагается выполнять с целью повышения эффективности процесса разработки и внедрения ТДЛ. Факторы, влияющие на определение оптимальной этапности развития ССТД, изображены на рисунке.

Таким образом, с целью повышения экономической эффективности ТДЛ целесообразно следующее. На сетевом уровне активизировать работу по созданию и внедрению ТДЛ в направлении централизации этой деятельности, выбора структуры и объёма поставок СТДТ, организации централизованного изготовления БСТД и ССТД, проведение мероприятий по повышению контролепригодности электровозов. Создать научно-технический координационный совет по проблемам ТДЛ.

На уровне служб локомотивного хозяйства (второй, дорожный уровень) создать дорожные лаборатории надёжности и ТД ТПС, усилить работу по руководству процессом внедрения ТДЛ.

Наконец, на третьем уровне, в локомотивных депо повысить экономическую обоснованность применения тех или иных видов ТДЛ, определить оптимальную этапность их развития, обеспечить внедрение ССТД и комплексное использование БСТД и ССТД.

Обобщенные данные о путях повышения ЭЭТДЛ представлены на рисунке. Все мероприятия разделены на две группы. К первой относятся те, которые должны проводиться в процессе создания и использования локомотивов (объектов диагностирования), а именно: обеспечение соответствующей контролепригодности локомотивов и установка на них БСТД (в процессе создания); модернизация локомотивов с целью повышения их контролепригодности и совершенствования БСТД (в

процессе использования).

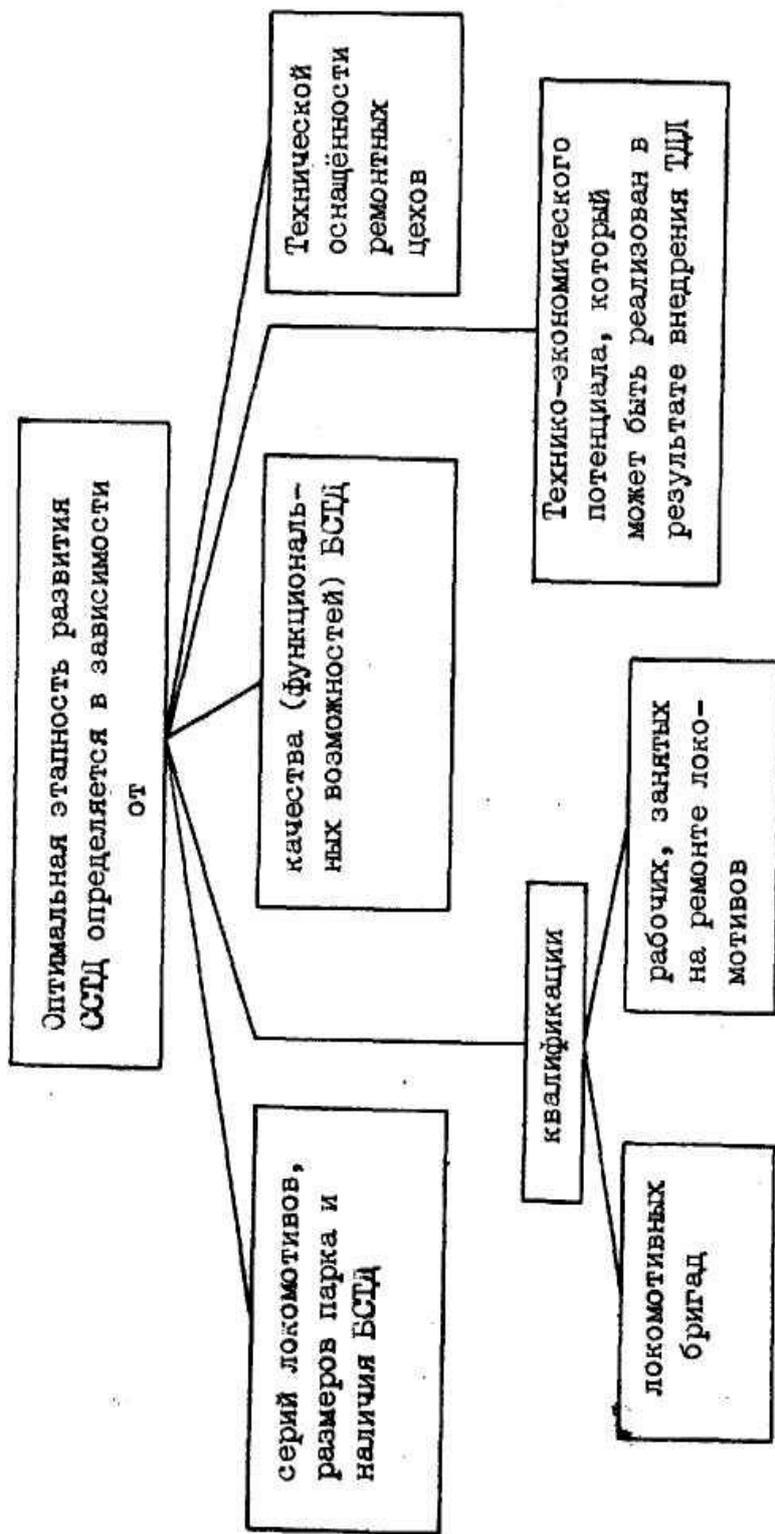
Вторую группу составляют мероприятия, проводить которые необходимо в процессе создания и использования самих методов и средств ТДЛ. Это выбор наиболее перспективных технических решений., создание прогрессивной технологии изготовления, обеспечение промышленного выпуска современных БСТД, ССТД и ПСТД, создание автоматизированных и автоматических СТД (в процессе разработки и изготовления). Далее в процессе использования: правильной выбор первоочередных депо, где нужно внедрять ТДЛ, определение оптимальной

Таблица 5.1

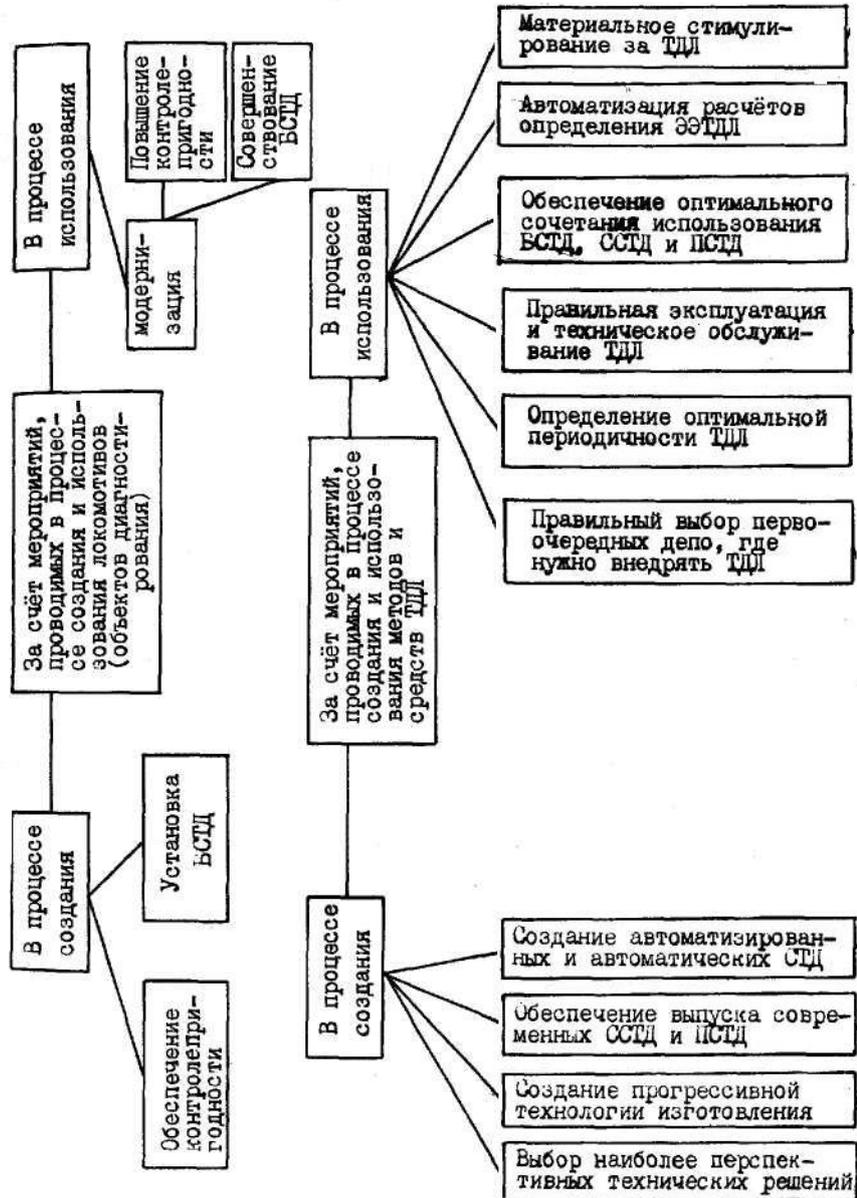
Декомпозиция процесса разработки и внедрения ТДЛ

Уровни	Структурные подразделения	Выполняемые функции		Задачи, которые нужно решить по тепловозам ТЭЗ, СТЭЛОМ и др. ТЭЗ, СТЭЛОМ и др. и др.	Организационные вопросы
		Существующие	Предлагаемые		
I сетевой	Главное управление локомотивного хозяйства	Рассмотрение ТЭЗ на разработку и создание БСТД и ССТД	Определение структуры и поставок ССТД между дорогами	Организация и централизованного изготовления ССТД и поставок их дорогам	Создание научно-технического координационного совета по проблемам ТДЛ Разработка БСТД и оборудование тепловозов. Повышение контроля тепловозов
II дорожный	Служба локомотивного хозяйства	Анализ работы ТДЛ в локомотивном депо	Определение рациональной последовательности внедрения ТДЛ в локомотивном депо	Распределение ССТД	Создание дорожных лабораторий надёжности и ТД ТПС
III объектный	Основное локомотивное депо	Разработка методов и средств ТДЛ и их внедрение	Определение оптимальной этапности развития ССТД и их внедрение	Внедрение ССТД	Создание деповских лабораторий (групп) ТД ТПС Комплексное использование БСТД и ССТД

периодичности ТДЛ, организация правильной эксплуатации (Технического обслуживания ТДЛ, обеспечение оптимального сочетания использования БСТД, ССТД и ПСТД, автоматизация расчётов определения ЭЭТДЛ и организация материального стимулирования работников локомотивных депо, имеющих отношение к разработке, внедрению и обеспечению нормального функционирования средств ТДЛ.



Факторы, влияющие на определение оптимальной этапности развития ССТД



*Пути повышения экономической эффективности
диагностирования электровозов*

**14. Возможность автоматизации расчётов
экономической эффективности технического
диагностирования электровозов.**

Из-за большой затраты времени на составление планов и отчётов экономисты, работающие в локомотивных депо, не имеют достаточных возможностей для глубокого анализа статистической отчётности. Поэтому действующая отчётность используется для аналитической работы всего на 30-70% /37/. Чтобы снизить затраты труда на расчёты, связанные с определением экономической эффективности ТДЛ рассмотрим возможность автоматизации их выполнения на примере тепловозного депо.

Целесообразно в АСУ ТЧ, которая является одним из низших звеньев комплексной автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом (АСУ ЖТ) создать подсистему определения экономической эффективности ТДЛ (АСУ ОЭЭТДЛ), которая, располагая своим небольшим банком данных (БД), будет подключена к подсистемам АСУ ТЧД, АСУ ТЧР, АСУ ТЧЭ, АСУ ТЧУ и АСУ ТЧБ /38/ с использованием информации, которая содержится в БД АСУ ТЧ.

АСУ ОЭЭТДТ будет использовать из АСУ ТЧД задачи по определению наибольших масс поездов, фактических показателей использования локомотивов, норм расхода топлива на поездку и т.д.; из АСУ ТЧЭ - нормы деятельности ремонтных цехов, техническое состояние деталей, узлов, агрегатов, значение остаточного ресурса оборудования тепловозов, планирование текущих ремонтов и технического обслуживания, трудоёмкости работ и т.д.; из АСУ ТЧУ - задачи планирования ремонта и технического обслуживания, составления месячной программы ремонтов и др.; из АСУ ТЧУ – ряд задач, связанных с обработкой статистических данных расхода топлива, состояния локомотивов и узлов, хода ремонтных работ и др.

Информационное обеспечение АСУ ОЭЭТДТ основывается на данных, регистрируемых в типовых формах первичной документации: настольных журналах дежурных по основному (ТУ-1) и обратному (ТУ-2) депо; маршруте машиниста (ТУ-3); книгах записи ремонта локомотивов (ТУ-28); книгах повреждений и неисправностей локомотивов, моторвагонного подвижного состава и их оборудования (ТУ-29); журнале учёта профилактического осмотра локомотивов (ТУ-150); книге учёта расхода топлива за время нахождения их в депо (ТХУ-5). Кроме этого используются данные, содержащиеся в учётных формах локомотивного хозяйства: ТУ- 5, ТУ-10, ТУ-27, ТУ-31, ТУ-124, ТУ-125, ТУ-137,

ТУ-141, ТУ-152, а также в графике исполненного движения.

Величина удельного расхода топлива на измеритель выполняемой работы ($1 \cdot 10^4$ ткм брутто) определяется по данным из лицевого счёта локомотива (форма ТУ-10 а),

$$g = \frac{B}{\sum Ql}, \quad (6.1)$$

где

B - действительный расход топлива электровозом (электровозами) за месяц, кг;

$\sum Ql$ - произведенная электровозом (электровозами) работа за месяц, $1 \cdot 10^4$ ктм брутто.

Схема потоков информации при решении задач ОЭЭТДЛ представлена на рис. 6.1.

Однако, как считают специалисты [39,40], указанные выше типовые учётные формы не полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к носителям информации, приспособленным для дальнейшей её обработки, на ЭВМ. Поэтому предстоит проведение соответствующей работы по классификации и формализации юс к виду, удобному для машинной обработки.

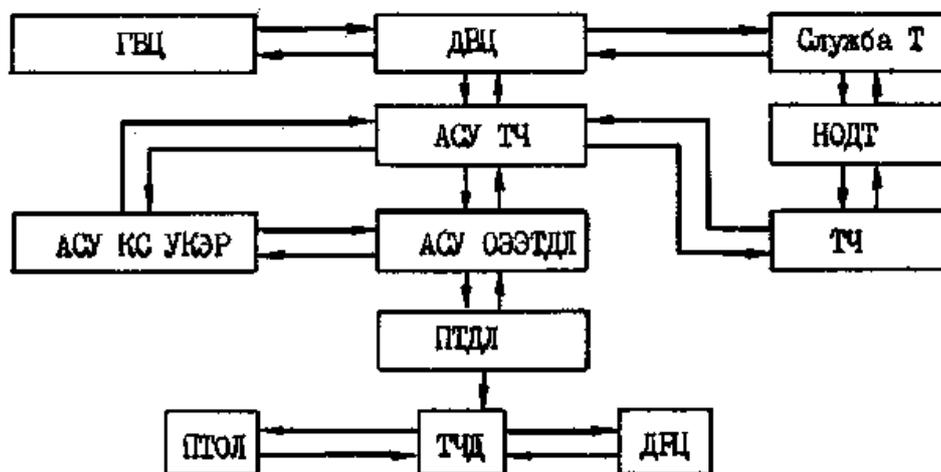


Схема потоков информации при решении задач ОЭЭТДЛ

В БД АСУ ОЭЭТДЛ будут содержаться дополнительные данные о затратах на создание, внедрение и эксплуатацию средств ТДЛ.

Основой для АСУ ОЭЭТДЛ является созданная методика определения экономической эффективности ТДЛ, разработанные алгоритм и программы. АСУ ОЭЭТДЛ должна отвечать условиям единства информационной базы, совместимости математического обеспечения и комплекса технических средств АСУ ТЧ. Причем все задачи функциональной части должны базироваться на общих информационных массивах и технических средствах АСУ ТЧ, которые обеспечат требуемое взаимодействие. Одним из возможных вариантов взаимосвязи ТДЛ с АСУ ЖТ представлен на рисунке.

Здесь в левой колонке в общепринятых на железнодорожном транспорте сокращениях наименований представлены руководящие звенья от министра путей сообщения до начальника локомотивного депо - ТЧ. Правее указаны соответствующие этим уровням АСУ и БД последних, которые имеют связь с ВЦ МПС - ГВЦ, дороги - ДВЦ и депо - ИВО. На этом рисунке также показано, что разработанная методика ОЭЭТДЛ, алгоритм и программа будут находиться в БД АСУ ОЭЭТДЛ.

Как показано на рисунке АСУ ОЭЭТДЛ взаимодействует с автоматизированной системой управления комплексной системы управления качеством и эффективностью работы локомотивных депо АСУ КС УКЭР, которая как и АСУ ОЭЭТДЛ пользуется из БД АСУ ТЧ информацией об удельном расходе дизельного топлива для тяги поездов, о трудоёмкости и материалоёмкости всех видов ремонта электровозов, их простоях на плановых и неплановых ремонтах и т.д.

Литература:

1. Галкин В.Г., Парамзин В.П., Четвертов В.А. “Надежность тягового подвижного состава” Учеб. Пособие для вузов ж.д. трансп. М.: Транспорт 1981й. 184с.
2. Хомич А.З. и др “Диагностика и регулировка тепловозов” М.: Транспорт. 1980й.
3. Сидоров Н.И., Сидорова И.Н. “Как устроен и работает электровозов” М.: Транспорт 1980й.

Редактор: Мулламухамедов С.А.

Подписано в печать

Печ.л.1,25.

Уч.изд.л.1,25

Формат бумаги 60x84 1/16

Тираж экз.

Типография ТашИИТ.

Ташкент, Адылходжаева, 1.