

ЎЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙЎЛЛАРИ
ДАВЛАТ АКЦИОНЕРЛИК ТЕМИР ЙЎЛ КОМПАНИЯСИ

ТОШКЕНТ ТЕМИР ЙЎЛ МУХАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ

Ташишни ташкил этиш ва транспорт логистикаси факультети

“Темир йўл транспортида автоматика, телемеханика ва
телекоммуникатсион технологиялар” кафедраси

**«АВТОМАТИКА ВА ТЕЛЕМЕХАНИКА ТИЗИМЛАРИНИНГ
ИШОНЧЛИГИ» ФАНИДАН**

маърузалар матни
маърузалар матни

Билим соҳаси: 500000 – Мухандислик, қайта ишлаш ва қурилиш тармоқлари

Таълим соҳаси: 520000 – Мухандислик ва муҳандислик иши

Таълим йўналиши: 5521800 – Автоматлаштириш ва бошқарув (темир йўл транспорти)

Таълим мутахасислиги: 5A521807- “Темир йўл транспортида автоматика ва телемеханика”

ЛЕКЦИЯ № 1

ПОНЯТИЕ НАДЕЖНОСТИ

План лекции:

1. ПОНЯТИЕ НАДЕЖНОСТИ

1.1. НАДЕЖНОСТЬ И ЕЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

2. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПО ДАННЫМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

2.1. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ

2.2. ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ

2.3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

3. НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

3.1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

3.2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКАЗОВ ПО СЛУЖБАМ И ОБЪЕКТАМ

3.3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКАЗОВ ПО ВРЕМЕНИ

3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОССТАНАВЛИВАЕМОСТИ

1. Надежность и ее составляющие

Теория надежности отражает общие закономерности, свойственные элементам и системам автоматики и телемеханики, которые необходимо учитывать при проектировании, изготовлении, испытаниях, приемке и эксплуатации, чтобы достигнуть максимальной эффективности их использования.

Методы теории надежности позволяют: выяснять характер воздействия окружающей среды и режимов работы на качество функционирования элементов и устройств; разрабатывать способы анализа надежности, необходимые для конструирования, проектирования и изготовления элементов, систем, прогнозирования неисправностей, их устранения, определения количества запасных деталей, приборов, механизмов и т. д.; организовывать сбор, учет и анализ статистических сведений о работе элементов и эксплуатации; определять наилучшие показатели надежности; определять способы лабораторных испытаний на надежность и долговечность; устанавливать наилучшие режимы профилактических работ и способы контроля качества работы элементов.

Надежность элементов (систем) есть совокупность их свойств, определяющих степень возможности этих элементов (систем) работать по назначению в течение заданного времени. **Качеством** же элементов (систем) называется совокупность их свойств, определяющих степень пригодности этих элементов (систем) для использования по назначению. Надежность—это качество элемента или системы, развернутое во времени. В совокупность свойств, определяющих надежность элементов (систем), входят безотказность в работе, долговечность, ремонтпригодность и точность исполнения функции по назначению.

Безотказность в работе есть способность элемента (системы) сохранять работоспособность (не иметь отказов) в течение заданного времени, в определенных условиях эксплуатации. Количественно безотказность оценивается вероятностью исправной работы, средней наработкой на отказ, интенсивностью отказов и т. д.

Долговечность элементов (систем) представляет собой способность к длительной эксплуатации в заданных условиях (при необходимом техническом обслуживании) вплоть до полного разрушения или другого предельного состояния. Она измеряется

фактическим временем эксплуатации, общим числом срабатываний в течение заданного времени и т. д.

Ремонтопригодность элемента (системы) является свойством приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению неисправностей или к восстановлению после появления отказа. Ремонтопригодность или восстанавливаемость измеряется затратами труда, времени и средствами, необходимыми для выполнения соответствующих профилактических или ремонтных работ.

Для элементов железнодорожной автоматики и телемеханики имеет важное значение и такое свойство элементов и систем, как готовность к действию после возникновения неисправности. Это свойство оценивается временем восстановления работоспособности элемента (системы), отсчитываемым от момента появления неисправности до ее окончательного устранения.

Номинальная долговечность представляет собой заданный по техническим условиям (или указанный в паспорте) срок службы элементов или системы, по истечении которого их списание считается юридически оправданным. Фактическая долговечность есть действительный срок службы элементов или системы, после которого невозможно восстановить их работоспособность или что восстановление становится экономически нецелесообразным. Оптимальная долговечность элемента или системы—это такой действительный срок их службы, в течение которого этот элемент или система обеспечивает в данных условиях максимально безопасный перевозочный процесс с наименьшими экономическими издержками.

Номинальная и фактическая долговечность являются исчерпывающей технической характеристикой, а оптимальная—моральной долговечностью.

Ремонтопригодность элементов и систем можно рассматривать как совокупность свойств, позволяющих обслуживающему персоналу определенной квалификации восстанавливать работоспособность этих элементов системы при сложившейся ситуации движения поездов на станции (или на перегоне). Понятие ремонтнопригодности включает в себя профилактический осмотр и аварийную ремонтнопригодность. Профилактические осмотры (измерения, замена деталей, приборов, настройка, регулировка, чистка, смазка и т. д.) и средние ремонты, проводимые по графикам текущего осмотра устройств, способствуют повышению надежности работы всех устройств, обеспечивающих безопасность движения поездов. Аварийная ремонтнопригодность, т. е. неплановое и случайное восстановление работоспособности, обычно производится при неисправности элементов или систем электрической и диспетчерской централизации, автоблокировки и т. д.

Свойства ремонтнопригодности зависят от сложности построения системы, взаимозаменяемости деталей и приборов, удобства измерений и контроля, оптимальности конструктивных решений, квалификации обслуживающего персонала, а также от наличия запасных частей, механизмов, оборудованных мастерских и инструмента.

Готовность той или иной системы к безопасному регулированию движением поездов обуславливается надежностью и ремонтнопригодностью. Отсюда готовность можно понимать как возможность системы в данный момент времени выполнять управляющие и контрольные функции по регулированию и обеспечению безопасности движения поездов.

Элементы и системы железнодорожной автоматики, непосредственно обеспечивающие безопасность движения поездов, обладают еще и свойством защищенности от воздействия помех, которые могут привести к ложному действию. Свойство защищенности от воздействия помех и неправильных действий в элементах (приборах, устройствах и механизмах) железнодорожной автоматики обычно обеспечивается конструктивными и рабочими параметрами, а в

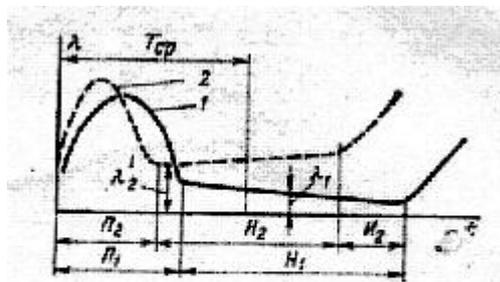


Рис. 1. Зависимость интенсивности отказов от времени

системах— еще и алгоритмом функционирования или логической структурой построения системы.

Для упрощения анализа, практического расчета,

учета неисправностей, улучшения контроля качества изготовления и обслуживания целесообразно надежность элементов и систем подразделить на потенциальную (производственную) и эксплуатационную. В потенциальной и эксплуатационной надежности можно выделить в самостоятельные понятия надежность элементов и надежность систем. В потенциальную надежность можно включать периоды хранения и транспортировки элементов, когда последние доставляются к месту эксплуатации. Время строительства и монтажа, пуска, регулировки и наладки систем железнодорожной автоматики и телемеханики является начальным временем для исчисления эксплуатационной надежности систем.

Закономерность изменения надежности сложной системы автоматики и телемеханики можно охарактеризовать теоретической кривой (рис. 1), выражающей зависимость интенсивности отказов λ от времени t работы системы. Интенсивность отказов в начальный I_1 (пусковой) период относительно большая и имеет нестационарный характер изменения. Она может служить критерием для оценки качества конструирования, проектирования, изготовления и контроля качества элементов и систем.

В период нормальной эксплуатации I_1 интенсивность отказов уменьшается, и вероятность появления неисправностей не изменяется во времени. После нормальной эксплуатации наступает период интенсивного износа I_2 элементов системы и появляется фактор старения, отрицательно воздействующий на надежность системы. В этот период вероятность отказов возрастает.

2. ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПО ДАННЫМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

2.1. Основные показатели надежности

В технических требованиях и условиях на разработку системы и аппаратуры задаются показатели надежности. В качестве параметров надежности для восстанавливаемых систем обычно устанавливают наработку на отказ T_0 и среднее время восстановления T_v . Нарботка на отказ определяется средним числом часов *работы* между двумя соседними отказами: $T_0 = T_p/n$, где T_p — суммарное время работы за определенный календарный срок, ч; n — число отказов за время испытаний (эксплуатации).

n

Суммарное время работы $T_p = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n = \sum_{i=1}^n t_i$, где

t_i — время исправной работы между $i-1$ и i -м отказами.

Для определения среднего времени восстановления за определенный период эксплуатации аппаратуры при n отказах суммируют промежутки времени t_i , затраченного на обнаружение и устранение отказов, затем сумму делят на число восстановлений, равное числу отказов.

Под вероятностью безотказной работы P_t понимается способность элемента или аппаратуры выполнять заданные функции и сохранять параметры в установленных пределах в течение заданного промежутка времени и при определенных условиях эксплуатации. Вероятность безотказной работы обладает следующими свойствами:

$$0 < P_t < 1; P(0) = 1; P(\infty) = 0$$

Кривая вероятности безотказной работы в зависимости от времени (рис. 2.1) называется функцией надежности. В начальный момент работы эта функция равна единице, с течением времени $P(t)$ уменьшается, стремясь к нулю.

Вероятность безотказной работы элемента определяют по результатам испытаний элементов на надежность как отношение числа элементов, оставшихся исправными в конце рассматриваемого интервала времени t_i , к начальному числу элементов, поставленных на испытание,

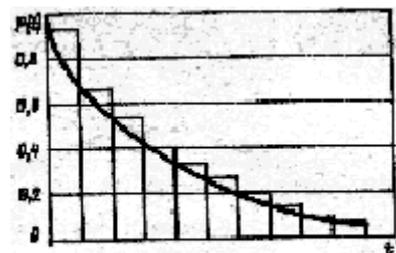


Рис. 2.1 Графики функции надежности

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

где N - начальное число испытываемых элементов;

n_i - число отказавших элементов за время t .

Для системы последовательно соединенных элементов вероятность безотказной работы определяют как произведение вероятностей безотказной работы всех элементов:

$$P(t) = P_1(t)P_2(t)P_3(t) \dots P_N(t) = \prod_{i=1}^N p_i(t).$$

Количественные показатели надежности T_o и T_e позволяют определить критерии надежности аппаратуры—коэффициент готовности и вероятность безотказной работы.

Коэффициент готовности

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n \tau_i}$$

где t_i — время исправной работы между $(i-1)$ -м и i -м отказами;

n — число отказов за рассматриваемый период;

τ — время обнаружения и восстановления i -го отказа.

Коэффициент готовности может быть также определен через наработку на отказ и среднее время восстановления:

$$K = \frac{T_o}{T_o + T_e}$$

Вероятность безотказной работы $P(t)$ можно рассчитать по известным вероятностям безотказной работы входящих в систему элементов либо по другим параметрам надежности системы.

Среднее время безотказной работы T_{cp} и наработка на отказ T_0 связаны с вероятностью безотказной работы соотношением $T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt$ и численно равны площади, ограниченной функцией надежности и осью абсцисс. При экспоненциальном законе распределения $T_{cp} = T_0$.

В случае известной интенсивности отказов системы $\lambda(t)$ вероятность безотказной работы системы с последовательным соединением элементов $P(t) = e - \int_0^t \lambda dt$

Если $\lambda = \text{const}$, что справедливо для периода нормальной работы элемент, то $P(t) = e^{-\lambda t}$.

Интенсивность отказов элементов

$$\lambda_i = \frac{\Delta n_i}{(N - n_i) \Delta t_i}$$

где Δn_i — число отказов за промежуток времени Δt_i ;

N — начальное число элементов;

n_i — число отказавших элементов к началу рассматриваемого промежутка времени.

Этот показатель характеризует степень надежности элемента в данный момент времени, т.е. его локальную надежность. Введение этого критерия надежности оказалось целесообразным также и по соображениям удобства расчета надежности систем по известным значениям интенсивностей отказов элементов, так как получаемые при этом расчетные соотношения являются сравнительно простыми и удобными для инженерной практики.

2.2. Оценка достоверности параметров надежности

Достоверная экспериментальная оценка надежности требует определенного объема исходного статистического материала получение которого связано с большой затратой времени, труда и средств. В связи с этим часто приходится сокращать объем испытаний, что неизбежно снижает точность и достоверность определяемого параметра надежности. Поэтому удается указать лишь некоторую область или границы возможных значений показателя надежности. Мера отклонения случайных величин T^*_0 от истинного значения параметра T_0 характеризуется относительной величиной — коэффициентом точности оценки $\delta = T^*_0 / T_0$.

Зная величину δ , можно определить доверительные границы (пределы ошибок) возможных значений для неизвестного параметра T_0 .

Достоверность оценки, или доверительная вероятность γ , характеризует вероятность попадания случайной величины x в заданный интервал, т.е. показывает меру достоверности получаемой оценки.

Границы доверительного интервала наработки на отказ могут быть определены из неравенства $T_0 \delta_1 < T^*_0 < \delta_2 T_0$

откуда

$$T_{\min} = \frac{T_0^*}{\delta_2} \leq T_0 \leq \frac{T_0^*}{\delta_1} = T_{\max}$$

Статистическую оценку T^*_0 рассчитывают по исходным данным $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ *l-i. la,...* In , получаемым при испытаниях. Статистическая оценка $T^*_0 = T_p/n$.

При определении коэффициентов точности оценки δ_1 и δ_2 заданной доверительной вероятности γ значения γ_1 обычно берут симметричные. Например, если задана $\gamma=90^0$, то берут значения $\gamma_1=95\%$, $\gamma_2=5\%$, так как $\gamma=\gamma_1-\gamma_2=95-5=90\%$.

Данные зависимости коэффициентов точности оценки δ_1 и δ_2 для некоторых значений достоверности γ_1 и γ_2 числа отказов n приведены в табл. 1 приложение 1.

Если полученная в результате испытания минимальная наработка на отказ T_{\min} больше заданной наработки на отказ T_0 , то аппаратура удовлетворяет заданным требованиям: $T_{\min} > T_0$.

По результатам испытаний вероятность безотказной работы за время t может быть рассчитана по формулам:

$$P_{\min}(t) = e^{-\frac{t}{T_{\min}}}; P_{\max}(t) = e^{-\frac{t}{T_{\max}}}; P(t) = e^{-\frac{t}{T_0}}$$

Границы доверительного интервала среднего времени восстановления определяют также, как для наработки на отказ T_0 . Необходимо иметь в виду, что при определении наработки на отказ T_0 не учитывают работу элемента в период приработки, для которой наработку нужно определить отдельно.

В период приработки наблюдается повышенное число отказов за счет различных производственных недостатков и выхода из строя («выжигания») наиболее слабых элементов со скрытыми дефектами.

После испытаний и определений показателей надежности рекомендуется продолжать испытания с целью обработки ресурса, выявления ненадежных узлов и элементов, ограничивающих срок службы аппаратуры.

2.3. Оценка эффективности повышения надежности

Оценка эффективности устройств железнодорожной автоматики и телемеханики предполагает наличие критерия эффективности. От того, каким будет этот критерий, зависят меры по повышению надежности.

Используемые сейчас критерии эффективности условно можно разделить на критерии, не учитывающие и учитывающие экономические факторы. К первому классу критериев можно отнести коэффициент технического использования, вероятность безотказной работы на заданном интервале времени и др. Ко второму классу критериев относят затраты на эксплуатацию, прибыль от эксплуатации, затраты на восстановление устройств» ущерб вследствие отказа и др. Очевидно, что более общими являются технико-экономические критерии, учитывающие как техническую, так и экономическую сторону вопроса. Определение эффективности какого-либо мероприятия всегда предполагает сопоставление эффекта, получаемого от внедрения мероприятия, с затратами. Такой подход обеспечивает решение многих задач с учетом различных факторов.

Известно, что характерным и необходимым условием применения технических устройств является их способность удовлетворять определенные потребности, т. е. быть полезными и обладать потребительской стоимостью. Но так как сами технические устройства являются продуктами труда, то в них заключен общественный труд, затрачиваемый обществом на разработку, изготовление и эксплуатацию. Таким образом, к вопросам эффективности устройств автоматики и телемеханики с учетом их надежности следует подходить с рассмотрением не только затрат, но и эффекта от эксплуатации.

В общем виде критерий эффективности от повышения надежности

$$K_0 = \frac{\mathcal{E}}{C} = \frac{\Phi_1[\gamma(t)T_1R_1R_2\dots R_k]}{\Phi_2[\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_m, T_1, R_1, R_2, \dots, R_k]}$$

- где \mathcal{E} — средний суммарный эффект за время эксплуатации T ;
 C — средние суммарные затраты за время эксплуатации T устройств;
 Φ_1 и Φ_2 — символы функциональной зависимости;
 $\gamma(t)$ — эффект от эксплуатации устройства;
 R — показатель надежности устройства;
 β — суммарные затраты на техническое обслуживание;
 ε — суммарный ущерб вследствие отказа устройства (отказ, задержка поезда, брак особого учета и др.);
 k — число показатель надежности;
 n — число видов работ по техническому содержанию;
 m — число причин (важных и характерных), приводящих к определенному отказу.

Поскольку как эффект от эксплуатации, так и затраты на достижение этого эффекта являются величинами случайными, целесообразно оперировать их математическими ожиданиями. Использование критериев максимума эффекта на единицу затрат обуславливается основными причинами:

- учетом не только эффекта, но и затрат, необходимых для его достижения;
- отражением различных свойств надежности — безотказности, долговечности, сохраняемое, ремонтпригодности. Безотказность и долговечность элементов и систем определяют эффект от их использования, а ремонтпригодность — затраты на проведение различных видов работ по обслуживанию и восстановлению;
- отражением субъективных факторов организации обслуживания устройств в процессе эксплуатации (наличие запасных приборов, квалификация обслуживающего персонала и т. д.);
- общностью критериев, поскольку из данного критерия как частные случаи могут быть получены другие критерии.

Критерий эффективности является общим по отношению к ряду критериев и позволяет выбрать из множества вариантов наилучший, обеспечивающий его максимальное значение. Если сравнивают несколько вариантов элементов или систем, назначение которых удовлетворяет определенной пропускной способности, т. е. $\mathcal{E} = \text{const}$. то, очевидно, достаточно исследовать знаменатель в формуле оценки критерия. При этом лучшим будет вариант, обеспечивающий в формуле оценки минимальное значение знаменателя. Таким образом, критерий минимума затрат является частным случаем критерия максимума эффекта на единицу затрат с учетом надежности вариантов устройств.

Для анализа эффективности повышения надежности устройств железнодорожной автоматики необходимы следующие исходные данные:

- о специфике работы устройства (назначение устройства, временной режим работы, оценка последствий отказа);
- о надежности устройства (число отказов за фиксируемый период, время восстановления, ремонта, проверки, задержки поездов);
- экономические (эффект от использования устройства, затраты на ремонт, проверку и замену, на восстановление, ущерб от отказа устройства).

Отказ устройства в процессе эксплуатации приводит к некоторому ущербу (рис. 5). В случае a ущерб является прямым последствием отказа. Он обусловлен необходимостью устранения отказа и затратами на ремонт устройства. При этом отказ не вызывает задержку поезда, поскольку возникает в интервале между поездами.

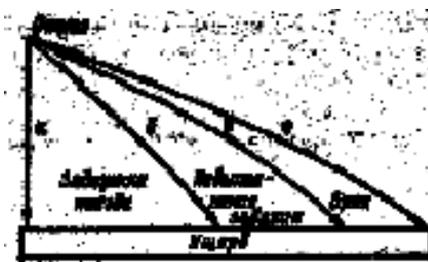


Рис. 2.3.1 График влияния отказа на количество ущерба

В случае b отказ приводит к задержке поезда. При этом ущерб, обусловленный задержкой поезда, может превосходить затраты, связанные непосредственно с отказом устройства. В этом случае при оценке ущерба необходимо прежде всего оценить ущерб от задержки поезда или группы поездов.

Случай b возможен тогда, когда отказ приводит к невыполнению задания, например, отказ локомотивного дешифратора при следовании в неблагоприятную погоду. В этом случае ущерб определяется не непосредственно отказом устройства, а фактом невыполнения задания по контролю состояния напольных сигналов и снижения скорости.

Кривая z соответствует случаю, когда отказ приводит к браку. В этом случае ущерб определяется последствиями возможной аварии.

Следует отметить, что возможны случаи, когда затраты, обусловленные задержкой поезда и невыполнением задания, соизмеримы с затратами, связанными непосредственно с отказом устройства. В зависимости от того, что является доминирующим фактором при оценке последствий отказа, следует определять показатели, характеризующие эффективность устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.

Ущерб от ненадежности устройств в эксплуатации следует определять дифференцированием с учетом последствий отказа. При определении ущерба от ненадежности для типа элемента или системы следует суммировать затраты по различным причинам:

$$\text{Собщ} = \text{Са} + \text{Сб} + \text{Св} + \text{Сг},$$

где Са — затраты на восстановление устройства;

Сб — затраты, связанные с задержкой поезда;

Св — затраты, связанные со снижением эффективности процесса регулирования поездов;

Сг — затраты, связанные с браком особого учета.

С ростом вероятности безотказной работы устройств, с одной стороны, увеличиваются его стоимость и затраты на раз работку и производство, с другой — уменьшаются затраты на эксплуатацию устройства. Однако подобная интерпретация зависимости надежности и стоимости носит чисто иллюстративный характер. Основной ее недостаток заключен в том, что в ней не отражен характер влияния отказов устройств на ущерб (факт отказа, задержка поезда, невыполнение задания и др.). Следовательно, для оценки эффективности устройств необходимы исходные данные для подсчета затрат, обусловленных отказами в эксплуатации, и должна быть известна зависимость показателя надежности от стоимости устройств. Из этого следует, что общий эффект от эксплуатации устройств будет выражаться зависимостью

$$C(R) = -\beta(R) + \alpha(R).$$

где $\beta(R)$ — стоимость устройства как функции надежности;

$\alpha(R)$ — составляющая общего эффекта устройства, обусловленная его эксплуатацией, как функция надежности;

R — показатель надежности.

Значение R , обеспечивающее максимум $C(R)$, будет обеспечивать максимальный уровень надежности.

Как отмечалось выше, надежность устройств можно повысить с помощью конкретных мероприятий (модернизация, повышение надежности элементов, эффективное обслуживание и др.). Эти мероприятия могут одинаково повышать надежность при различной стоимости или неодинаково — при одинаковой стоимости, причем показатель надежности меняется скачкообразно. Поэтому при повышении надежности, достигнутом с помощью конкретного мероприятия, на величину $A(R)$ необходимо оценить величину $\Delta C(R)$. Если это приращение положительно, то максимум функции $C(R)$ не достигнут. Следовательно, необходимо изыскать пути для дальнейшего повышения надежности устройств. Если же при очередном мероприятии по увеличению надежности получится, что $\Delta C(R)$ отрицательно, то это означает, что оптимальный уровень надежности уже достигнут и дальнейшее повышение надежности неэффективно. Исходя из этого следует, что оптимальный уровень надежности можно определить с помощью многоступенчатого процесса, на каждой ступени которого проверяют экономическую эффективность конкретного мероприятия по повышению надежности.

Проведен расчет эффективности повышения надежности транзитного реле ТШ-65, взамен которого сейчас выпускается реле ТШ-65В, разработанное кафедрой автоматики и телемеханики ХИИТа. Модернизация повысила стоимость реле, ТШ-65 и повлияла только на надежность рельсовой цепи и не изменила другие технические параметры. Не изменились также и средние потери, связанные с отказами.

Предполагается идентичность условий эксплуатации реле старой и новой конструкций. Следовательно, суммарный эффект от эксплуатации реле ТШ-65 и ТШ-65В за некоторый период времени будет одинаковым, а затраты, вызванные отказами, различными. Различной будет и стоимость реле. Поэтому целесообразность проведения мероприятий может быть оценена после сравнения затрат.

Например, имеется 1000 реле ТШ-65, которые находятся в эксплуатации в течение одного года. За это время произошло n_1 отказов, каждый из которых приводит в среднем к потере C руб. Стоимость реле ТШ-65 равна β_1 руб. В целях повышения надежности работы рельсовых цепей разработано реле ТШ-65В, что позволило уменьшить число отказов рельсовых цепей, равное n_2 , причем $n_2 < n_1$. Стоимость реле ТШ-65В $\beta_2 = \beta_1 + \Delta\beta$, а затраты, связанные с изготовлением и эксплуатацией реле ТШ-65В, $C'_1 = \beta + Cn_1$.

Затраты, связанные с изготовлением и эксплуатацией реле ТШ-65В, определяются из соотношения $C'_2 = \beta_1 + \Delta\beta + Cn_2$.

Мероприятие по модернизации реле ТШ-65 эффективно, если $C'_1 > C'_2$.

Вспользуемся статистическими данными эксплуатации, приведенными в работе [3], и определим величины C'_1 и C'_2 . Из 1000 реле ТШ-65 и ТШ-65В, находившихся под наблюдением в эксплуатации в течение одного года, отказали 12 и одно реле соответственно. Расчеты подтвердили эффективность проведенных мероприятий при условии увеличения сроков периодичности ремонта в РТУ транзитного реле ТШ-65В с одного года до двух лет.

Если перед разработчиком возникает задача повышения надежности за счет повышения стоимости прибора (число отказов в этом случае в эксплуатации уменьшится), то следует идти на повышение стоимости аппаратуры.

Вместе с тем следует изыскать такие пути повышения надежности, которые требовали бы по возможности низких материальных затрат на модернизацию устройств СЦБ, так как 1 ущерб от ненадежных устройств в эксплуатации относительно мал по сравнению с затратами на повышение надежности.

Рассмотрим более подробно условие эффективности мероприятия

$$\beta_1 + Cn_1 > \beta_1 + \Delta\beta + Cn_2$$

Преобразуя это неравенство, получим условие эффективности $C > \Delta\beta / \Delta n$, где $\Delta n = n_1 - n_2$. Соотношение $b = \Delta\beta_1 / \Delta n$ есть дополнительная стоимость устройства, отнесенная к среднему числу отказов, которые удалось предупредить за счет реализации мероприятия, т. е. средняя стоимость предупреждения одного отказа. Таким образом, условие эффективности мероприятия $C > b$ имеет следующий физический смысл: мероприятия по повышению надежности являются эффективными, если средние затраты на предупреждение одного отказа меньше, чем средние затраты на один отказ. В тех случаях, когда отказы устройств СЦБ приводят к задержкам поездов, следует определять ущерб от задержек поездов при эксплуатации новой и старого устройств, а затем вычислять величины C'_1 C'_2 . Сравнение этих величин позволяет оценить эффективность проведенных мероприятий.

Железнодорожный транспорт следует рассматривать как самовосстанавливающуюся систему, осуществляющую перевозочный процесс в соответствии с графиком движения поездов. Основными дестабилизирующими факторами в этой системе являются ненадежность устройств и ошибки обслуживающего персонала, а стабилизирующими — работа обслуживающегося персонала по восстановлению действия устройств и служб движения пути и тяги по вводу поездов в график. Исходя из этого затраты от задержки поезда $C_{зп} = (C_0 + C_в) + (C_д + C_т + C_п) + (C_1 + C_2)$, где C_0 — стоимость предупреждения отказа; $C_т$, $C_п$, $C_д$ — затраты труда работников движения, тяги и пути соответственно; C_1 — затраты от

задержки поезда с учетом времени задержки; C_2 —затраты на ввод поезда в график путем увеличения скорости; C_B —затраты на восстановление устройств СЦБ.

Определение величин C_d и C_T затруднено, поскольку операторы имеют резерв времени на регулирование движением поездов, Поэтому с некоторым допущением можно пренебречь суммой C_d и C_T .

Тогда формулу для вычитания затрат можно записать в упрощенном виде:
 $C_{3п}=(C_0+C_B)+C_{п}+(C_1+C_2)$.

При возникновении отказов n и задержке m поездов $C_{3п}=(C_0+nC_B)+n_1C+n(\sum_{i=1}^m C_{1i} + \sum_{i=1}^m C_{2i})$, где n_i — число отказов по службе пути.

Из последней формулы видно, что сокращения затрат можно достичь оптимизацией процесса обслуживания устройств СЦБ и сокращением времени восстановления, а также сокращением числа задержанных поездов.

Вызовет ли отказ устройств СЦБ задержку поездов в каждом конкретном случае, зависит от ряда случайных обстоятельств. Поэтому случайной будет и тяжесть отказа, а следовательно, и затраты на восстановление. В связи с воздействием многих случайных факторов расчеты затрат от ненадежности устройств СЦБ следует проводить с применением теории вероятностей. На основании анализа статистических данных эксплуатации можно определить средние величины продолжительностей отказа и задержки поездов. Затраты на ликвидацию задержек поездов зависят от времени задержек и стоимости простоя поезда в единицу времени. Среднее время задержки зависит от средней продолжительности отказа. Зависимость между продолжительностью отказов и продолжительностью задержек будет нелинейной, так как с увеличением продолжительности отказа растет число задержанных поездов, что приводит к резкому возрастанию суммарного времени задержек.

Стоимость простоя поезда в единицу времени определяется ухудшением эксплуатационных показателей и рассчитывается через единичные расчетные ставки. Фактические затраты на восстановление также зависят от продолжительности отказов устройств. Зависимость эта также нелинейная. Эти затраты будут резко возрастать с ростом продолжительности отказа.

Таким образом, при точном определении зависимости затрат на ликвидацию последствий от ненадежности устройства от времени восстановления получается возрастающая кривая. При переходе к временному масштабу характер зависимости не изменяется.

Учитывая вышесказанное, целесообразно стоимость задержки в единицу времени дифференцировать по продолжительности задержки. Это создаст стимул для сокращения в первую очередь времени восстановления и числа отказов, вызывающих продолжительные задержки поездов.

При выполнении профилактического контроля задачами обслуживающего персонала, как уже отмечалось, является обнаружении элементов, параметры которых не соответствуют норме, и доведение параметров до нормы или замена элементов. Несмотря на относительную сложность профилактического контроля по сравнению с периодической заменой, его следует считать основным способом предупреждения отказов при обслуживании устройств СЦБ.

Применение метода периодической замены значительно ограничено следующими причинами: отсутствием явно выраженного перелома на характеристике интенсивности отказов при резком различии режимов и условий эксплуатации однотипных элементов; относительно высокой стоимостью элементов и их замены. В то же время применению метода профилактического контроля способствует ограниченное число применяемых элементов, у которых предусмотрена возможность контроля основных параметров; территориальная разобщенность устройств, отсутствие достаточно надежного транспорта для доставки персонала к месту отказа, требование минимального времени

восстановления.

При профилактическом контроле устройств СЦБ важным резервом повышения эффективности обслуживания является оптимизация периода профилактического контроля.

Затраты обслуживания в общем случае складываются из затрат контроля параметров, затрат на устранение отклонения параметров и затрат на восстановление при случайном возникновении отказов. Затраты в единицу времени.

$$C_0 = \frac{(NC_k + n_s C_s) m}{T_{np}} + C_{ei}$$

где C_0 —затраты обслуживания в единицу времени;

N — число параметров, подлежащих профилактическому контролю;

C_k —среднестатистические затраты на контроль одного параметра элемент;

n_s — число выявленных отклонений;

C_s — среднестатистические затраты на восстановление одного отклонения;

m — число элементов, подлежащих профилактике;

T_{np} — период профилактического контроля;

C_{ei} — затраты на восстановление при отказах в единицу времени.

Анализ этой формулы показывает, что минимум затрат на профилактику возможен при минимизации числа контролируемых параметров и времени профилактики, а также снижению числа отказов из-за ненадежности элементов.

Эксплуатационную надежность устройств СЦБ можно повысить путем модернизации ненадежных элементов аппаратур и схем или повышения эффективности обслуживания. Практика показывает, что первый путь требует значительных затрат времени и средств, а также ремонта или замены приборов в условиях эксплуатации. Однако этот путь не следует исключать из рассмотрения.

Оптимизацию процесса обслуживания следует считать важным резервом повышения эффективности устройств СЦБ. Представляет интерес метод практической оптимизации процесс обслуживания. Сущность метода заключается в опытным продлении (уменьшении) существующего периода профилактики однотипных элементов и проведении последующих широких эксплуатационных испытаний этих элементов. При этом оценивают уровень надежности при тенденции ее изменения. Если надежность сохраняется на прежнем уровне, такие испытания продолжают, но уже при измененном периоде профилактики элементов.

Такие циклы продолжают до явления снижения надежности элемента после определенного периода профилактики. Ценность метода заключается в возможности учесть все факторы, влияющие на надежность при эксплуатационных испытаниях в отличие от лабораторных.

Организация на дорогах лабораторий и групп надежности создает предпосылки для проведения широких экспериментальных работ по оптимизации сроков профилактики и повышению эффективности технического обслуживания.

Метод практической оптимизации позволил продлить срок периодической проверки нейтральных штепсельных реле и блоков централизации с трех до пяти лет, а дополнительные научно-обоснованные исследования и лабораторные испытания до 10-15 лет.

3. НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

3.1. Общие требования

Железнодорожные системы автоматики и телемеханики (электрическая централизация стрелок и сигналов, автоблокировка, диспетчерская централизация и т. д.) можно назвать сложными системами, так как они выполняют многочисленные функции, имеют много входных каналов, преобразуют или выдают много выходных данных. На основании тщательного всестороннего анализа свойств подобных сложных систем возможно выбрать оптимальный способ создания системы с требуемым уровнем эксплуатационной надежности.

Все системы железнодорожной автоматики и телемеханики имеют определенное назначение, поэтому характеристика надежности должна определяться исходя из назначения этих систем. На начальной стадии проектирования системы определяется тип и минимальное число устройств в схеме. После выяснения структуры отдельных устройств и схемных узлов можно выбрать интенсивность отказов и восстановления элементе каждого прибора, устройства, механизма и их схемы в соответствии с заданным уровнем надежности и соблюдением требований безопасности движения поездов.

Основные правила проектирования систем, непосредственно или косвенно обеспечивающих безопасность движения поездов определяются документами, согласованными с организациями основными потребителями этих систем. Назначение той или иной системы и выполняемые ею задачи указываются в техническом задании. Например, в техническом задании на разработку маршрутно-релейной централизации стрелок и сигналов записано следующее: «Устройства электрической централизации стрелок и сигналов должны создавать условия для эффективного регулирования движения (пропуска, обгона, скрещения и внутростанционных маневровых передвижений), обеспечивать безопасность и бесперебойность движения поездов и повышать перерабатывающую способность станций. Основными задачами электрической централизации стрелок и сигналов являются: управление стрелочными электроприводами и огнями светофоров, разрешающими прибытие или отправление поездов; контроль свободности или занятости станционных путей и стрелочных участков подвижными единицами, исправного состояния всех устройств централизации; взаимное замыкание стрелок и сигналов и автоматическое размыкание их подвижной единицей».

В техническом задании на разработку циклической диспетчерской централизации «Нева» назначение и задачи определены иначе, чем для маршрутно-релейной централизации: Диспетчерская централизация должна повышать пропускную способность железных дорог, ускорять продвижение поездов и значительно сокращать штат линейных работников без строительства дополнительных путей. Она является эффективным средством регулирования движения поездов на железных дорогах и управления удаленными объектами из одного пункта.

Основной задачей диспетчерской централизации является достоверная передача управляющих и известительных приказов с диспетчерского поста на промежуточные станции и обратно, перевод стрелок и открытие сигналов на этих станциях, контроль за движением поездов и исправной работой устройств. Диспетчерская централизация частично выполняет задачи электрической централизации, но только по принципам телеуправления и телеконтроля. Функции взаимного замыкания стрелок и сигналов и их автоматического размыкания она не выполняет и, следовательно, непосредственно не обеспечивает безопасность движения поездов.

Известно, что при проектировании и строительстве железнодорожных путей, мостов, локомотивов, средств управления стрелками и сигналами всегда стремились создавать более надежные конструкции, оставаясь при этом в пределах технических и экономических условий. Требования по надежности задавались вместе с формулировкой задач, решаемых системой при безопасном регулировании перевозочного процесса.

Для маршрутно-релейной централизации стрелок и сигналов записаны следующие требования по надежности: «Для обеспечения работы дежурных по станциям применять выносные табло и пульт-манипулятор. Схемы наборной группы непосредственно не участвуют в обеспечении безопасности движения поездов и поэтому их выполняют с применением кодовых реле второго класса надежности. Схемы управления объектами и исполнительной группы выполняют с применением реле НМШ, КМШ, НШ, КШ (первый класс надежности). Схемой должно контролироваться отпускание якоря реле первого класса надежности и притяжение якоря нейтральных и поляризованных реле».

Электрические схемы не должны приводить к опасному положению объектов при обрывах, сообщениях проводов, коротких замыканиях, включении источников электропитания. Все ответственные схемы, обеспечивающие безопасность движения поездов и содержащие линейные провода, должны иметь двухполюсное размыкание. Наружные воздушные или кабельные линии должны быть защищены от влияния высоковольтных силовых линий.

В схемах надежная работа реле на притяжение якоря должна обеспечиваться коэффициентом запаса не менее 1,2 напряжения полного подъема, на отпускание якоря с учетом коэффициента 0,8 напряжения отпускания при максимальном напряжении источника тока; временные характеристики реле должны иметь коэффициент запаса не менее 1,5 расчетного времени замедления реле при номинальном напряжении источника тока.

Диспетчерская централизация в соответствии с определенными задачами содержит и следующие требования по надежности.

Надежная передача управляющих и известительных приказов с соблюдением всех требований по безопасности движения поездов должна обеспечиваться в схемах электрической централизации стрелок и сигналов.

Схемы телеуправления и телесигнализации должны иметь защиту от качественных и количественных искажений управляющего и известительного приказов и исключать прием ложного сообщения. Схемы телеуправления и телесигнализации не должны принимать сложные помехи.

Схемы управляющих и известительных каналов должны быть выполнены с применением реле второго или третьего класса надежности и полупроводниковых приборов и т. д.

Анализ технических заданий на проектирование систем электрической и диспетчерской централизации показывает, что они не содержат количественных показателей надежности. В этих заданиях указывают только качественные характеристики, отсутствуют указания по методу обслуживания элементов узлов систем. Защита от опасных отказов изложена только в качественных понятиях при отсутствии количественных показателей. Отсутствие в технических заданиях и технических условиях критериев надежности элементов, блоков и устройств исключает научную организацию процесса обслуживания и ремонта.

При составлении технических заданий на разработку или проектирование железнодорожных систем автоматики и телемеханики, непосредственно или косвенно обеспечивающих безопасность движения поездов, следует отдельно записывать все требования по надежности в виде количественных показателей бесперебойности работы, возможности появления защитного и опасного отказов, среднего времени восстановления и т. д. Первой задачей при проектировании системы является определение способов оптимального выполнения требований по надежности.

Требования по надежности необходимо согласовывать с другими основными характеристиками системы. Например, в маршрутно-релейной централизации стрелок и сигналов вероятность безопасной работы должна быть согласована с заданной пропускной способностью станции и бесперебойностью движения поездов. Одобренные способы выполнения требований по надежности позволят выбрать надежные системы с

наилучшей эффективностью, а также помогут определить уровень надежности системы в рамках стоимости проектирования. Выбранные характеристики надежности, как правило, влияют на качество проектирования, обуславливая контроль основных операций, позволяющих получить надежную систему.

Первым шагом при проектировании сложных систем является отбор основных способов достижения оптимальных параметров надежности, регламентирующих условия работы системы и ее отдельных устройств. Затем выбирают значения параметров, проектируют подсистемы и элементы, изучают полученные результаты и в случае необходимости пересматривают выбранные параметры.

Для проектирования надежных железнодорожных систем рекомендуется: определить надежность системы по их рабочим характеристикам и параметрам; выработать экономический показатель эффективности системы с учетом надежности; преобразовать системы в ряд независимых функциональных блоков и выбрать надежные УЛСМСНТы для каждого блока; применить математические и статистические методы для оценки системы по надежности и стоимости; оценить важность каждой схемы с обеспечением безопасности и бесперебойности движения поездов; проанализировав оптимальность структуры системы; определить порядок профилактических работ и зависимость надежности от качества обслуживания; определить требования по надежности в виде интенсивности отказа λ и интенсивности восстановления μ ; рассчитать надежность каждого элемента или системы с использованием интенсивности отказов по аналогичному оборудованию, а при отсутствии этой возможности оценить интенсивность отказов и восстановления на основе публикуемых данных; сопоставить выбранную и рассчитанную надежность принять решения о дальнейших действиях по исследованию возможностей повышения надежности элементов и систем.

3.2. Распределение отказов по службам и объектам

В течение длительного времени в соответствии с методикой, проводилась работа по сбору и учету статистических сведений о надежности систем электрической централизации (ЭЦ), автоматической блокировки (АБ), пол} автоматической блокировки (ПАБ) и др. Относительное распределение отказов систем между службами оказалось следующим: служба сигнализации и связи—0,35; служба пути- 0,508; служба энергоснабжения — 0,045; служба движения -0,091; другие службы — 0,006. Коэффициент отказов для АБ~⁴ 0,42; ЭЦ—0,382; ПАБ—0,171; других систем — 0,027. Распределение отказов в процентах по основным видам устройств; систем ЭЦ, АБ и ПАБ показано в табл. 3.2.1.

Анализ статистических данных об отказах устройств электрической централизации показывает, что наибольшее число неисправностей приходится на рельсовые цепи, стрелочных электроприводы, релейную аппаратуру, светофоры, элементы защиты. При этом наибольшее число отказов рельсовых цепей является следствием неисправности изолирующих стыков (свыше 30%), отсутствия или неисправности рельсовых стыковых соединителей (свыше 20%), понижения сопротивления изоляции рельсовой линии (свыше 10%), закорачивания рельсовых цепей различными элементами (инструмент, проволока, измерительные приборы и т. д.).

Таблица 3.2.1

Объекты	Число отказов, %		
	ЭЦ	АБ	ПАБ
Пульты, табло, аппараты управления	2,55	0,66	11,84

Релейные шкафы, стивы	7,16	12,43	6,73
Щитовые электропитающие установки	1,22	0,38	0,34
Релейная и бесконтактная аппаратура	10,52	25,24	8,29
Трансформаторы, преобразователи, выпрямители, электрические машины	4,81	7,19	5,71
Элементы защиты	8,87	6,33	6,85
Аккумуляторы и первичные элементы	2,24	4,68	8,59
Сигналы	5,57	6,39	5,42
Электроприводы	20,41	-	3,13
Воздушные линии	0,22	8,52	21,74
Кабельные линии	7,92	10,13	10,63
Рельсовые цепи	26,87	14,61	9,52
Неустановленные объекты	1,63	3,42	1,31

Опасными отказами рельсовых цепей являются такие, в результате которых рельсовая цепь показывает ложную свободу. Наиболее вероятные случаи ложной свободы рельсовых цепей: возникновение обходных путей для сигнального тока, помимо рельсов, через балласт, опоры контактной сети, металлические конструкции и т. д.; при загрязнении поверхности головок рельсов песком, мазутом и другими материалами; при следовании подвижных единиц с плохим шунтом (дрезины, автотрисы, отдельные вагоны или локомотивы); подпитка путевых реле от посторонних источников (электроосвещения поездов, от смежных рельсовых цепей); подпитка или переворачивание путевых реле обслуживающим персоналом; неисправности перемычек или соединителей.

Отказы стрелочных электроприводов связаны в основном с нарушением контакта автопереключателя из-за некачественной регулировки контактов обслуживающим персоналом, излома колодок с ножами или контактных колодок, излома контрольных линеек или рычагов автопереключателя, загрязнения или индюзения и обмерзания контактов. К характерным отказам электропривода также следует отнести заклинивание шибера, неисправность элементов механической передачи, нарушение блокировочного контакта. Большой процент отказов приходится на электродвигатели (до 30%) вследствие обрыва или замыкания обмоток якоря, неисправности щеточного узла, понижения изоляции и др.

Аппаратура, применяемая в устройствах электрической централизации, обладает высокой надежностью. Однако, учитывая значительный объем аппаратуры на объектах, имеются характерные отказы, которые являются следствием некачественного изготовления или ремонта ее в РТУ: нарушение контактов в кнопках пультов, монтаже, штепсельных розетках и разъемах, съемных платах; обрыв обмоток реле; неисправность контактной и передающей систем реле; неисправность выпрямительных элементов, конденсаторов, резисторов, трансформаторов.

Отказы элементов защиты обусловлены в основном неисправностью предохранителей по причине их перегорания из-за некачественной пайки, несоответствия номиналу, короткого замыкания в цепях. Имеют место также случаи неисправности предохранителей из-за окисления, излома латунных деталей и воздействия перенапряжений от грозы.

В табл. 3.2.2 приведены количественные показатели надежности объектов электрической централизации.

Повреждаемость сигнальных воздушных проводов объясняется условиями их работы: трасса сигнальной воздушной линии проходит вдоль железной дороги и не ограждена; набросы и обрывы сигнальных проводов особенно там, где трассы проходят вблизи населенных пунктов;

Таблица 3.2.2

Параметр							
	Светофор	Электропри- вод	Рельсовая цепь	Постовые устройства	Источники питания	Маневровая колонка	Кабельная линия
Средняя продолжительность задержки поезда, мин:							
Одного	9,7	18,1	11,6	12,5	9,9	21	13,2
на один отказ	6,21	11,95	4,99	4,25	8,6	22,26	12,8
Число задержанных поездов:							
среднее на один отказ	0,64	0,66	0,43	0,34	0,87	1,06	0,97
на 1000 маршрутов	0,08	0,09	0,1	0,015	0,02	0,015	0,03
Средняя длительность отказов, мин	28,1	32,3	30,8	21,1	23,2	70,6	67,9
Коэффициент отказов	20,1	21,7	39,9	7,7	3,6	2,4	4,6

несоблюдение периодичности профилактики, текущего содержания и капитального ремонта сигнальной воздушной линии автоблокировки при определенных метеорологических условиях вызывает схлестывание проводов между собой и их обрывы.

Условия работы кабельных линий благоприятнее, чем у воздушных. На работу кабельных линий не влияют бури, дожди, гололед, в меньшей степени они подвержены опасным и мешающим электромагнитным влияниям, воздействиям атмосферных перенапряжений. Кабельные линии лучше обеспечивают бесперебойность и надежность работы устройств СЦБ, более долговечны и дешевле в эксплуатации. Отказы по кабельному хозяйству происходят реже, чем на воздушной линии.

Из элементов аппаратуры наиболее часто отказывают дешифраторные ячейки, кодовые путевые трансмиттеры, трансмиттерные реле, выпрямительные устройства.

Отказы устройств переездной сигнализации аналогичны отказам устройств автоблокировки, однако следует учесть отказ электроприводов автошлагбаумов, которые обусловлены в основном отказами двигателей и контактной системы, переключающей положения шлагбаума.

3.3. Распределение отказов по времени

По статистической информации определен закон распределения времени между отказами эксплуатируемых систем автоматики.

Плотность вероятности времени между отказами для систем железнодорожной автоматики имеет экспоненциальное распределение.

Анализ показывает, что по мере улучшения оснащенности дорог системами автоматики время между отказами уменьшится. Это в свою очередь требует разработки мер по повышению надежности как отдельных элементов, так и систем в целом.

Это объясняется неравномерным распределением объема работ, проводимых различными службами в течение недели. Распределение отказов в течение суток свидетельствует о росте числа отказов в рабочее время.

Распределение среднего времени восстановления в зависимости от рабочего стажа обслуживающего персонала по сведениям одной из дорог за год показывает, что большее

время на устранение отказов тратят работники эксплуатации со стажем W одного года, что объясняется малым опытом работы. Следовательно, необходимо совершенствовать формы обучения молодых специалистов по поиску отказов, использовать тренажеры и логические схемы поиска отказов, макеты и др.

Анализ статистической информации об отказах систем автоблокировки и электрической централизации показал, что ряд элементов сохраняет постоянную интенсивность отказов в период приработки и в период нормальной эксплуатации. Элементы систем, работающие в отапливаемых помещениях и с постоянной нагрузкой, считают элементами с постоянной интенсивностью отказов. К этой группе можно отнести такие элементы рельсовых цепей, как ограничивающие сопротивления, путевые трансформаторы, конденсаторные блоки. Однако рельсовая линия, изолирующие стыки, путевые реле, дроссельные перемычки, преобразователи имеют интенсивность отказов, переменную во времени, особенно в послепусковой период эксплуатации систем. Эти элементы сильно подвержены влиянию климатических факторов. Время безотказной работы для таких элементов подчиняется закону Вейбулла с плотностью

$$f(t) = \alpha C t^{c-1} e^{-at^c}$$

где α — параметр, определяющий масштаб;

C — параметр, определяющий остроту и асимметрию распределения.

В системах централизации приработка устройств происходит быстрее, чем в автоблокировке. Это объясняется тем, что первые устройства расположены в одном пункте, находятся под постоянным наблюдением обслуживающего персонала и обладают лучшей ремонтпригодностью. В период приработки наблюдается повышенное число отказов из-за некачественно строительства и проектирования объектов. Для сокращения периода приработки систем и снижения числа отказов необходимо проверять РТУ приборы, поступающие на объект с заводов. Перед установкой нужно организовать проверку монтажа релейных шкафов на макете, что позволит выявить некачественные пайки, монтажные ошибки. Необходим также контроль дистанции за качеством строительно-монтажных работ. В первый год эксплуатации следует увеличить частоту профилактики устройств, что сократит число отказов и период приработки.

3.4. Определение показателей восстанавливаемости

Среднее время восстановления является наиболее обобщающим критерием ремонтпригодности устройств. Оно складывается из следующих составляющих: времени оповещения электромеханика об отказе t_o , времени следования к объекту отказа t_{np} , времени поиска места отказа t_n , времени устранения t_y , т. е. $T_v = t_o + t_{np} + t_n + t_y$.

В табл. 3.4.4 даны средние значения $(t_o + t_{np})$, t_n и t_y в минутах по системам АБ, ЭЦ, ПАБ по службе Ш.

Анализ изменения параметра T_v за ряд лет показывает, что его сокращение идет очень медленно. Так, за последние годы наблюдалось незначительное сокращение средней длительности восстановления в основном за счет сокращения времени прибытия к месту отказа и повышения квалификации обслуживающего персонала. В табл. 3.4.5 указаны мероприятия по сокращению составляющих времени восстановления. Основное внимание следует уделять совершенствованию средств оповещения об отказах и доставке электромеханика к месту отказа.

Время поиска t_n зависит от числа контрольных операций их длительности. Оптимальным будет такой поиск, когда каждый его «шаг» сокращает энтропию задачи диагностики в два раза.

Таблица 3.4.4

Система	t_0+t_{np}	t_{np}	t_y
АБ	35,2	18,6	16,8
ЭЦ	13	13,8	12,4
ПАБ	31,8	21	25,8

Таблица 3.4.5

Составляющая времени восстановления	Меры по уменьшению времени восстановления
Извещение электромеханика об отказе	Автоматическая сигнализация объекта отказа, оперативность ДСП и диспетчера дистанции применение сигнализация и телефонной связи на перегонах, а также радиосигнализации
Следование электромеханика к месту отказа	Доставка проходящими поездами, личным или оперативным транспортом дистанции или общим с дистанциями других служб, дежурства и подмены, строительство грунтовых дорог
Поиск отказавшего объекта	Индикация места неисправности, встроенный контроль, повышение квалификации, обеспечение измерительными приборами, информационных диаграммы поиска отказа
Устранение отказа	Штепсельное включение, обеспечение ЗИП и материалами, обеспечение инструментом, повышение квалификации, совершенствование ремонтпригодности

Для программного поиска места отказа следует использовать специальные таблицы или информационные диаграммы предусматривающие рациональную последовательность выполнения контрольных проверок в зависимости от вида отказа i ; результатов предыдущих диагностических операций. Организация вызова обслуживающего персонала и быстрейшая доставки его к месту отказа имеют особое значение на участках АБ, а также станциях ЭЦ и ПАБ, особенно там, где отсутствует сменное дежурство обслуживающего персонала. В этих случаях время оповещения персонала и следования к отказавшему объекту значительно и составляет для ЭЦ и ПАБ соответственно 8—12 и 20—40 мин. На дистанциях связи следует применять диспетчерское управление, совершенствовать средства связи на сигнальных точках и транспортные средства. Наиболее эффективными для организации связи являются малогабаритные переносные радиостанции и дополнительная звонковая сигнализация на перегонах. Особенно важны средства радиосвязи при обслуживании автоблокировки. Внедрение технических и технологических средств восстановления позволит получить ежегодный экономический эффект

t'_i t_i - длительность i -го отказа соответственно до и после внедрения средств совершенствования восстановления для систем автоматики;

Z_i - потери в единицу времени от простоя системы автоматики по i -му виду отказа;

t'_i t_i — длительность устранения i -го отказа соответственно до и после внедрения средств восстановления для систем связи;

Z_i —потери в единицу времени от простоя систем связи для i -го вида отказа;

N - общее число восстановлении систем автоматики;

M — общее число восстановлении систем связи;

C_k - капитальные вложения в строительство систем связи;

T_n —номинальный срок окупаемости.

Следовательно, при планировании мероприятий по надежности следует уделять серьезное внимание разработке технических мер по внедрению схем автоматического контроля, прогнозированию отказов, применять схемы резервирования (горячий или холодный резерв), использовать элементы повышенной надежности, внедрять прогрессивные технологические процессы.

Ключевые слова:

Надежность элементов (систем) есть совокупность их свойств, определяющих степень возможности этих элементов (систем) работать по назначению в течение заданного времени.

Качеством же элементов (систем) называется совокупность их свойств, определяющих степень пригодности этих элементов (систем) для использования по назначению. Надежность—это качество элемента или системы, развернутое во времени. В совокупность свойств, определяющих надежность элементов (систем), входят безотказность в работе, долговечность, ремонтпригодность и точность исполнения функции по назначению.

Ремонтпригодность элемента (системы) является свойством приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению неисправностей или к восстановлению после появления отказа.

Стационарное воздействие характерно для аппаратуры, непрерывно работающей в отапливаемом помещении. Повреждение элементов в данном случае происходит из-за несоответствия допустимой рабочей температуры элемента величине теплового воздействия. Аппаратура может отказать из-за ускоренного старения элементов, обусловленного высокой рабочей температурой, и отсутствия кондиционирования (монтаж, обмотка, реле, смазка и т.д.).

Периодическое воздействие может быть обусловлено суточным избиением температуры, регулярным солнечным облучением и т.д.

Особенно вредно сказывается понижение температуры до 0°C и ниже при наличии влаги, что приводит к индеванию контактов, примерзанию якоря реле, нарушению контакта автопереключателей в электроприводах и т.д.

Апериодическое воздействие вызывается единичным воздействием тепла или холода, например при выносе аппаратуры из теплого помещения на холод, и наоборот.

Ударом называется мгновенное приложение силы к конструкции. В результате удара в аппаратуре возникают затухающие колебания собственной частоты. Этим колебаниям подвержены конструкция в целом и ее отдельные элементы. Амплитуда колебаний может быть значительной, что приводит к излому хрупких деталей, отрыву проводов, разрушению паяк, деформации гибких материалов и др.

Вибрацией называется длительное знакопеременное колебание, вызываемое внешними силами.

Контрольные вопросы:

1. Что вы понимаете под качеством?
2. Что является ремонтпригодностью?
3. Укажите факторы, влияющие на надежность?
4. Сколько вы можете перечислить показателей надежности?
5. Каким образом осуществляется распределение отказов по службам, объектам и времени?

ЛЕКЦИЯ № 2

НАДЕЖНОСТЬ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

План лекции:

1. НАДЕЖНОСТЬ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

- 1.1. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТУ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ
- 1.2. ХАРАКТЕРНЫЕ ОТКАЗЫ И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ
- 1.3. ОТКАЗЫ И ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ УСТРОЙСТВ АЛСН

1.1. Факторы, влияющие на работу рельсовых цепей

Анализ статистической информации показывает, что на отказы рельсовой линии приходится 20—25 % общего числа отказов устройств СЦБ по вине работников хозяйства сигнализации и связи. Рельсовая цепь представляет собой электрическую цепь без специальной внешней изоляции, проложенную в общедоступных местах; она испытывает на себе постоянные динамические нагрузки от проходящих поездов, колебания температуры и влажность воздуха. Применяемые в рельсовой цепи соединительные и изоляционные элементы имеют недостаточный запас механической прочности. Профилактическое обслуживание рельсовых цепей и оперативное восстановление после отказа выполняют работники нескольких служб (связи, пути, энергетики), причем работники службы связи, производящие профилактические измерения и определяющие место отказа, не имеют возможности самостоятельно устранить отказ или выполнить работы по его предотвращению, а работники службы пути, выполняющие работы подобного типа, не имеют возможности выявить место отказа или определить необходимость профилактики. Коэффициенты отказов рельсовых цепей (неразветвленных на станциях или перегонах, разветвленных на станциях) приведены ниже.

	Рельсовая цепь	
	Неразветвленная	разветвленная
Нарушение изоляции в стыке	25,0	26,0
Нарушение изоляции в стяжной полосе, серье, гарнитуре	-	38,0
Понижение сопротивления балласта	13,0	4,4
Сообщение рельса с соединительным тросом, заземления контактной опоры, фермы моста, трубы обдувки	6,2	2,2
Обрыв или плохой контакт стыкового соединения	29,7	7,9
Обрыв или плохой контакт соединительного троса, джемпера бутлежной перемычки	5,7	11,0
Замыкание накоротко	18,7	8,0

посторонними предметами и при путевых работах		
Прочие причины	1,7	2,5

Наиболее ненадежными элементами рельсовой цепи являются изолирующие стыки, элементы изоляции стрелок и стыковые соединители. Интенсивность отказов этих элементов значительно выше, чем всех остальных элементов, применяемых в устройствах СЦБ.

Интенсивность отказов стыкового соединителя равна 0,08, изолирующего стыка— 11, изоляции на стрелке—26, умноженных на 10^{-3} 1/год.

подавляющее большинство отказов в рельсовых цепях происходит вследствие повышенного затухания в рельсовой цепи, которое может быть вызвано обрывом или повышением сопротивления в цепи (стыковые соединители, джемпера, перемычки) или же за счет уменьшения сопротивления изоляции до короткого замыкания (изоляция на стрелке, изолирующие стыки, балласт, посторонние предметы).

1.2. Характерные отказы и повышение надежности рельсовых цепей

Наиболее характерными отказами рельсовых цепей являются: обрыв соединителя; отсутствие нескольких соединителей;

обрыв перемычек и джемперов, неисправность изоляции изолирующего стыка; повреждение изоляции стрелочной гарнитуры, стяжной полосы, сережки, распорки крестовины; понижение сопротивления балласта; замыкание накоротко различными элементами (провода, инструмент и др.); влияние посторонних источников питания, грозы; некачественная, регулировка режима работы обслуживающим персоналом; излом рельса и др.

Основными причинами отказов рельсовых цепей из-за неисправности соединителей являются: коррозия, некачественная приварка, повреждения при путевых работах и др. Отказы стыковых соединителей приварного типа происходят в основном из-за обрыва соединителя в месте его приварки к рельсу вследствие недостатков технологии приварки и ненадежного контакта между тросом и наконечником. Основным недостатком штепсельных соединителей является нестабильное сопротивление в контактной паре штепсель — рельс. Это сопротивление зависит от состояния контактирующих поверхностей штепселя и отверстия в рельсе, а также от плотности контакта.

Основное число отказов рельсовых цепей приходится на изолирующие стыки и изоляцию стрелок. Отказ изолирующих стыков возникает, как правило, при повреждении деталей изоляции с сохранением целостности накладок. Срок службы и периодичность ремонта изолирующих стыков определяют боковые изолирующие прокладки, так как они подвержены наиболее сильному воздействию динамических нагрузок от подвижного состава. Факторами, способствующими нарушению изоляции изолирующего стыка, являются: угон рельсов, некачественная подбивка шпал, замыкание стыка металлической стружкой и др.

Сопротивление изоляции рельсовой цепи нестабильно и зависит от вида и состояния балласта, типа и качества шпал, способа и технологии пропитки деревянных шпал, климатических факторов, перевозимых на участке грузов, интенсивности поездов на участке.

Все металлические детали креплений и рельсы имеют электронную проводимость, а шпалы и балласт, где присутствует влага, можно рассматривать как своеобразные электролиты, обладающие проводимостью. С ростом температуры и влажности интенсивность электрохимических процессов возрастает, что приводит к снижению сопротивления изоляции. Большое влияние на активизацию электрохимических процессов

оказывают соли, которые даже в малых количествах приводят к резкому снижению сопротивления изоляции.

На уровень утечки тока в рельсовой цепи решающее влияние оказывают типы и материал шпал, а также конструкция скреплений. Для повышения надежности электрического сопротивления шпалы необходимо при содержании пути обеспечить отвод влаги от шпальной решетки. Пропитка деревянных шпал имеет важное значение для снижения степени электрического старения древесины в процессе эксплуатации. Электрическое сопротивление шпал возрастает примерно в 2 раза, если в них до пропитки высверлить отверстие для шурупов.

От свойств балласта существенно зависит интенсивность электрического старения шпал, изоляционных материалов и в целом сопротивление изоляции рельсовой линии. Положительные качества балласта для рельсовых цепей определяются в основном его способностью пропускать влагу и не содержать примесей солен и щелочных элементов. Изменение сопротивления балласта от влажности определяются видом балластных материалов, их составом и чистотой.

Подавляющее число случаев обрыва рельсовой цепи приходится на обрыв (нарушение контакта) стыкового соединителя из-за недостаточно удачной конструкции существующего стыкового соединителя (штепсельного и приварного) и нарушения технологии при установке соединителей. В Уральском отделении ВНИИЖТ МПС разработаны конструкции новых типов приварных и штепсельных соединителей, однако на сети дорог еще эксплуатируются соединители прежних типов.

Выборочная проверка поступающих с завода-изготовителя стыковых соединителей, проводившаяся на Прибалтийской дороге выделила недостатки:

для стрелочных стальных соединителей — отклонения диаметров конусной части штепселей от нормативных значений на $\pm 0,2$ - $\pm 0,6$ мм, ржавчина на штепселях, длина конусной части соединителей, как -правило, меньше нормативной величины, равной 10,5 мм; наличие обрывов из-за некачественной приварки троса к штепселю; отсутствие обслуживания штепселей;

для стыковых приварных стальных соединителей СРС-6 — непровариванче стального троса по краям манжет, пережигание металлического наклепа на конце манжеты из-за недостаточной толщины, вытягивание троса из-за слабого зажима обоймы;

для стыковых штепсельных соединителей — отклонения в угле конусности и диаметрах до $\pm 0,6$ мм (примерно 50% соединителей), отсутствие обслуживания штепселей, наличие ржавчины на штепселях (примерно 50% штепселей), обрыв проволоки, приваренной к штепселю, из-за отсутствия паза достаточной толщины.

Особенно часто обрыв происходит в связи с необходимостью растягивать спираль соединителя на длину 1000 мм вместо 940 мм, так как накладка препятствует установке станка для сверления дыр в непосредственной близости от накладки.

Наряду с заводскими недостатками на надежность соединителей в процессе эксплуатации влияют и нарушения в технологии их установки. Нарушение контакта между соединителем и рельсом возможно из-за отсутствия сверла нужного диаметра при сверлении отверстий или неправильной забивки штепселя в отверстие. Обрыв приварного соединителя в месте приварки его к рельсу бывает вызван некачественной приваркой или слишком высокой установкой, которая не обеспечивает защиты от колеса проходящего модерна. Плохой контакт в манжете приварного соединителя может произойти пережиганием части проволок в момент приварки.

Дублирование соединителей является наиболее эффективной мерой предотвращения отказов в работе рельсовых цепей. В то же время при сплошной приварке установка одного соединителя обходится в 2,38 руб., а средние затраты на восстановление одиночного соединителя составляют 9,2 руб., т. е. почти в 4 раза выше, чем при сплошной приварке.

Большое распространение на сети дорог получило применение временных стыковых

соединителей. Наиболее удачными конструкциями временных (инвентарных) стыковых соединителей являются:

рессорный (из рессорной стали) в виде скобы с развернутыми наружу и заостренными концами: два таких соединителя вставляют под накладку с противоположных сторон, причем рессору разжимают стопорным винтом, который прокручивается по резьбе с одной стороны рессоры и упирается во внутреннюю поверхность другой ее стороны. При этом один заостренный конец рессоры контактирует с рельсом, а другой—с накладкой;

соединитель на основе противоугонов, представляющий собой отрезок медного троса, к концам которого приварены противоугоны. Для обеспечения надежного контакта поверхность рельса в местах установки противоугонов тщательно зачищают;

соединитель из троса с приваренными пластинами. Концы пластин забивают под накладку с противоположных ее сторон и прижимают к ее внутренней поверхности с помощью болтов, которые, вкручиваясь в отверстия пластин, упираются концами в поверхность рельса. Для улучшения контакта поверхность пластин, контактирующую с накладкой, делают бугристой с помощью сварочного агрегата;

пружинный, состоящий из двух винтовых шайб Гровера, которые забивают между шейкой рельса и выемкой во внутренней поверхности накладки.

Для повышения срока службы поступающих на дорогу соединителей передовые дистанции применяют сплошной входной контроль с устранением отдельных недостатков и отбраковкой соединителей, не поддающихся восстановлению.

Медные приварные соединители подвергают дополнительному обжиму на прессе с помощью специального пуансона и матрицы. При этом на каждой манжете соединителя выдавливают по три выемки: две по краям с одной стороны и одну посередине с другой стороны. Такое дополнительное обжатие обеспечивает надежный контакт троса в манжете даже при нарушенной торцовой сварке.

Стальные стрелочные перемычки с винтовым креплением дополнительно приваривают к подошве рельса. Это обеспечивает надежный контакт даже при ослабшем винтовом соединении.

Для предотвращения обрыва дроссельных перемычек к обоим их болтам приваривают концы стальной проволоки диаметром 12 мм, а другие ее концы с помощью зажимов соединяют с медными тросами перемычки. Вся конструкция становится достаточно жесткой и хорошо противостоит изгибу.

На некоторых дистанциях тросы всех дроссельных перемычек подвергают переделке в наконечнике. Для этого место приварки троса к штепселю рассверливается сверлом, диаметр которого больше диаметра троса. Трос вынимают, после чего с двух сторон зенкуют отверстия и обслуживают их. Конец троса также обслуживают и вставляют в отверстие штепселя, наполненное расплавленным припоем, а перемычку охлаждают в ванночке с водой. Другой способ укрепления троса дроссельной перемычки в наконечнике заключается в том, что в головке штепселя с торцевой стороны высверливают и нарезают отверстие, в которое закручивают болт М 10х30 до плотного прижатия к тросу. Болт фиксируют контргайкой.

Хороший эффект дает покрытие дроссельных и кабельных перемычек полиэтиленовой изоляцией. Расплавленный полиэтилен заполняет пространство между отдельными проволоками перемычки, надежно изолируя трос от влаги и атмосферного воздуха. Полиэтиленовая изоляция повышает срок службы перемычек и защищает их от замыкания.

На электрифицированных участках кратковременная ложная занятость рельсовой цепи может быть вызвана поперечной или продольной асимметрией рельсовой линии. Поперечная асимметрия или асимметрия по изоляции является следствием присоединения к одной из тяговых нитей заземлений контактных опор и других металлических сооружений, в результате чего по этой тяговой нити протекает больший тяговый ток, чем по другой. Продольная асимметрия или асимметрия по сопротивлению возникает чаще

всего из-за отсутствия или нарушения целостности нескольких стыковых соединителей на одной из рельсовых нитей, в результате чего сопротивление этой нити возрастает и по ней протекает меньший тяговый ток, чем по другой. Эти виды асимметрии при электротяге переменного тока приводят к искажению импульсов АЛСН, а при значительной разнице токов — также и к повреждению аппаратуры рельсовой цепи. В случае завышенной асимметрии путевое реле двухниточной рельсовой цепи с тягой постоянного тока может отпустить якорь (или не притянуть) из-за уменьшения сопротивления дроссель-трансформатора переменному току, за счет подмагничивания постоянным. Такое подмагничивание возникает, когда постоянные токи в каждой из полуобмоток дроссель-трансформатора неодинаковы.

Асимметрию в рельсовых цепях определяют с помощью коэффициента асимметрии:

$$K_A = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} 100 \%$$

где I_1, I_2 - токи в рельсовых нитях.

Коэффициент асимметрии не должен превышать 12 % при тяге постоянного тока и 4 % при тяге переменного тока.

Понижение изоляции рельсовой линии составляет преобладающую долю всех отказов рельсовой цепи. Наиболее частым явлением остается повреждение изоляции на стрелках и в изолирующих стыках. Нарушение изоляции в изолирующем стыке происходит из-за повреждения торцевой изоляции при замыкании стыка в жаркую погоду и за счет разрушения боковой фибры, продавливания втулок и шайб. Многолетний опыт эксплуатации изолирующих стыков показал, что они имеют ограниченный срок службы, особенно в условиях интенсивного движения. По данным МИИТа, изолирующий стык в среднем выдерживает суммарную нагрузку 25—35 млн. т. Таким образом, средний срок службы изолирующего стыка, установленного на однопутном перегоне, приблизительно

$$T_{cp} = \frac{(25 - 35) 10^6}{2(P_{cp}^n N_{ch}^g + P_{ch}^T N_{cp}^T) 365}$$

где T_{cp} —средний срок службы стыка в годах;

P_{cp}^n, P_{ch}^T —средняя весовая норма на участке соответственно для пассажирских и товарных поездов в тоннах;

N_{ch}^g, N_{cp}^T —среднее число пар соответственно товарных и пассажирских поездов в сутки.

Такая оценка не учитывает скорость поездов, климатические особенности участка, качество содержания пути (подбивка стыковых шпал и др.), а также соблюдение технологии при сборке изолирующего стыка. Последний фактор оказывает существенное влияние на срок службы стыка. Наиболее характерное нарушение технологии установки изолирующего стыка заключается в том, что при большом зазоре в стыке отверстия в накладках не совпадают с отверстиями в рельсе. В этом случае болт загоняют кувалдой. Изоляция нарушается. Пониженная изоляция рельсовых цепей вызывается также повышенной утечкой через загрязненный балласт или гнилые шпалы в сырую погоду.

Кратковременное замыкание рельсовых цепей посторонними предметами обычно связано с производственной деятельностью монтеров пути и наблюдается чаще всего при замене рельсов (замыкание снимаемым или устанавливаемым рельсом), разгонке изолирующего стыка (замыкается разгоняемый стык), замене стрелочного перевода, неисправной изоляции проезжающей дефектоскопной тележки, проезде по изолирующему стыку модерна с малой скоростью (замыкание происходит на электрофицированном участке или на внутреннем стыке стрелочной секции), работе путейских электроагрегатов с неисправной изоляцией проводов, замене шпал и перешивке пути (замыкание инструментом).

Значительно устойчивее работают уложенные в пути клееболтовые стыки. При соблюдении технологии их изготовления и правильной установке клееболтовые стыки в течение пяти и более лет обеспечивают нормативные значения изоляции. При электрической проверке клееболтовых стыков следует учитывать отсутствие изоляции накладок от болтов; накладки и болты постоянно соощаются между собой.

Надежность работы обычного изолирующего стыка может быть доведена до уровня клееболтового заменой стандартной фибровой или капроновой изоляции на изоляцию из стеклотекстолита. Опыт применения изолирующих деталей из стеклотекстолита на Эстонском отделении Прибалтийской железной дороги показал, что изолирующие шайбы и торцовые прокладки из стеклотекстолита не подвержены деформации и практически не требуют замены.

Стеклотекстолит легко поддается обработке штамповкой, в отличие от фибровой изоляции выдерживает большие нагрузки, не высыхает при повышении температуры и не подвержен воздействию влаги. В связи с тем, что изолирующие прокладки из стеклотекстолита не изменяются в объеме при изменении атмосферных условий, исключаются случаи понижения уровня изоляционной прокладки, что предохраняет стыки от короткого замыкания из-за сгона рельсов и скапливания металлических опилок или стружки между торцами рельсов. Предел прочности стеклотекстолита 52 кг/мм^2 , в то время как для капрона эта величина составляет 35 кг/мм^2 , а для фибры — $10,5 \text{ кг/мм}^2$.

Причиной заниженного сопротивления изоляции в рельсовых цепях может оказаться несколько шпал или отдельная шпала.

Все большее применение находят железобетонные шпалы, исправное состояние которых зависит от отсутствия электрического соединения между элементами арматуры, закладными болтами и рельсами.

Эксплуатация рельсовых цепей на участках с железобетонными шпалами показала, что их изоляция в основном снижается из-за большой утечки сигнального тока через неисправную арматуру крепления шпалы. Основными причинами потери изоляции в арматуре крепления шпалы являются: касание стопорной шайбы закладного болта с зажимом болта, истирание резиновой прокладки, выкрашивание изолирующей втулки закладного болта, заполнение пространства между болтами балластной пылью, грязью, мазутом.

Одним из условий надежной работы рельсовых цепей является соблюдение требований защиты от посторонних источников питания. Главным источником мешающих и опасных влияний является тяговый ток на электрифицированных участках железных дорог. В отдельных случаях источником влияния могут являться продольные линии электропередачи, осветительные сети и цепи поездного освещения там, где сохранился подвижной состав с неизолированными источниками питания.

Влияние электрической тяги постоянного тока на рельсовые цепи может проявляться при нормальном режиме работы контактной сети и особенно в режиме ее короткого замыкания.

Основной причиной влияния постоянного тягового тока на рельсовые цепи является наличие в нем гармонических составляющих, частота и амплитуда которых зависят от схемы выпрямления и состояния фильтров на тяговой подстанции. Основные гармоники

шестифазной схемы выпрямления — 300, 600, 900 и 1200 Гц,—как правило, не оказывают мешающего действия на работу рельсовых цепей, так как, с одной стороны, фильтры, установленные на тяговых подстанциях, значительно ограничивают их амплитуду, а с другой—путевые реле в рельсовых цепях на электрифицированных участках включаются через собственные полосовые фильтры на частоте 50, 25 < или 75 Гц. Наиболее опасное влияние на рельсовую цепь частотой 50 Гц может оказать гармоника постоянного тягового тока той же частоты, которая появляется в контактной сети при некоторых повреждениях в схеме выпрямления на тяговой подстанции, например при неполнофазном выпрямлении.

Ввиду особо опасного воздействия этой гармоники, подстанции снабжены специальными устройствами защиты и сигнализации. Влияние гармонических составляющих тягового тока на рельсовые цепи способно проявляться только при наличии продольной или поперечной асимметрии рельсовой цепи. Двухниточная рельсовая цепь, работающая в симметричном режиме, достаточно надежно защищена от влияния любых гармоник тягового тока.

Проходящий по двум полуобмоткам дроссель-трансформатора тяговый ток, независимо от своего состава, не способен наводить во вторичной обмотке э.д. с., так как первичные полуобмотки имеют встречное включение для протекающего по ним тягового тока и согласное для сигнального тока рельсовой цепи. При появлении же асимметрии в рельсовой цепи или в самом дроссель-трансформаторе тяговые токи, проходящие по каждой из полуобмоток, могут значительно отличаться друг от друга, что приводит к появлению мешающей э. д. с. во вторичной обмотке и соответственно на путевом реле.

Наличие, асимметрии в рельсовой цепи способно оказаться причиной влияния не только за счет гармонических составляющих тягового тока, но и за счет подмагничивания железа дроссель-трансформатора постоянным током. Подмагничивание дроссель-трансформатора постоянным током приводит к увеличению его индуктивного сопротивления и, следовательно, к уменьшению коэффициента передачи рельсовой цепи. Результатом этого является понижение напряжения на путевом реле свободной рельсовой цепи и ее ложная занятость. Наиболее характерным проявлением такой ситуации является перекрытие сигнала перед троганием с места электровозом или электропоездом, когда пусковой тяговый ток достигает большого значения в непосредственной близости от асимметричной рельсовой цепи.

Особенно неблагоприятным для аппаратуры рельсовой цепи является режим короткого замыкания контактной сети. Несмотря на кратковременность протекания тока короткого замыкания (0,1—0,5 с), потенциалы до 1000 В, которые могут при этом появляться на рельсах, приводят к выходу из строя устройств защиты рельсовой цепи, а в отдельных случаях и к повреждению аппаратуры.

Вероятность отказа в рельсовой цепи значительно повышается при запланированном коротком замыкании в контактной сети с целью плавки оледенения на контактном проводе. Плавку оледенения на однопутном участке производят путем замыкания контактного провода на рельс или на среднюю точку дроссель-трансформатора. Протекающий по рельсам в течение нескольких минут ток достигает нескольких тысяч ампер. Это приводит к тому, что в местах, где не обеспечена достаточная изоляция рельсовой цепи от металлических подземных сооружений или заземленных конструкций, тяговый ток стекает в землю, выделяется большое количество тепла. Результатом этого могут явиться прожоги кабелей, возгорание монтажа, поврежденные аппаратуры. В таких случаях искровые промежутки с пробивным напряжением 600 В также не могут служить достаточно надежной защитой, требуется устанавливать искровые промежутки с удвоенным пробивным напряжением.

Низковольтные линии электропередачи и осветительные сети могут оказывать мешающее и опасное влияние на рельсовые цепи на электрифицированных участках и на участках с автономной тягой. Известны случаи, когда кабельная линия с напряжением 380

В, проходящая вдоль рельсовой цепи с одноэлементным путевым реле, явилась причиной ее ложной свободности. Такая ситуация может возникнуть, если нулевой провод этой линии заземлен в ее начале и в конце, одновременно имея обрыв.

Опасная ситуация может возникнуть, если у исправной кабельной или воздушной линии обратным проводом служит земля. В этом случае разность потенциалов между началом и концом нулевого провода оказывается приложенной к рельсовой цепи, что может привести к ложной занятости или свободности.

Исходя из этого рельсовые цепи с одноэлементными путевыми реле непрерывного тока, как правило, не проектируют, однако и эксплуатации они еще сохранились.

Для защиты рельсовых цепей от влияния посторонних токов требуется прежде всего не допускать появления асимметрии и следить за качеством изоляции рельсов от заземленных металлических конструкций. Способы измерения асимметрии рельсовой цепи были рассмотрены выше. Изоляция рельсовых цепей от заземленных металлических конструкций сводится прежде всего к изоляции металлической брони кабеля от корпусов релейных шкафов и светофоров, которые на электрифицированных участках соединяют с рельсом.

Неполная изоляция брони кабеля от заземленной на рельс конструкции может привести к тому, что в месте касания за счет переходного сопротивления выделяется большое количество тепла, которое приводит к прожогу кабеля. То же самое происходит в месте соприкосновения защитных металлических оболочек кабеля. При достижении тока 50 А возможен не только прожог защитной брони, но и плавление джутового покрытия и полиэтиленовой оболочки.

Так как технология разделки кабелей в муфтах, шкафах и стаканах светофоров не полностью гарантирует их изоляцию, наиболее надежным средством защиты является снятие бронеленты с кабеля ниже того места, где он заводится в отверстие муфты, светофора, релейного шкафа.

Хорошим средством защиты является соединение релейных шкафов и светофоров с рельсами через искровые промежутки. При этом не только выполняется защита аппаратуры рельсовой цепи и кабелей от повреждений, но и предотвращается разрушение железобетонных фундаментов от воздействия электрокоррозии. Однако релейный шкаф, присоединенный к рельсу через искровой промежуток, должен одновременно по условиям техники безопасности иметь непосредственное защитное заземление. Опасное и мешающее влияние на рельсовую цепь может явиться результатом отсутствия изоляции брони осветительного кабеля или кабеля дистанционного управления разъединителей контактной сети, проложенного на контактной опоре. Поэтому состояние таких кабелей нужно систематически контролировать.

Изоляцию металлических оболочек и бронелент кабелей от металлических конструкций, заземленных на среднюю точку Дроссель-трансформаторов или рельсов, а также корпусов путевых ящиков, кабельных стоек, муфт УКМ, УПМ и дроссель-трансформаторов от перемычек, включенных в рельсы, проверяют вольтметром или амперметром.

Вольтметром изоляцию проверяют, если можно подключить прибор к металлической оболочке или бронеленте кабеля, а при отсутствии такой возможности проверку производят амперметром. При электротяге постоянного тока вольтметр и амперметр должны быть постоянного тока.

Для проверки изоляции металлических оболочек и бронелент кабеля от корпусов релейного шкафа необходимо вольтметром с пределами измерений 0—30 или 0—15 В (в зависимости от потенциала) измерить напряжение между проверяемым кабелем и корпусом релейного шкафа. Если же измеренное напряжение будет примерно 1 В и более, то изоляция соответствует норме. Если же измеренное напряжение будет менее 1 В, то необходимо произвести дополнительные измерения между кабелем и землей, корпусом релейного шкафа и землей. Измерительная земля не должна иметь металлического

контакта с обследуемыми кабелем и релейным шкафом. После измерений надо сравнить измеренные напряжения. Если потенциалы «кабель—земля», «релейный шкаф—земля» будут примерно равны, но значительно выше (на несколько вольт), чем потенциал «кабельный шкаф», то, следовательно, изоляция между металлической оболочкой или бронелентой кабеля и релейным шкафом повреждена (имеется металлический контакт).

Изоляции корпусов путевых ящиков (трансформаторных, релейных), кабельных стоек, муфт, УКМ и дроссель-трансформаторов от перемычек, включенных в рельсы, проверяют измерением напряжений между корпусом и перемычкой.

Если потенциал «корпус—перемычка» будет более 1 В, то изоляция соответствует норме. Если же потенциал «корпус — перемычка» равен нулю или 0,1—0,2 В, а потенциалы «перемычка—земля» и «корпус—земля» равны между собой (несколько вольт), то изоляция нарушена.

Измерения производят по отношению к каждой перемычке, включенной в рельс.

Изоляцию между броней кабеля и металлической конструкцией, заземленной на рельс (релейный шкаф, светофор и т. л.), проверяют амперметром в случае невозможности подключения к бронеленте кабеля. Для этого сначала надо убедиться в наличии напряжения между рельсом или средней точкой дроссель-трансформатора и землей. Если измеряют потенциал «рельс-земля», то в цепь между заземляющим проводом и рельсом включают амперметр на пределах измерения 0—10 А и более. Если в течение нескольких минут при нормальном движении электропоездов стрелка прибора не отклоняется, то нужно переключить прибор на меньший предел измерения. При наличии сообщения кабеля с рельсом ток в цепи всегда будет превышать 50—100 мА.

Электрический контакт между проводником от вольтметра и землей достигается стальным электродом, вводимым в землю. Диаметр электрода 10—12 мм, длина прямолинейной (рабочей) части примерно 50 см, а общая длина заготовки (включая часть, загнутую в виде ручки для введения в землю, вынимания из земли и для переноски) примерно 77 см. У самого конца ручки стержень расплюсчен, в нем просверлено отверстие, в которое вставлен болт с гайками и барашком для присоединения проводника.

Для защиты рельсовых цепей на участках с электротягой постоянного тока от мешающих и опасных воздействий постоянным источником электроэнергии необходимо укладывать рельсы на металлических и железобетонных мостах электрически изолированно от ферм мостов, от бетона и арматуры. Рельсы на переездах не должны иметь сообщений с землей. Конструкции и корпуса установок, соединенные с рельсами, не могут быть заземлены дополнительно. Стрелочные приводы, элементы обдува и обогрева стрелок, связанные металлически с рельсами, необходимо изолировать от земли, а также от подходящих к ним трубопроводов и кабелей.

Отсасывающие линии при двухниточных рельсовых цепях нужно присоединять к средним точкам дроссель-трансформаторов. При наличии нескольких электрифицированных путей средние точки дроссель-трансформаторов, установленных на этих путях в районе отсоса, должны быть объединены поперечным соединителем.

Проводники, соединяющие рельсовую нить с отсасывающей линией, прокладывают изолированно от земли, причем изоляция должна выдерживать напряжение до 1000 В.

Там, где продолжают работать однопровиточные рельсовые цепи, отсасывающие линии необходимо присоединять к электротяговым рельсовым нитям всех электрифицированных путей. Для исключения повышения потенциала между рельсами и фермами мостов все металлические искусственные сооружения заземляют на рельс только с одной стороны двойным заземлением тросом сечением не менее 90 мм², причем заземление выполняют без искровых промежутков на среднюю точку дроссель-трансформатора, установленного на расстоянии не более 100 м от крайней фермы. Если мост имеет несколько ферм, то их соединяют между собой медными соединителями сечением также не менее 90 мм². Все приборы освещения, осветительные и другие провода, проложенные на мостах, должны быть закреплены на деревянных кронштейнах и

изолированы от ферм мостов с испытательным напряжением не менее 1000 В.

Изоляцию на напряжение 1000 В нужно выдерживать также для прожекторов и светильников, установленных на опорах контактной сети. Проложенный по металлическим опорам контактной сети осветительный кабель также необходимо содержать изолированно от опоры. Для этого на высоте 2,5 м от земли броню нужно снять, а для защиты от механических повреждений установить деревянный щит.

Большую опасность представляет собой нулевой провод осветительной сети с глухозаземленной нейтралью, если эта цепь проходит по опорам контактной сети. Фактически потенциал нулевого провода прикладывается в точке его заземления рельсовой цепи. При пробое изоляции или обрыве хотя бы одного фазного провода в рельсовую цепь может попасть напряжение осветительной линии и вызвать подпитку одноэлементного путевого реле. Поэтому для обеспечения нормальной работы рельсовых цепей нулевой провод осветительных линий, проходящих по опорам контактной сети, не должен иметь повторных заземлений. Для предупреждения связи нулевого провода осветительной линии, проходящей по опорам контактной сети, нулевыми проводами других линий, отходящих от того же пункта питания, вывод четырехпроводной линии наружного освещения должен быть оборудован четырехполюсным отключающим аппаратом, один полюс которого служит для разрыва нулевого провода.

Ряд требований предъявляется к защите рельсовых цепей на неэлектрифицированных участках. На таких участках при наличии рельсовых цепей запрещается производить соединена любых металлических сооружений с рельсами. Любые подземные металлические сооружения (трубы, оболочки кабелей и др.) также не должны касаться рельсов. При наличии на станции рельсовых цепей 50 Гц не допускается использование земли или неизолированного проводника в земле в качестве обратного провода энергосети.

На станциях, оборудованных рельсовыми цепями, но имеющих ручные стрелки с освещаемыми стрелочными указателями применяют специальные меры защиты. Осветительные лампы стрелочных указателей должны питаться от индивидуальной трансформатора СТ-ЗА или индивидуальной обмотки трансформатора СТ-ЗС. При этом категорически запрещается заземление вторичных обмоток этих трансформаторов. Заземление вторичных обмоток недопустимо на тех станциях с системами освещения стрелочных указателей, спроектированных по альбому ТО-127, действовавшему до ТО-145, при наличии групповых понижающих трансформаторов, от которых питается несколько ламп. Изоляция каждой из обмоток по отношению к земле должна быть не ниже 0,5 МОм.

Радикальным способом защиты рельсовых цепей от все' видов посторонних источников питания частотой 50 Гц может служить разработанная в КБ ЦШ МПС аппаратура СПЗРИ которая обеспечивает питание всех станционных рельсовых цепей сигнальным током с частотой 51,5 Гц.

На основании исследований, проведенных Уральским отделением ВНИИЖТа, установлено, что контакт между тросом и манжетой соединителей, установленных в пути, может нарушиться из-за нагревания манжеты при приварке соединителя к рельсу. Манжета деформируется, и усилие обжатия троса ослабевает. При этом также окисляются контактирующие поверхности манжеты и троса. Переходное сопротивление трос—манжета а следовательно, и общее сопротивление соединителя возрастают, приводя к обрыву.

Уральским отделением ВНИИЖТа модернизирована конструкция стыкового соединителя, манжета которого представляет собой обойму с фартуком, выполненным из одной заготовки. Медный трос в обойме закрепляют по существующей технологии Фартук приваривают к головке рельса горизонтальным швом Расстояние от сварного шва до торца манжеты значительно увеличилось, и медь в металл сварного соединения не проникает, что делает шов более прочным. Измененная конструкция соединителя

обеспечивает надежный контакт гибкого троса в обойме манжеты, так как к рельсу приваривают обойму и фартук. Следовательно, при сварке обойма не перегревается. Кроме того, исключены механические повреждения соединителя? колесами путейских тележек и подвижного состава.

В целях улучшения безотказности перемычек ВНИИЖТ" провел исследования по применению полимерных материалов для покрытия троса и определен наиболее рациональный способ их покрытия. Исходя, из свойств полимерных материалов и условий работы перемычек для их изоляции выбран полиэтилен, изготовленный под высоким давлением. При этом был применен способ ошлангования троса. Эксплуатационная проверка опытной партии ошлангованных перемычек показала их высокую надежность.

Известно, что интенсивность отказов рельсовых стыков с приварными соединителями возрастает в зимний период. При низких температурах сварка соединителей запрещена, поэтому в случае обрыва соединителя электропроводность стыка обеспечивается лишь через накладку, что не может гарантировать его безотказную работу. Уральское отделение ВНИИЖТа выполнило исследования и провело эксплуатационные испытания приварки соединителей к боковой грани головки рельсов при отрицательных температурах, что позволило разработать проект технических указаний по приварке рельсовых соединителей к объемно-закаленным и к незакаленным рельсам при температуре до -15°C с применением электродов ОЗЛ-6 вместо УОНИИ-13/55.

Куйбышевский институт инженеров железнодорожного транспорта совместно с ВНИИЖТом ведет исследование работы рельсовых стыков с тарельчатыми пружинами, применяемыми на стыковых болтах вместо типовых шайб, что улучшает электропроводность стыка. Опытная их эксплуатация проводится на ряде дорог сети.

ВНИИЖТ провел работу по изысканию и исследованию полимерных материалов для изолирующих деталей рельсовых цепей, характеризующихся повышенными прочностными и электроизоляционными параметрами по сравнению с применяемыми.

Решался выбор изолирующих деталей стрелочной гарнитуры. По результатам лабораторных проверок установлено, что наибольшей прочностью характеризуются прокладки из стеклопластика ДСВ и стеклоткани, шайбы из стеклопластиков ДСВ ГСП и АГ4С, втулки из стеклопластика марок ДСВ и АГ4С. Опытная эксплуатация изолирующих деталей стрелочных гарнитур из полимерных материалов показала надежность их работы, высокое сопротивление изоляции и механическую прочность.

1.3.Отказы и повышение надежности устройств АЛСН

Нарушение работоспособности локомотивных устройств АЛСН возможно из-за отказов локомотивных устройств, что приводит к выключению их в пути следования, или из-за неисправности напольных устройств, вызывающей сбой локомотивной сигнализации.

Отказы локомотивной аппаратуры АЛСН, обслуживаемой работниками хозяйства сигнализации и связи, в процентах распределяются следующим образом: дешифраторы— 48, усилители — 34, фильтры — 3, общие ящики — 15.

В табл. 6 дано распределение отказов по элементам в усилителях, дешифраторах, общих ящиках и фильтрах.

Анализ отказов элементов показывает, что они являются следствием перенапряжения в цепях питания локомотивных устройств АЛСН, что вызывает пробой конденсаторов и диодов, перегорание транзисторов и резисторов, подгар контактов реле, сгорание монтажа, выход из строя стабилитронов. Пробой Диодов может произойти из-за нарушения технологического процесса замены аппаратуры АЛСН (невывключение питания),

Таблица 1.3.1

Элемент или причина	Отказы %	Элемент или причина	Отказы %
Усилители			
Конденсаторы	18,4	Монтаж	5,7
Диоды	7,1	Подгорание или неисправность контактов реле ИР	8,6
Резисторы	8,2	Изменение чувствительности	20,5
Транзисторы	12,7	Прочие	12,6
Стабилитроны	5,0		
Дешифраторы			
Пробой конденсаторов емкости	7,8	Нарушение характеристик реле	8,1
Потеря конденсаторов	11,2	Излом контактов	10,7
Диоды	4,4	Подгорание и нарушение контактов реле	14
Резисторы	9,1	Сгорание монтажа	11
Монтаж	6	Прочие	17,7
Общие ящики			
Выход из строя контактных пружин	16	Сообщение между выводами	11
		Нарушение изоляции монтажа	19,5
Отсутствие контактов на выводе	32,5	Прочие	21
Фильтры			
Отказ конденсаторов	18,5	Расстройка контуров	10,4
Обрыв катушек дросселей	21	Обрыв паек	16,5
Короткое замыкание в катушках дросселей	2,3	Прочие	31,3

сгорание монтажа из-за отсутствия типовых предохранителей в цепях питания АЛСН. Старение конденсаторов вызывает изменение их параметров и потерю емкости, что, в свою очередь, может повлечь расстройку контуров локомотивных фильтров. Некачественная регулировка является причиной нарушения характеристик реле и подгорания контактов, а усталость металла приводит к излому контактных пружин. Воздействие вибрации, плохая пайка, ветхость монтажа, повреждение изоляции нетиповые предохранители — причины, вызывающие неисправности в монтаже, в том числе и случаи полного сгорания монтажа.

Отсутствие контакта на выводах клеммной колодки общего ящика - следствие некачественной проверки, ослабления гаечного крепления. Сообщение между выводами клеммной колодки общего ящика — следствие отсутствия наконечников на проводах размочаливания концов, засорения платы, использование не соответствующих болтам шайб. Отказы контактных пружин общего ящика — следствие деформации, потери упругости, слабого контактного нажатия, появления нагара на контактирующих поверхностях.

Сбои в работе устройств АЛСН происходят примерно в 93 % случаев из-за неисправности напольных устройств автоблокировки и неудовлетворительного содержания элементов рельсовых цепей. Из-за помех, создаваемых тяговыми

двигателями, понижения напряжения аккумуляторных батарей на локомотиве, изменения чувствительности усилителей и по другим причинам допущено 7 % сбоев. Процентное соотношение отказов напольных устройств приведено в табл. 7.

Для устойчивой работы кодовой автоблокировки и автоматической локомотивной сигнализации наряду с определенными нормами по амплитуде импульсов должны выдерживаться также и их временные параметры. Анализ схем дешифраторной аппаратуры этих устройств показывает, что длительность самого короткого импульса и самого короткого интервала непосредственно в рельсовой цепи не должна быть менее 0,12 с. С учетом того что по паспортным данным минимальный интервал на контактах кодового трансмиттера составляет 0,12 с, а минимальная длительность импульса ($0,22 \pm 0,02$) с, на контактах трансмиттерного реле, непосредственно питающего рельсовую цепь, время коррекции импульсов должно быть 0—0,08 с. Например, при измерении длительности первого импульса в коде 3 (0,35 с по паспорту кодового трансмиттера) длительность этого импульса, измеренная на контактах последнего трансмиттерного реле, должна быть 0,35—0,27 с.

Таблица 1.3.2

Причина отказа	Отказ, %	Причина отказа	Отказ, %
Короткие стрелочные секции	1,7	Двойная смена кодов	1,2
Искажения временных характеристик	7,3	Недостатки в схемах кодирования	2,9
Неисправность реле ТР	3,9	Пересечения с ЛЭП	3,2
Снижен ток в рельсовой цепи	4,7	Нестабильность питания рельсовой цепи Неисправность энергоснабжения	1,6
Неисправность КПП	1,1	Неисправность рельсовых цепей	4,9
Влияние объемной закалки рельсов	3,6	Неустановленные причины	13,5

Такую норму можно обеспечить применением схемных методов временной коррекции (использование прямых или обратных повторителей, установка диодов, конденсаторов, изменение напряжения питания). Комбинируя эти методы, можно добиться для цепочки конкретных трансмиттерных реле требуется, временной коррекции. Однако при очередной замене одного или нескольких реле в этой цепочке часто требуется новая корректировка.

В связи с этим на ряде дорог введены дополнительные нормы на временные параметры трансмиттерных реле. Нормы на допустимую коррекцию каждого трансмиттерного реле при регулировке его в РТУ должны составлять: 0,03—0,045 с для низкоомных реле и 0,01—0,02 с для высокоомных. При этом несколько увеличиваются затраты труда в РТУ, но появляется возможность избавиться от постоянных перерегулировок схем кодирования после каждой очередной замены реле.

Длительность кодовых импульсов в схемах кодирования регулируют по длительности первого импульса в коде зеленого огня, измеренной на контактах оконечного трансмиттерного реле. Эта длительность должна быть равна 0,27—0,35 с. При нормировании длительность интервала должна составлять 0,12—0,2 с.

Для того чтобы обеспечить устойчивую работу АЛСН после очередной замены трансмиттерных реле или КПП, а также при небольших колебаниях питающего напряжения необходимо чтобы длительность первого импульса в коде зеленого огня была близка к 0,31 с, а для интервала—к 0,16 с.

Низкоомные трансмиттерные реле, работающие в схемах трансляции кодов (схемы кодирования на станциях, переезды и разрезные точки на участках автоблокировки),

нуждаются в дополнительной коррекции длительности импульсов включение замедляющего диода, установленного внутри корпуса реле (ТР-3В, ТШ-65В) или снаружи (ТР-3Б, ТШ-65). В зависимости от напряжения на обмотках реле диоды могут включаться только на втором реле, на обоих или вообще не включаться.

Напряжение на обмотках низкоомных трансмиттерных реле не должно быть ниже 10 В. Если нет возможности довести напряжение до 10 В на реле (без трансляции), следует подключить корректирующий диод. Для повышения напряжения в низкоомных трансмиттерных реле можно использовать: переключение реле на питание от батареи 24 В вместо 12 В с установкой регулируемого сопротивления 40 Ом, 0,2 А; дублирование кабельных жил; добавление седьмого аккумулятора к батарее содержащей шесть.

Напряжение на обмотках высокоомных трансмиттерных реле должно быть (85 ± 5) В. В этом случае длительность импульсов будет в пределах нормы для одиночного реле и для схемы с трансляцией.

Напряжение 85 В можно установить на обмотке высокоомного трансмиттерного реле включением отдельного трансформатора в релейном шкафу или на посту ЭЦ; использованием в качестве источника питания существующего путевого трансформатора ПОБС-3, если позволяет конкретная схема; включением последовательно с обмоткой трансмиттерного реле резистора сопротивлением 1—1,5 кОм мощностью не менее 4 Вт.

Хороший эффект плавной регулировки длительности импульсов может быть получен при использовании регулируемых резисторов в цепях низко- и высокоомных трансмиттерных реле.

При проверке и регулировке напряжения на обмотках трансмиттерных реле необходимо учитывать, что в тех схемах, где по одним и тем же кабельным жилам подается питание на несколько трансмиттерных реле через контакты соответствующих путевых реле, напряжение на их обмотках может существенно измениться в зависимости от числа реле, подключенных к источнику питания в данный момент. Поэтому напряжение следует регулировать при максимальном числе подключенных реле, а гасящие сопротивления устанавливать для каждого реле. Схемы кодирования, в которых импульс транслируется дважды (двойные трансляции), а также схемы трансляции с обратными повторителями не поддаются единой регулировке временных параметров с помощью диодов или изменения напряжения, поэтому такие схемы нуждаются в индивидуальной коррекции.

Характерным недостатком в работе устройств АЛСН является сбой кодов в местах пересечения железнодорожного пути высоковольтной линией электропередачи. Помехи от ЛЭП создаются ее магнитным полем и воздействуют на локомотивные усилители, работающие в режиме 50 Гц. Уровень помех зависит от угла пересечения ЛЭП с железной дорогой, напряжения ЛЭП, взаимного расположения проводов и высоты их подвески, распределения по фазам ЛЭП и др.

Исследования, проведенные ХИИТом, показали, что уровень помехи определяется в основном не прямым влиянием магнитного поля на катушки АЛСН, а косвенным, т. е. уровень является следствием наведения в металлическом корпусе локомотива вихревых токов, магнитное поле которых непосредственно воздействует на приемные катушки.

Для уменьшения уровня помехи предлагались различные активные и пассивные способы защиты. К числу активных относятся: увеличение высоты подвески и уменьшение расстояния между проводами ЛЭП в местах пересечения; устройство специальных замкнутых подвешенных или уложенных на землю шлейфов, в которые подается ток частотой 50 Гц, имеющий сдвиг по фазе по отношению к току наведенной помехи. К пассивным методам защиты относятся способ компенсации тока помехи с помощью специально проложенного контура на локомотиве и увеличение сигнального тока в районе пересечения. Из всех перечисленных методов практически используют наземные компенсирующие шлейфы и увеличение сигнального тока.

Компенсационный метод защиты АЛСН от влияния ЛЭП предложенный ХаБИИЖТом, заключается в создании искусственного электромагнитного поля, противоположного по фаз основному электромагнитному полю ЛЭП. С этой целью к шпалам в месте пересечения с внутренней стороны колеи крепя гибкий одиночный изолированный провод, уложенный в вид, буквы S. Для создания противофазного

источника используют типовую приемную катушку, воспринимающую э.д.с., с которой эта помеха в противофазе подается на усилитель с выходной мощностью 40 Вт.

Выход усилителя соединен с компенсирующим шлейфом. Сигнальный ток рельсовой цепи можно увеличить увеличением напряжения на питающем конце рельсовой цепи, если это допускают соответствующие нормалы. Если же такое увеличение невозможно по условиям обеспечения нормального и шунтового режимов работы, то можно перенести сигнальную точку или же включить дополнительную разрезную точку рельсовой цепи вблизи места пересечения, чтобы ЛЭП пересекала рельсовую цепь на входном конце, где ток больше.

Другим характерным недостатком в работе устройств АЛСН является подверженность воздействию рельсов и других элементов верхнего строения пути с неравномерной остаточной намагниченностью на кодируемых и не кодируемых участках. Источником помехи в этих случаях являются объемно-закаленные рельсы, накладки, которые грузились с помощью электромагнитов, рельсовые плети после работы электробалластера. Наибольшее мешающее влияние неравномерная намагниченность оказывает на приемники АЛСН, работающие в режиме 25 Гц. Поэтому целесообразно на не кодируемых участках переводить локомотивный приемник из режима 25 Гц в режим 50 Гц.

Намагниченность объемно-закаленных рельсов также сохраняется достаточно длительное время, намагниченность же

обычных рельсов и накладок выравнивается, как правило, в период от двух недель до двух месяцев.

Основным способом ликвидации мест с неравномерной остаточной намагниченностью является перемагничивание рельсов с помощью вагона-дефектоскопа. Для этого вагон-дефектоскоп нужно дважды пропустить по участку в одном направлении со скоростью 15 км/ч с соблюдением зазора 10 мм между катушками и головкой рельса. Ток в катушках при первом проезде 16 А, при повторном 8 А обратной полярности.

Практическая реализация этого способа представляет значительные затруднения, так как обычно на дороге число вагонов-дефектоскопов невелико. В связи с этим на Прибалтийской дороге разработали и применяют способ перемагничивания с использованием путевой машины ВПО-3000, которая имеется на каждой путевой машинной станции.

Накануне магнитной обработки рельсов представитель ШЧ проезжает на локомотиве по участку, подлежащему магнитной обработке, и измеряет на этом участке уровень наводимых на катушках помех. Измерение производят прибором-измерителем выхода В4-10А или аналогичным прибором, подключенным к

локомотивным катушкам. Перед началом магнитной обработки рельсов на станции дислокации машины ВПО-3000 при включенном дизель-генераторе проверяют полярность электромагнитов. Проверку производит представитель ШЧ совместно с руководителем работ с помощью компаса. При этом стрелка компаса, расположенного горизонтально на уровне 5—10 см от головки рельса и на расстоянии 0,5—1 м от крайних полюсных наконечников электромагнита, должна показывать одинаковую полярность левого и правого электромагнитов. В случае обнаружения несоответствия полярности электромагнитов над левым и правым рельсами катушки с одной из сторон переключают. Магнитную обработку неравномерно намагниченных рельсов машиной ВПО-3000 выполняют при токе в электромагнитах не менее 60 А со скоростью движения 10 км/ч и высотой электромагнитов над рельсом не более 50 мм или со скоростью движения 5 км/ч и высотой электромагнитов над рельсом не более 100 мм.

После окончания магнитной обработки представитель ШЧ проверяет ее эффективность проездом на локомотиве при обратном рейсе машины ВПО-3000 со скоростью 50 км/ч. Эффективность магнитной обработки оценивают прибором-измерителем выхода В4-10А или другим аналогичным прибором, подключенным непосредственно к локомотивным катушкам. Наведенное напряжение, создаваемое помехой, после магнитной обработки не должно превышать 0,1 В. Эффективность

обработки определяют сравнением наведенной в катушках э. д. с. помехи до и после магнитной обработки.

Наряду с неравномерной намагниченностью уложенных в пути рельсов мешающее влияние на работу устройств АЛСН оказывают и рельсы, подготовленные для замены. Для устранения этого влияния такие рельсы нужно укладывать с внешней стороны колеи не ближе 35 см от действующего рельса или же внутри колеи строго по ее оси. Во всех случаях влияние ослабляется, когда зазор между торцами подготовленных для укладки рельсов выдерживается минимальным.

Причиной ложного появления сигнала КЖ на локомотивном светофоре на некодируемом участке может являться такое влияние посторонних источников электроэнергии, например поврежденная осветительная линия вдоль железной дороги с обрывом нулевого провода. Обратными проводами в данном случае являются земля и рельсы.

Другая возможность появления ложного сигнала АЛСН связана с работой импульсной рельсовой цепи постоянного тока в перегоне, обычно на участке приближения к станции или переезду.

Импульсная рельсовая цепь становится источником ложных кодов АЛСН в тех случаях, когда аккумулятор этой рельсовой цепи утратил емкость. При этом работающий параллельно с ним двухполупериодный выпрямитель выдает в рельсовую цепь наряду с импульсами постоянного тока также импульсы переменной составляющей, которые при определенных условиях могут расшифровываться как код КЖ.

Во время следования локомотива по коротким изолированным участкам (на станциях) на локомотивном светофоре нередко появляются ложные сигналы, особенно при больших скоростях.

Появление ложных сигналов исключается, если за время следования локомотива по изолированному участку с максимальной скоростью δ_{\max} обеспечивается прием не менее одного полного кодового цикла $t_{\text{ц}}$, что выполнимо при достаточной минимальной длине l_{\min} изолированного участка. В идеальном случае, когда начало кодирования совпадает с началом цикла, длина $l_{\min} = \delta_{\max} t_{\text{ц}}$. В действительности (например, при коде 3) кодирование может появиться без первого импульса $t_{1\text{имп}}$. Тогда первый цикл проходит как искаженный, и прием обеспечивается только следующего цикла, если он будет неискаженным. В этом случае $l_{\min} = \delta_{\max} (t_{\text{ц}} - t_{1\text{имп}} + t_{\text{ц}}) = \delta_{\max} (2t_{\text{ц}} - t_{1\text{имп}})$.

Схема приема кодов на локомотиве приходит в исходное положение примерно во второй половине длинного интервала $0,5t_{\text{д инт}}$. Учитывая это обстоятельство и ранее изложенное, минимальная длина изолированного участка $l_{\min} = v_{\max}(2t_{\text{ц}} - t_{1\text{имп}} - 0,5t_{\text{д инт}})$. В действительности продолжительность первого импульса несколько меньше нормативного, поэтому с некоторым приближением можно считать $t_{1\text{имп}} + 0,5t_{\text{д инт}} \approx t_{\text{д инт}}$. Тогда $l_{\min} = \delta_{\max} (2t_{\text{ц}} - t_{\text{д инт}} + t_{\text{зап}})$.

В зависимости от типа рельсовых цепей и схем кодирования начало посылки кода в рельсы будет отставать от момента вступления локомотива на изолированный участок на время $t_{\text{зап}}$, поэтому $l_{\min} = \delta_{\max} (2t_{\text{ц}} - t_{\text{д инт}} + t_{\text{зап}})$.

Как показали наблюдения, в импульсных рельсовых цепях постоянного тока с применением схем ускорения кодирования по отправлению время запаздывания $t_{\text{зап}}$ составляет 0,6—0,8 с. Таким образом, минимальная длина изолированного участка будет составлять: 95 м (КПТШ-5) и 100 м (КПТШ-7) при скорости локомотива 100 км/ч (28 м/с), 112 м (КПТШ-5) и 118 м (КПТШ-7) при скорости локомотива 120 км/ч (33 м/с).

Для повышения надежности работы АЛСН для случая следования локомотива по коротким изолированным участкам на Алма-Атинской дороге последние удлиняют за счет укладки шлейфа от конца участка по ходу поезда в длину $l_{\text{шл}} = l_{\min} - l_{\text{с}}$, $l_{\text{шл}}$ — длина шлейфа; l_{\min} — расчетная минимальная длина изолированного участка (секции); $l_{\text{с}}$ — фактическая длина короткой стрелочной секции. Обычно стрелочные секции на кодируемых участках укладывают длиной не менее 65 м. Для таких секции длина шлейфа составляет: при КПТШ-5 — 30 и 47 м

для скорости соответственно 100 и 120 км/ч, при КПТШ-7 35 и 53 м при той же скорости. При других значениях времени задержки кодирования расчетные длины изолированных участков будут другими. Если время задержки кодирования будет составлять 3 с и более,

то независимо от длины изолированного участка при проходе изолирующих стыков будут постоянно появляться ложные сигналы на локомотиве.

Для шлейфов применяют кабель марки СБПУ емкостью 5—12 жил (жилы дублируются), который прокладывают внутри колеи по сгибу подошвы рельсов согласно техническим требованиям на оборудование КП АЛСН испытательными шлейфами ИШ-74.

Ключевые слова:

коррозия, некачественная приварка, повреждения при путевых работах и др.

причины потери изоляции в арматуре крепления шпалы являются: касание стопорной шайбы закладного болта с зажимом болта, истирание резиновой прокладки, выкрашивание изолирующей втулки закладного болта, заполнение пространства между болтами балластной пылью, грязью, мазутом.

Одно из условий надежной работы рельсовых цепей является соблюдение требований защиты от посторонних источников питания.

Главным источником мешающих и опасных влияний является тяговый ток на электрифицированных участках железных дорог.

Нарушение работоспособности локомотивных устройств АЛСН возможно из-за отказов локомотивных устройств

Контрольные вопросы:

1. Какие факторы влияют на работу рельсовых цепей?
2. Что из себя представляет индикатор?
3. С помощью каких средств осуществляется повышение надежности рельсовых цепей?
4. Каким образом распределяются отказы локомотивной аппаратуры АЛСН?
5. Укажите недостатки в работе устройств АЛСН?

ЛЕКЦИЯ № 3 НАДЕЖНОСТЬ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

План

3.1. ХАРАКТЕРНЫЕ ОТКАЗЫ И ИХ ПРИЧИНЫ

3.2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

3.3. НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

3. НАДЕЖНОСТЬ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

3.1. Характерные отказы и их причины

Отказы электроприводов в основном обусловлены нарушением контакта автопереключателя, неисправностями механической части и электродвигателя. Нарушение контакта автопереключателя является следствием неправильной регулировки; излома контактных колодок, рычагов, контактов; индужения контактов; загрязнения контактов и др. В табл. 3.1.1 дано распределение отказов элементов электропривода в

процентах.

Неправильная регулировка, приводящая к отказам электроприводов, является следствием некачественного выполнения графика технологического процесса обслуживающим персоналом. Излом контактных колодок происходит из-за неправильно регулировки врубания ножей, разбивающих колодки; изменены свойства изоляционного материала при низких температурах, что приводит к появлению трещин в местах сопряжения металл (ножей) с пластмассой. Такое явление — результат различия их коэффициентов линейного расширения при низких температурах. Применение колодок с ножами из материалов ДСВ и Премикс исключает отказы из-за излома колодок. Важным является своевременная замена колодок после выработки назначенного ресурса, оговоренного ТУ.

Таблица 3.1.1

Характер и причины отказа	Отказы, %, в зависимости от типа электропривода						
	СП-1	СП-2,2Р	СП-3	СПВ-5,6	СПГ-2,3	СПГБ-4	СП-6
Нарушение контакта автопереключателя	62,07	59,36	57,57	56,14	62,75	45,45	53,25
В том числе							
неправильная регулировка	20,69	16,85	21,7	16,37	33,33	36,36	22,73
излом колодки, контакта, рычагов, контрольных линеек	17,24	18,91	18,45	20,47	25,49	9,09	12,34
загрязнение	10,34	6,55	3,67	4,09	3,92	-	4,87
индевание	13,79	8,61	12,15	12,28	-	-	11,69
Заклинивание шибера	3,45	1,5	4,17	7,02	1,96	-	2,92
Неисправность механической передачи	-	6,74	7,52	12,28	15,69	27,27	3,57
Нарушение контакта блокировочного устройства	6,9	3,93	3,78	2,34	-	-	11,36
Нарушение работы электродвигателя	24,14	24,72	26,22	19,88	17,65	27,27	27,27
Прочие	3,45	3,75	0,75	2,34	1,96	-	1,62

Одной из основных причин нарушения контакта автопереключателя является неправильная регулировка пружин контактных колодок, что является следствием несоблюдения расстояний между контактными пружинами колодок и недостаточной глубины врубания ножей. Для улучшения работоспособности стрелочных электроприводов регулировку контактов необходимо производить с выполнением следующих условий: расстояние между контактными пружинами колодки должно быть 6 и 12 мм для контрольных и рабочих контактов соответственно; упорные пружины должны плотно прилегать к контактными пружинам; расстояния между контактными пружинами измерять шаблонами, изготовленными из изоляционного материала. Для измерения минимального расстояния используют шаблоны 5,7 и П,^ мм,

которые должны проходить между контактными пружинами. Для измерения максимального расстояния используют шаблоны 6,4 и 12,5 мм, которые не должны проходить между контактными пружинами; ножи в контактные пружины должны врубаться на глубину не менее 9 мм. При врубании контактных ножей отжим каждой упорной пружины от нормального положения должен быть 0,7-1 мм, при врубании ножи не должны ударять в основания контактных колодок. Расстояние между контактным ножом и выступом основания контактной колодки (при крайних положениях колодки с ножами) должно быть $(3 \pm 1,5)$ мм. Индевание и обледенения контактов автопереключателя наблюдаются при низкой температуре и повышенной влажности, причинами которых являются: отсутствие устройства обогрева в приводах старых выпусков, неэффективность типового устройства обогрева электроприводов СП-3 из-за расположения обогревательных элементов в отдалении от контактной системы, перегорание или обрыв элементов обогрева и отсутствие контроля работоспособности схемы обогрева.

в процессе эксплуатации наблюдаются случаи нестабильной работы фрикционно! о устройства, вызванной отсутствием смазки на поверхностях фрикционных дисков и перекоса трущихся поверхностей относительно друг друга. Ликвидация этих отказов может быть достигнута за счет качественного технического обслуживания. Особенно подвержены отказам централизованные стрелки при резких перепадах температуры и влажности. Этому способствует напрессовка снега и льда в корневых креплениях, причем обдувка и обогрев стрелочного перевода не могут полностью предотвратить это явление. Положительный эффект был получен с помощью заполнения зазоров под накладками графитовой смазкой. Нанесенная осенью смазка способна в течение всей зимы предохранить корневые крепления от напрессовки снега и льда. Наряду с перечисленными выше отказами в работе электропривода встречаются и другие неисправности, перечень которых с указанием вероятных причин приведен в табл.3.2.1.

3.2. Обеспечение надежности электроприводов

Наибольшее число отказов приходится на потерю контактов автопереключателя. Большинство этих случаев происходит зимой и связано с индеванием контактов. Для предотвращения этого явления предусмотрены различные меры (графитовая смазка, глицерин, обогрев, специальные насечки на ножах, колпаки из оргстекла и др.), которые обычно применяют в зависимости от местных условий. Если контактное нажатие автопереключателя больше нормы, то усилие, развиваемое пружиной, может быть недостаточным для размыкания пружинных контактов или размыкать их со значительной затяжкой, что создает дугообразование при разрыве рабочих контактов и их подгорание. Если же контактное нажатие меньше нормы (350-500 г), то возможно нарушение электрической цепи, особенно в период индевания. Излом контакта автопереключателя может происходить из-за неправильной регулировки контактов (загнутые концы контактных пружин должны находиться на одной прямой без перегибов). Излом может произойти также ввиду частой регулировки контактной губки.

Таблица 3.2.1

Неисправности	Вероятная причина	Способ устранения
Нестабильная работа фрикции	Перекося трущихся поверхностей друг относительно друга и отсутствие смазки на поверхностях фрикционных дисков Ослабло фрикционное	Устранить перекося и смазать фрикционные диски Отрегулировать фрикционное сцепление до номинального тока Шестерню (шестерни)

<p>Стрелка не переводится, ток меньше номинального тока перевода Заклинивание шибера</p> <p>При переводе стрелки происходит выход ножей из контактных губок (пружин) с потерей контроля</p> <p>На рабочих контактах автопереключателей происходит дугообразование с подгоранием контактов</p> <p>Излом карболитовых колодок автопереключателя</p> <p>Потеря контроля положения стрелки при прохождении по ней поезда</p> <p>При переводе спаренных стрелок происходит значительное увеличение тока и рабочий предохранитель перегорает</p>	<p>Сцепление</p> <p>Отсутствие смазки на запорных зубьях шибера и шестерни и шибера и отсутствие зазора между острием и рамным рельсом. дающего возможность обеспечить запираение стрелки при закладке шаблона толщиной 2мм. Завышенное напряжение на электродвигателе Сильно затянута с фрикционное сцепление и завышено напряжение на электродвигателе</p> <p>В конце перевода стрелки происходит медленный сброс ножей. Наличие усталости в пружинах кручения автопереключателей, контактное нажатие между губками и ножами выше нормы Несимметричное врубание ножей автопереключателя между контактными пружинами</p> <p>Контактное нажатие между контактными пружинами (губками) и ножами меньше 400-500г и врубание ножей происходит с большей силой Контрольные тяги не отрегулированы по контрольной скобе на зазор 1-3 мм между зубом ножевого рычага и рабочей боковой поверхностью выреза в контрольной линейке На одной из стрелок сильно затянута фрикция и имеется чрезмерно плотное замыкание между шестерней главного вала и шибером. Возникает значительная дуга и образуются две параллельные цепи рабочего</p>	<p>главного вала держать густо смазанными смазкой ТЩАТРШ-201 и обеспечить запираение стрелки при закладке между острием и рамным рельсом шаблона толщиной 2мм. Отрегулировать напряжение на электродвигателе Отрегулировать с фрикционное сцепление до номинального тока работы на фрикцию, но не более 20-25% номинального тока перевода Заменить пружины кручения, Отрегулировать контактное нажатие</p> <p>Контактные колодки установить симметрично относительно врубленных в них ножей</p> <p>Отрегулировать контактное нажатие подгибанием рессорных пружин</p> <p>Отрегулировать зазор в пределах 1-3 мм между зубом ножевого рычага и рабочей боковой поверхностью выреза в контрольной линейке</p> <p>Отрегулировать фрикцию на номинальный ток и обеспечить замыкание стрелки при шаблоне толщиной 2 мм между сережкой острия и рамным рельсом</p> <p>Щетки нужно хорошо притереть к коллектору шлифовальной шкуркой и нажатие щеток на коллектор должно составлять 250-300Г</p> <p>Проверить якорь на отсутствие короткого</p>
--	---	---

<p>При работе электродвигателя наблюдается сильное искрение щеток</p>	<p>тока: через перекрытые дугой рабочие контакты первой стрелки и замкнутые контрольные контакты первой стрелки и электродвигатель второй стрелки Слабое или слишком сильное прижатие щеток к коллектору</p>	<p>замыкания Проточить на лай коллектор для устранения возвышенности у отдельных пластин Проверить омметром исправность обмоток якоря и обмоток возбуждения и отсутствие обрывов секций обмотки якоря с коллекторными пластинами</p>
<p>На зажимы электродвигателя рабочее напряжение поступает, но якорь не вращается</p>	<p>Возвышение одних пластин коллектора над другими</p> <p>Обрыв между секцией якорной обмотки и коллекторной пластиной</p>	<p>Проверить омметром исправность обмоток якоря и обмотки возбуждения Установить щетки точно на нейтрали</p> <p>Тщательно протереть коллектор и щетки</p>
<p>В одну сторону вращение якоря вызывает искрение на щетках сильнее, чем при вращении в другую</p>	<p>Обрыв обмотки якоря или обмотки возбуждения</p> <p>Незначительное перемещение щеток в нейтрали</p> <p>Между щеткой и коллектором попали инородное тело</p>	

Причины недостаточного врубания ножей автопереключателя могут быть следующими:

кулачок автопереключателя упирается в контрольную линейку из-за неправильной ее регулировки. Обнаружить это можно нажатием на контрольную тягу. Контрольная линейка, препятствующая западанию кулачка, в этом случае будет перемещать ножи автопереключателя;

палец ползуна, на который сдвигается замыкающий рычаг, находится ниже поверхности барабана вследствие ослабления врезной пружины или нестандартности ползуна; неплотная осадка основания автопереключателя за счет ослабления крепящих болтов или его нестандартности.

При замыкании контрольных контактов автопереключателя необходимо, чтобы подвижный нож не ударялся о колодку с контактными пружинами. Удары о колодку могут произойти из-за ослабления болтов, крепящих основание автопереключателя, его нестандартности или вследствие износа стержня, в который упирается кулачок.

Для улучшения работы электроприводов на дорогах заменяют ветхий монтаж на новый; выполняют внутреннюю покраску с учетом вопросов эстетики; устанавливают фотосхему прохождения электрических цепей управления электроприводом; на стрелочных переводах, уложенных на главных и приемоотправочных путях, электроприводы СПВ-5 заменяют на СП-6; для улучшения сопротивления изоляции монтажа электроприводов металлические шланги, связывающие электроприводы со стрелочными муфтами, заменяют на резиновые.

В процессе эксплуатации стрелочных электроприводов имеют место случаи выпадания роликов контрольных линеек из-за износа или излома шплинтов, что приводит к нарушению электрического контроля положения стрелок. Для исключения подобных случаев на ролик устанавливают предохранительные скобы между контрольной линейкой и контрольной тягой. Скоба загибается сверху головки вплотную и не дает возможности ролику выпасть из контрольной линейки в случае выпадания шплинта. На ряде дорог применяют электроприводы с трехфазными электродвигателями переменного тока, которые имеют ряд преимуществ по сравнению с электродвигателями постоянного тока. Существенным достоинством асинхронных двигателей являются отсутствие коллектора и щеточного узла—наиболее уязвимых элементов двигателей постоянного тока. Кроме того, отсутствие контакта коллектор—щетка исключает появление ложного контроля положения стрелки при возникновении электрической дуги в месте контакта. Применение этих двигателей с пониженной частотой вращения ротора несколько увеличивает время перевода стрелки, что особенно ощутимо на спаренных стрелках.

Таблица 3.2.2

Параметр надежности	СПВ-5	СП-2
Поток отказов, 1/ч	0,067*10 ⁻⁴	0,17*10 ⁻⁴
Вероятность безотказной работы в течении года	0,84	0,85

Уменьшение частоты вращения ротора двигателя улучшает динамику работы электропривода и стрелки. В итоге резко уменьшается износ роликов и втулок рабочих и межстрелочных тяг. За счет уменьшения скорости соударения острия с рамным рельсом при переводе стрелки значительно снижается воздействие этих ударов на элементы пути. Применение пятипроводной схемы управления стрелкой позволяет обойтись без реверсивного реле. Кроме того, использование отдельных пар проводов для контроля плюсового и минусового положения стрелки исключает возможность появления ложного контроля из-за случайного перепутывания линейных проводов. Эти достоинства электроприводов с трехфазными электродвигателями переменного тока позволяют снизить затраты труда на техническое обслуживание централизованных стрелок и повысить безопасность движения поездов.

ЛИИЖТ разработал стенд для проведения испытаний стрелочных электродвигателей постоянного и переменного тока в широком диапазоне. На этом стенде можно создавать любые непрерывные или дискретно изменяемые нагрузки, проводить испытания электродвигателя при разных направлениях вращения и по наработке на отказ в условиях, близких к эксплуатационным. Стенд разработан с учетом кратковременного или повторно-кратковременного режима работы стрелочных электроприводов. Стенд можно использовать для комплексной диагностической проверки электродвигателей стрелочных электроприводов и самих электроприводов. Для отдельных элементов электропривода определено среднее время восстановления при отказе без учета времени следования к месту отказа: на чистку контактов автопереключателя необходимо 10 мин, замену электродвигателя — 18 мин, реле 1111РЗ-5000 — 10 мин, регулировку рабочих и контрольных тяг — 15 мин, замену выпрямительных элементов—8 мин. Это свидетельствует о необходимости улучшения ремонтнопригодности как элементов электропривода, так и аппаратуры, используемой в схеме управления электроприводом. Анализ статистической информации позволил установить параметры надежности электроприводов, значения которых приведены в табл. 3.2.3.

Таблица 3.2.3

Параметр надежности	СП-2Р	Электродвигатель МСП-0,4	Пуск реле	Автопереключатель
Поток отказов, 1/ч	0,23*10 ⁻⁴	0,052*10 ⁻⁶	0,013*10 ⁻⁶	0,16*10 ⁻⁶
Вероятность безотказной работы в течении года	0,81	0,95	0,99	0,98

Среднее время восстановления электроприводов СПВ-5, СП-2 и СП-2Р равно соответственно 18; 21,6 и 23,3 мин без учета времени следования к месту отказа. На Прибалтийской дороге разработана и внедрена схема тиристорной защиты поляризованных контактов реле СКГШ1-5 в четырехпроводной схеме управления стрелкой. В рабочую цепь устанавливают два параллельно включенных тиристора КУ-202Д без радиатора в корпусе малогабаритного реле. Схема предусматривает защиту пусковых реле в наиболее тяжелом режиме в момент замыкания рабочей цепи электродвигателя. Исправность схемы искрогашения проверяют по кратковременному возбуждению реле В и отсутствию искрения на контактах реле СУП в момент их замыкания. Для исключения перегрузки тиристора защиту можно применять только при условии, что схемно обеспечена невозможность одновременного перевода более одной стрелки в горловине. В тех случаях, когда защита осуществляется на стрелках с маркой крестовины 1/18 или при типе рельсов тяжелее Р50, вместо двух параллельно включенных тиристоров КУ-202Д необходимо устанавливать один тиристор Т-25 или Т-50 с радиатором.

3.3. Надежность электродвигателей

Нарушение работоспособности электродвигателя может быть вызвано обрывом и замыканием секции обмоток якоря и статора, неисправностью щеточного узла, понижением изоляции обмоток. В табл. 3.3.1 дано распределение отказов электродвигателей по элементам. Обрывы секций якоря являются следствием нарушения технологии изготовления на заводе. Отказы электродвигателей можно предупредить применением метода дистанционной проверки с помощью осциллографа и проверки в напольных условиях омметром в соответствии с технологией обслуживания. Одним из путей повышения надежности щеточного узла следует считать применение усиленных пружин и контроль их состояния. Эта работа может быть выполнена при периодическом ремонте и проверке электродвигателей. При ремонте электродвигателей с курковым щеткодержателем следует измерять нажатие щеток на коллектор и приводить его к норме 200—300 г, установленной техническими условиями (ТУ).

Таблица 3.3.1

Отказ	Число отказов, %, для электродвигателя и напряжения, В			
	МСП-0,1	МСП-0,15	МСП-0,25	МСП-0,25

	30	100	160	30	160	30	100	160	2 20	127
Обрыв, мыкание:										
обмоток	55,0	45,45	57,14	50,0	66,23	42,86	81,82	68,40		83,33
якоря	55,0	45,45	50,00	28,57	57,14	37,5	66,67	63,90		33,33
статора			7,14	21,43	9,09	5,36	15,15	4,49		50,0
Неисправно щеточного узла										
Понижение изоляции	5,0	27,27		14,29	7,79	7,14	6,06	4,21		16,67
Прочие	-	-	-	-	-	-	-	2,25		-

Давление курка на угольную щетку и нажатие щетки на коллектор отличаются незначительно (на 2—5 г). Поэтому рекомендуется измерять давление курка на щетку, используют граммометр с пределами измерения 50—280 г, применяемый — для испытания пружин в телеграфных аппаратах Т-БЗ. Для увеличения давления курка на щетку при несоответствии его норме ТУ необходимо: проверить механические характеристики пружин, при этом длина пружины электродвигателя МСП-0,25 при условии растяжения $P_1=0,1$ кг должна быть $(12,8 \pm 1)$ мм, а при условии растяжения $P_2=0,3$ кг— $(14 \pm 0,5)$ мм; заменить пружину на новую из проволоки диаметром 4,6 мм с числом витков 9. На отдельных дорогах имели место случаи заклинивания — щеток в щеткодержателях из-за образования окиси в отверстиях. Причиной является применение некачественного материала. Переход Саратовским электромеханическим заводом на новый материал щеткодержателя исключает такие дефекты. Выявленные в эксплуатации щеткодержатели с окисной пленкой необходимо заменить. При обнаружении вмятин на обмотках возбуждения и нарушении изоляции обмоток из-за касания ребер жесткости задней крышки следует проточить ребра жесткости на токарном станке до плоскости крышки с внутренней стороны и закрасить лаком. Для усиления прочности и исключения выпадения клиньев из пазов якоря рекомендуется применять эпоксидную смолу или эмаль ГФ-92 ГС. Для восстановления изоляционных свойств обмоток якоря и статора их просушивают в сушильном шкафу, а при необходимости пропитывают специальным составом обмотки якоря. На Свердловской дороге в дополнение к типовому технологическому процессу ремонта электродвигателей устанавливают стрелочный привод с изъятими контрольными линейками; устанавливают электродвигатель в привод без подключения редуктора и подсоединяют выводы электродвигателя к стенду; проверяют работу электродвигателя на холостом ходу при повышенных оборотах в течение 2 мин, для чего плавно повышают напряжение ЛАТРоМ, добиваясь необходимого числа оборотов в соответствии с табл. 1.3.2.

Таблица 3.3.2

Электродвигатель	Напряжение, В	Число оборотов, об/мин
1 МСП-0,1	30	1950

МСП-0,1	100,160	2250
МСП-0,25	30	2100
МСП-0,25	100, 160	2550
МСП-0,25	30, 110, 160	

Таблица 3.3.3

Тип двигателя	Напряжение, В	Ток, А	Число оборотов*, об/мин
МСП-0,1	30	10	1300
МСП-0,1	100	2,5	1500
МСП-0,1	160	1,8	1500
МСП-0,25	30	12,5	1460
МСП-0,25	100	3,3	1700
МСП-0,25	160	2,5	1700
МСП-0,15	30	7,7	850
МСП-0,15	110	2,2	850
МСП-0,15	160	1,5	850

Таблица 3.3.4

Тип двигателя	Напряжение, В	Ток, А
МСП-0,1	30	15
МСП-0,1	100	3,75
МСП-0,1	160	2,7
МСП-0,25	30	18,75
МСП-0,25	100	4,95
МСП-0,25	160	3,75
МСП-0,15	30	11,55
МСП-0,15	110	3,3
МСП-0,15	160	2,75

Ключевые слова:
 Одной из основных причин нарушения контакта автопереключателя является неправильная регулировка пружин контактных колодок, что является следствием несоблюдения расстояний между контактными пружинами колодок и недостаточной глубины врубания ножей. Уменьшение частоты вращения ротора двигателя улучшает динамику работы электропривода и стрелки. В итоге резко уменьшается износ валиков и втулок рабочих и межстряковых тяг. При обнаружении вмятин на обмотках возбуждения и нарушении изоляции обмоток из-за касания ребер жесткости задней крышки следует проточить ребра жесткости на токарном станке до плоскости крышки с внутренней стороны и закрасить лаком.

Контрольные вопросы:

1. Укажите причины характерных отказов стрелочных электроприводов?
2. Каким образом осуществляется надежность электроприводов?
3. Способ устранения нестабильной работы фрикции?

4. Стрелка не переводится, ток меньше номинального тока перевода, заклинивание шибера. Укажите причину.
5. Укажите причины недостаточного врубания ножей автопереключателя?

Лекция 4. НАДЕЖНОСТЬ СВЕТОФОРОВ

ПЛАН ЛЕКЦИИ:

1. Надежность светофорных ламп;
2. Защита светофоров от коррозии;

1 Отказы светофоров и надежность светофорных ламп

Основное число отказов светофоров приходится на светофорные лампы и нарушение контакта ламподержателя. Определенное число отказов составляют разрушения оснований и мачт светофоров из-за воздействия коррозии.

В табл. 4.1 дано процентное распределение отказов светофоров по элементам и причинам.

В устройствах железнодорожной сигнализации применяют лампы ЖС 12-15, ЖС 12-35, ЖС 12-15+15 и ЖС 12-25 + 25 в линзовых светофорах и ЖС 10-10, ЖС 10-5, ЖС 10-10-1, ЖС 10-5-1, ЖС 10-10-2, ЖС 10-5-2 в прожекторных. Лампы ЖС 0-10-2 и ЖС 10-5-2 имеют фокусирующий секторный цоколь, I ЖС 12-15+15 и ЖС 12-25 + 25 — фокусирующий фланцевый, остальные модификации ламп прожекторных светофоров, а так же лампы линзовых светофоров имеют фокусирующий штырьковый цоколь. В обозначениях типа ламп буквы ЖС указывает на принадлежность ламп к железнодорожным светофорам; числа, следующие за буквами, — номинальное напряжение в вольтах, далее — номинальную мощность или номинальные мощности основного и резервного тела накала в ваттах. Лампы модификаций ЖС 10-5-1 и ЖС 10-10-1 отличаются от базовой модели ламп ЖС 10-5 и ЖС 10-10 формой колбы и в условиях эксплуатации взаимозаменяемы.

Параметры ламп приведены в табл.4.1.

Таблица 4.1

Характер отказа и причины	Число отказов, %, светофоров			
	Линзовых		Прожекторных	
	Мачтовых	Карликовых	Мачтовых	Карликовых
Перегорание ламп:				
всего	47,05	48,31	78,1	62,5
заводской дефект	25,23	23,03	34,76	37,5
завышенное напряжение	9,5	12,92	6,52	12,5
Нарушение контакта лампо-держателя	27,95	23,59	12,38	37,5
Бой линз	9,42	18,54	1,9	
Падение светофоров	0,5		0,48	
Неисправность монтажа	6,9	3,93	5,24	
Прочее	8,5	5,62	1,9	

Параметры	ЖС12-15	ЖС12-25	ЖС12-35	ЖС10-10	ЖС10-10-1	ЖС10-10-2	ЖС10-5	ЖС10-5-1	ЖС10-5-2	ЖС2-15+15	ЖС12-25+25
Номинальное напряжение, В	12	12	12	10	10	10	10	10	10	12	12
Мощность, Вт:	15	25	35	10	10	10	5	5	5	15	25
номинальная предельная, не более Световой поток, мм:	16,5	27,6	38,5	11	11	11	5,5	5,5	5,5	16,5	27,5
номинальный предельный, не менее	130	230	380	100	100	100	58	38	38	130	230
Продолжительность горения, ч, при номинальном напряжении	1000	1000	1000	500	500	500	500	500	500	2000/300*	2000/300

- Резервная нить имеет продолжительность горения 300 ч.

Выводы ламп должны быть прочно припаяны или приварены контактам цоколя и не должны препятствовать вставлению ламп в патрон; крепление колбы к цоколю, а также корпуса цоколя к внутреннему стакану или фокусирующему фланцу цоколя должно быть прочным. Недопустимо отделение цоколя-баллона, корпуса цоколя от внутреннего стакана; лампы должны выдерживать без отказов включение в течение 10 с I напряжение, равное 115% номинального; омическое сопротивление ламп в холодном состоянии должно быть постоянны для ЖС 12-15 — 0,4-0,2 Ом, ЖС 12-25 — 0.25-М.5 Ом.

На цоколе или колбе лампы должен быть оттиск с обозначениями товарного знака предприятия-изготовителя, номинальных напряжений в вольтах и мощности в ваттах, дата выпуск (квартал и год). Маркировка должна иметь отчетливое, нестирающееся и несмываемое изображение и не вызывать коррозию цоколя.

На ящике с упакованными лампами должна быть наклеена этикетка, содержащая товарный знак предприятия-изготовителя, наименование и обозначение ламп, номинальные напряжения в вольтах и мощность в ваттах, ГОСТ (ТУ), тип цоколя число ламп и дату изготовления, клеймо отдела технического контроля.

При одной и той же температуре накала полная и полная продолжительность горения зависит от скорости испарения тел накала, активности вредных газов, однородности диаметр вольфрамовой проволоки и постоянства шага спирали. Скорость испарения тела накала в свою очередь зависит от кристаллической структуры вольфрама, конструкции тела накала, состава давления наполняющего газа.

Скорость испарения вольфрама сильно возрастает с повышением его температуры. Если бы тело накала, имело, по всей длине совершенно равномерную внутреннюю структуру и одинаковые размеры, то температура его на всем: протяжении расселялась одинаково. Вещество тела накала в течение срока службы испарялось бы со всех участков тоже одинаково; поперечное сечение проволоки по всей длине равномерно бы уменьшалось, электрическое сопротивление проволоки возрастало, а потребляемая мощность и температура тела накала понижались. Теоретически такая лампа должна была

бы постепенно прекратить светиться, а ее полная продолжительность горения должна быть бесконечно большой.

Однако на практике таких идеальных условий не бывает. Различные участки тела накала имеют неодинаковую рабочую температуру: концевые охлаждаются массивными электродами, а по мере удаления от них температура спирали повышается и достигает некоторого наивысшего значения в центральной части спирали.

У газонаполненных ламп постоянство температуры тела накала по длине сильно зависит от однородности шага спирали: участки со сближенными витками имеют более высокую температуру, чем участки с растянутыми витками. Продолжительность горения определяется износом спирали в наиболее дефектном участке. Самые незначительные дефекты служат причиной возникновения участков, имеющих температуру, более высокую, чем у остальной нити.

Момент перегорания чаще всего совпадает с моментом включения лампы, когда пусковой ток через спираль значительно превышает рабочий. В момент перегорания сопротивление и тепловыделение на стыках разрушенного участка тела накала сильно возрастают. В месте разрыва возникает дуговой разряд, который приводит к расплавлению концов перегоревшей спирали. На концах спирали действием поверхностного натяжения образуются маленькие вольфрамовые шарики, иногда заметные невооруженным глазом. По таким оплавленным концам можно отличить перегорание спирали от ее механического разрыва. Согласно Инструкции по техническому содержанию устройств ШЧ/3820 работники РТУ дистанции сигнализации и связи должны проверить каждую светофорную лампу полученной партии перед установкой в эксплуатацию. Каждую лампу подвергают обжигу в течение 1 ч номинальным напряжением переменного тока промышленной частоты 50 ГЦ; двух спиральную лампу обжигают по основной спирали, резервную спираль проверяют на зажигание

Для обнаружения недостатков сборки, влияющих на нормальную работу ламп, перед обжигом проверяют внешний каждой лампы. При этом обращают внимание на следующие условия: тело накала не должно быть растянутым и иметь короткозамкнутых или смятых витков и коробления, приводящих к межвитковым замыканиям; тело накала должно быть прочно зажато в выводах и обеспечивать надежный электрический контакт; стекло колбы лампы не должно иметь дефектов, препятствующих эксплуатации ее в линзовых комплектах; внутри лампы и трубки ножки допускаются свободно перемещаться (изоляционное стекло), не способные повредить внутренние детали лампы и вызвать короткое замыкание; выводы электродов не должны соприкасаться друг с другом (короткое замыкание), также не должно быть выводов, образованных в результате холодной скрутки; на внутренних поверхностях лампы не должно быть налета от распыленных окислов вольфрамовый купол колбы лампы не должен быть деформирован во время огневой обработки маркировки; припайка бокового вывода цоколю должна быть прочной и не препятствовать вставлению лампы в патрон; отверстие верхнего контакта должно быть полностью закрыто припоем; изоляционная масса цоколей не должна иметь трещин и отколов, влияющих на ее механическую прочность; штифты цоколей не должны быть деформированы

В полученной партии допускается отбраковка 5 % ламп; линзовых светофоров; 10 % для прожекторных ламп по продолжительности горения (перегорание при испытании в РТУ плк процессе эксплуатации).

Результаты проверки ламп фиксируют в РТУ (число проверенных из них годных и дефектных, характер дефектности, I споенный номер годных ламп и т. д.). Присвоенный каждой лампе номер наносят на цоколе. О каждом случае перегара лампы ранее установленного срока обслуживающий персонал должен сообщить в РТУ с указанием номера лампы.

Лампы линзовых светофоров для замены следует доставлять на объекты эксплуатации в индивидуальных картонных заводских трубках, а лампы прожекторных светофоров — в картонной коробке с ячейками. Полученные с завода лампы хранят в закрытых, сухих, проветриваемых помещениях. В воздухе должны отсутствовать кислотные, щелочные и другие агрессивные примеси, вредно влияющие на параметры ламп.

Анализ статистической информации о работоспособности светофорных ламп показывает, что отказы светофорных ламп составляют от 2 до 4 % от всех отказов устройств СЦБ. Интенсивность отказов по данным отдельных дорог колеблется в пределах $(5—10)^{-3}$ 1/год, т. е. из 1000 находившихся в эксплуатации в течение года 5—10 ламп не выдержали установленного срока службы.

Наряду с преждевременным перегоранием: светофорных ламп в эксплуатации имеет место потеря контакта из-за растрескивания латунных ламподержателей линзовых комплектов.

На срок службы лампы большое влияние оказывает питающее напряжение. Увеличение напряжения на 10 % номинального сокращает срок службы ламп примерно на 70%, а при напряжении, меньшем номинального на 5 %, срок службы возрастает более чем в 2 раза. Следовательно, высокая надежность светофорных ламп может быть достигнута в случае невышшения питающего напряжения или его стабилизации. Для этого необходимо при регулировке напряжения учитывать колебания напряжения питающей сети, перезаряд и недозаряд аккумуляторов при регулировке напряжения в аварийном режиме и другие факторы повышения напряжения.

Двухспиральные светофорные лампы ЖЛС 12-15+15 и ЖЛС 12-25 + 25 имеют фланцевый цоколь и два тела накала — основное, рассчитанное на 2000 ч горения, и резервное, имеющее продолжительность горения 300 ч. Основная спираль, находящаяся в фокусе, расположена на геометрической оси колбы, резервная находится сбоку от нее. Рабочее положение двух спиральных ламп горизонтальное, с фиксирующей выемкой цоколя вниз.

2. Защита светофоров от коррозии

Железобетонные конструкции устройств СЦБ в процессе эксплуатации испытывают постоянные и переменные нагрузки, а также подвергаются воздействиям окружающей среды, что вызывает повреждения, снижающие долговечность конструкций. Повреждения в железобетонных конструкциях в период эксплуатации возникают: вследствие недоучета отдельных факторов на стадии проектирования, в процессе изготовления (нарушение технологии изготовления и монтажа, заводской брак, несвоевременное принятие мер по защите от коррозии), под действием температуры и влаги окружающей среды (появление продольных и поперечных трещин), под действием агрессивной среды (изменение структуры и свойств бетона, проводящее к снижению его прочности и преждевременному разрушению), арматура железобетонных конструкций агрессивных почвах и атмосфере может подвергаться почвенной и атмосферной коррозии. В агрессивной и влажной среде (при относительной влажности воздуха более 60%) процесс коррозии арматуры конструкции ускоряется. Наиболее опасными являются повреждение арматуры или анкерных болтов в подземной части мачт и фундаментов светофоров вследствие электрокоррозии. Явление эрозии' как правило> возникает на участках электрофицированных железных дорог постоянного тока в пределах анодных и знакопеременных зон потенциалов рельсовой сети является следствием утечки тока с поверхности металла в бетон при плотности тока свыше 0,6 мА/мм².

Согласно действующим Правилам технической эксплуатации железных дорог Союза ССР все металлические мачты светофоров, а также металлическая оснастка железобетонных мачт должны иметь непосредственную электрическую связь с рельсом. При этом токи, стекающие с рельсов, попадают в арматуру железобетонной конструкции и далее с

арматуры фундаментной части в грунт, поэтому арматура или анкерные болты становятся анодом и разрушаются в результате электролиза.

Токи утечки зависят от разности потенциалов рельс — земля в точке установки конструкции и сопротивления цепи заземления рельс — оснастка светофора — железобетонная конструкция — земля — рельс. Допустимый ток утечки в среднем не должен превышать 2,5 мА для бетонных фундаментов светофоров и 10 мА для железобетонных мачт светофоров и стоек релейных шкафов. Электрическая связь между заземляющими деталями и арматурой может образоваться в местах: касания различного рода хомутов с металлическими втулками, образующими отверстия в железобетонных мачтах; ввода и вывода кабелей светофора.

Сопротивления цепи заземления редко превышают 100 Ом и определяются главным образом сопротивлением фундаментной части конструкции. Сопротивление цепи рельс — светофора формируется главным образом за счет подземной части. Аналогичные явления наблюдаются и на светофорах с металлическими мачтами, у которых заземляющий проводник присоединяется непосредственно к анкерным болтам.

Арматура железобетонных мачт и анкерные болты железобетонных фундаментов светофоров при глухом заземлении рельсы постоянно имеют, потенциал цепи рельс — земля и могут подвергаться коррозионному разрушению токами утечки, которые в ряде случаев превышают допустимый уровень. Следствием этого явились повреждения значительного числа светофоров, а в отдельных случаях полное разрушение конструкций подземной части.

Обследования железобетонных мачт и фундаментов светофоров, находящихся в эксплуатации, показали, что характерным признаком, определяющим электрокоррозию арматуры или анкерных болтов, являются продольные трещины в подземной части конструкции. По мере развития процессов электрокоррозии трещины вдоль арматурных стержней или вдоль анкерных болтов, как правило, выходят на поверхность конструкции. При этом в подземной части к этому времени коррозионные повреждения арматуры достигают размеров, при которых общая способность конструкции снижается меньше нормативной.

Наряду с повреждениями арматуры наблюдается разрушение слоя бетона, примыкающего к арматуре или анкерным болтам. Такие повреждения бетона и арматуры приводят к внезапным разрушениям всей конструкции.

Имеют место случаи, когда железобетонная мачта светофора повреждается в подземной части продольными трещинами, образующимися в результате электрокоррозии продольной рабочей арматуры. Указанные трещины располагаются по всей длине мачты вдоль стержней арматуры и выходят на поверхность на 15—20 см. Выход трещин на поверхность свидетельствует о значительных коррозионных повреждениях арматуры в подземной части. После откапывания мачты обнаруживается, что на глубине 0,5 м ширина трещин достигает 4—5 мм, а бетон легко откалывается. Светофор при этом эксплуатировался при глухом заземлении на рельс, и при проходе поездов токи утечки арматуры достигали 100 мА, т. е. превышали допустимые в 10 раз. Это явилось причиной преждевременного разрушения мачты светофора, так как несущая способность при таких повреждениях оказалась меньше нормативной.

Характерным видом повреждения железобетонных фундаментов под металлические мачты светофоров в процессе электрокоррозии анкерных болтов является случай распирающего действия продуктов коррозии и развитие продольной трещины вдоль анкерного болта. Часто распирающее действие продуктов коррозии приводит к образованию поперечных трещин в фундаменте на глубине 0,5—0,6 м, в месте загиба анкерных болтов. Этому способствует то обстоятельство, что часть фундамента может находиться над землей в сухом состоянии, и поэтому в нижней части анкерных болтов увеличивается плотность стекающего тока.

Под воздействием механических нагрузок от головок светофора и в части изгибающего момента при наличии поперечных трещин в плоскости загиба анкерных болтов, как правило, происходит излом фундамента, о чем свидетельствуют случаи падения светофоров на отдельных дорогах. Таким образом, повреждения конструкций электрокоррозией являются наиболее опасными, так как развитие их начинается и протекает в подземной части, что затрудняет их обнаружение.

Наряду с электрокоррозионными повреждениями в ряде районов страны можно наблюдать разрушение бетона фундаментов карликовых светофоров, а также других железобетонных конструкций. Основной причиной подобного рода разрушения является попеременное замораживание и оттаивание воды, проникающей в поры бетона, что является следствием некачественного изготовления и низких марок бетона. Эти разрушения наблюдаются как правило, в надземной части и поэтому при их чрезмерном развитии могут быть устранены своевременной заменой конструкции.

В процессе эксплуатации в центрифугированных железо тонных мачтах могут появляться специфические дефекты, продольные трещины в надземной части, направленные вдоль образующих конуса мачты. Причиной образования продольных трещин могут являться воздействие на конструкцию мачты и бетон температурно-влажностных факторов окружающей среды, а также недостатки технологии изготовления. В общем случае продольные трещины, расположенные в средней части мачты не выходящие на концевые участки, не оказывают существенного влияния на несущую способность конструкции и могут только способствовать коррозии арматуры. Наличие же значительного числа хомутов, стягивающих мачты на различных уровнях, в определенной степени обеспечивает прочность конструкций, имеющих продольные трещины.

Кроме указанных повреждений, появляющихся в процессе эксплуатации, в железобетонных мачтах и фундаментах наблюдаются дефекты, образовавшиеся во время транспортировки; монтажа (поперечные трещины, сколы бетона и т. д.), которые не получают дальнейшего развития и соответственно не могут оказать влияние на долговечность конструкций. Все повреждения и дефекты, встречающиеся в эксплуатируемых железобетонных конструкциях, можно разбить на три основные группы: повреждения подземной части мачт светофоров и фундаментов, имеющих непосредственную электрическую связь с рельсами, вследствие электрокоррозии (продольные трещины, расположенные вдоль арматурных стержней или анкерных болтов, следы ржавчины на поверхности бетона и отколы фундаментов); продольные и поперечные трещины, а также повреждения защитного слоя бетона (выбоины, раковины, отколы и т. д.) в надземной части; разрушения бетона в надземной части вследствие недостаточной его морозостойкости. Железобетонные конструкции, имеющие те или иные повреждения, делятся на негодные, требующие замены, и дефектные подлежащие ремонту или защите от коррозии. Замене подлежат: железобетонные фундаменты и мачты светофоров, имеющие продольные или поперечные трещины в подземной части (в порядке исключения на время, необходимое для проведения работ по замене конструкции, поврежденных мачт светофоров, можно усилить за счет установки железобетонных или металлических приставок); железобетонные опорные конструкции, у которых наблюдается разрушение бетона свыше 30 % поперечного сечения.

Один раз в три года оценивают состояние конструкций результатам осмотров надземной и подземной частей, а на участках с электротягой постоянного тока — и по данным о токах стекания с арматурного каркаса фундаментной части. При необходимости используют данные об агрессивности атмосферы и почвы. Надземную часть конструкции осматривают по всей высоте с целью обнаружения трещин, определения их размеров и оценки опасности трещин для несущей способности конструкции, а так же для

обнаружения других видимых дефектов — отколов повреждений защитного слоя бетона, отслоений, раковин, ржавых пятен и т. д.

Подземную часть мачт и фундаментов осматривают в прооткалывания их до глубины 0,6—0,8 м поочередно с двух боковых сторон с уплотнением грунта при засыпке. При этом необходимо временно закреплять мачты светофоров оттяжками или другими приспособлениями на случай излома и падения разрушенного электрокоррозией светофора. На участках с электротягой постоянного тока откапыванию подлежат все мачты и фундаменты мачтовых светофоров, находящиеся в анодных и знакопеременных зонах и имеющие токи утечки выше допустимых значений. В первую очередь откапывают конструкции, имеющие сопротивление цепи рельс — светофор менее 100 Ом и расположенные в анодных зонах с наибольшим потенциалом.

Конструкции, находящиеся в катодных зонах и на участках с электротягой переменного тока, а также на неэлектрофицированных линиях, откапывают выборочно для выяснения почвенной коррозии бетона и арматуры только в местах с агрессивными грунтами после 10 лет эксплуатации.

Вопросы

1. Какое значение имеет надежность светофоров?
2. Причины отказов светофоров?
3. Способы повышения надежности ламп?
4. Электрокоррозия, причины ее появления?
5. Как влияет Электрокоррозия на мачты светофоров?

Ключевые слова:

1. Электрокоррозия – распад металла под действием окислительных процессов.
2. Двухспиральная лампа – лампа накаливания у которой для надёжности добавлена параллельно вторая нить накаливания.
3. Мачта – бетонная или металлическая конструкция определенной высоты, предназначенная для крепления на неё светофоров и других нуждающихся в возвышении приборов.

Лекция 5 НАДЕЖНОСТЬ АППАРАТУРЫ

ПЛАН ЛЕКЦИИ:

1. Надежность релейной аппаратуры;

5.1 Надежность релейной аппаратуры

Наиболее часто встречающимися отказами реле являются обгорание и стирание контактов, разрегулировка и ослабление контактных пружин, пробой изоляции обмотки на корпус. Реже встречаются отказы из-за обрывов и межвитковых замыканий обмотки отклонения параметров за пределы установленных допусков плохого центрирования контактов и снижения упругости пружин. Причиной отказов может быть большой ток включаемой сети или установившийся, а также скачок тока при размыкании индуктивной цепи. В результате переходных процессов коммутируемых цепей контакты могут испытывать значительные кратковременные перегрузки.

Определенное число отказов приборов автоблокировки (табл. 5.1) приходится на аппаратуру, работающую в импульс-

Таблица 5.1

Приборы	Число отказов в %	
	Системы	Приборы
Кодовые трансмиттеры	20	4,3
Реле ТР	17,5	3,7
Ячейки дешифраторные	16	3,4
Нейтральные реле	2,5	0,5
Разъемы плат нейтральных реле НИШ	12,3	2,5
Импульсные реле ИМВШ-110	11	2,35
Прочие (ВАКДТ и др.)	20,5	4,35

но-кодовом режиме, главным образом на трансмиттеры, импульсные и трансмиттерные реле, дешифраторные ячейки.

Отказы импульсных реле составляют 11 % общего числа отказов приборов и 2,35 % общего числа отказов систем автоблокировки, т. е. надежность этих реле относительно невысок по сравнению с нейтральными реле НИШ.

Результаты обработки данных по отказам элементов импульсных реле показывают, что 46,7 % отказов происходит вследствие электрического износа материала контактов (эрозия), разрегулировки электрических характеристик реле, увеличения переходного сопротивления контактов, связанна главным образом, с эрозионными процессами на контактах дефектами регулировки контактного нажатия в РТУ.

Определенное число отказов импульсных реле (6,89%) происходит вследствие попадания продуктов износа контакта и металлической стружки из магнитного материала между якорем и полюсными наконечниками реле. Неисправности реле ИРВ-11 происходят также вследствие пробоя выпрямителей при грозовых разрядах, обрыва обмоток и монтажных проводов в мест пайки, боя стеклянного колпака, коррозии деталей и др.

Число отказов аппаратуры в процентах общего числа отказов приведено в табл. 5.1.

Параметр потока отказов импульсных реле (интенсивности отказов) колеблется в пределах (0,85—3,7) 10^6 1/ч. Это объясняется различием условий работы реле в схемах систем автоблокировки повторителей путевых реле, трансляцией рельсовых цепей, разнообразием схем и способов защиты контакта путевых реле, разным уровнем технологии регулировки реле в РТУ и их профилактического обслуживания.

К постепенным относятся отказы импульсных реле, которые можно контролировать и предупреждать при профилактических осмотрах или ремонте реле в РТУ. Такие отказы составляя значительную часть — 67—74 %. Внезапные отказы, не поддающиеся контролю, составляют 28,77%. Следует отметить, что в табл. 5.2

Таблица 5.2

Неисправности реле	Число отказов, %	Неисправности реле	Число отказов в, %

Эрозия контактов	46,7	Попадание продуктов износа контактов и стружки в зазоры	6,89
Повышенно переходное сопротивление контактов	6,9	Дефекты пайки монтажа	4,59
Регулировка электрических характеристик	12,64	Износ антимагнитного упора	1,5
Электр. пробой выпрямителей при грозе или приварке соединителей	12,64	Обрыв обмотки	2,3
		Бой колпаков	2,35
		Прочие (в том числе неустановленные)	3,49

к постепенным отказам относятся возможные отказы импульсных реле, предупрежденные путем заблаговременной замены реле при профилактических осмотрах.

Анализ результатов статистической обработки данных по отказам и физическим явлениям, происходящим при работе импульсных реле, позволяет выделить прогнозирующие параметры, от которых зависит надежность работы реле ИМВШ-110. К ним относятся: эрозионный износ материала контактов реле, переходное сопротивление контактов, электрические характеристики — напряжения подъема и отпадания, контактное нажатие, магнитная индукция в рабочей точке постоянных магнитов, механический износ контактов автоматического упора, релаксация пружин и их механическая прочность. В импульсном реле при замыкании контактов, когда расстояние между ними становится малым, напряженность поля резко возрастает и может возникнуть явление автоэлектронной эмиссии: электроны вырываются с поверхности контакта, имеющего более низкий потенциал. В результате этого возникает искра, которая гасится замкнувшимся контактом. Это не приводит к заметной эрозии (износу) контактов, однако способствует протеканию окислительных процессов и образованию на поверхности контактов различных соединений, вызывающих увеличение переходного сопротивления.

Наиболее трудным этапом в работе контактов является процесс их размыкания. Поверхность соприкосновения контактов при размыкании быстро уменьшается, что приводит к росту переходного сопротивления. Ток в цепи почти не успевает уменьшаться, поэтому резко увеличивается выделяемая в контактах мощность. Контакты сильно разогреваются, металл в точке соприкосновения оплавляется, что приводит к постепенному их разрушению.

Исследования импульсных реле, работающих в схеме управления дешифраторными ячейками, показывают, что переходное сопротивление контактов постепенно возрастает и к концу эксплуатации может на 10—15% превзойти установленную норму (0,05 Ом). В результате примерно 40% контактов после года эксплуатации имеют завышенное переходное сопротивление, достигающее 0,07—0,08 Ом.

Возрастание сопротивления контактов объясняется следующими причинами. У твердых контактирующих материалов практически невозможны идеально плоские поверхности, поэтому считают, что контакт в момент соприкосновения создается более чем в трех точках. Сумма всех поверхностей соприкосновения, воспринимающих контактные нажатия, намного меньше кажущейся площади соприкосновения. При сближении и скольжении контактов неровности поверхности приходят в соприкосновение, деформируются и образуют наклепы, создают металлические контакты увеличивающие общую площадь с, прикосновения контактов.

Окисные пленки черного цвета, появляющиеся на контактах, обладают высоким удельным сопротивлением, легко продавливаются или пробиваются электрически. Однако по мере эрозионного износа материала за счет мостиковой эрозии и кратковременных дуг накапливаются абразивные (твердые) частицы на поверхности контактов. Образующиеся наклепы повышая твердость и удельную проводимость материала контактов, процесс

окисления частиц металла контактов ускоряется. Проще оплавления контактов из сплава СРКД-96-14 и коррозия деталей импульсных реле проходят более интенсивно при налита в атмосфере серы из отходов предприятий, появлении озон. при искрении контактов и т. д. В результате этих причин металлических поверхностей соприкосновения при замыкан! сокращается и сопротивление контактов растет.

Переходное сопротивление контактов зависит от контактного нажатия и состояния контактных поверхностей. В процессе работы реле изменяются контактное нажатие (за счет уменьшения совместного хода) и состояние поверхности контакта из-за механических, химических, электрохимических и других процессов. В замкнутом состоянии контакты, как бы тщательно ни были отполированы их поверхности, соприкасаются только в одной или нескольких выступающих точках.

Ток проходит через небольшие контактные поверхности, в которых и создается металлический или квазиметаллический (через мономолекулярные поверхностные пленки) контакт. При соударении контактных пружин слабо связанные углеродистые компоненты материала выкрашиваются и на поверхности остаются более круглые и прочные включения серебра.

Это приводит к уменьшению площади соприкосновения возрастанию переходного сопротивления. Однако при замыкании и размыкании контактов под нагрузкой параллельные линии тока в металле контактов искривляются и стягиваются к точкам высокой проводимости, в которых плотность тока может быть значительной (10^9 А/мм²). Образовавшиеся контактные мостики сгорают, разрушаются выступы крупных включений за счет оплавления или окисления. Это приводит к уменьшению площади соприкосновения контактов и падению переходного сопротивления. В зависимости от характера и значения нагрузки между процессами выкрашивания и оплавления устанавливается динамическое равновесие, которым и определяется переходное сопротивление.

Переходное сопротивление контактов зависит от значения и характера нагрузки и изменяется обратно пропорционально ее разрушающей способности. При достаточно большой нагрузке переходное сопротивление в первый момент падает, затем стабилизируется, так как преобладает процесс электроэрозии. При малой нагрузке преобладает механическое разрушение контакта, поэтому сопротивление растет. Контакты, работающие без нагрузки, не подвержены процессам электроэрозии, их сопротивление возрастет, превышая норму (0,3 Ом). Это явление не должно вызывать опасения, так как при включении таких контактов на нагрузку происходит пробой поверхностных пленок и переходное сопротивление контакта резко снижается.

При работе без нагрузки переходное сопротивление контактов после 3—4 млн. циклов срабатываний остается постоянным. Некоторое увеличение сопротивления в начале работы можно объяснить оседанием продуктов износа фронтальных контактов, а также окислительными процессами с образованием на поверхности тылового контакта сернистого серебра, так как в присутствии кислорода и влаги серебро взаимодействует с сероводородом, который всегда имеется в воздухе. Превышение нормального значения переходного сопротивления контактов 0,03 Ом объясняется более интенсивным процессом образования окисной пленки, обладающей меньшей проводимостью, а также некоторым снижением контактного нажатия. Увеличение переходного сопротивления контактов на 10—15 %, как показали расчеты для токов, коммутируемых в схемах автоматики, не изменяет режима цепи.

При замыкании тыловых контактов нейтральных реле наблюдается вибрация, когда замыкание не заканчивается при первом соприкосновении, а вследствие соударения контакты ~3 раза замыкаются и размыкаются прежде, чем достигнуть постоянного соприкосновения. Вибрация в релейных контактах увеличивает перенос материала дугами и мостиками, так как каждый отскок означает новую

коммутационную операцию. Время ударов и отскоков контактов, как показали осциллограммы. Мало $(0,5+1,5) \cdot 10^{-3}$ с, поэтому инерционные нейтральные Реле не реагируют на отскоки контактов. Явление вибрации Желательно при сопряжении контактных схем со счетными, а бесконтактных элементах, которые будут реагировать на каждый отскок, фиксируя его как очередное включение или отключение.

Осциллограммы токов, коммутируемых фронтовыми кон тактами нейтральных реле, показывают, что ток при включение изменяется в течение времени установления полного контакт! (примерно 2 с). Полного отключения тока здесь не происходит т. е. отскоки контактов отсутствуют. Изменение сопротивления фронтовых контактов в процессе замыкания вызвано скольжением контакта по отдельным точкам касания (миграция точки касания). Конструкция подвижных контактов нейтральных реле при существующей скорости их замыкания исключает вибрацию фронтовых контактов.

Основные причины отказов электромагнитных реле приведены в табл. 5.3
В устройствах автоматики находят применение реле ИВГ вместо реле ИМВШ-110.

В реле ИВГ установлен жидкометаллический (ртутный) магнитоуправляемый геркон МКСР-45181, коммутационный ресурс которого значительно превышает износостойкость «сухих» герконов и контактов открытого типа. Это позволяет увеличить в несколько раз межремонтный срок службы импульсных путевых реле числовой кодовой автоблокировки.

Таблица 5.3

Неисправность	Причины	Удельный вес Отказов по данной причине, %
---------------	---------	---

Отсутствие контактирования	Нарушение регулировки контактов	19,9
	Смещение якоря	4,1
	Металлическая стружка и инородные частицы под якорем	3,3
	Загрязнение контактов (окисление, грязь, пыль, флюс, растворитель, лак)	12,3
	Деформация контактных пружин, сваривание и оплавление контактов	13
	Нарушение контактирования при вибрации	1,9
	Нарушение контактирования при температуре —60°С	2,5
	Переходное сопротивление контактов нестабильно или выше нормы	8,9
	Ток срабатывания больше нормы при температуре 60°С	2,5
	Нестабильное контактирование	Ток срабатывания не в норме в нормальных условиях
Продавливание реле внутрь колпака		0,2
Ток срабатывания не в норме	Пробой между контактами и обмоткой или корпусом	1,3
	Пробой между контактами	0,1
Пробой изоляции в контактной системе	Малое сопротивление изоляции	0,6
	Пробой обмотки на корпус	1,1
Неисправности в обмотке	Обрыв обмотки (подсечка, некачественная пайка, коррозия, прожог)	3,8
	Короткое замыкание (полное или частичное, когда сопротивление обмотки не в норме)	4,1

Геркон МКСР-45181 состоит из стеклянной оболочки, в торцы которой впаяны неподвижные 4 и подвижная 2 плоские контактные детали из магнито мягкого металла. При воздействии внешнего магнитного поля подвижный контакт-деталь перемещается, размыкая тыловой и замыкая фронтной контакты. Для обеспечения стабильности переходного сопротивления и износостойкости геркона в зону контактирования 3 под действием силы поверхностного натяжения и давления по капиллярам («канавкам») подвижной контакт-детали во время работы геркона поступает ртуть из резервуара. Расход ртути в течение одного цикла коммутации электрической цепи компенсируется подъемом ртути в зону контактирования по капиллярам.

Смачивание контактов ртутью обеспечивает их низкое и стабильнее переходное сопротивление в течение всего ресурса. Герметичная оболочка геркона заполнена водородом под давлением 1,7-10⁶ Па, что создает высокую электрическую прочность рабочего зазора (0,7 мм), равную не менее 2500 В.

Магнитная система реле ИВГ состоит из ярма, сердечника 5, на полюсном наконечнике которого закреплена втулка 3 с герконом. На сердечнике расположена катушка управления 4. Для регулировки электрических характеристик на ярме реле установлена втулка 2. из-за большого разброса характеристик герконов по м.д. с. срабатывания завод выпускает реле ИВГ с разными обмоточными данными (провод ПЭВ-1), приведенными ниже.

Диаметр провода, мм	0,28*	0,315**	
Число витков	3200*	3700**	
Номинальное сопротивление, с предельным отклонением ±10	72*	75**	Ом %

- Для герконов с м. д. с. срабатывания 100—150 А.
- ** Для герконов с м. д. с. срабатывания 150—200 А.

Герконы с м. д. с. срабатывания 100—150 А маркируют черной точкой на оболочке геркона, а 150—200 А — белой.

Реле ИВГ содержит геркон в стеклянной оболочке с ртутным наполнением, и поэтому при обращении с ним необходимо исключить возможность ударов и повреждения при транспортировке и эксплуатации.

Контакт реле предположительно обеспечить 5-Ю⁸ включений и выключений цепей дешифратора кодовой АБ с частот: 3 Гц. Установленный в реле ИВГ геркон имеет стабильную м.д.с. срабатывания. Поэтому при эксплуатации электрические пары, метры реле ИВГ не регулируют. Реле ИВГ не является коммутационным прибором первого класса надежности. Поэтому его применяют, так же как и реле ИМВШ-110, лишь в тех электрических цепях, где не размыкание тылового или фронтального контакта и постоянное сообщение между собой всех контактов не приводят к опасному состоянию устройства.

По сравнению с реле ИМВШ-110 реле ИВГ имеет отличительные особенности, обусловленные специфичностью геркона и необходимостью выполнения дополнительных требований. В реле ИВГ установлены не германиевые, а кремниевые диоды имеющие большее динамическое сопротивление, что изменило индуктивное и активное сопротивление обмотки реле. Но это полное сопротивление обмотки и потребляемая мощность; реле не возросли, и поэтому перерегулировка рельсовых цепей при замене реле ИМВШ-110 на реле ИВГ не требуется. М.Д-срабатывания реле ИВГ не зависит от колебаний температур окружающей среды.

При сверхнормативном возрастании напряжения на (например, при неисправности защитного фильтра) возможно нарушение шунтового режима рельсовой цепи. Поэтому в Р¹ ИВГ применена магнитная система нейтрального реле, которая при напряжении на реле, превышающем 9 В, импульсу числового кода значительно удлиняется и наступает защита (отказ дешифратора, при котором зеленый огонь светофора периодически перекрывается на желтый. Здесь следует учитывать, что реле ИВГ с обмоткой 3200 витков меньше удлиняет импульсы и поэтому защитный отказ наступает при большем напряжении на его обмотке. 98

Напряжение переменного тока частотой 50 Гц срабатывания реле 2,7—3,2 В, отпускания 2 В, перегрузка 12 В.

Перед установкой в эксплуатацию необходимо измерить в рту электрические параметры реле: напряжение срабатывания и отпускания по переменному току частотой 50 Гц, переходное сопротивление контактов и длительность мостового переключения геркона.

Напряжение срабатывания реле ИВГ по переменному току, определенное по замыканию фронтного контакта, должно быть в пределах 2,7—3,2 В, а отпускания, определенное по размыканию фронтного контакта, — не менее 2 В. Переходное сопротивление контактов реле ИВГ с контактами розетки не должно превышать 0,08 Ом. Эти параметры измеряют на типовом стенде плавным изменением напряжения по методике для реле ИМВШ-110.

Для облегчения режима коммутации, исключения разбрызгивания ртути и разрушения контактирующих поверхностей геркона в реле ИВГ применены искрогасительный контур, состоящий из резистора (47 Ом, 2 Вт) и конденсатора (0,5 мкФ, 160 В).

В реле выпуска 1983 г. и первой половины 1984 г., искрогасительный контур подключался параллельно фронтному контакту к выводам 13 и 33, что не позволяло использовать реле для коммутации цепей переменного тока. Поэтому в реле, выпущенных во второй половине 1984 г., искрогасительный контур выведен на отдельную контактную пружину. Для его подключения необходимо в релейном шкафу устанавливать переключку между контактами 13 и 72 на штепсельной розетке реле ИВГ. Указанную переключку не устанавливают, когда реле ИВГ коммутирует цепь переменного тока, например трансмиттерного реле ТШ-2000 В или ТР-2000 В, так как после размыкания фронтного контакта образуется цепь дополнительного питания трансмиттерного реле через искрогасительный контур, что ухудшает временные параметры кода.

Результаты обработки данных по отказам элементов дешифраторных ячеек показали, что наибольшее их число, т. е. почти 60 %, происходит из-за неисправности электролитических конденсаторов, установленных в цепи сигнальных реле (потеря емкости, обрывы электродов, пробой); 16,8 % приходится на отказы диодов по причине короткого замыкания и обрыва. Определенное число отказов диодов происходит при грозовых ударах молнии в рельсовые линии или цепи энергоснабжения автоблокировки.

Распределение характерных отказов в процентах в дешифраторной ячейке приведено в (табл. 5.4) Отказы реле-счетчиков составляют 8,3 % общего числа отказов ячеек и происходят главным образом из-за нарушений Панических и временных характеристик кодовых реле-счетчиков

Таблица 5.4

Неисправности ячейки	Число отказов, %	Неисправности ячейки	Число отказов, %
Потеря емкости конденсаторов, обрыв, пробой -	58	Неисправности диодов (короткое замыкание, обрыв)	16,8
Нарушение контактов реле счетчиков, временных характеристик реле, неисправности обмоток (короткое замыкание обрыв)	8,3	Нарушение контактов в разъемах Прочие (в том числе неуставленные)	3,5 1,3

Отказы контактов происходят также вследствие возрастания электрического сопротивления контактов при образовании окислительных пленок, эрозии и др., 3,9 % отказов происходит из-за нарушений контактов в штепсельных разъемах и 13% — по неустановленным причинам. К последним относятся отказы типа «сбоев» и возникающие при емкостях, близких к критическим, также вследствие понижения напряжения, климатических воздействий и др.

В наиболее тяжелых условиях работают реверсивные реи ППРЗ в путевых коробках.

На сети дорог чаще всего происходят изломы латунных болтов реле ППРЗ-5000. В этих реле устанавливают два вида болтов — болты, изготовленные методом холодной высадки из латуни ЛЦ32 и составные из латуни ЛЦ40С, причем стоимости последних в 12 раз больше, чем высадных. Изломы высадных болтов происходят в месте перехода от головки к стержню болта и имеют коррозионно-усталостный характер. Высадные болты, не имеющие следов коррозии, при испытаниях на разрыв разрушались в месте перехода от стержня к резьбовой части т. е. по наименьшему сечению. Изломы составных болтов всегда происходят в резьбовой части под головкой болта. Во всех случаях разрушений болтов в эксплуатации на поверхности, излома наблюдалась коррозия.

По данным дорог, чаще происходят изломы высадных болтов реле ППРЗ-5000, чем составных. Однако первая серия опытов где испытывались на разрыв недавно изготовленные болты, показала, что высадные болты выдерживают большую нагрузку (950—800 кг) по сравнению с составными (820—650 кг).

Во второй серии опытов были испытаны болты, снятые с различных контактов реле разных лет выпуска (табл. 5.5).

Анализ полученных результатов показывает, что прочное болтов определяется сроком их эксплуатации и местом установки (номером контакта). Совпали и номера контактов 113, 112, 122, 123, на которые в эксплуатации приходится подавляющее число изломов.

Таблица 5.5

Год выпуска	Разрушающие усилия, МПа, болтов (для контакторов реле ППР)								
	Высадного					Составного			
	1	2	3	112	123	11	113	121	122
1959	3920	5000	3185	6860	2940	4900	6320	6370	5000
1962	6860	4900	5684	4900	5292	5292	6125	4900	6860
1972	5635	5880	4165	5684	5880	7693	6125	8477	5980
1977	7595	7840	6615	7105	7105	7497	6566	* 6566	6370

Анализируя полученные результаты, приходим к выводу, что составные болты меньше ломаются, так как стоят у менее опасных контактов и, следовательно, их можно заменить высадными. Однако при этом необходимо предусматривать меры по повышению надежности высадных болтов из латуни ЛЦ32. В первую очередь это увеличение радиуса

перехода от головки к стержню болта до 2 мм, что потребует увеличения головки с 9 до 11 мм. Применяемый на Ленинградском электротехническом заводе МПС отжиг при температуре 600 °С чрезмерно упрочняет латунь, поэтому целесообразнее применять отжиг при температуре 470—500°С. Такой отжиг обеспечивает снятие внутренних напряжений и протекание полной рекристаллизации с получением минимального размера зерна и относительно высокой прочности.

Под воздействием температуры и влажности на поверхности деталей внутри реле образуется конденсат, что может привести к примерзанию якоря. В то же время дополнительная герметизация кожуха реле с целью защиты от попадания влаги привела к участвовавшим случаям поломки болтов и контактных стоек из-за химического взаимодействия латунных деталей с изолятором, выделяющимся при дуговом разряде. В связи с этим было принято решение отказаться от практиковавшейся в РТУ дополнительной герметизации корпусов этих реле и ограничиться заводской герметизацией.

Из других причин отказов этих реле следует отметить коррозию ярма, ослабление крепящих винтов, подгорание контактов, обрыв катушки, дефекты покраски и гальванических покрытий. Значительный процент отказов аппаратуры СЦБ (примерно 10% приходится долю стрелочных пусковых реле СКПШ, ПМПШ, НМПШ, что объясняется в основном тяжелыми токовыми режимами их работы.

Наиболее характерные отказы этих реле приведены табл. 7.

Наименьшее число отказов дают нейтральные реле, коэффициент отказов которых составляет всего 2,5 % отказов реле всех типов. Большинство этих отказов происходит вследствие нарушения контактов в штепсельном разъеме реле, от грозовых, разрядов, индустриального и обледенения контактов (при установившемся реле в напольных условиях), из-за разрегулировки характеристик и др.

Расчетные данные среднего значения параметра потока отказов нейтральных реле показывают, что надежность этих реле высока, а параметр потока отказов находится в пределах (0,018—0,17) 10^{-6} 1/ч. Приведенные цифры показывают, что отказы нейтральных реле являются в основном внезапными (62—72 %) и происходят на отрезке времени, когда число износных отказов мало. Часть постепенных отказов возникает, как показывает анализ, вследствие недостаточно высокой квалификации работников РТУ и нарушений режима реле.

Отказы из-за потери контакта в съемных штепсельных платах реле НР наблюдаются в основном по двум причинам: из-за некачественной заводской регулировки пружин в гнездах вследствие плохой фиксации платы на реле.

На ряде дистанций все новые штепсельные платы перед установкой подвергают сплошной разборке. При этом выявляют неотрегулированные пружины и пружины с изломами и трещинами.

Для того чтобы улучшить фиксацию платы на реле и не допустить ее произвольного смещения, применяют различные механические фиксирующие устройства. После установки плату закрепляют гайкой, которую навинчивают на сквозной винт. На сети дорог имеют место случаи отказов реле АСШ-220 по причине пробоя выпрямительных блоков КЦ 402 И. Исследования показали, что основными причинами выхода из строя полупроводниковых элементов являются воздействия перенапряжений от грозовых разрядов, от коммутационных перенапря-

Таблица 5.6

Неисправность	Число отказов, %	Неисправность	Число отказов, %
Пробой выпрямителей	9,25	Изломы проушены скобы для крепления поляризованного якоря	9,1
Обрыв обмоток	6,36	Поломка стойки нейтрального якоря	9,25
Нарушение механической регулировки	21,25	электрическая эрозия контактов	23,45
Изломы заклёпки якоря (СКПШ)	6,56	Ослабление поля магнитов	8,1
Изломы контактных пружин	6,56		

жений ЛЭП, контактной сети, а также от перенапряжений, возникающих при внутренних процессах — включения и выключения напряжения. Усовершенствованная схема включения реле АСШ2-220 обладает повышенной работоспособностью по сравнению с типовой при воздействии перенапряжений.

В зимнее время одной из причин отказов устройств СЦБ является образование ледяной пленки на контактах реле в на-лельных релейных шкафах. Эта пленка вызывает обрыв электрических цепей и появление на светофорах красного огня.

Для борьбы с накоплением влаги в шкафах можно использовать естественную вентиляцию и искусственный внутренний подогрев шкафов. Естественная вентиляция, усиливая воздухообмен в шкафу, препятствует образованию замерзающих конденсатов, снижает накопление влаги при изменении погоды, резком перепаде температуры воздуха днем и ночью. Закрывать вентиляционные отверстия, что часто делают электромеханики, не следует. Необходимо следить за исправностью защитных сеток вентиляционных отверстий и периодически очищать их от снега.

Применение вентиляции особенно полезно в тех районах, для которых характерны быстрые похолодания и устойчивая морозная погода, например районы Сибири и Урала. Однако в районах, где зимой часто бывают потепления, сопровождающиеся значительным увеличением влажности воздуха (например, Донбасс, Прибалтика, некоторые центральные районы), применение одной вентиляции (без подогрева шкафов) не рекомендуется. В этих районах при резком потеплении вентиляция будет усиливать образование в шкафах инея или гололеда.

Эффективным средством борьбы с обмерзанием является внутренний подогрев шкафов. При похолодании подогрев задерживает остывание воздуха в шкафу до температуры наружно воздуха, значительно уменьшая вероятность влагообразования. Применение подогрева шкафов полезно во всех районах и при любых климатических условиях. Наиболее экономичным является подогрев шкафов с одновременной естественной вентиляцией.

Подогрев шкафов необходимо применять прежде всего на Участках с автономной тягой, так как среди аппаратуры в этом случае нет приборов, выделяющих в процессе работы достаточного количества тепла.

Для подогрева можно использовать лампы накаливания или Резисторы. Суммарная мощность подогрева должна быть не менее 50 Вт для шкафов ШМ-1, 75 Вт для ШМ-2 и не менее 100 Вт для ШМ-3. В шкафах ШРШ-4 и ШРШ-6 мощность подогрева должна составлять не менее 75 и 100 Вт соответственно. Приборы подогрева следует располагать преимущественно в нижней части шкафов.

На электрифицированных участках, оборудованных автоблокировкой, достаточный подогрев воздуха в шкафах обеспечивается теплом, выделяемым путевыми трансформаторами. Поэтому дополнительный подогрев здесь необходим лишь в тех случаях, когда зимой все же наблюдается обмерзание реле.

С целью экономии энергии включать подогрев следует с наступлением устойчивой холодной погоды с температурами значительно ниже нуля.

Подогрев релейных шкафов и их вентиляция являются основными мероприятиями по борьбе с обмерзанием реле. Для получения необходимого эффекта этих мероприятий необходимо исключить попадание в шкафы снега через щели в дверях. При внешнем подогреве снег испаряется и влага попадает под кожух реле, вызывая обмерзание контактов, поэтому двери в шкафах нужно плотно закрывать.

Следует также исключить доступ в шкаф теплого влажного воздуха из земли по трубам, через которые вводятся кабели. Эти трубы должны быть тщательно заполнены песком, отверстия в дне шкафа для ввода кабелей заделаны заглушками и залиты компаундом.

ВНИИЖТ рекомендовал применять штепсельные реле с автономным обогревом. Эффективность такого обогрева очевидна так как объем всех реле, смонтированных в релейном шкафу, в десятки раз меньше объема самого шкафа, что в свою очередь позволит более экономично расходовать электроэнергию, для обогрева релейной аппаратуры.

В качестве нагревательного элемента используют резистор ПЭВ-15 сопротивлением 30 Ом. Резистор припаивают к наконечникам входных выводов КП-1а, которые закрепляют на колпаках реле. На выводы реле подают переменное напряжение не более 12 В.

Вопросы

1. Какое значение имеет качество болтов?
2. Причины отказов контактов?
3. Способы повышения надежности контактов?
4. Как обогревается пространство путевых шкафов?
5. Как влияет обогрев на работу путевых и других реле?

Ключевые слова:

1. Контакт.
2. Путевой шкаф.
3. Трансформатор.
4. Обогрев.

Лекция 6

Надёжность конденсаторов, предохранителей, резисторов

ПЛАН ЛЕКЦИИ:

1. Надёжность конденсаторов;
2. Надёжность предохранителей;
3. надёжность резисторов;

6.1. Надежность конденсаторов

Отказы конденсаторов могут быть вызваны дефектами в самих конденсаторах, ошибками проектирования и эксплуатации аппаратуры, приводящими к нарушению контактов, паек, механическом прочностии и герметичности конденсаторов.

Одной из возможных причин отказов конденсаторов является превышение допустимых по технической документации на конденсаторы режимов эксплуатации. При выборе конденсатора и анализе его работы в аппаратуре необходимо иметь подробные данные о характеристиках эксплуатационного режима: напряжении постоянного тока; амплитуде; частоте и форме напряжения переменного тока или переменной составляющей напряжения; токе через конденсатор; температуре окружающей среды с учетом возможного перегрева за счет ламп, активных элементов и др.; влажности; давления; механических нагрузках (вибрация, удары, линейное ускорение).

Необходимо учитывать не только эти воздействия в установившихся режимах работы, но и возможные перегрузки при прогреве аппаратуры, переходных процессах в цепях, резком снятии нагрузки, транспортировке аппаратуры. Повышение любого из указанных воздействий выше допустимого значения унижает надежность конденсатора.

Одной из важнейших характеристик, определяющих надежность конденсаторов, является напряжение постоянного тока. На постоянном токе процесс старения диэлектрика происходит быстрее, в результате чего ухудшаются электрические параметры конденсатора и происходит пробой диэлектрика. Старению подвержены как диэлектрики органического происхождения (например, бумага, синтетическая пленка), так и неорганические (слюда, керамика). У слюдяных конденсаторов увеличение напряжения усиливает миграцию ионов серебра (особенно при повышенной влажности и высокой температуре), что вызывает постепенное снижение сопротивления изоляции и электрической прочностии.

Для бумажных конденсаторов при воздействии постоянного электрического поля характерными являются процессы электрохимического старения. При повышенных температурах (100°C и более) и наличии незаполненных пропиточными материалами пор в бумаге могут возникать ионизационные процессы. Процессы старения наиболее интенсивно развиваются в местах локальных дефектов в диэлектрике (трещины, поры, проводящие включения).

При одновременном воздействии на многослойные металло-бумажные конденсаторы температуры и напряжения преобладающим является электролитический механизм разрушения обкладок, вызывающий перенос металла.

При переменном напряжении основной причиной выхода конденсатора из строя являются ионизационные процессы, развивающиеся у краев электрода, в остаточных и вновь возникающих включениях газа, закрытых порах, раковинах и т. д. Образовавшиеся в процессе ионизации озон и окислы азота, являющиеся сильными окислителями, разрушают органические диэлектрики. Кроме того, разрушение диэлектрика вызывается и непосредственной бомбардировкой ионами и электронами, возникающими в процессе ионизации воздуха.

Ионизация в закрытых порах керамических конденсаторов вызывает сильный местный разогрев, обуславливающий большие механические напряжения, растрескивание керамики и пробой по трещине. Нагрев в местах ионизации вызывает общее повышение температуры конденсатора, уход емкости, увеличение тангенса угла потерь и создает облегченные условия для развития пробоя. Интенсивность ионизации увеличивается с возрастанием амплитуды и частоты приложенного напряжения.

Увеличение тока через конденсатор (особенно с металлизированными обкладками) сверх допустимого значения (например, в результате переключений, если длительность импульса, при переходном процессе достаточно велика, или при разряде конденсатора на

очень малое сопротивление может вызвать оплавление электродов и уход емкости, а в отдельных случаях и пробой диэлектрика.

Важным параметром, определяющим надежность конденсатора, является температура, при которой он эксплуатируется. С повышением температуры значительно ускоряются процессы старения, увеличивается тангенс угла потерь, снижается электрическая прочность, сопротивление изоляции и начальное напряжение возникновения ионизации. Для герметизированных конденсаторов с повышением температуры возрастает вероятность нарушения герметичности, деформации уплотняющих прокладок.

В первом приближении можно считать, что интенсивность отказов конденсатора возрастает вдвое с увеличением температуры на каждые 8—15 °С.

Повышенная влажность воздуха, в которой эксплуатируется конденсатор, вызывает коррозию металлических частей, способствует развитию микроорганизмов (грибки, плесень и т. д.), снижает электрическую прочность, увеличивает потери, повышает токи утечки. Особенно опасно для негерметизированных конденсаторов одновременное воздействие влажности и электрической нагрузки. Ухудшение электрических свойств конденсаторов под воздействием повышенной влажности особенно сильно проявляется при ее длительном воздействии.

Ряд технических документов на конденсаторы предусматривает их эксплуатацию в условиях относительной влажности до 98% при температуре до 40 °С. Однако следует иметь в виду, что при этом показатели надежности будут значительно хуже, чем те, которые гарантируются при максимальной положительной температуре.

Длительное время при повышенной влажности могут работать только полностью герметизированные конденсаторы, например КБГ, КГК, КГКБ, КСГ, СГМ и др.

Для повышения надежности негерметизированные (в том числе и уплотненные) конденсаторы следует эксплуатировать в герметизированных блоках аппаратуры или в блоках, покрытых влагозащитными компаундами. Для того чтобы внутри герметизированных блоков при снижении окружающей температуры 10% влажность не повышалась до опасных значений, в них необходимо помещать влагопоглощающие вещества.

При эксплуатации конденсаторов в условиях пониженного давления воздуха уменьшается напряжение разряда по поверхности конденсаторов и ухудшается конвекционный теплоотвод, вследствие чего в отдельных случаях возникает необходимость снижения рабочих напряжений и реактивной мощности по отношению к допустимым значениям.

Для исключения возможности возникновения разряда при пониженных давлениях необходимо, чтобы вблизи выводов конденсаторов, находящихся под высоким напряжением, не было металлических частей аппаратуры и крепежных деталей, а также необходимо избегать остrokонечных наплывов припоя на выводах и крепежных деталей с острыми кромками.

При рассмотрении влияния различных факторов на надежность конденсаторов следует обратить внимание на особенности электролитических конденсаторов, для которых особенно опасны даже небольшие кратковременные превышения напряжения. Вероятность пробоя сильно повышается с возрастанием напряжения постоянного тока на 10—20 % относительно номинального значения. Пробитое место может восстановиться, если энергия пробоя невелика.

Для отбраковки конденсаторов с заведомо низкой электрической прочностью, обусловленной грубыми случайными дефектами, заводы-изготовители проверяют конденсаторы испытательным напряжением, значительно превышающим номинальное. Конденсаторы должны выдерживать воздействие испытательного напряжения в течение короткого времени (обычно 10 с), не пробиваясь.

Испытательным напряжением на заводах-изготовителях обычно проверяют все выпускаемые конденсаторы (испытание на электрическую прочность), что позволяет

отбраковывать образцы с особо грубыми дефектами, но, однако, не обеспечивает безотказность при последующей эксплуатации конденсаторов, выдержавших это испытание. У конденсаторов, истинное пробивное напряжение которых превышало испытательное на сравнительно небольшое значение, воздействие испытательного напряжения может вызвать необратимое изменение в диэлектрике, снижающее запас электрической прочности.

При повторном испытании на электрическую прочность такие конденсаторы могут выйти из строя. Эксперименты показывают, что если достаточно большую партию конденсаторов неоднократно испытывать одним и тем же испытательным напряжением, то при последующих испытаниях всегда будет иметься некоторое число пробитых образцов.

Исходя из сказанного проверки конденсаторов на электрическую прочность следует уменьшать, например, до двух: на заводе-изготовителе конденсаторов и при входном контроле на заводе-потребителе.

Однако при входном контроле рекомендуется проводить испытание конденсаторов всех типов на кратковременную электрическую прочность при испытательном напряжении не выше 1,15 V ном.

Допустимое отклонение емкости от номинальной не является характеристикой, определяющей качество конденсатора, как, например, стабильность параметров, надежность. При выборе конденсаторов с тем или иным допуском необходимо учитывать только зависимость выходных параметров устройства от возможного отклонения емкости.

Наиболее слабым элементом в устройствах СЦБ являются электролитические конденсаторы. Опыт эксплуатации и анализ их свойств показали, что срок службы конденсаторов зависит от температуры окружающей среды, рабочего напряжения, переменной составляющей, частоты следования импульсов (заряд— разряд), нагрузки, на которую разряжается конденсатор.

Емкость электролитических конденсаторов максимально снижается при температуре -50°C и ниже, а потеря емкости достигает 60 % первоначального значения. Включение напряжения на сопротивлении подогрева, например, в дешифраторной ячейке позволяет на $18-20^{\circ}\text{C}$ повысить температуру внутри ячейки. Это практически исключает снижение емкости в зависимости от внешней температуры и обеспечивает нормальный режим эксплуатации. При возрастании температуры до $+60^{\circ}\text{C}$ емкость увеличивается на 12—18%. Характер зависимости емкости от температуры объясняется изменением удельного сопротивления электролита и бумажной прокладки: при отрицательных температурах удельное сопротивление растет за счет кристаллизации, а при положительных падает. Рост емкости при положительных температурах выражен менее заметно, однако эксплуатация конденсаторов при таких температурах сопровождается ускорением процессов старения (сохнут электролиты, удельное сопротивление возрастает). С повышением температуры на каждые десять градусов от допустимой срок службы конденсаторов падает примерно в 2 раза.

Особенностью режима работы электролитических конденсаторов в схемах железнодорожной автоматики является периодически повторяющийся заряд до определенного рабочего напряжения и разряд на нагрузку. Разрядные токи конденсатора могут вызвать окисление катодной пластины и привести к образованию на ее поверхности диэлектрического слоя, включенного последовательно с оксидным слоем на аноде. В этом случае на катоде образуется емкость C_k , которая включена последовательно с емкостью анодной пластины C_a . Общая емкость конденсатора в данном случае

$$C = C_a / (1 + C_a / C_k)$$

Емкость $C = C_a$, когда $C_k = C_a$. Такое условие удовлетворяется только в свежее изготовленном конденсаторе, в котором толщина оксидного слоя на катоде мала. С течением времени эксплуатации толщина оксидного слоя увеличивается, вследствие чего

уменьшается емкость конденсатора, а также запасаемая им энергия. Емкость электролитических конденсаторов изменяется линейно во времени в процессе эксплуатации.

У электролитических конденсаторов К-50 имеют место случаи течи электролита и его попадание на контакты реле-счетчиков дешифраторных ячеек, что, как правило, вызывает отказ дешифраторной ячейки. Последние конструкции дешифраторных ячеек исключают попадание электролита на реле-счетчики за счет размещения конденсаторов в отдельных блоках. В ячейках старого исполнения, в которых торцовые части электролитических конденсаторов расположены над реле-счетчиками, следует устанавливать «поддоны». Нельзя использовать эпоксидные смолы для заливки торцовой части конденсатора, поскольку при прохождении через него тока выделяются эфирные вещества, скопление которых может привести к значительному повышению давления внутри корпуса и вызвать разрыв конденсатора.

Ток утечки электролитических конденсаторов значительно зависит от времени хранения электролитических конденсаторов. Поэтому перед проверкой и установкой в эксплуатацию они должны быть подвергнуты формовке постоянным номинальным напряжением, указанным на корпусе конденсатора. Для конденсаторов К-50 общее время формовки в минутах определяется числом месяцев хранения после изготовления, умноженным на 10.

При подключении электролитических конденсаторов в измерительную схему и действующие устройства необходимо строго соблюдать полярность включения, так как происходит необратимое снижение емкости электролитических конденсаторов в зависимости от приложенного обратного напряжения и длительности его подключения. Процесс потери емкости за счет обратного напряжения практически необратим, потому что в условиях электролита у конденсаторов крайне слаба реакция восстановления металла из окисла. Полярные конденсаторы, подвергшиеся действию обратного напряжения, не должны устанавливаться в аппаратуру.

6.2. Надежность предохранителей

Предохранители в одном случае выполняют свою роль, предохраняя монтаж и аппаратуру от возгорания, в другом случае перегорают от случайных процессов (старение, кратковременные перегрузки, неправильные действия обслуживающего персонала). Перегорание приводит к снижению надежности действия технических средств. В этой связи на дорогах применяют различные схемы резервирования предохранителей и другие материалы, способствующие быстрому отысканию перегоревших предохранителей. Широкое применение на дорогах нашли лампы ПЖ. Лампы устанавливают в цепях питания с напряжением 24 В постоянного или переменного тока, которые обеспечивают работоспособность схем при перегорании предохранителей. Они включаются параллельно предохранителям до 5 А. Перегорание предохранителя контролируется индикаторными лампами, установленными на пульте ДСП. В табл. 8 приведены данные об отказах предохранителей и автоматических выключателей, по характеру и причинам выраженные в процентах.

В типовых схемах электрической централизации при переключении режима питания («День — ночь») лампы табло в первичной обмотке трансформатора релейной панели через предохранитель 5 А протекает ток, в несколько раз превышающий ток нагрузки, что вызывает нагрев, а иногда и перегорание плавкой вставки предохранителя. Для исключения подобных случаев необходимо параллельно контактам, переключающим режим «День — ночь», подключить две осветительные лампы напряжением 220 В и мощностью 200 Вт.

Широкое применение на дорогах нашли схемы резервирования предохранителей с использованием реле, которое включается параллельно источнику питания. После

перегорания основного предохранителя тыловыми контактами этого реле включаются резервные предохранители. Индикация перегорания предохранителей выполняется исходя из местных условий (индикация на пульт ДСП, в релейном помещении и др.).

Для улучшения работы схемы перегорания предохранителей и быстрого отыскания перегоревших предохранителей в цепях постоянного и переменного тока напряжением 12—24 В параллельно плавкой вставке предохранителя может быть включена схема с излучающим диодом (АЛ 102 А, АЛ 102 Г, АЛ

Таблица 6.1.

Характер отказа и причины	Предохранители		АВМ
	С контролем перегорания	Без контроля перегорания	
Не соответствие номинала	13,35	12,52	4,31
Короткое замыкание	28,65	24,23	8,62
Тяговый ток	1,18	2,96	16,38
Дефект материала	8,0	5,79	6,9
Некачественная пайка	18,86	12,79	1,72
Ослабление крепления	5,84	13,19	12,93
Излом, разрушение	2,85	6,46	22,41
Гроза	9,04	12,92	12,93
Окисление	4,24	3,23	6,03
Некачественная регулировка	5,49	4,31	6,03
Прочие	5,49	1,62	1,72

Таблица 6.2.

Номер штатива	Схемное обозначение предохранителя	Номинал предохранителя	Результат перегорания предохранителя
11	СПБ	5А 5А	Не открываются сигналы нечетной горловины станции Теряется контроль части стрелок нечетной горловины станции
12	СПБ	5А	Загорается красным огнём кнопка сдачи колонки на местное управление

44	СПБ СПБ-ЧЗ	5А	Не срабатывает прибытие по третьему пути с соседней станцией. Не загорается белая лампа на кнопке Четная горловина станции показывает ложную занятость

102 Б, КЛ 101 А, КЛ 104 А) и сопротивлением ограничения. Сопротивление ограничения выбирают в зависимости от примененного излучающего диода. При перегорании предохранителя излучающий диод светится.

В схеме контроля неисправности предохранителя в цепи питания МО—220 В переменного тока неоновая лампа МН-7, соединенная последовательно с резистором 180 кОм (90 кОм) мощностью 0,25 Вт, включается параллельно плавкой вставке предохранителя. При напряжении ПО (127) В сопротивление резисторов 90 кОм, при напряжении 220 В — 180 кОм. Неоновая лампа загорается при потере контакта в предохранителе или перегорании плавкой вставки.

На ряде дорог разработан и широко применяется на постах ЭЦ перечень предохранителей с характерными признаками их перегорания. В табл.6.2. приведен примерный перечень характерных случаев перегорания предохранителей.

Перечень предохранителей с характерными признаками перегорания значительно сокращает время отыскания перегоревшего предохранителя.

6.3. Надежность резисторов

Эксплуатационная надежность резисторов по сравнению с электровакуумными и полупроводниковыми приборами, реле и Другими элементами высока. Однако в связи с большим удельным весом резисторов по сравнению с другими электрорадио элементами процент отказов аппаратуры за счёт выхода из строя резисторов довольно высок — примерно 15 %.

Отказы резисторов происходят из-за наличия дефектов в самих резисторах, ошибок в проектировании и эксплуатации аппаратуры. Причинами отказов резисторов, не зависящими от их качества, могут быть: использование их в завышенных по сравнению с допустимыми по технической документации электрических и тепловых режимах, расположение резисторов вблизи сильно нагреваемых элементов и приборов (мощные электровакуумные приборы, мощные резисторы и др.), электрические и тепловые перегрузки резисторов при выходе из строя смежных комплектующих элементов (пробой в конденсаторах, замыкание электродов в электровакуумных приборах и др.) и кратковременные перегрузки при нестационарных переходных процессах, замыкание резисторов на корпус при вибрационных и ударных нагрузках, неудобный монтаж, недостаточно квалифицированное обслуживание аппаратуры и т. п.

Отказы резисторов в аппаратуре можно классифицировать по характеру (виду) и причине неисправностей, которые связаны с конструктивными и технологическими особенностями производства резисторов, видами и уровнями воздействия эксплуатационных факторов.

Ориентировочное распределение между различными видами отказов по данным эксплуатации приведено в табл. 6.3.

Следует учесть, что удельный вес различных отказов резисторов может изменяться в зависимости от конструктивных особенностей аппаратуры и условий ее эксплуатации.

Таблица 6.3

Отказы Обрыв: Проводящего слоя в намотке Провода в контактном узле Провода на контактной дорожке	Процент отказавших резисторов			
	Непроволочных		Проволочных	
	Постоянны х	Переменны х	Постоянны х	Переменны х
Отклонение сопротивления от допустимых пределов	49	16	-	-
Поломка	-	-	-	40
Прочие механические повреждения	-	-	67	-
Нарушения контакта	-	-	23	33
	27	9	-	2
	17	-	2	10
	7	3	7	1
	-	72	1	14
			-	

Резистор является несъемным элементом, и его параметры в процессе эксплуатации не проверяют. Поэтому отказы резисторов обнаруживаются лишь в том случае, когда электрическая схема, в которой они находятся, перестает выполнять свои функции. В зависимости от степени потери работоспособности отказы резисторов можно разделить на полные и условные. На долю полных отказов (обрыв, механические повреждения, нарушение контакта) приходится 85—90 % всех отказов резисторов. Кроме того, иногда наблюдаются короткое замыкание (например, между выводами непроволочных постоянных резисторов по частично или полностью обгоревшему эмалевому покрытию)' и пробой изоляции (между витками проволочных резисторов).

Примерно 10 % отказов составляет уход омического сопротивления за пределы установленных допусков. Этот отказ является следствием различных процессов старения в токопроводящих элементах, изоляционных материалах (основания, каркасы, защитные покрытия) и контактных узлах, т. е. процессов, вызывающих необратимые изменения сопротивления.

Незначительный процент условных отказов резисторов в сфере эксплуатации аппаратуры связан с большими уровнями допусков на изменение параметров изделий, принятыми разработчиками аппаратуры при расчете схем.

Для тонкослойных резисторов (ВС, МЛТ, МТ и др.) при их эксплуатации в среде с повышенной влажностью характерным является электрохимическое разрушение проводящего слоя, связанное с процессами, которые сопровождают электролиз влаги, проникающей к резистивному слою через дефекты защитного покрытия.

Электролитические процессы в керамических основаниях тонкослойных резисторов, содержащих окислы щелочных металлов, вызывают механическое разрушение проводящего слоя вследствие переноса продуктов электролиза, снижения

прочности подложки и окисления проводящего слоя выделяющимся при электролизе атомарным кислородом. Эти резисторы отечественная промышленность выпускает на бесщелочной керамике.

Наиболее интенсивно происходит старение в местах локальных дефектов проводящего элемента (риски, царапины на керамическом основании и проводящем слое, сколы керамики, рваные края нарезки, трещины, раковины и инородные включения в проводе намотки, следы коррозии и протяжки и т. п.). В зависимости от размеров дефектов, их числа и расположения могут иметь место достаточно высокие тепловые перегрузки то-копроводящего элемента и, как следствие, выгорание околодефектного участка. Одной из основных причин обрыва высокоомных проводов проволочных резисторов является их коррозионное разрушение при эксплуатации резисторов во влажной среде. Дефекты изоляционного покрытия проводов прецизионных проволочных резисторов с многослойной намоткой могут приводить к коротким замыканиям витков. Это вызывает уменьшение сопротивления резисторов.

Специфическими неисправностями проволочных переменных резисторов следует считать износ проводов (перетираание провода намотки подвижным контактом, обусловленное его низкой стойкостью к истиранию и завышенным контактным нажатием).

К обрыву проводящего элемента также приводят электрические перегрузки резисторов при нарушении режимов их использования.

Нарушение контакта между скользящим контактом и резистивным элементом, являющееся характерным отказом переменных резисторов, происходит в результате поломки контактной системы например, гетинаксового щеткодержателя резисторов-СП), износа и обгорания контактов при продолжительных регулировках и перегрузках резисторов, наличия на поверхности токосъемных элементов контактных пар непроводящих пленок и частиц (окисная пленка, конденсированные или замерзшие частицы влаги, продукты истирания, инородные изоляционные частицы и т. д.), ослабления контактной пружины. К этому отказу могут также приводить дефекты сборки переменных резисторов, в частности выход скользящего контакта за пределы контактной дорожки, выпадание контактной щетки и др.

Механические повреждения резисторов связаны с низкой механической прочностью выводов (наличие дефектов на проволочных выводах) и мест сочленения вывода с контактной арматурой, некачественной сборкой резисторов (заклинивание оси), механическими перенапряжениями в резисторе, возникающими при нарушении режимов эксплуатации и неправильном обслуживании аппаратуры (электрические перегрузки, регулировка при стопорении оси и др.)

Из-за отказов резисторов в аппаратуре могут иметь место разрыв электрической цепи схемы, отклонение параметров электрической схемы от допустимых, невозможность регулирования напряжения и силы тока.

Вопросы

1. Роль предохранителей?
2. Виды предохранителей?
3. Резистор
4. Классификация?

Ключевые слова:

Предохранитель.
Резистор.

Сопротивление.

Лекция 7 Надёжность кабельных линий

ПЛАН ЛЕКЦИИ:

1. Надёжность кабельных линий. Причины отказов;
2. Обеспечение сохранности кабельных линий;
3. Анализ информации об отказе кабельных линий;
4. Изоляция монтажа;

7.1. Надёжность кабельных линий. Причины отказов

Надёжная работа устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи в большой степени зависит от качества и состояния кабельных линий. Обработка статистической информации показывает, что среднесетевое значение числа отказов на 100 км кабеля за год (независимо от числа жил) составляет ОДЗ. На отдельных дорогах этот показатель превышает среднесетевое значение в 1,5—3 раза. Это свидетельствует о несвоевременности выявления неисправных кабелей.

Анализ показывает, что на отказы из-за повреждения кабеля приходится 48%, понижения изоляции — 24,7%, обрыва жил — 16,8%, сообщения жил — 8%, из-за прочих причин — 2,5 % всех отказов за год.

Повреждения кабеля происходят из-за стихийных бедствий, попадания тягового тока и тока молнии, падения предметов с поезда и др. Определенное число отказов кабеля происходит из-за влияния механических нагрузок, климатических, биологических и электрических воздействий, старения, из-за некачественного изготовления на заводе. Основными механическими воздействиями на подземные кабели являются: изгибы, растяжения, вибрация и истирание.

Во время прокладки и монтажа кабель минимум дважды подвергают изгибу: один раз при прокладке, когда кабель проходит через кассету кабелеукладчика, второй — во время монтажа при выкладке концов кабеля по форме котлована. При прокладке принимают меры, обеспечивающие свободную размотку кабеля без заметных натяжений. Однако могут возникнуть вынужденные остановки или неравномерное движение кабелеукладчика, вследствие чего кабель подвергается растягивающему усилию. Такое же воздействие испытывает подземный кабель при температурном изменении почвы. Попеременные расширение (удлинение) и сжатие (укорочение) кабеля под влиянием температуры приводят к его продольным перемещениям и истиранию верхней защитной оболочки о грунт или края труб канализации.

На кабель, проложенный под дорогами с интенсивным транспортным движением, механическое воздействие могут оказывать прогибы грунта, вызывающие его продольное перемещение. Такому воздействию подвергаются и кабели, проложенные в телефонной канализации. При этом наиболее распространенными повреждениями являются перемещение кабельных муфт, наплывы («разбухание») оболочки в направлении перемещения, смятие оболочки непосредственно в месте припайки муфты к оболочке. Кабель, проложенный непосредственно в земле, перемещается не только сам, но и проводники внутри него, в муфтах сдвигаются жилы, с них сползают изолирующие гильзы.

На кабель воздействует также сила тяжести, создаваемая массой проходящего транспорта и передаваемая через грунт. Повторные воздействия силы тяжести транспорта на кабель приводят к перемещениям кабеля. Обычно наибольшие перемещения наблюдаются в более слабых грунтах, например болотистых.

Еще одним видом механических нагрузок являются удары и вибрация. Эти нагрузки возникают при транспортировке кабеля, погрузке и выгрузке. Вибрации может подвергаться и кабель, находящийся в эксплуатации, проложенный под или вдоль дороги с интенсивным транспортным движением. Удары и вибрация приводят к повреждениям кабельной оболочки, а в некоторых случаях — к изменению электрических характеристик кабеля.

Вредное климатическое влияние может оказывать на подземные кабели окружающая среда, в основном при изменении температуры и влажности и воздействии содержащихся в грунте различных примесей. Например, при охлаждении мест спая кабельных жил, экранов и оболочек кабеля в них возникают растягивающие усилия. Припой, как правило, плохо выдерживает растяжение. Если конструкция сростка выполнена так, что при последующих периодических нагревах и охлаждениях возникают растягивающие усилия, превышающие прочность крепления припоя, то возникают повреждения. При низких температурах существенно изменяются свойства многих изоляционных материалов. Пластмассы теряют ударную вязкость и прочность на растяжение. У бронированных кабелей растрескивается или разрывается защитный джутовый покров, пропитанный битумом, что уменьшает надежность покрытия. Кроме того, с понижением температуры повышается относительная влажность внутри кабеля.

Изменение температуры всегда приводит к изменению электрических характеристик кабеля. С повышением температуры снижается сопротивление изоляции жил кабеля постоянному току, увеличивается сопротивление жил и затухание кабельных цепей, изменяются и другие характеристики.

Подземные кабели пребывают в различных условиях влажности. Даже кабели, проложенные в сухой местности, весной и осенью могут находиться во влажном грунте. Влага способствует разрушению защитных оболочек кабеля. При наличии в металлической оболочке малейших трещин, даже несквозных, вода заполняет их. В зимнее время вода замерзает и, расширяясь, увеличивает трещины, что приводит к разрушению оболочки. При пластмассовых оболочках влага может проникнуть внутрь кабеля вследствие диффузии.

Биологическое воздействие на кабели оказывают грызуны, грибковые образования (плесени) и насекомые. Наиболее подвержены повреждениям от грызунов кабели в свинцовой, пластмассовой и поливинилхлоридной оболочках. Бронированные кабели со свинцовой оболочкой, благодаря защите стальными лентами, практически не повреждаются грызунами. Наибольшие повреждения от плесени имеют верхние джутовые покровы бронированных кабелей. В результате разрушения джутового покрова стальная броня кабелей подвергается интенсивному разрушению от коррозии, и защитный покров кабеля значительно теряет надежность.

Электрические воздействия проявляются в виде пробоя или электрокоррозии, а также в виде мешающего влияния, которое может частично или полностью выводить кабельные цепи из строя. Источниками электрического воздействия являются грозовые разряды, установки сильного тока и мощные радиостанции.

Старение кабеля — это постепенное необратимое изменение электрических и механических характеристик кабеля с течением времени. При этом повреждению подвергаются прежде всего защитные оболочки. У поливинилхлоридных оболочек снижаются морозостойкость и изоляционные свойства. Пластификаторы, входящие в материал оболочки, под влиянием тепла постепенно улетучиваются из пластика или, окисляясь, ухудшают свои свойства. Процесс старения ускоряется под влиянием химических сред, высокой температуры и напряженности электрического поля, а также внешних механических воздействий.

Некоторые отказы кабеля являются следствием его некачественного изготовления на заводе, что может приводить к обрыву жил, короткому замыканию между жилами, понижению сопротивления изоляции и др. Загрязнение медной токопроводящей жилы,

наличие на ней окалины или масла не изменяют омического сопротивления шлейфа, но через некоторое время" могут привести к разрушению токопроводящей жилы или нарушению изоляции. В результате нарушения технологического процесса при наложении оболочки возможны случаи попадания: влаги под изоляцию или броню. Это может не отразиться на электрических характеристиках при контрольной проверке кабеля, однако с течением времени может вызвать резкое ухудшение электрических характеристик кабеля.

7.2. Обеспечение сохранности кабельных линий

Имеется ряд документов, регламентирующих требования по содержанию линий связи. Основными из них являются Правила охраны линий связи, Условия производства работ в пределах охранных зон и просек на трассах линий связи и радиофикации, изложенные в приложении к приказу министра связи СССР № 245 от 09.04.70, приказ Министерства путей сообщения: и Министерства транспортного строительства № 46-Ц/307 от 13.10.86. «О сохранности кабельных сетей на железнодорожном транспорте».

Большое место в этих документах отведено вопросам обеспечения сохранности кабельных линий, определен порядок производства работ в пределах охранных зон и просек на трассах кабельных линий.

В пределах охранных зон без письменного согласия организаций, в ведении которых находятся кабельные линии, запрещаются:

- строительные, монтажные и взрывные работы, земляные работы на глубине более 0,3 м, а также планировка грунта при помощи техники;

- геологосъемочные, поисковые, геодезические и другие изыскательские работы, связанные с устройством скважин, шурфов и взятием проб грунта;

- посадка деревьев, расположение полевых станков, содержание скота, складирование материалов, кормов и удобрений разведение костров и устройство стрельбищ;

- снос и реконструкция зданий, мостов, переустройство коллекторов, тоннелей метрополитенов и железных дорог, где проложены кабели связи, кабельные ящики и распределительные коробки, без предварительного выноса застройщиками сооружений и устройств связи по согласованию с организациями, в ведении которых находятся эти сооружения и устройства;

- открывание дверей и люков необслуживаемых усилительных пунктов, кабельных колодцев телефонной канализации, распределительных шкафов и кабельных ящиков.

Условия производства работ в пределах охранных зон определяют порядок выполнения работ в этих зонах. В пределах охранных зон организации и отдельные граждане, производящие работы, обязаны иметь письменное согласие организации, в ведении которой находятся кабельные линии. Без предварительного согласования с владельцами кабельных линий в охранных зонах возможны только безотлагательные ремонтно-восстановительные работы (в аварийных случаях). Однако при этом должны выполняться следующие требования:

- одновременно с направлением рабочих на место аварии независимо от времени суток следует передать телефонограмму предприятиям, имеющим смежные с местом аварии подземные кабельные линии, о необходимости явки их представителей;

- на месте работ должен находиться представитель, ответственный за выполнение работ для инструктажа рабочих;

- до прибытия к месту аварии представителя владельца кабеля земляные работы в охранной зоне должны вестись ручным способом, при обнаружении кабеля должна быть обеспечена его сохранность. Явившийся на место аварии представитель обязан указать расположение кабельной линии и меры по обеспечению ее сохранности.

При необходимости устройства временных проездов для движения строительных механизмов и транспорта непосредственно по трассам подземных

кабельных линий по согласованию с их владельцами строящая организация производит защиту кабельных сооружений от механических* повреждений, например укладкой деревянных настилов, бетонных плит, подсыпкой щебня, гравия и др.

Работы в охранных зонах кабельных линий должны выполняться с соблюдением действующих строительных норм и правил. Выемка грунта в непосредственной близости от подземных кабельных линий допускается только лопатами. Пользоваться ломami, кирками, клиньями и пневматическими инструментами запрещается. Земляные работы в местах пересечения с действующими кабельными линиями должны производиться в минимально короткие сроки.

При рытье траншей и котлованов, затрагивающих кабельные линии, строительная организация защищает последние от повреждений. Для этого кабели, проложенные непосредственно в грунте, заключают в оплошной деревянный короб, который при необходимости прочно подвешивают к балкам или бревнам, проложенным поперек траншеи (концы короба должны выходить за края траншеи не менее чем на 0,5 м). Короб подвешивают на хомутах из проволоки.

Кабели, проложенные в трубах или блоках, сначала раскапывают до верхнего края трубы (блока). Затем прокладывают балки, необходимые для их подвески. После этого продолжают раскопки грунта до нижнего края трубы или блока и производят их подвеску. Если траншею или котлован раскапывают ниже уровня залегания кабеля или в непосредственной близости от него, то необходимо принять меры к недопущению осадки или оползания грунта. Когда кабель или блоки телефонной канализации могут быть оголены на большом протяжении, меры по их защите предусматривают в проекте производства работ. При отсутствии защиты должна быть организована их охрана.

Мерзлый грунт в зоне расположения кабелей следует отогревать так, чтобы нагрев не вызывал повреждения оболочки и изоляции жил кабеля. Разрабатывать грунт клинбабой запрещается. Засыпать кабели связи и телефонную канализацию в месте пересечения необходимо слоями грунта толщиной не более 0,1 м с тщательным уплотнением. В зимних условиях засыпку следует производить песком или талым грунтом. Траншею засыпают вместе с балками и коробами, в которых были уложены кабели, о чем составляют акт на скрытые работы.

При выполнении строительных работ запрещается заваливать землей или строительными материалами крышки люков телефонных колодцев (коробок), распределительные шкафы, предупредительные знаки, замерные столбики на трассах подземных кабельных линий, а также перемещать соответствующие кабельные сооружения без согласования с предприятиями, обслуживающими эти линии.

7.3. Анализ информации об отказах кабельных линий

Важным этапом организации эксплуатации кабельного хозяйства является система учета, сбора и анализа информации о числе и характере повреждения. Формы учета должны быть наиболее простыми и давать наиболее полную информацию о причинах, числе и характере повреждений.

Одним из основных видов документации в системе сбора и учета информации является журнал учета отказов кабеля. По данным журнала строят график распределения отказов в течение года по месяцам. Аналогично могут быть построены графики распределения отказов по дням недели и времени возникновения отказов. Такие графики дают наглядную картину распределения отказов и позволяют разрабатывать для определенных периодов времени эффективные мероприятия по снижению числа отказов.

Из графика сред нестатического распределения повреждений кабеля по месяцам в течение года по сети дорог (рис. 15) следует, что максимум повреждений приходится на июнь и сентябрь — месяцы, в которые наиболее интенсивно ведутся земляные работы.

В зависимости от характера повреждения способ его устранения будет различным. Наиболее часто встречаются способы восстановления: прокладка временного кабеля, замена поврежденной жилы запасной, замена нескольких поврежденных жил запасными, переход на резервный кабель и др.

Время восстановления действия кабеля наиболее полно характеризуют оперативность обслуживающего персонала при ликвидации повреждений, рациональные способы, применяемые при восстановлении, приспособленность кабельной линии к восстановлению, совершенство применяемых методов измерения кабеля, уровень механизации при восстановлении, уровень квалификации обслуживающего персонала и др. Время восстановления можно разбить на: время сообщения обслуживающему персоналу о месте отказа кабеля (станция, участок и др.), время прибытия связистов к месту повреждения, время локализации места отказа, время устранения повреждения, время проверки работоспособности восстановленного кабеля. Детальный анализ каждой из временных составляющих позволяет применить оптимальные меры по сокращению времени ликвидации отказов.

Характер отказа определяет в основном внешние признаки повреждения кабеля, причина — первоисточник отказа. Тщательное расследование повреждения кабеля позволяет квалифицированно выделить причину и характер отказа. Если характер отказа кабеля можно сформулировать кратко, то причина в ряде случаев требует подробного описания. В отдельных случаях, чтобы сформулировать причину отказа кабеля, необходимо производить лабораторные исследования, поскольку таких причин может быть несколько.

Наиболее часто отказы имеют следующий характер: повреждение кабеля при производстве работ, понижение изоляции, обрыв жил (внутри кабеля или в оконечных устройствах), попадание влаги в кабель, сообщение жил и др. Характерными причинами отказов кабеля являются: отсутствие согласования с дистанцией сигнализации и связи на производство работ строительными организациями, не уточнение трассы кабеля, не обеспечение установки вышек, неподготовленность шурфов, отсутствие технического надзора за соблюдением мер по обеспечению сохранности кабеля, обрыв жилы кабеля из-за некачественного соединения в муфте, заводской брак, окисление жилы из-за попадания влаги внутрь оболочки вследствие образования трещины в процессе укладки кабеля, надрез жилы при производстве монтажных работ и др.

Анализируются последствия, к которым привел отказ кабеля: перерыв связи, задержка поездов и др.

Данные о типе кабеля, его длине, годе укладки при анализе позволяют судить о надежности отдельных типов кабеля с учетом их длины и давности эксплуатации.

Наличие точной информации о глубине прокладки кабеля позволяет принимать меры для обеспечения нормальной глубины заделки кабеля, а в некоторых случаях углублять кабель. Информация об организации, виновной в повреждении кабеля, позволяет вести целенаправленную работу с организациями по предупреждению случаев повреждения кабеля строительными организациями, с заводами по повышению качества изготовления кабеля и др.

По результатам обработки статистических данных составляют таблицы: числа повреждений магистрального кабеля и среднего времени восстановления в зависимости от участка прокладки, числа повреждений магистрального кабеля с указанием места повреждения, распределения повреждений кабеля по характеру отказов.

Правильная эксплуатация кабельных линий является одним из решающих факторов обеспечения ее высокой надежности. Важнейшее значение в повышении эксплуатационной надежности имеют профилактические мероприятия. Профилактические мероприятия включают: технический надзор за состоянием трассы кабеля и кабельных сооружений и выполнение на них

профилактических работ, предупреждающих повреждения; проведение плановых и контрольных электрических измерений; наблюдение за устройствами по защите от грозы, коррозии; контроль за работой установок по содержанию кабеля под постоянным газовым давлением, за действием различных сигнализаций, оконечных устройств и др. На участках, где кабель проложен в канализации, необходим контроль за состоянием канализационных сооружений.

7.4. Изоляция монтажа

Одним из наиболее опасных отказов устройств СЦБ являются отказы, вызванные сообщением различных цепей или заземлениями этих цепей, поэтому самопроизвольное появление тока в цепи может вызвать опасный отказ: появление разрешающего сигнала, перевод стрелки под составом, ложный контроль свободности рельсовой цепи и др. Для предотвращения случаев самопроизвольного появления тока в цепях последние должны быть надежно изолированы друг от друга и от земли.

Нормативное значение сопротивления изоляции монтажа составляет 1 кОм на 1 В рабочего напряжения, т. е. не допускается ток утечки более 1 мА. Такая норма была выбрана исходя из электрических характеристик реле **НР-1-1000**, имеющего ток отпускания якоря 2,5 мА. В устройствах СЦБ находят применение реле, имеющие меньший ток отпускания. Опасным является наличие заземления как минимум в двух местах. Однако для того чтобы предотвратить подобные случаи, необходимо сразу же устранять первое появившееся заземление или/сообщение, не дожидаясь, пока произойдет второе.

В условиях эксплуатации изоляция наиболее часто понижается на воздушных линиях из-за протирания оболочки провода ПРГ в кабельных ящиках, неисправных разрядников, а также в монтаже напольных устройств: светофорных стаканов, электрозамков, путевых и стрелочных коробок. Низкой изоляцией обладают курбельные блок-контакты в электроприводах, загрязненные колодки. Часто понижение изоляции монтажа вызывается плохим состоянием подземного кабеля или соединительных муфт. Особенно сложно поддерживать удовлетворительное состояние изоляции монтажа в тех цепях, где от одного источника осуществляется питание большого числа однотипных цепей (цепи светофорных ламп и рабочие цепи схем управления стрелкой в системе ЭЦ с центральным питанием). Для повышения изоляции этих цепей приходится заменять провод ПРГ на ПГВ, разделять цепи питания с помощью изолирующих трансформаторов, постоянно содержать в чистоте колодки. Изоляция монтажа в устройствах СЦБ зависит от изоляции монтажных проводов, токоведущих конструкций аппаратуры и жил сигнального кабеля. Поскольку элементы изоляции проверяют совместно, без отключения, результат в основном определяется изоляцией наиболее незащищенных элементов, т. е. изоляцией монтажа. Изоляцию кабеля, к которой предъявляют более высокие требования, можно проверить только при его отключении. В то же время проверка изоляции кабеля с отключением монтажа связана с частичным закрытием действия устройств СЦБ. Поэтому на ряде дистанций и дорог используют проверки изоляции монтажа для приближенной оценки состояния изоляции кабелей. Технология такой приближенной оценки, разработанная на Московской железной дороге, предусматривает проведение подготовительных работ по приведению изоляции монтажа к значениям, значительно превышающим норму (1 кОм на 1 В). Измерения производятся не только для цепей, имеющих питание, но и для основных цепей, на которые при нормальном состоянии схемы напряжение не подают.

Вопросы:

- 1) Как обеспечивается надежность кабельных линий.
- 2) Охрана кабельных линий.
- 3) Техника безопасности.
- 4) Надежность ее показатели.

Ключевые слова:

- 1 Кабель
- 2 Трасса
- 3 Откопка

Лекция 8 Некоторые виды отказов

ПЛАН ЛЕКЦИИ:

1. Сбор, обработка и анализ информации об отказах;
2. Сбор данных об отказах и неисправностях;
3. Использование ЭВМ для сбора и анализа информации об отказах;
4. Анализ статистических данных об отказах;

8.1. Сбор, обработка и анализ информации об отказах.

Сбор и анализ данных об отказах и неисправностях устройств являются основным элементом обратной связи организационной системы обеспечения эксплуатационной надежности на сети дорог и в каждой дистанции. Централизованный своевременный сбор и учет полной и достоверной информации об отказах устройств по сети дорог и их причинный анализ позволяют: определить значения основных параметров надежности эксплуатируемых систем и элементов, которые будут использованы для расчета и прогнозирования надежности вновь строящихся и разрабатываемых систем; контролировать качество продукции проектных институтов, НИИ, заводов и работу строительных организаций; централизованно усовершенствовать технические устройства с целью повышения их безотказности, живучести, ремонтпригодности и долговечности, а также технологию и методы обслуживания этих устройств.

Для эффективного выполнения этих мер информация об отказах должна быть достоверной, т. е. объективно и правильно отражать характер, причину и условия возникновения отказа; полной, т. е. содержать все данные, необходимые для анализа отказа и выяснения причин его возникновения; своевременной, т. е. непрерывно и быстро поступать на пункт сбора для получения точной картины надежности в хозяйстве и каждой службе сигнализации и связи.

В хозяйстве сигнализации и связи принят многоступенчатый способ учета информации (рис. 16). Работник, устраняющий отказ, заполняет карточку в двух экземплярах. Первый экземпляр старший электромеханик передает в группу надежности

дистанции, второй оставляет в цехе. Старший электромеханик проверяет правильность заполнения карточки и уточняет причины отказа. В группе надежности дистанции карточку дополняют необходимыми сведениями, анализируют и оставляют для учета, а на ее основании заполняют третий экземпляр карточки, который посылают в группу надежности дорожной лаборатории. Одновременно с этим отказ регистрируют в журнале ШУ-78, который хранится в группе надежности дистанции.

В целях стимулирования работы по сбору данных об отказах необходимо поощрять работников дистанции (специальное премирование). Снижение (или лишение) премии за скрытое повреждение должно быть более значительным, чем материальное стимулирование за бесперебойность движения, например за скрытое работником повреждение лишать премии за весь квартал.

8.2. Сбор данных об отказах и неисправностях

В результате сбора данных разработчик, изготовитель и работники эксплуатации обеспечиваются полными данными об отказах и сведениями о характерных проявлениях каждого отказа, его причине, эффективности всех предшествующих мер по устранению отказов. Эти данные позволяют изменить конструкцию прибора или схемное решение и повысить надежность благодаря устранению причин, приводящих к отказам определенного вида. Система сбора данных о надежности содержит количественные сведения о наиболее существенных отказах в каждом устройстве и системе за истекший период времени.

Основными задачами системы сбора информации о надежности элементов и систем являются: изучение причин и закономерностей возникновения отказов и повреждений и рациональных методов их устранения; разработка мероприятий по устранению конструктивных и технологических недостатков в технической документации при проектировании и изготовлении изделий и систем; разработка и совершенствование методов эксплуатации и оценка количественных показателей надежности; определение номенклатуры и количества запасных приборов, инструмента и расходных материалов; корректировка методов контроля и испытаний устройств на надежность; обоснование режима рационального использования, транспортирования и хранения элементов.

Система сбора информации о надежности элементов и систем должна максимально учитывать специфику эксплуатации особенности конструктивных и технологических решений, а также фактические уровни режимов и загрузки элементов и систем.

Большое значение при организации системы сбора информации об отказах имеет выбор форм учета, которые должны отвечать конкретным целям сбора и обработки информации о надежности элементов и систем. Формы учета должны включать наиболее полную информацию для оценки надежности эксплуатируемых устройств. Одновременно с разработкой формы карточки должна быть составлена подробная инструкция для работников дистанций сигнализации и связи, ведущих работу по учету информации.

Все способы сбора статистической информации можно свести к двум видам: многоступенчатому и централизованному. При многоступенчатом способе первичные данные обрабатывают на месте их получения, после чего они в обобщенном виде поступают для окончательной обработки и получения характеристик надежности. К недостаткам такого способа информации относится малая оперативность, большая возможность искажения и потеря части информации. Кроме того, получение ряда характеристик при этом способе затруднено или невозможно.

Свободным от указанных недостатков и более перспективным является централизованный способ сбора и обработки информации, при котором первичные данные о работе и неисправностях элементов и систем без предварительного обобщения

поступают непосредственно с объекта сбора на место окончательной обработки. Это повышает качество и оперативность прохождения информации и служит предпосылкой для создания полуавтоматических и автоматических устройств сбора и обработки информации о надежности на базе информационно-вычислительных центров. Последнее обстоятельство тем более важно, что сейчас на сети дорог эксплуатируются различные системы с большим числом разнотипных элементов. Поток сведений об их надежности на некоторых дорогах настолько значителен, что обрабатывать их в приемлемые сроки ручным способом затруднительно. Поэтому сбор информации должен производиться централизованно по единой системе согласно данным книги [3].

Для составления технических ведомостей рекомендуется использовать многоступенчатый способ, позволяющий работникам дистанции, лабораторий разрабатывать мероприятия по повышению надежности. При продвижении информации с объекта эксплуатации в ЦШ используется централизованный способ, позволяющий применять оперативные меры по повышению надежности. При многоступенчатом способе специалист, устранивший отказ, или старший электромеханик передает в группу надежности дистанции сведения об отказе. В группе надежности дистанции карточку дополняют необходимыми сведениями, учитывают, анализируют и на ее основе заполняют новый экземпляр, который посылают в группу надежности дорожной лаборатории.

В группе надежности дороги поступающие со всех дистанций карточки учета отказов анализируют и обрабатывают и на основании обобщенных данных составляют технические ведомости по надежности устройств, эксплуатируемых на дороге. Обобщенный материал высылают в группу надежности при ЦШ. Полученные с дорог материалы анализируют и обрабатывают. На основании результатов анализа статистических данных от отказа группа надежности направляет необходимые сведения на предприятия, выпускающие продукцию, и распределяет задания по повышению надежности между различными подразделениями службы надежности. Помимо централизованных мероприятий, на дорогах и в дистанциях ведется и самостоятельная работа, основанная на использовании информации об отказах.

В качестве первоисточника для сбора данных об отказах и неисправностях устройств могут использоваться карточки учета отказов, журналы повседневной эксплуатации, акты технических ревизий, рекомендации и анкеты опроса электромехаников. Информация об отказах и неисправностях устройств, полученная 3 периоды опытной эксплуатации и пусконаладочных работ на объектах, имеет особую ценность, так как дает возможность своевременно разработать рациональные рекомендации для повышения эксплуатационной надежности.

Более существенным является анализ надежности устройств по постепенным отказам из-за старения элементов. В этом случае система сбора данных строится на организации входного и выходного контроля. Аппаратуру перед установкой в эксплуатацию проверяют по всем характеристикам, и данные записывают в специальный журнал. После определенного периода эксплуатации приборы в РТУ проверяют и их параметры записывают в этот журнал. Такая информация позволяет судить о работе приборов в эксплуатации и решать вопросы надежности: оптимизировать сроки профилактики, определять сроки службы элементов прибора и прибора в целом, определять законы распределения и др.

На различных дорогах (с учетом климатических поясов) входному и выходному контролю подвергаются аппаратура определенного типа, поступающая в РТУ с объектов эксплуатации, по истечении межремонтного срока или из-за отказа в работе, а также аппаратура, поступающая с заводов-изготовителей. На прибор, поступающий в РТУ, наклеивают бирку с указанием назначения и места установки. Прибор, снятый с эксплуатации ранее установленного срока проверки вследствие отказа, сопровождается дополнительно карточкой учета отказов. В РТУ результаты измерений и дефекты заносят

в журналы входного контроля, которые ведутся отдельно для аппаратуры, поступающей с объектов эксплуатации и с заводов.

В соответствии с планом работы службы сигнализации и связи проверяют техническое состояние устройств дистанций сигнализации и связи. На основании результатов проверки составляют акт технической проверки, в котором отражают выявленные отклонения в эксплуатации устройств. Копию акта высылают в дорожную группу надежности. В дистанции на основании этого акта разрабатывают мероприятия для устранения выявленных дефектов.

Одним из действенных видов производственных связей с заводами-поставщиками потребителей по вопросам качества изделий являются рекламации. Для эффективного использования рекламаций необходимо организовать систематический входной контроль за поступающим оборудованием и изделиями. Контроль централизуется через группу надежности дорожной лаборатории.

Поступающие на дистанцию новое оборудование и изделия осматривают и измеряют их характеристики или параметры. При обнаружении ошибок в схемах или дефектов аппаратуры составляют рекламационный акт.

Группа надежности дороги анализирует рекламации и направляет их в организацию, по вине которой допущен брак, и группу надежности ЦШ, которая контролирует устранение дефектов, указанных в рекламациях.

Помимо карточек учета отказов, возможны и другие виды технической документации, в частности журнал технического состояния, содержащий сведения о замене составных частей и по эксплуатации устройств (учет технического оборудования, сведения о конструктивных и схемных изменениях и др.). Для станционных устройств систем ЭЦ, РПБ, ДЦ и др. имеется журнал учета профилактических работ, где отражаются сведения о проводимых работах и неисправностях систем в процессе приема и отправления поездов. Эти документы разработаны так, что сведения, зафиксированные в них, могут быть использованы для расчета и анализа надежности.

Журналы содержат разделы: изменения в составе аппаратуры; учета наработки элементов, отказов и неисправностей; сроков проведения ремонта. Кроме того, в журналах ведется технический «дневник» аппаратуры, заменяемой во всех случаях проведения работ. Журналы централизованно обрабатывают группы надежности дистанций, а при необходимости дорожные лаборатории.

Для улучшения организации технического обслуживания устройств СЦБ и связи, повышения надежности действий этих устройств и укрепления технологической дисциплины в хозяйстве сигнализации применяется метод диспетчерского руководства дистанцией сигнализации и связи.

Особое место при этом методе отводится учету и анализу отказов. При диспетчерском руководстве организуется сменное (круглосуточное) дежурство, тогда как до введения круглосуточного дежурства в ряде случаев причины отказов не выяснялись, информация об отказах была недостоверной, отмечались случаи скрытия отказов и некачественное ведение журнала формы ШУ-78.

Введение диспетчерского руководства позволяет устранить недостатки в учете и анализе отказов, наладить качественное ведение журнала ШУ-78 и получать достоверную информацию об отказах.

При возникновении отказов устройств СЦБ сменный инженер обеспечивает его быстрое устранение, тщательно расследует случаи отказа и принимает меры по исключению повторения подобных отказов.

Облегчает контроль выполнения мероприятий по предотвращению отказов специальный вкладыш в журнал ШУ-78. В этом вкладыше отмечается выполнение этих мероприятий каждым исполнителем.

Окончательное исполнение мероприятий фиксируется в гр. 11 журнала ШУ-78.

Значительная часть отказов устройств СЦБ падает на рельсовые цепи, поэтому контролю за их работой сменные инженеры должны уделять особое внимание. Во время дежурства ими ведется Журнал учета замечаний электромехаников. Все замечания о состоянии рельсовых цепей передаются по телефону диспетчерам дистанции пути, которые фиксируют эти замечания в журнале аналогичной формы. После устранения отмеченных недостатков диспетчер дистанции пути сообщает об этом сменному инженеру, который делает в журнале соответствующую отметку.

Большое внимание сменные инженеры уделяют замечаниям Машинистов о работе устройств автоматической локомотивной сигнализации. По каждому локомотивному депо ведется Журнал учета сбоев АЛСН. Введение таких журналов позволило контролировать своевременность ответов и оперативность принятия необходимых мер, а также повысить качество анализа Работы АЛСН.

В случае неоднократного повторения сбоев АЛСН на одном и том же участке для выявления и устранения причины отказа, кроме обслуживающего персонала, привлекаются и работники группы надежности.

8.3 Использование ЭВМ для сбора и анализа информации об отказах

В связи с весьма значительными объемами обрабатываемой информации расчет показателей надежности целесообразно выполнять на ЭВМ. Поэтому на отдельных дорогах применяется следующая структура сбора данных об отказах: все отказы автоматики регистрируют в журнале ШУ-78, по данным которого информацию по телеграфным каналам передают в вычислительный центр по макету (рис. 1). Для заполнения макета разработана единая система кодирования отказов.

Все отказы регистрируют независимо от того, вызвали они задержку поездов или нет. Макет содержит данные, необходимые для анализа надежности устройств автоматики. При передаче информации каждое наименование макета заполняют в определенном порядке. Макеты передают ежедневно.

Результаты обработки статистической информации выдаются в виде таблиц, графиков и диаграмм. В определенных таблицах даются: число брака, отказов и продолжительность задержки поездов по дороге, службам, отказы по невыясненным и прочим причинам. Результаты печатаются в две строки для каждой дистанции связи: в верхней - за месяц, а в нижней - нарастающий итог с начала года. Другая группа таблиц учитывает отказы и задержки поездов по видам устройств, а также случаи перекрытия сигналов, в том числе с проездом и без проезда сигналов. В остальных таблицах определяются: число отказов по дистанциям, интенсивность отказов элементов, среднее время восстановления отказа, общее число отказов по каждой схеме с распределением их по дистанциям, число отказов приборов характер и интенсивность отказов и др.

Для решения задачи учета отказов на ЭВМ используют нормативно-справочную информацию, которая хранится во внешней памяти машины. К нормативно-справочной информации отнесены шифры и наименования характера неисправностей устройств СЦБ, дистанций, времени суток, характера проявления отказа, типа системы, схемы системы, элементов службы (рис. 8.1) При расчете показателей эксплуатационной надежности учитывают различные условия проявления отказов вероятность исправной работы в межрегламентный период и ряд других данных, позволяющих определить эффективность Д работок, регламентных работ и динамику изменения надежности по кварталам года, системам, элементам.

По мере внедрения вычислительной техники на сети железнодорожных дорог, в МПС и других организациях ЭВМ будут все шире использоваться для обработки и анализа информации об отказах (Табл. 8.1) На первом этапе предполагается использовать карточки учета отказов (перфокарты). По мере разработки программы будут использоваться дорожные ЭВМ, а в дальней-

<≡	Признак начала сообщения	Сумма переданных знаков	Номер дистанции	Место повреждения	Месяц	Число	День или ночь	<≡
	(:СЦБ							
Длительность повреждений	Время восстановления	Характер проявления отказа	Эксплуатационные последствия	Задержанно грузовых поездов	Задержано пассажирских поездов	Продолжительность задержек грузовых поездов	Продолжительность задержек Пассажирских поездов	<≡
01	02	03	04	05	06	07	08	
Наличие брака	Тип системы	Схема системы	Схема системы	Элемент устройства	Причина отказа	Служба по вине которой произошел отказ	Затруднение при устранении отказа	Длительность отказа
09	10	11	12	13	14	15	16	:)

Рис. 8.1 Макет телеграммы об отказе при использовании ЭВМ



рис. 8.2 структурная схема механизированной обработки информации с использованием ЭВМ

щем информация об отказах будет передаваться с вычислительных центров сети железных дорог в Главный вычислительный центр МПС. На Юго-Западной дороге разработаны программы и макет для ЭВМ «Минск-32», предназначенный для сбора, обработки и выдачи информации о сбоях АЛСН по каждому депо, дистанции сигнализации и связи, сигнальной точке и локомотиву. Программа предусматривает: выявление неисправных устройств АЛСН по информации за последние три дня определение места сбоя систематизацию информации по подразделениям (депо или дистанции); накопление информации о неисправностях АЛСН за месяц;

Таблица 8.3

Объект сбоя		Координаты сбоя				Показания светофора	
Серия локомотива	Номер локомотива	Направление движения	Шифр участка	Номер километра	Пикет	Локомотивного	напольного
ЧС04	00011	1	00	0852	2	Б	З
ВЛ60	00509	0	30	0024	6	О	Ж
ЭР9П	15509	0	40	0008	2	К	З
ТЭЗА	00073	1	00	1110	0	П	К
ТЭЗА	00073	1	00	1119	0	Н	К

1. Определять по номеру раздела: 0 – четное; 1 - нечетное.
2. Шифр показаний сигналов: К- красный; О- красно-желтый; Ж- желтый, З- зеленый; Б- белый; П- погасший; Н – отключенное устройство

ежесуточную выдачу проанализированных данных о нарушениях в работе устройств; выдачу за месяц общего числа сбоев по каждому участку или локомотиву; подсчет за месяц числа обоев на красный, красно-желтый и белый огни; выдачу накопленной информации по требованию в любой день месяца; накопление и систематизацию отказов в течение года по месяцам, кварталам, а также по дистанциям и депо; выдачу в начале года ведомости о сбоях АЛСН за истекший год по каждому депо, дистанции.

В процессе сбора информации возникшие нарушения устройств АЛСН воспринимает машинист локомотива, они фиксируются на скоростемерной ленте. По прибытии в депо машинист на обратной стороне ленты записывает на перегоне место сбоя с точностью до пикета и его характер, а в пределах станции — входные или выходные стрелочные секции, приемоотправочные пути. Информация о сбоях АЛСН, полученная после расшифровки лент и записей машинистов локомотивов, кодируется и переносится на макет. Пример заполнения макета приведен в табл. 27. Если три расшифровке лент не определены на станциях номера километров и пикеты, на которых произошел сбой, то место отказа кодируется при помощи каталога блок-участков.

Сбои на входных стрелочных секциях относятся к ординате оси станции, на приемо-отправочных путях — к ординате выходного светофора, на выходных стрелочных секциях — к ординатам первого проходного светофора. Закодированную информацию по макету за прошедшие сутки расшифровщик скоростемерных лент передает по телефону оператору локомотивного Диспетчера отделения. Последний собирает информацию о сбоях АЛСН со всех депо отделения, заполняет макет и передает его в отделение, а оттуда в вычислительный центр, где информация по макету обрабатывается на вычислительной машине.

Результаты обработки в виде сводных таблиц в четырех экземплярах передаются диспетчеру связи, в службы сигнализации и связи и локомотивного хозяйства, а также по

телеграфу информационной связи — в отделения (для каждого депо и дистанции сигнализации и связи).

На основании этих материалов указанные подразделения получают возможность принимать оперативные меры по устранению недостатков. Программа обработки информации позволяет надежно выявлять объекты, на которых возникают сбои АЛСН, и формировать сообщения для принятия оперативных мер. Для надежного выявления сбоев устройств АЛСН принято следующее условие: зафиксированным сбоем принято считать сбой, повторившийся не менее двух раз в течение трех дней на одном и том же объекте. Однократный сбой на каком-либо локомотиве или блок участке считается случайным, и информация о нем не попадает в выходной документ. Поступающая информация о сбоях содержит сведения о номере локомотива, месте и характере сбоя. Оперативная информация о сбое АЛСН передается на вычислительный центр ежедневно и, как правило, содержит 40—50 % однократных сбоев, которые поступают на временное хранение во внешнюю память ЭВМ. На структурной схеме обработки оперативной информации (рис. 3) цифры 1, 2 и 3 соответствуют закодированной информации первого, второго и третьего дней. В трех блоках Анализ на основании информации, накопленной в ЭВМ за три дня, выделяются зафиксированные сбои АЛСН и направляются в блок формирование выходных данных документов. В этом блоке информация систематизируется по потребителям и формируется в документы для передачи дистанциям сигнализации и связи, локомотивным депо и в службы.

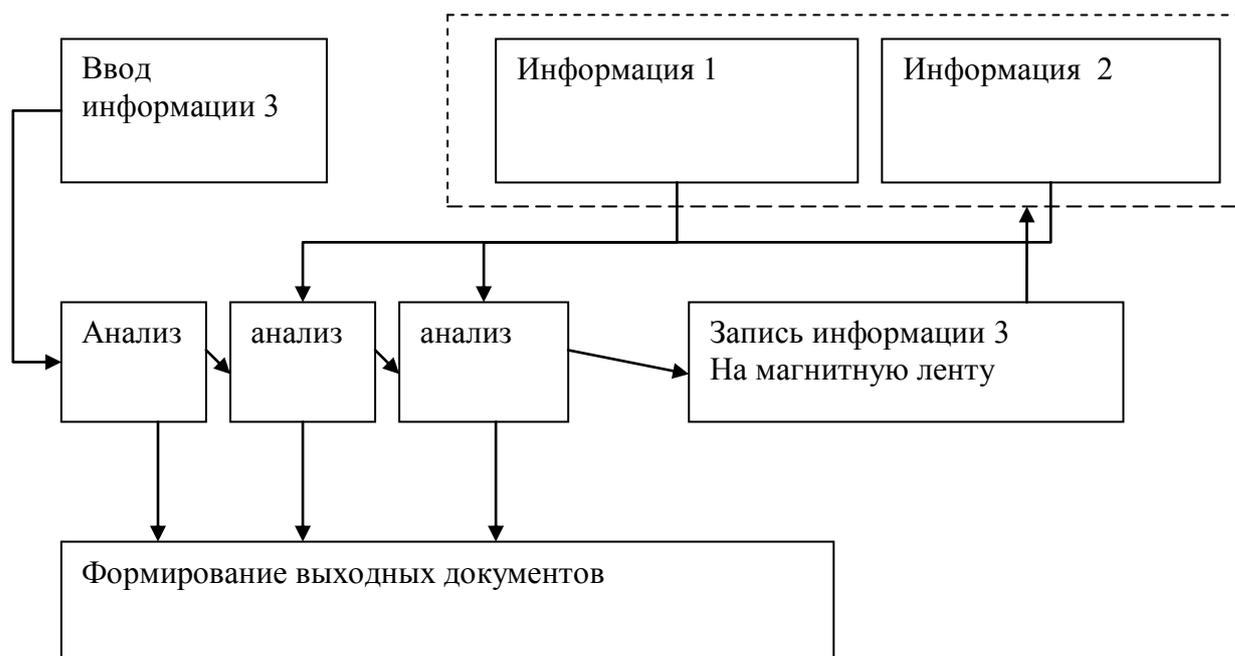


Рис.8.4. Структурная схема обработки оперативной информации

Кроме того, на протяжении месяца информация о зафиксированных сбоях сохраняется и накапливается в памяти ЭВМ, затем суммируется по каждому локомотиву и блок участку и может быть выдана в форме отчета по первому требованию потребителя. Из общей суммы зафиксированных сбоев в отчете выделяют особо опасные (появление красного, красно-желтого и белого огней).

Внедрение на дороге анализа отказов устройств АЛСН на ЭВМ дает возможность более точно вести ежесуточный анализ и учет сбоев в работе устройств АЛСН, где под контроль взят каждый локомотив, каждый километр кодированного пути, и оперативно

организовать устранение нарушений. Благодаря принятию этих мер значительно сократилось число сбоев устройств АЛСН.

8.4. Анализ статистических данных об отказах

Обработка статистического материала предполагает: классификацию отказов, формирование выборок и их анализ, проверку качества статистического материала, определение численных значений.

В процессе классификации данных необходимо установить число отказов по типам элементов и систем, характерность тех или иных видов отказов для систем и др. Кроме того, необходимо определить число отказов по таким признакам, как характер отказа, время восстановления, последствия и др.

Формирование выборок требует подсчета числа отказов для определенных систем одного и того же вида, например МРЦ, унифицированной релейной централизации и др., по годам введения систем в эксплуатацию и другим параметрам. При определении численных значений показателей надежности необходимо пользоваться формулами теории надежности.

Анализ информации о надежности начинается с проверки поступивших сведений, которые заключаются в тщательном контроле полноты и достоверности информации по каждому отказу. При этом контролируют наличие информации, дополнительных сведений, позволяющих выделить однородную информацию, периоды сбора. Кроме того, обязательно проверяют: наличие всех сообщений, связанных с данной неисправностью; согласованность данных о наработке к моменту данной неисправности с предыдущими; правильность информации о характере и причинах неисправности.

Затем собранный материал систематизируют. При этом всю информацию по данной неисправности можно принять за элемент информации. Тогда собранную информацию по отдельным Устройствам можно представить в виде последовательности таких элементов. Эти сведения располагают в таблицах, в каждой строке которой зафиксированы данные об отдельных элементах информации. Элементам информации соответствует набор [признаков, характеризующих устройство, которые, располагаясь в определенном порядке, дают возможность выделить однородные данные. Таблицы дают наглядное представление о собранной массе информации и являются компактной формой регистрации сведений.

Одной из форм, позволяющих нагляднее представить статистическую информацию об отказах, являются графики. На них по одной оси точками отмечают число замен элементов, регулировок или отказов. Аналогичные графики можно построить для времени восстановления, распределения отказов в течение суток, недели, месяца, года и др. По таким графикам, можно выявить, по каким устройствам нужно исследовать интересные величины.

При составлении таблиц (см. приложение 7), систематизирующих собранный материал, сведения заносят по элементам устройств. Группировка признаков, по которым проводится обработка данных, определяется в процессе учета, сбора и анализа информации. В основу группировки могут быть положены количественные признаки (год изготовления, дата возникновения отказа, наработка и др.), а также признаки, характеризующие тип системы или элемента, режим эксплуатации, характер или причину неисправности и др.

При анализе информации о надежности оценивают надежность устройств, т. е. сравнивают показатели надежности по результатам эксплуатации с заданными или по годам, а также выясняют факторы, влияющие на работоспособность устройств.

Вопросы:

1. Алсн.
2. Кодирование рц.

3. Сбои кодирования.

Ключевые слова:

1. Алсн.
2. Код
3. Сигнал

Лекция 9

Структура подразделений надежности в хозяйстве сигнализации и связи

ПЛАН ЛЕКЦИИ:

1. Структура подразделений надежности в хозяйстве сигнализации и связи;

9.1. Структура подразделений надежности в хозяйстве сигнализации и связи

Во всем многообразии подразделений хозяйства, подчиненного Главному управлению сигнализации и связи, существует стройная взаимосвязанная система обеспечения и повышения надежности действия устройств автоматики, телемеханики и связи. Принимая во внимание сложность и значение проблемы, для успешного ее решения организуют специальную систему (службу) надежности (рис. 4). Эта служба призвана координировать действия подразделений надежности научно-исследовательских и проектных институтов, заводов, строительных организаций и дорог; выполнять планомерную работу по комплексному повышению надежности устройств автоматики и связи на железнодорожном транспорте.

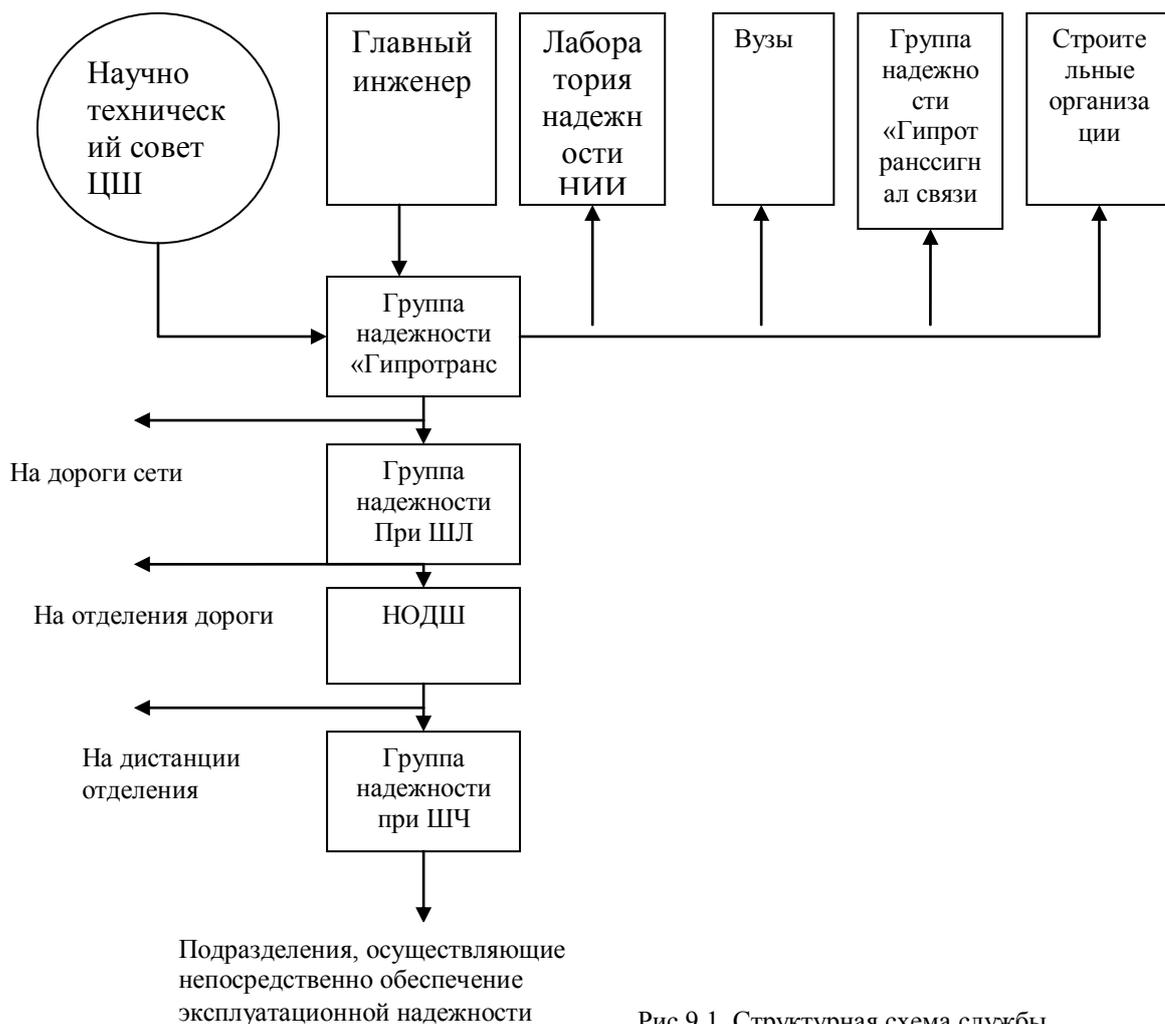


Рис.9.1. Структурная схема службы надежности

На структурной схеме показаны сплошными линиями пути координации работ (поступление руководящих указаний) организаций, подчиненных ЦШ; штриховой линией пути координации деятельности подразделений надежности других организаций. Специальная группа надежности ЦСС ЦШ координирует работы и руководит деятельностью всех подразделений по единой программе.

Принимая во внимание сложность и многообразие техники, а также необходимость обеспечения безотказности ее действия, при службах (в дорожных лабораториях) и дистанциях сигнализации и связи созданы специальные группы для анализа и координации работ по обеспечению надежности.

Группа надежности дорожной лаборатории, состоящая из двух-трех человек, анализирует отказы и разрабатывает меры по повышению надежности, на основе которых задается работа для остальных групп лаборатории. Деятельность дорожной лаборатории сосредоточена на обеспечении повышения надежности устройств. По мере накопления опыта и расширения тематики работ количественный состав группы надежности может быть изменен.

Группа надежности дистанции создана на базе уже существующей группы технической документации увеличением ее численности на одного — трех человек. В результате всестороннего анализа группа должна разрабатывать меры по систематическому повышению надежности устройств и контролировать их выполнение.

В своей работе группы надежности руководствуются утвержденным положением, которое может быть изменено и дополнено руководителями служб или дистанций. Изменения допускаются в пределах Типового положения о группах надежности в хозяйстве сигнализации и связи.

Группа надежности является структурным подразделением дистанции. Организацию и техническое руководство группой: осуществляет главный инженер дистанции.

В своей деятельности по повышению надежности устройств, группа руководствуется: Положением о группе надежности дистанции, руководящими техническими материалами вышестоящих организаций, Типовым положением о группах надежности в хозяйстве сигнализации и связи, утвержденным тематическим планом работ.

Группа надежности, являясь ведущим подразделением дистанции сигнализации и связи по вопросам надежности, осуществляет методическое руководство всеми цехами дистанции в работах по повышению надежности эксплуатируемых устройств. Основными направлениями работы группы надежности являются: анализ и разработка мер по повышению надежности устройств автоматики и связи, анализ схем и обеспечение дистанции высококачественной технической документацией. По-каждому из указанных направлений в группе имеется ведущий-инженер. Численность остального штата группы зависит от оснащенности дистанции и местных условий.

Работники группы надежности несут ответственность за следующее: изучение и анализ схем и документации эксплуатируемых систем, обеспечение соответствия их действующим устройствам, исправление ошибок и своевременное внесение в документацию заранее согласованных и утвержденных изменений;

организацию учета и сбора достоверной информации об отказах в работе устройств дистанции, ведение журнала формы ШУ-78 и регулярную передачу информации в группу надежности дорожной лаборатории, регулярный глубокий причинный анализ надежности работы устройств, осуществляемый на основе учета отказов и других объективных сведений;

изучение условий эксплуатации устройств автоматики и связи с целью выявления причин, влияющих на их надежность, ремонтпригодность и долговечность, а также разработку мер по повышению надежности устройств;

оказание помощи цехам при составлении годовых планов повышения надежности и составление планов работ по повышению надежности эксплуатируемых дистанцией систем автоматики и связи (совместно с руководителями цехов и инженерами участков) ;

подготовку технически обоснованных рекламаций по результатам анализа причин поставщикам аппаратуры, проектным и строительным организациям, контроль за результатами рекламаций;

подготовку к внедрению рекомендаций ЦШ, службы или группы надежности дорожной лаборатории;

систематический контроль за внедрением технических указаний, рекомендаций и рационализаторских предложений, направленных на повышение надежности, ремонтпригодности и долговечности устройств;

установление творческой связи с дистанциями сигнализации и связи и другими подразделениями, занимающимися вопросами надежности.

Вопросы:

1. Дайте определение «дорожная лаборатория»
2. Группа надежности

Ключевые слова:

1. Дорожная лаборатория
2. Группа надежности

Лекция 10

Организации работ в системе обеспечения эксплуатационной надёжности

1. ПЛАН РАБОТЫ:

2. Планирование работ по повышению надежности;
3. Применение логических схем для планирования работ по повышению надежности;
4. Организация и планирование работы групп надежности;
5. Повышение квалификации обслуживающего персонала;

10.1. Планирование работ по повышению надежности

• Эксплуатационная надежность оценивается безотказностью функционирования устройств и затратами на техническое обслуживание. Для повышения эксплуатационной надежности следует проводить комплекс организационно-технических и технологических мероприятий, обеспечивающих бесперебойное действие техники и снижение стоимости обслуживания. Система мероприятий по обеспечению эксплуатационной надежности (ОЭН) объединяет два основных направления работ (рис.5) — «составление рациональной программы и организацию ее выполнения.

• Основой системы ОЭН устройств автоматики и связи является выполнение технологического процесса, целью которого, как известно, является сохранение характеристик устройств в заданных пределах в течение промежутка времени между очередной профилактикой. На устройства непрерывно воздействуют различные помехи (табл. 10.1)

устройства непрерывно воздействуют различные помехи (табл. 10.1), вызывающие нарушения и работы.

При разработке систем невозможно предусмотреть полную защиту от воздействия помех и защита обходится неоправданно дорого. Поэтому технологический процесс обслуживания устройств строят с учетом сохранения параметров устройств в пределах, предусмотренных техническим условиями. Однако выполнение технологического процесса не всегда предотвращает факторы приводящие к отказам. Поэтому для совершенствования методов ОЭН необходимо совершенствовать технико-организационные меры по предупреждению отказов от воздействию помех или создавать новую технологию обслуживания устройств.

- Помеха
- Причины возникновения
- Внешние физические воздействия (замыкание рельсовых цепей, набросы отрезков проволоки на провода воздушных линий связи и т.д.)

- Ошибки персонала служб пути, движения, сигнализации и связи Ошибки операторов (ДСП, телеграфистов)
- Климатические воздействия Ненадежность электроснабжения Электрические влияния
- Невозможность защиты Недостаточные квалификация и опыт персонала Недостаточная квалификация, плохое освещение, шум и другие факторы Невозможность учета разнообразия факторов при разработке аппаратуры Недостатки в системах энергоснабжения Постройка ЛЭП высокого напряжения и перераспределение анодных зон от влияния тяговой сети и др.
- В течение года ГППН дополняются мероприятиями по предотвращению возможных неисправностей (принцип обратной связи). Выполнение ГППН регулярно проверяется и стимулируется системой материального и морального поощрения.
- Для обеспечения высокого уровня планирования целесообразно использовать логически* схемы, позволяющие провести глубокий анализ надежности любой системы автоматики или связи и на его основе составить план повышения надежности. Перспективный план повышения надежности™ работы устройств должен учитывать все ранее имевшиеся технические указания и рекомендации Поэтому для каждой системы автоматики и связи должны быть централизованно составлены рекомендации, подлежащие обязательному включению в план.
- Каждое подразделение дает рекомендации, учитываемые при составлении плана Контроль выполнения и эффективность принятых мер определяются сравнением статистически? данных об отказах в I- (до выполнения работ по плану) и II (после выполнения работ по плану) периодах. Первоначально, пока нет централизованных рекомендаций, в планах необходимо
- учитывать имеющиеся технические указания и передовой опыт. ГППН составляют инженер и старший электромеханик, а утверждает руководитель дистанции.
- Планы дополнительных работ составляют и успешно реализуют на многих дистанциях. Новым и важным делом для всех подразделений хозяйства сигнализации и связи должно стать составление и выполнение ГППН как обязательной составной части системы ОЭН.
- Надежность работы устройств во многом зависит от уровня организации обслуживания, что требует дальнейшего ее совершенствования. Совершенствование технологии обслуживания позволит высвободить больше времени для выполнения ГППН и повысить качество выполнения технологического процесса.
- Как показали опыт и расчеты, только реорганизация околотков в бригады на электрических централизациях повысила производительность труда на 10—12 %. Применение бригадного метода в большинстве цехов дистанции позволяет сократить непроизводительные потери времени.
- Хронометраж работы электромехаников автоблокировки, линейно-аппаратного зала и местной связи показал, что 10—20% потерь рабочего времени вызваны низким уровнем оперативного планирования работ и отсутствием материальной заинтересованности в повышении производительности труда. Поэтому резервы времени, необходимого для выполнения ГППН, можно выявить при глубоком анализе и реорганизации работ.
- Опыт показал, что чем больше на участке проведено работ по повышению надежности, тем меньше времени уходит в дальнейшем на выполнение технологического процесса. Например, использование на стативах панели для контроля напряжения подается больше времени для дополнительных работ.
- Повышение качества выполнения технологического процесса также обусловлено уровнем организации работ. Оперативное планирование работ в цехе должно обеспечить четкое сочетание операций при выполнении технологического процесса и ГППН Целесообразно использовать различные формы месячных планов-графиков. Удобство таких графиков заключается в том, что весь комплекс работ учитывается в едином документе.

•

10.2. Применение логических схем для планирования работ по повышению надежности

• Логические схемы обеспечивают системное и объективное составление планов. Логическая схема, в основу построения которой заложен принцип причинного анализа надежности, представляет комплект логически взаимосвязанных вопросов и рекомендаций, используемых для анализа и разработки мер повышения надежности устройств.

• Любой сложный процесс воздействия обслуживающего персонала на технические устройства принято рассматривать как I систему «человек — машина». Если систему ОЭН устройств автоматики и связи рассматривать как систему «человек — машина» то логическая схема эксплуатационной надежности будет отражать вопросы совершенствования технической системы и системы обслуживания. Логическая схема позволяет найти взаимодействие обслуживающего персонала с технической системой, при котором общие затраты средств на Г обеспечение бесперебойной работы устройств будут минимальными.

Логическую схему мероприятий по повышению надежности. I устройств строят в три этапа: на первом рассматривают существующее положение и выявляют недостатки, на втором разрабатывают меры по повышению надежности, на третьем эти меры осуществляют

• Надежность действия технических устройств зависит от рациональности общей логической схемы и состояния технической I документации, наличия современной испытательной и измерительной аппаратуры, надежности элементов и узлов аппаратуры, удобства их ремонта и замены, эффективности мер защиты

• от помех и вредного внешнего воздействия, состояния электрических параметров элементов устройств, наличия и надежности резервирования питания и отдельных элементов, узлов и запасного оборудования. Надежность анализируют по факторам, которые в логической схеме отнесены к тем основным элементам системы, с которыми они в большей степени связаны. В результате анализа разрабатывают меры по повышению надежности.

• Рассмотрим основные факторы, определяющие надежность системы в эксплуатации.

• 1. Рациональность общей логической схемы и документации. В процессе эксплуатации выявляются недостатки схемных решений и ошибки, допущенные в проектировании и строитель-

• стве, которые необходимо проанализировать, исправить. Основным руководящим документом для обслуживающего персонала является технико-эксплуатационный паспорт системы который содержит техническое описание, электрические характеристики системы, варианты резервирования, таблицы о неисправностях и другие нормативные данные технического содержания устройств.

• Использование устройств для испытаний и измерений. Для обеспечения надежной работы системы необходимо контролировать режим работы устройств, проводя необходимые измерения. Точность измерений, рациональное выполнение монтажа измерительных цепей, включение сигнализации о неисправностях и в предаварийном режиме работы и использование приборов авторегулирования значительно повышают производительность труда и надежность работы системы. Надежность элементов и узлов системы. Основой надежной работы системы является высокая надежность элементов и постоянный -контроль за их качеством проверкой аппаратуры в РТУ и предварительным испытанием приборов (светофорные лампы, ячейки и т. д.). При анализе надежности систем целесообразно действия операторов (ДСП, диспетчеров, телеграфистов и др.) рассматривать как надежные элементы системы. Поэтому для уменьшения отказов необходимо ввести постоянное повышение квалификации операторов и совершенствование аппаратов.

- Удобство ремонта и замены приборов. Быстрота устранения неисправности зависит, как уже отмечалось, от ремонтпригодности схем, а также от оснащенности инструментами и приспособлениями.
- Состояние электрических параметров устройств и элементов. Каждая электрическая цепь системы обладает заданными характеристиками, отклонение которых от норм снижает надежность устройств. Для улучшения состояния электрических параметров устройств и контроля за ними необходимо повысить точность измерений за счет применения средств измерений повышенной точности и внедрить рациональные способы восстановления заданных электрических характеристик.
- Резервирование. Одним из самых эффективных способов обеспечения безотказной работы системы автоматики и связи является резервирование ее основных частей и элементов. Для резервирования магистралей и каналов передачи информации определяют роль этих каналов в работе устройств, а также рассматривают рациональность резервирования наиболее ответственных цепей (диспетчерская связь, цепи пригласительных сигналов и др.). При резервировании питания анализируют надежность основного и резервного источника питания и принимают решение о целесообразности - дополнительного резервирования. При резервировании узлов и элементов системы определяют эффективность способов резервирования наиболее ответственных приборов.
- Различные усовершенствования, связанные с изменением существующих схем или их дополнением, должны производиться с большой осторожностью, так как улучшение восстанавливаемости может вызвать ослабление защищенности схем и отказы. Любое изменение в схемах или конструкциях устройств СЦБ должно производиться порядком, установленным МПС.
- Основными организационными факторами, определяющими надежность системы, являются: метод организации и технологии обслуживания, организация устранения отказов, личный качества персонала, система учета и анализа отказов.
- К мерам по ускорению устранения отказов относятся: составление информационных диаграмм и таблиц поиска неисправностей; обучение обслуживающего персонала способам отыскания и устранения повреждений, вызвавших отказ: рациональная система вызова оперативных работников; организация дежурства на дому при бессменной работе; доставка оперативных работников к месту повреждения транспортными средствами.
- Личные качества обслуживающего персонала (работоспособность, квалификация, отношение к труду, организаторские и творческие способности, «надежность» три опасных и неожиданных ситуациях и др.) очень важны для обеспечения безотказной работы устройств. При анализе современных систем «человек—машина» следует рассматривать такие аспекты, как технический и психологический. Последний, как правило, при составлении планов надежности не учитывают. Наряду с повышением квалификации и работоспособности обслуживающего персонала необходимо учитывать и психофизиологические качества (реакцию на опасные и неожиданные ситуации, способность к быстрому анализу и др.). При групповой деятельности людей (в бригадах, сменах) большое значение имеют вопросы психологической совместимости, поэтому в ГППН следует включать изучение проблем технической психологии и использование рекомендаций этой науки.

10.3. Организация и планирование работы групп надежности

- Планирование работ по повышению надежности элементов и систем автоматики, находящихся в эксплуатации, осуществляется группой надежности дистанции сигнализации и связи и дорожной лабораторией. Планы работы утверждаются руководством дистанции и службы.
- В плане должны быть предусмотрены: техническая и организационная подготовка обслуживающего персонала, для чего необходимо изучить ПТЭ, Инструкцию по

сигнализации на железных дорогах Союза ССР, правила техники безопасности, инструкции по техническому содержанию и другие инструктивные материалы; создание специальных технических материалов, способствующих повышению уровня знаний обслуживающего персонала (пособий и инструкций с подробными чертежами, схемами, фотографиями, рисунками, графиками); создание специальных тренажеров, действующих макетов и стендов; привлечение к подготовке персонала квалифицированных специалистов' из проектных организаций, учебных заведений и с заводов- изготовителей.

- В план необходимо включить вопросы обеспечения надежности при транспортировке и хранении. При этом необходимо обратить внимание на способы упаковки и консервации, анализ влияния условий транспортировки и хранения на надежность устройств. В плане также должны освещаться вопросы изучения способов хранения запасных приборов, опыта проведения ремонтов аналогичных устройств уточнения норм запасных элементов. Для контроля за выполнением плана служат периодические отчеты об анализе статистических данных по отказам.

- При составлении планов повышения надежности необходимо учитывать приказы, указания и рекомендации МПС, ЦШ, ГТСС, Ш и ШЧ.

10.4. Повышение квалификации обслуживающего персонала

- Очевидно, что число ошибок будет тем меньше, чем выше квалификация обслуживающего персонала, лучше знания техники и прочие навыки в работе.

- Важным звеном в повышении квалификации обслуживающего персонала является организация и проведение технической учебы по конкретным видам устройств (электрическая централизация, автоблокировка, полуавтоматическая блокировка). При проведении технических занятий в основу изучения устройств электрической централизации должна быть положена программа, состоящая из шести разделов:

- I. «Системы электрической централизации и перспективы развития. Решения XXVII съезда КПСС по железнодорожному транспорту», II. «Стрелочные электроприводы. Особенности устройства и применения», III. «Штепсельные реле и релейные -блоки электрической централизации. Конструкция реле и блоков», IV. «Релейная централизация с центральными зависимостями и местным питанием. Пульт управления и электрические схемы, V. «Унифицированная релейная централизация. Принцип построения схем. Отличительные особенности унифицированной централизации. Принципиальные схемы исполнительной и сборной групп», VI. «Маршрутно-релейная централизация блочного типа. Преимущества блочной электрической централизации».

- Для сокращения времени поиска отказов разработан ряд методов, совокупность которых составляет основу новой, быстро развивающейся научной дисциплины, получившей название технической диагностики.

- Методы диагностики дают возможность построить такую последовательность контрольных и проверочных операций, при которой среднее время поиска окажется минимальным. Следует иметь в виду, что даже при пользовании самой совершенной системой поиска затраченное время в отдельных случаях при редко встречающихся отказах может оказаться больше, чем при случайных проверках, хотя вероятность таких случаев невелика. Поэтому нельзя сказать, что

- любая, заранее составленная программа приведет к минимальному времени поиска в каждом случае, но можно утверждать, что она приведет к минимальному времени в большинстве случаев, или, как было отмечено выше, к минимальному среднему времени поиска.

- Для отыскания отказавших элементов и проверки работоспособности систем в целом широко применяют два основных метода поиска — комбинационный и последовательный.

- Комбинационный поиск характерен тем, что все проверки намечаются заранее, и относительный порядок их применения не имеет значения. По окончании всех проверок

анализируют полученные результаты и устанавливают отказавший элемент или делают вывод о исправности системы. Такой метод поиска носит также название, тестовый контроль, а последовательность проверки, достаточная для вывода об исправности системы или отыскания отказавшего элемента, тест.

- В устройствах СЦБ комбинационный метод поиска или тестовый контроль применяют, когда заранее не известно, исправна система или нет, главным образом в процессе приемки новых устройств (предпусковые проверки по специальным программ) и при проверке блоков на специальных стендах. Во всех остальных случаях применяют последовательный поиск, который предусматривает наличие зафиксированного отказа.

10.5. Влияние надежности устройств на безопасность движения поездов

- Теоретически считается, что вероятность нарушения безопасности движения поездов на станциях и перегонах должна равняться нулю. Практически вероятность нарушения безопасности движения поездов, близкая к нулевому уровню, на железнодорожном транспорте зависит: от работников, несущих персональную ответственность за организацию перевозочного процесса и безопасность движения поездов и обменивающихся по каналам прямой и обратной связи информацией о состоянии технических транспортных систем и организации безопасного движения поездов; от графиков движения поездов и технико-распорядительных актов работы станций и других документов по организации безопасного перевозочного процесса; от систем железнодорожной автоматики и телемеханики, обеспечивающих безопасность движения поездов и необходимую пропускную способность.

- Безопасность движения поездов с точки зрения службы сигнализации и связи есть надежное исключение столкновения поездов «схода их с пути при движении, по станциям и перегонам. Столкновения исключают перегонные и станционные светофоры, обеспечивающие безопасное расстояние между поездами при регулировании их движения, а при вынужденных экстренных остановках или отказе приборов и схем — работники службы движения, сигнализации и связи, локомотивного хозяйства. Таким образом, обеспечение безопасности движения поездов зависит от объективных и субъективных факторов, обуславливающих вероятность безопасного движения, т. е. от надежности работы всех технических устройств, в том числе систем автоматики и телемеханики, и надежности исполнения своих служебных обязанностей работниками всех служб.

Вопросы

1. Что характеризует надежность аппаратуры?
2. Причины отказа конденсаторов?
3. Значение и надежность предохранителей, резисторов?
4. Причины отказа кабельных линий?
5. Способы сохранности кабельных линий?
6. Дайте объяснение термину «отказ»?

Ключевые слова:

1. Конденсатор
2. Отказ
3. Аппаратура
4. резистор

Оценка и контроль эффективности структурированного резервирования

План лекции

1. Контроль технического состояния объектов в процессе их эксплуатации.
2. Контроль и оценка эффективности структурного резервирования.

Контроль технического состояния объектов в процессе их эксплуатации

Использование любых технических средств сопровождается контролем их технического состояния. Без предварительной проверки исправности объекты нельзя включать в работу.

АСУ может нормально функционировать тогда, когда создается возможность получить непрерывно информацию о техническом состоянии.

Существуют следующие основные виды контроля:

- 1) По целевому назначению различают контроль работоспособности, диагностический и прогнозирующий.

Контроль работоспособности осуществляется с целью определения, в каком состоянии находится объект - работоспособном или неработоспособном.

Диагностический контроль не только определяет состояние объекта, но и причину его неисправности, если он находится в неисправном состоянии.

Прогнозирующий контроль предназначен не только для того, чтобы определить состояние объекта, но также и для того, чтобы определить, какие отказы возможны в объекте в ближайший момент времени, с тем чтобы своевременно принять меры по их устранению.

- 2) По степени автоматизации контроль может быть автоматическим, автоматизированным и ручным.
- 3) По временным характеристикам различают контроль периодический и непрерывный.
- 4) По полноте контроля может быть контроль *полный* и *частичный*.
- 5) По используемым методам контроль бывает *прямым* и *косвенным*. *Прямой контроль* - контроль, основанный на непосредственном (прямом) измерении параметров, определяющих техническое состояние объекта. *Косвенный контроль* - контроль, основанный на наблюдениях косвенных (побочных, сопутствующих) признаков, которые могут быть использованы для определения или прогнозирования технического состояния (повышенный нагрев, шум и т.д.)

Прямой контроль, в свою очередь может быть *программным* и *аппаратным*.

а) *Программный контроль* - основан на использовании специальных программ, он, в свою очередь, подразделяется на контроль *программно-логический* и *тестовый*.

б) *Аппаратурный контроль* - контроль, осуществляемый с помощью специальной контрольной аппаратуры, введенной в структуру объекта.

Контроль и оценка эффективности структурного резервирования

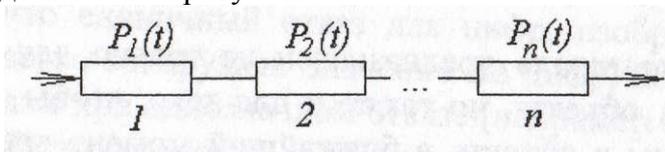
Для контроля и оценки эффективности структурного резервирования используют структурные модели надежности.

Последовательная модель надежности представляет собой систему, состоящую из двух и более функциональных элементов, соединенных последовательно, отличительной особенностью такой модели является условие работоспособности, суть которого состоит в

том, что система остается работоспособной, если все элементы модели исправны. При выходе из строя хотя бы одного элемента система переходит в неисправное состояние.

На основании теоремы умножения вероятностей независимых событий формулируется правило: вероятность безотказной работы последовательной модели надежности равна произведению вероятностей безотказной работы отдельных ее элементов.

Простейшая последовательная модель надежности состоящая из n элементов, представлена на рисунке:



Вероятности безотказной работы элементов модели обозначили соответственно:

$$P_1(t), P_2(t), \dots, P_n(t).$$

С учетом выражения (1) вероятность безотказной работы модели будет:

$$P_C(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (2)$$

а вероятность появления в ней отказа:

$$\Theta_C(t) = 1 - \prod_{i=1}^n P_i(t).$$

При условии, что модель состоит из одинаковых элементов, имеющих равные вероятности безотказной работы $P_{fi} = P_k(t)$, выражения (2) и (3) соответственно преобразуются:

$$P_C(t) = P_k^n(t); \quad \Theta_C(t) = 1 - P_k^n(t).$$

Параллельная модель надежности отображает систему, состоящую из двух и более независимых функциональных элементов, соединенных параллельно. Условие работоспособности модели состоит в том, что система остается работоспособной, если хотя бы один из элементов находится в исправном состоянии. На основании этого свойства с использованием теоремы умножения вероятностей называемых событий, формулируется правило: вероятность отказа параллельной модели надежности равна произведению вероятностей отказов отдельных ее элементов.

Наиболее важные показатели надёжности невосстанавливаемых объектов – показатели безотказности, к которым относятся:

- **вероятность безотказной работы;**
- **плотность распределения отказов;**
- **интенсивность отказов;**
- **средняя наработка до отказа.**

Показатели надёжности представляются в двух формах (определениях):

- статистическая (выборочные оценки);
- вероятностная.

Статистические определения (выборочные оценки) показателей получаются по результатам испытаний на надёжность.

Допустим, что в ходе испытаний какого-то числа однотипных объектов получено конечное число интересующего нас параметра – наработки до отказа. Полученные числа представляют собой выборку некоего объема из общей «генеральной совокупности», имеющей неограниченный объем данных о наработке до отказа объекта.

Количественные показатели, определённые для «генеральной совокупности», являются истинными (вероятностными) показателями, поскольку объективно характеризуют случайную величину – наработку до отказа.

Показатели, определённые для выборки, и, позволяющие сделать какие-то выводы о случайной величине, являются выборочными (статистическими) оценками. Очевидно, что при достаточно большом числе испытаний (большой выборке) оценки приближаются к вероятностным показателям.

Ключевые слова: программный контроль, тестовый контроль, прямой контроль.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные виды контроля.
2. Контроль и оценка резервирования.

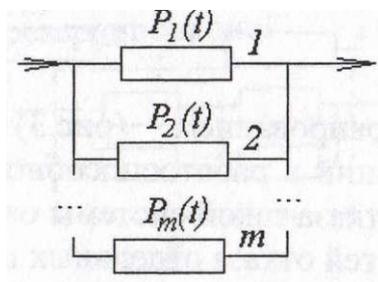
Лекция № 12

Эффективность структурного резервирования

План лекции

1. Надежность элементов железнодорожной автоматики
2. Структурная схема параллельной модели.
3. Виды резервирования.

Структурная схема параллельной модели надежности, состоящей из m элементов, представлена на рисунке:



Здесь с учетом сформулированного правила вероятность отказа $Q_c(t)$ и вероятность безотказной работы $P_f(t)$ параллельной модели надежности определим из следующих выражений:

$$(4) \quad Q_c(t) = \prod_{i=1}^m [1 - P_i(t)];$$

$$P_C(T) = 1 - \prod_{i=1}^m [1 - P_i(t)]. \quad (5)$$

В случае одинаковой вероятности безотказной работы всех элементов параллельной модели, то есть при $P_i(t) = P_k(t)$, выражения (4), (5) примут следующий вид: (6)

$$P_C(t) = 1 - [1 - P_k(t)]^m; \quad \Theta_C(t) = [1 - P_k(t)]^m. \quad (7)$$

Рассмотренные модели являются основой для построения методов резервирования, осуществляемых применением общего, резервного или смешанного соединения резервных элементов.

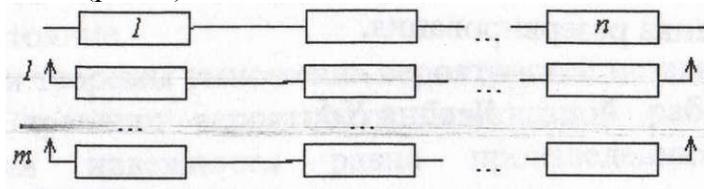
Общее резервирование состоит из резервирования всех схем в целом.

Раздельное резервирование обеспечивает дублирование отдельных узлов схем, ее элементов и внутри элементных связей.

При *смешанном* резервировании в схеме дублируются как отдельные узлы, так и некоторые элементы в этих узлах.

Рассмотрим более подробно общее и раздельное резервирование по элементам.

Общее резервирование (рис. 3):



Благодаря простоте реализации давно применяется в конструировании железнодорожной аппаратуры, однако раздельное резервирование (рис. 4) более эффективно:

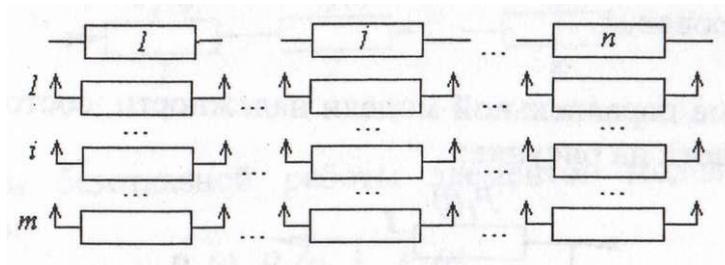


Схема с общим резервированием (рис.3) будет нормально функционировать при сохранении в работоспособном состоянии хотя бы одной из цепей. Вероятность отказа такой системы определяется на основе теоремы умножения вероятностей отказа отдельных цепей:

$$Q_{об}(t) = \prod_{i=1}^{m+1} g_i(t), \quad (8)$$

где $Q_{об}(t)$ - вероятность отказа схем с общим резервированием; $g_i(t)$ - вероятность отказа отдельных цепей, каждая из которых состоит из n элементов; t - кратность резервирования.

Вероятность безотказной работы схемы с общим резервированием:

$$P_{об}(t) = 1 - Q_{об}(t) = 1 - \prod_{i=1}^{m+1} [1 - P_i(t)], \quad (9)$$

$$P_i(t) = \prod_{j=1}^n P_{ij}(t)$$

где $P_i(t)$ - вероятность безотказной работы i -й цепи. Вероятность безотказной работы 1-й цепи, состоящей из p элементов, определим, используя теорему умножения вероятностей:

(10)

где $P_i(t)$ - вероятность безотказной работы j -го элемента g -й цепи. Используя равенство (10), преобразуем выражение (9):

$$P_{OB}(t) = 1 - \prod_{i=1}^{m+1} [1 - \prod_{j=1}^n P_{ij}(t)]. \quad (u)$$

Для схемы с отдельным резервированием, используя уравнение (9), определим вероятность безотказной работы отдельных элементов с

резервированием. Тогда выражение для общей вероятности безотказной работы схемы с отдельным резервированием будет иметь следующий вид:

Для случая, когда все элементы одинаковы по надежности и каждая из цепей схемы с общим резервированием состоит из p последовательно выключенных элементов, выражение для вероятности безотказной работы схемы с общим резервированием преобразуется:

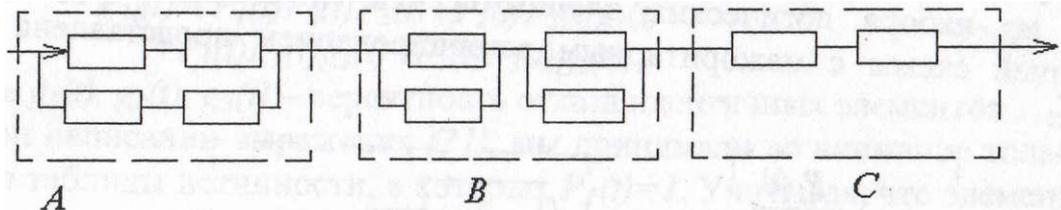
$$P_{OB}(t) = H \wedge (t) P^{m+1}, \quad (13)$$

где $P(t)$ - вероятность безотказной работы отдельного элемента. Для схемы с отдельным резервированием с учетом идентичных предыдущему условий, получим:

$$P_{PA3}(t) = [1 - P(t)]^{m+1} r. \quad (14)$$

В реальных схемах может быть использовано смешанное резервирование, при котором отдельные элементы и узлы имеют как отдельное, так и общее резервирование:

В этом случае для определения эффективности резервирования и расчета надежности



модели $P_{сп}(смеш. рез.)$ (0 необходимо выделить в схеме участка с одинаковыми методами резервирования и определить надежность каждого из них, после чего в зависимости от характера укрепленной модели, сведенной к последовательному или параллельному соединению элементов, определить надежность моделируемой схемы с учетом всех переменных в ней методов резервирования.

Определим эффективность общего и отдельного методов резервирования, для чего

$$P(t) = 1 - g(t),$$

преобразуем выражения (13) и (14), используя следующие соотношения:

где $P(t)$ - вероятность отказа отдельного элемента в рассматриваемой схеме.

Подставив данные соотношения в выражения (13) и (14) окончательно получим:

(15)

$$P_{OB}(t) = 1 - \{1 - [1 - g(t)]^n\}^{m+1};$$

(16)

$$P_{PA3}(t) = [1 - g^{m+1}(t)]^n.$$

В связи с тем, что вероятность безотказной работы отдельных элементов железнодорожного транспорта $P(t)$ близка к единице, а вероятность отказов $g_i(t)$ соответственно очень мала, разложим выражения (15) и (16) в ряды по степеням n и

пренебрегая членами с g в степени выше первой, получим упрощение формулы для определения $P_{обO}$ и $P_{разO}$ - С учетом сказанного можем записать:

$$[1-g(t)]^n \approx 1-ng(t), \quad (17)$$

используя (17), выражения (15) и (16) преобразуем:

(18)

$$\begin{aligned} P_{обO}(t) &= 1-[ng(t)]^{m+1}; & Q_{обO}(t) &= [ng(t)]^{m+1}. \\ P_{разO}(t) &= 1-ng^{m+1}(t); & Q_{разO}(t) &= ng^{m+1}(t), \end{aligned} \quad (19)$$

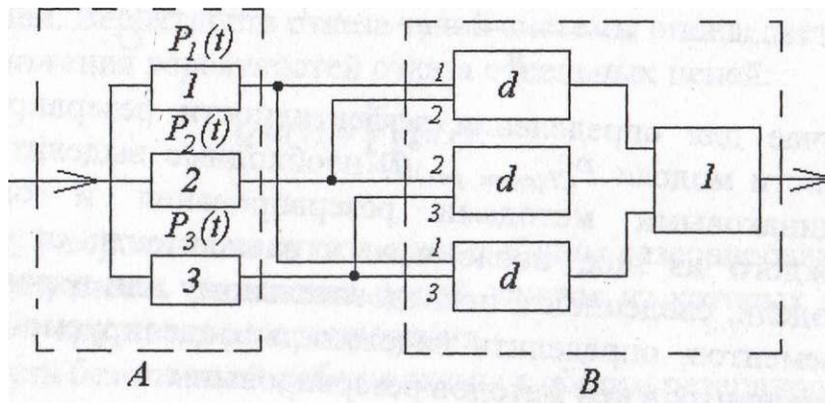
где $Q_{раз}$ - вероятность отказа схемы с отдельным резервированием.

Отношение вероятности отказа схемы с общим резервированием к вероятности отказа схемы с отдельным резервированием:

$$Q_{обO}(t)/Q_{разO}(t)=n^m \quad (20)$$

показывает, что отдельное резервирование в n^m раз эффективнее общего.

Кроме рассмотренных выше методов, широкое распространение получило так называемое мажоритарное резервирование, которое является одной из разновидностей структурной избыточности схем: Наибольшее распространение получили «голосование» два из трех. Выполняются они обычно из набора логических элементов «И» и «ИЛИ». Структура простейшей схемы с мажоритарным резервированием представлена на рисунке:



Здесь элементы 1,2,3 узла А, выполняют одинаковые функции и имеют вероятность безотказной работы соответственно:

$$P_1(t), P_2(t), P_3(t).$$

Узел Б, состоящий из логических элементов «И» и «ИЛИ», является мажоритарным элементом, осуществляющим функцию голосования.

Обозначим вероятность безотказной работы мажоритарного элемента

$$P_p(t).$$

Все возможные состояния схемы с мажоритарным резервированием сведем в таблицу истинности. Состояния отказа и работоспособности обозначим соответственно символами 0 и 1.

PM	$p_2(t)$	$p_3(t)$	$p_4(t)$
0	1	1	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	0	0	0
1	1	1	1
1	0	0	0
1	1	0	1
1	0	1	1

Предположив вероятность отказа мажоритарного элемента P_{pf}^1 и с учетом таблицы истинности, можем определить вероятность безотказной работы схемы с мажоритарным элементом $P_M(t)$ (схемы) из следующего выражения:

$$P_M(t) = P_1(t)P_2(t)P_3(t) + P_2(t)P_3(t)g_1(t) + P_1(t)P_2(t)g_3(t) + P_1(t)P_3(t)g_2(t), \quad (21)$$

где $g_1(t)$, $g_2(t)$, $g_3(t)$ - вероятность отказа идентичных элементов 1, 2, 3.

При написании выражения (21), мы принимали во внимание только те строки таблицы истинности, в которых $P_p(t)=1$. Учитывая, что элементы 1, 2, 3 идентичны, мы можем положить, что:

$$P_1(t) = P_2(t) = P_3(t) = P(t) \\ g_1(t) = g_2(t) = g_3(t) = g(t). \quad \text{и}$$

С учетом этого допущения выражение (21) преобразуем следующим образом: (22)

$$P_M(t) = P_2(t)[3 - 2P(t)]$$

Предположим вероятность безотказной работы элемента $P(t)=0.99$ и определим вероятность безотказной работы схемы с мажоритарным резервированием при трех идентичных элементах в схеме. Используя (22), получаем:

$$P_M(t) = 0.99^2(3 - 2 \cdot 0.99) = 0.9996.$$

Таким образом, с помощью мажоритарного резервирования надежность схемы увеличилась более чем на порядок.

Ключевые слова: общее резервирование, отдельное резервирование, смешанное резервирование.

Контрольные вопросы

1. Перечислить основные виды контроля.
2. Показать общее и отдельное резервирование по элементам.

Лекция № 13

Случайные величины и случайные события

План лекции

1. Требование к точности расчетов надежности.
 2. Погрешности расчетных формул.
 3. Погрешности расчета, вызванные неполнотой учета действующих факторов.

Требование к точности расчетов надежности

Точность расчета, так же как и точность любых измерений, - это степень совпадения результатов расчета (измерения) с идеальным значением рассчитываемой измеряемой величиной.

Количественно точность расчета определяется ошибкой расчета:

$$\Delta(p) = (p - p_0) \quad (1)$$

где: p_0 - идентичное (получаемое) и идеально точное значение результата.

Основным источником ошибок расчета надежностей является:

- 1) погрешность расчетных формул;
- 2) погрешности величин, используемых в качестве исходных величин;
- 3) частота учета действующих факторов.

Погрешности расчетных формул

В этом случае, когда точная формула содержит такие составляющие потери, которые весьма в малой степени влияют на результат расчета, но учет которых существенно усложняет расчет, целесообразно пользоваться не точной, а приближенной формулой.

- 1) В практике расчетов используется приближенная формула:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t;$$

точная формула такова:

$$p(t) = e^{-\lambda t} = 1 - \lambda t + \frac{1}{2} (\lambda t)^2 - \frac{1}{6} (\lambda t)^3 + \dots$$

Если $\lambda t < 0.1$, то ошибка определяется $P(t)$ по приближенной формуле и становится малой, при $\lambda t \gg 0.1$ - возникает значительная ошибка.

- 2) Средняя наработка на отказ изделия, состоящего из основного и резервного:

$$T_0 = (\mu + 3\lambda) / (2\lambda^2),$$

где μ - интенсивность отказа;
 λ - интенсивность восстановления.

Приближенная формула, часто используемая для расчета: $T_0 \approx \mu / (2\lambda^2)$. У) Коэффициент готовности K_g изделия, состоящего из двух последовательно соединенных восстанавливаемых изделий

- 4) Точность формулы для определения коэффициента готовности K_g восстанавливаемого изделия такова:

$$A + i A + u$$

Второй член правой части этой формулы существенно меньше первого даже при $t=0$. С течением времени этот член достаточно быстро уменьшается, поэтому для расчетов используется приближенная формула:

$$K_g \approx \mu / (\lambda + \mu)$$

- 5) При расчетах надежности обычно принимается, что закон распределения времени до отказа - экспоненциальный. Это существенно упрощает расчеты, но иногда приводит к методическим погрешностям в них.

Погрешности расчета, вызванные неполнотой учета действующих факторов

На формирование показателей надежности влияет большое число факторов. Все трудно и практически даже невозможно учесть при расчетах.

Поэтому результат расчетов всегда имеет приближенный характер. При расчетах надежности сложного изделия ставится задача: определить главное значение показателей его надежности, зависящей от средних значений показателей надежности элементов изделия, при заданной его конфигурации, контроле и восстановлении работоспособности в предположении об экспоненциальном законе распределения времени до отказа. При

такой постановке задачи остаются не учитываемыми ряд действующих факторов, в том числе и такие, как влияние качества программ*, влияния характера выполняемой задачи; влияния характера потока заявок, выполняемых изделием; организация вычислительного процесса, либо организация передачи данных и т.д.

Вероятностная форма представления показателей удобна при аналитических расчетах, а статистическая - при экспериментальном исследовании надежности.

В дальнейшем для обозначения статистических оценок будем использовать знак $\hat{}$ сверху.

В дальнейших рассуждениях будем исходить из того, что испытания проходят N одинаковых объектов. Условия испытаний одинаковы, а испытания каждого из объектов проводятся до его отказа. Введем следующие обозначения:

$T = \{ t, t_1, \dots, t_N \} = \{ t \}$ - случайная величина наработки объекта до отказа;

$N(t)$ - число объектов, работоспособных к моменту наработки t ;

$n(t)$ - число объектов, отказавших к моменту наработки t ;

$\Delta n(t, t + \Delta t)$ - число объектов, отказавших в интервале наработки $[t, t + \Delta t]$;

Δt - длительность интервала наработки.

Вероятность безотказной работы (ВБР)

и вероятность отказа (ВО)

Статистическое определение ВБР (эмпирическая функция надёжности) определяется по формуле:

$$\hat{P}(t) = \frac{N(t)}{N} \quad (1)$$

т.е. ВБР есть отношение числа объектов ($N(t)$), безотказно проработавших до момента наработки t , к числу объектов, исправных к началу испытаний ($t=0$), т.е. к общему числу объектов N . ВБР можно рассматривать как показатель доли работоспособных объектов к моменту наработки t .

Поскольку $N(t) = N - n(t)$, то ВБР можно определить как

$$\hat{P}(t) = 1 - \frac{n(t)}{N} = 1 - \hat{Q}(t) \quad (2)$$

где $\hat{Q}(t) = \frac{n(t)}{N}$ - вероятность отказа (ВО).

В статистическом определении ВО представляет эмпирическую функцию распределения отказов.

Так как события, заключающиеся в наступлении или ненаступлении отказа к моменту наработки t , являются противоположными, то

$$\bar{P}(t) + \bar{Q}(t) = 1 \quad (3)$$

Нетрудно убедиться, что ВБР является убывающей, а ВО - возрастающей функцией наработки. Справедливы следующие утверждения:

1. В момент начала испытаний при $t=0$ число работоспособных объектов равно общему их числу $N(t)=N(0)=N$, а число объектов отказавших равно $n(t)=n(0)=0$. Поэтому $\bar{P}(t) = \bar{P}(0) = 1$, а $\bar{Q}(t) = \bar{Q}(0) = 0$;

2. При наработке $t \rightarrow \infty$ все объекты, поставленные на испытания, откажут, т.е. $N(\infty)=0$, а $n(\infty)=N$.

Поэтому, $\bar{P}(t) = \bar{P}(\infty) = 0$, а $\bar{Q}(t) = \bar{Q}(\infty) = 1$.

При большом числе элементов (изделий) N_0 статистическая оценка $\bar{P}(t)$ практически совпадает с вероятностью безотказной работы $P(t)$, а $\bar{Q}(t)$ - с $Q(t)$.

Вероятностное определение ВБР описывается формулой

$$P(t) = \text{Вер}\{E \geq t\} = P\{T \geq t\} \quad (4)$$

т.е. ВБР есть вероятность того, что случайная величина наработки до отказа T окажется больше некоторой заданной наработки t .

Очевидно, что ВО будет являться функцией распределения случайной величины T и представляет из себя вероятность того, что наработка до отказа окажется меньше некоторой заданной наработки t :

$$Q(t) = \text{Вер}\{T < t\} \quad (5)$$

Ключевые слова: точность, интенсивность отказа.

Контрольные вопросы

1. Требования к точности расчётов надёжности.
2. Погрешности расчетных формул

Лекция № 14 Закон распространения

План лекции

1. Резервированной системы

2. Надежность резервированной системы

Надежность резервированной системы (горячий резерв)

Рассмотрим самый простой пример резервированной системы: два «параллельно» включаемых элемента Э1 и Э2.

Предположим, что элементы Э1 и Э2 независимы по отказам и что их надежности за интересующее нас время $t=T$, равны соответственно P_1 и P_2 . Предположим также, что надежности второго элемента, не зависят от того, включался ли этот элемент в работу за время t и когда включался.

Определим при этих условиях надежность резервированной системы S . Перейдем к вероятности противоположного события - отказа системы S , обозначим отказ системы S . Чтобы событие S произошло, необходимо, чтобы отказали оба элемента:

$$S = \bar{E}_1 \bar{E}_2$$

Отсюда по правилу умножения вероятностей независимых событий:

$$P(\bar{S}) = P(E_1) * P(E_2).$$

Обозначим надежность системы P , а ненадежность элементов g_1, g_2 получим:

$$P = 1 - g_1 g_2.$$

то есть при параллельном соединении независимых элементов их ненадежности перемножаются.

Переходя в формулу (1) от ненадежности к надежности, имеем:

$$1 - P = (1 - P_1)(1 - P_2); \text{ откуда}$$

$$P = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2). \quad (2)$$

При произвольном числе n элементов:

$$P = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2) \dots (1 - p_n) \quad (3)$$

или короче

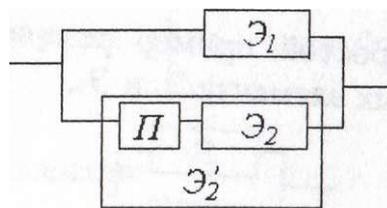
$$P = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i). \quad (4)$$

В частном случае, когда надежности всех элементов одинаковы: $P_1 = P_2 = \dots = P$,

Формула (4) принимает вид:

$$P = 1 - (1 - p)^n \quad (5)$$

До сих пор, говоря о переключении на резервный элемент, мы предполагали, либо для этого не требуется специального переключающего устройства, либо надежность переключающего устройства равна единице. Предполагаем, что блок состоит из двух «параллельно» включенных элементов Э1 и Э2. В случае, когда элемент Э1 выходит из строя, переключающее устройство П переключает систему, на другой, резервный элемент Э2. Надежность элементов Э1, Э2 и переключателя П равна соответственно P ,



P_2 , и P_n . Определим надежность всего блока. Для этого объединим переключатель П и элемент Э2 в одну последовательную цепь с надежностью:

$$P_2' = P P_2.$$

Рассматривая эту цепочку, как один параллельно включенный условный элемент Э2', найдем по формуле (2) надежность блока:

(6)

таким образом, неполная надежность переключателя может быть учтена простым умножением надежности резервного элемента на надежность переключателя.

Нормальное распределение

Нормальное распределение является наиболее универсальным, удобным и широко применяемым. Считается, что наработка объекта подчинена нормальному распределению (нормально распределена), если ПРО описывается выражением:

$$f(t) = \frac{1}{b\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(t-a)^2}{2b^2}\right\},$$

где a и b - параметры распределения, соответственно, МО и СКО, которые по результатам испытаний принимаются: $a \cong \bar{T}_0$; $b \cong \sqrt{D} = \sqrt{\sigma^2} = \sigma$, где \bar{T}_0 и σ^2 - оценки средней наработки до отказа и дисперсии (σ - СКО).

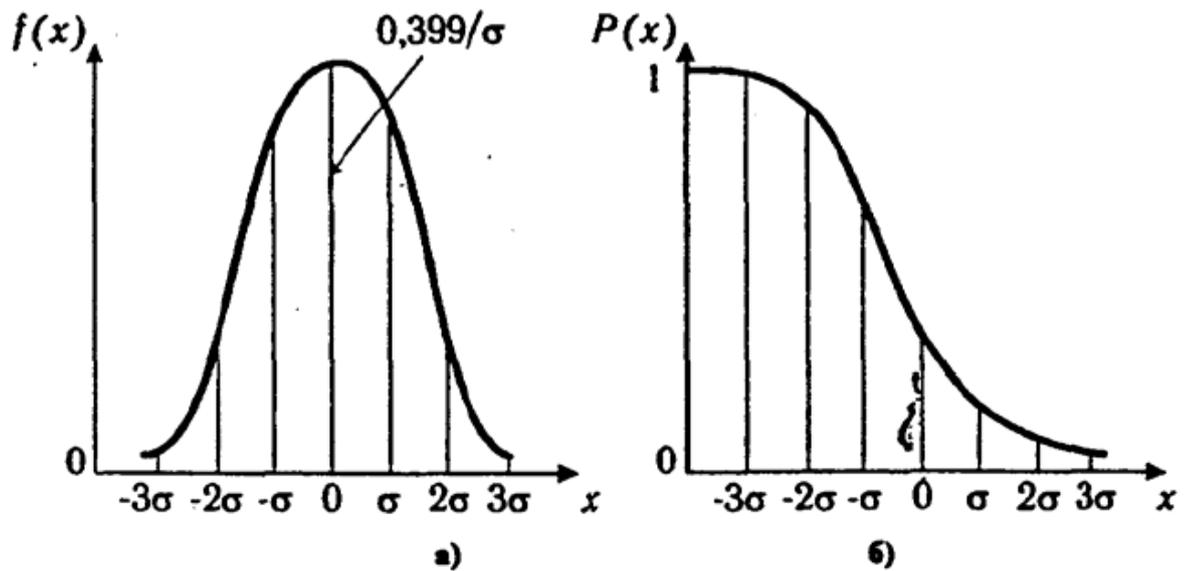
Т.о. ПРО имеет вид

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}\right\}, \quad (\bar{T}_0 - \text{МО наработки}).$$

Колоколообразная кривая плотности распределения приведена на рис. 1.6.

Интегральная функция распределения имеет вид

$$F(t) = \int_{-\infty}^0 f(t) dt + \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \left(\exp\left\{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma^2}\right\} \right) dt.$$



функции надежности (б) нормального распределения

Вычисление интегралов заменяют использованием таблиц нормального распределения, при котором $T_0 = 0$ и $\sigma = 1$. Для этого распределения функция плотности распределения отказов имеет одну переменную t и выражается зависимостью

$$f_0(t) = \frac{1}{2\pi} \exp\left\{-\frac{t^2}{2}\right\}$$

Величина t является центрированной (так как $T_0 = 0$) и нормированной (так как $\sigma_t = 1$).

Функция распределения соответственно запишется в виде:

$$F_0(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^t \exp\left\{-\frac{t^2}{2}\right\} dt$$

Значение функции распределения определяется формулой

$$F(t) = 0,5 + \Phi(u) = Q(t);$$

где Φ – функция Лапласа, $u = (t - T_0)/\sigma$ – квантиль нормированного нормального распределения. Т.е. функция распределения представляет собой ВО.

При использовании функции Лапласа вместо интегральной функции распределения $F_0(t)$ имеем

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^t \exp\left\{-\frac{t^2}{2}\right\} dt,$$

ВО и ВБР, выраженные через функцию Лапласа, имеют вид

$$Q(t) = 0,5 + \Phi\left(\frac{t - T_0}{\sigma}\right), \text{ (}\Phi \text{ от (и), а не умножить!!!)}$$

$$P(t) = 0,5 - \Phi\left(\frac{t - T_0}{\sigma}\right).$$

Вероятность попадания случайной величины X в заданный интервал значений от α до β вычисляют по формуле

$$P(\alpha < X < \beta) = \Phi\left(\frac{\beta - T_0}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha - T_0}{\sigma}\right).$$

Значения функции Лапласа Φ и Φ – табулированы.

Общий характер изменения показателей надёжности при нормальном распределении приведён на рис. 1.7.

Нормальный закон распределения часто называют законом Гаусса. Этот закон играет важную роль и наиболее часто используется на практике по сравнению с другими законами распределения.

Ключевые слова: горячий резерв, элемент.

Контрольные вопросы

1. Что такое горячий резерв.
2. Что такое надёжность резервированной системы

Лекция № 15

Эксплуатационное распространение закона случайной величины

План лекции

1. Надёжность резервированной системы (холодный и облегченный резерв).
2. Общий случай расчета надёжности резервированной системы (облегченный или холодный резерв).

Надёжность резервированной системы (холодный и облегченный резерв)

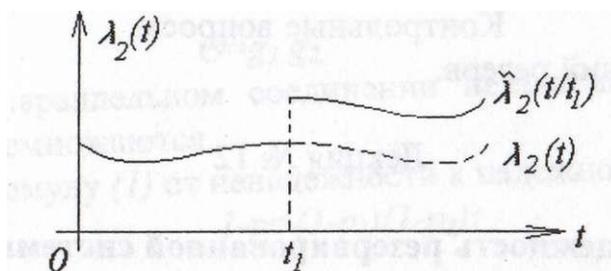
До сих пор мы рассматривали только случай, когда надёжность каждого дублирующего элемента не зависит от того, когда включался в работу этот элемент. Этот случай, который мы условно назвали «горячим резервированием» - самый простой из всех возможных. Гораздо сложнее случаи, когда резервный элемент до своего включения в работу вообще не может отказывать (холодное резервирование) или может отказывать, но с другой, меньшей интенсивностью вероятности, чем после включения (облегченное резервирование).

При рассмотрении задач, связанных с холодным или облегченным резервированием нам не достаточно будет вводить надежности системы и элемента для одного, заранее фиксированного, значения времени t . Необходимо будет проанализировать весь случайный процесс функционирования системы.

Общий случай расчета надежности резервированной системы (облегченный или холодный резерв)

Система состоит из "параллельно" включенных элементов \mathcal{E}_1 и \mathcal{E}_2 (основного и резервного). Интенсивность потока отказов 1-го элемента $\lambda_1(t)$; при отказе первого элемента происходит автоматическое и безотказное переключение на резервный (Рп-1). Интенсивность потока отказов, резервного элемента до его включения в работу $\lambda_2(t)$ (элемент работает в «облегченном» режиме). После его включения в работу, в

момент отказа первого элемента, интенсивность мгновенно подскакивает и становится равной:



интенсивности X , которую естественно предполагать, зависящей не только от текущего времени t , но и от того срока t_j , в течение которого элемент работал в облегченном режиме:

$$\tilde{\lambda}_2 = \tilde{\lambda}_2(t/t_1).$$

Требуется найти надежность системы $P(t)$. Рассмотрим совокупность двух случайных величин:

T_1 - момент отказа основного элемента;

T_2 - момент отказа резервного элемента.

События A - безотказной работы системы до момента t - состоит в том, что хотя бы одна из величин T_1, T_2 примет значение, большее, чем t (хотя бы один элемент будет работать к моменту t). Вероятность противоположного события - отказ системы до момента t - будет:

$$p(A) = P(A) = P(T_1 < t \vee T_2 < t).$$

Найдем совместную плотность распределения случайных величин T_1 и T_2 , обозначая ее $f(t_1, t_2)$. Случайные величины T_1, T_2 зависимы, и:

$$f(t_1, t_2) = f_1(t_1)f_2(t_2/t_1); \quad (1)$$

где $f_1(t_1)$ - безусловная плотность распределения величин T_1 , $f_2(t_2/t_1)$ - условная плотность распределения величины (при условии, что величина T_1 приняла значение t_1).

Найдем обе плотности по формуле:

Найдем условную плотность $f(t_2/t_1)$. словная интенсивность отказов резервного элемента при условии, что будет:

При этой интенсивности найдем условную плотность распределения времени то есть:

отсюда:

$$p_1(t) = \exp\left\{-\int_0^{t_1} \lambda_1(t) dt\right\},$$

$$p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt},$$

$$f_1(t_1) = \lambda_1(t_1) \exp\left\{-\int_0^{t_1} \lambda_1(t) dt\right\}$$

безотказной работы резервного элемента:

при $t_2 < t_j$

$$f(t_2/t_1) = \lambda_2(t_2) \exp\left(-\int_0^{t_2} \lambda_2(t) dt\right) \quad (4)$$

$$\lambda_2(t_2/t_1) \exp\left\{-\int_0^{t_1} \lambda_2(t) dt - \int_{t_1}^{t_2} \tilde{\lambda}_2(t/t_1) dt\right\} \quad \text{при } t_2 > t_j$$

Таким образом совместная плотность распределения системы случайных величин T_1, T_2 найдем:

$$f(t_1, t_2) = \lambda_1(t_1) \lambda_2(t_2) \exp\left\{-\int_0^{t_1} \lambda_1(t) dt - \int_0^{t_2} \lambda_2(t) dt\right\}, \quad \text{при } t_2 < t_j$$

$$p(\bar{A}) = p(T_1 < t; T_2 < t) = \int_0^t \int_0^t f(t_1, t_2) dt_1 dt_2,$$

$$f_1(t_1) f(t_2/t_1) = \lambda_1(t_1) \tilde{\lambda}_2(t_2/t_1) \exp\left\{-\int_0^{t_1} \lambda_1(t) dt - \int_0^{t_1} \lambda_2(t_1) dt - \int_{t_1}^{t_2} \tilde{\lambda}_2(t/t_1) dt\right\}$$

при $t_2 > t_j$

Зная эту совместную плотность, можно найти вероятность отказа системы до момента t : откуда искомая надежность системы:

$$p(t) = 1 - \int_0^t \int_0^t f_1(t_1, t_2) dt_1 dt_2.$$

Если значения ВБР близки к 1, то с достаточной для практики точностью можно использовать следующую приближённую формулу:

$$P_C(t) = P_1(t) * P_2(t) \dots P_N(t) \approx 1 - \sum_{i=1}^N Q_i(t)$$

Если все элементы равнонадёжны, ИО системы будет

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^{N_m} N_i \cdot \lambda_i$$

Где N_T - число типов элементов.

Если система состоит из нескольких элементов с различными значениями ИО, то среднее значение определяют по формуле

$$\lambda_{\Sigma cp} = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N$$

Если элементы функционируют в различных условиях или в различной степени подвержены влиянию внешних воздействующих факторов, то ИО элемента вычисляется по формуле

где λ_{i0} - ИО эл-та, работающего в нормальных условиях, k_i, α_i - поправочные коэф-ты, зависящие от различных факторов.

Наиболее важные показатели надёжности невосстанавливаемых объектов – показатели безотказности, к которым относятся:

- вероятность безотказной работы;
- плотность распределения отказов;
- интенсивность отказов;
- средняя наработка до отказа.

Показатели надёжности представляются в двух формах (определениях):

- статистическая (выборочные оценки);

- вероятностная.

Статистические определения (выборочные оценки) показателей получаются по результатам испытаний на надёжность.

Допустим, что в ходе испытаний какого-то числа однотипных объектов получено конечное число интересующего нас параметра – наработки до отказа. Полученные числа представляют собой выборку некоего объема из общей «генеральной совокупности», имеющей неограниченный объем данных о наработке до отказа объекта.

Количественные показатели, определённые для «генеральной совокупности», являются истинными (вероятностными) показателями, поскольку объективно характеризуют случайную величину – наработку до отказа.

Показатели, определённые для выборки, и, позволяющие сделать какие-то выводы о случайной величине, являются выборочными (статистическими) оценками. Очевидно, что при достаточно большом числе испытаний (большой выборке) оценки приближаются к вероятностным показателям.

Ключевые слова: момент отказа основного элемента, горячий резерв, холодный резерв, облегченный резерв.

Контрольные вопросы

1. Горячий резерв.
2. Холодный и облегченный резерв.
3. Общий случай расчета надежности резервированной системы.

Лекция №16

Структурный анализ и изменение в отчете надежности.

План лекции

1. Вероятность безотказной работы $P(t)$.
2. Вероятность отказа $Q(t)$.
3. Интенсивность отказов невосстанавливаемого объекта $X(t)$.

f 8. Вероятность восстановления z^{\wedge} заданное время t_3 . t 9. Среднее время восстановления T_v .

10. Коэффициент готовности K_p .
11. Коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$.
12. Коэффициент сохранения эффективности - $K_{эф}$.

Количественные показатели надежности и эффективности

- 1) Вероятность безотказной работы $P(t)$. Это - вероятность того, что, в пределах заданной наработки отказ объекта не возникает (наработка - продолжительность или объем работы). Математическое определение:

$$P(t_3) = P(t \geq t_3) \quad (и)$$

где t - случайное время работы объекта до отказа: t_3 - заданная наработка. Иными словами, надежность определяется как вероятность того, что время t безотказной работы элемента или системы будет больше заданного.

Таким образом, в статистической теории надежности рассматривается случайная величина — время безотказной работы или, что — то же самое, время появления отказа (выхода из строя) элемента или системы. Случайное время безотказной работы является понятием обобщенным. В ряде случаев оно может измеряться числом включений или числом циклов работы (реле), числом тысяч километров пробега (железнодорожный подвижной состав, автомобили).

Статистическое определение:

$$\tilde{P}(t) = \tilde{N}(t) / \tilde{N}(t=0) \quad (1.2)$$

где — число работоспособных объектов в момент времени t \ — число работоспособных объектов в начальный момент времени, то есть $t=0$;

- 2) Вероятность отказа $\Theta(t)$. Иногда бывает удобно пользоваться понятием технической ненадежности, то есть способности элементов и систем выходить из строя (отказывать). За количественную меру технической ненадежности принимается вероятность выхода из строя элемента (системы) в течение заданного времени в определенных условиях. Иными словами, ненадежность измеряется как вероятность того, что время t безотказной работы элемента или системы будет меньше t_3 :

«

$$\Theta(t) = \Theta(t \leq t_3).$$

Согласно определению ненадежность является функцией распределения времени безотказной работы элемента (системы). Математическое определение:

$$\Theta(t_3) = 1 - P(t_3)$$

Статистическое определение:

$$\Theta(t) = \tilde{n}(t) / \tilde{N}(t=0),$$

ш

где — число отказавших объектов на интервале 0-t. Графики одной из возможных функций надежности $P(t)$ и соответствующей функции $\Theta(t)$ приведены на рис. 1.1.

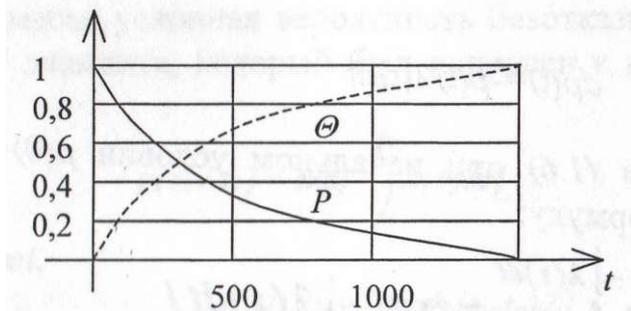


Рис 1.1.

Перечислим некоторые очевидные свойства $P(t)$:

- 1) $P(0)=1$, то есть можно рассматривать безотказную работу лишь тех элементов и систем, которые были исправлены в момент выполнения.
- 2) $P(t)$ является монотонно убывающей функцией времени.
- 3) $P(t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow +\infty$.

3) Интенсивность отказов невосстанавливаемого объекта $Z(t)$. Это условная плотность вероятности возникновения отказа невосстанавливаемого объекта, определяемая для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента отказ не возник.

Рассмотрим два смежных интервала времени $(0, t)$ и $(t, t+dt)$ (рис. 1.2).

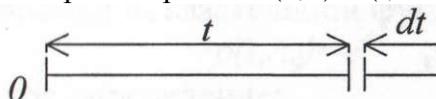


Рис. 1.2.

Для того чтобы некоторый элемент имел возможность отказать в интервале времени $(t, t+dt)$, он должен исправно проработать отрезок

времени (0, t). Поэтому вероятность $d\Theta(t)$ отказа элемента за время (t, t+dt) согласно правилу умножения вероятностей будет:

$$d\Theta(t) = -dp(t) = p(t)z, \quad (1.4)$$

где $p(t)$ - вероятность безотказной работы элемента в течение времени (0, t); z - условная вероятность отказа элемента за время (t, t+dt), найденная в предположении, что безотказно проработал время (0, t)

Условную вероятность отказа элемента в интервале времени (t, t+dt) в предположении его безотказной работы до момента t обычно выражают формулой:

$$z = \lambda(t)dt, \quad (1.5)$$

где величину $X(t)$ называют интенсивностью отказов. Вероятностный смысл этого понятия может быть пояснен следующей формулой:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left\{ \frac{\text{Вероятность того, что элемент, проработавший время (0, t), выйдет из строя в интервале (t, t+\Delta t)}}{\Delta t} \right\}$$

Из (1.4) и (1.5) получим:

$$dp(t) = -p(t)\lambda(t)dt \quad (1.6)$$

Решение уравнения (1.6) при начальном условии $p(0)=1$ даёт для функции надёжности формулу:

$$p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t)dt\right] \quad (1.7)$$

Введением начального условия $P(0)=1$ накладываем условие, чтобы к началу рассматриваемого периода эксплуатации элемент был исправным.

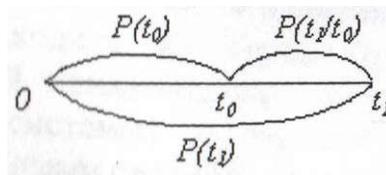
По формуле (1.7) можно, имея статистическую кривую Ш), найти вероятность безотказной работы элемента в течение заданного времени (0, t) или найти с заданной вероятностью p время безотказной работы элемента.

при $X=\text{const}$ формула (1.7) существенно упрощается:

$$p(t) = \exp[-\lambda t] \quad (1.8)$$

В практических задачах часто бывает нужно знать вероятность безотказной работы в течение времени (t₀, t₁), а не времени (0, t₁), то есть ставится вопрос о переносе начала отсчета времени (рис. 1.3)

Рис. 1.3.



Для этого случая запишем формулу (1.7) в виде

$$p(t_1) = \exp\left[-\int_0^{t_0} \lambda(t)dt - \int_{t_0}^{t_1} \lambda(t)dt\right];$$

или

$$p(t_1) = p(t_0) \exp\left[-\int_{t_0}^{t_1} \lambda(t)dt\right] \quad (\text{ш-}, \dots)$$

Вместе с тем согласно правилу умножения вероятностей:

$$p(t_1) = p(t_0)p(t_1/t_0) \quad (1.10)$$

где $\hat{p}(t_1)$ - вероятность безотказной работы элемента в течение времени $(0, t_1)$, $p(t_0)$ - вероятность безотказной работы элемента в течение времени $(0, t_0)$, $p(t_1/t_0)$ - условная вероятность безотказной работы элемента в течение времени (t_0, t_1) , найденная в предположении, что в момент времени t_0 элемент был исправен.

Таким образом, условная вероятность безотказной работы в течение времени (t_0, U) элемента, который был исправен к началу этого периода, будет:

$$p(t_1/t_0) = \exp\left[-\int_{t_0}^{t_1} \lambda(t) dt\right] \quad (1.12)$$

при $\lambda = \text{const}$,

$$p(t_1/t_0) = \exp[-(t_1 - t_0)\lambda], \quad (1.13)$$

то есть при $\lambda = \text{const}$ вероятность безотказной работы в течение интервала времени (t_0, t_1) не зависит от того, сколько времени элемент уже проработал.

Для вычисления вероятности безотказной работы системы (элемента) в течение времени (t_0, t_1) нужно измерить площадь S под кривой $\lambda(t)$ рис 1.4

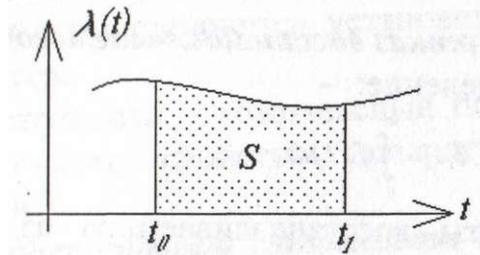


Рис 1.4.

и найти по таблице показательной функции:

$p(t_1/t_0) = e^{-S}$ Статистическое определение:

$$X(t) = Yt(t + \Delta t) - Tt(t) / [n(t)\Delta t],$$

где $tt(t)$ - число отказов к моменту времени t ; $n(t + \Delta t)$ - число отказов на интервале от t до $t + \Delta t$, то есть на интервале Δt примыкающем к t ; $N(t)$ - число работоспособных объектов в момент времени t ; $N(t)\Delta t$ - наработка объектов на интервале Δt .

Таким образом $\lambda(t)$ - это число отказов в единицу времени на интервале Δt , примыкающем к t . Интервал Δt должен быть достаточно малым, чтобы обеспечить плавный характер кривой $X(t)$, и в то же время, достаточно большим, чтобы на нем могли быть зафиксированы отказы объекта.

Контрольные вопросы

1. Вероятность безотказной работы $P(t)$.
2. Вероятность отказа $Q(t)$.
3. Интенсивность отказов невосстанавливаемого объекта $\lambda(t)$.
4. Параметр потока отказов восстанавливаемого объекта $\lambda(t)$.
5. Средняя наработка на отказ восстанавливаемого изделия T_0 ;

Лекция №17

Требование точности расчетов надежности

План лекции

1. Параметр потока отказов восстанавливаемого объекта $\omega(t)$.
2. Средняя наработка на отказ восстанавливаемого изделия T_0 .
3. Ресурс.
4. Срок службы.

Таким образом, надежность элемента или системы определена, если известна одна из трех характеристик времени безотказной работы (времени работы до первого отказа):

- 1) функция надежности $P(t)$;
- 2) плотность вероятности времени безотказной работы: $f(t) = -dP(t)/dt$;
- 3) интенсивность выхода из строя: $X = f(t)/p(t)$, используется та из них, которую более удобно применить в конкретной задаче.
- 4) *Параметр потока отказов восстанавливаемого объекта $\omega(t)$* . Это отношение среднего числа отказов восстанавливаемого объекта за произвольно малую его наработку к значению этой наработки.

Для простейшего потока отказов интенсивность потока совпадает с понятием "параметр потока".

Средняя наработка до отказа T_1

Математическое определение:

$$T_1 = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} p(t) dt, \quad (1.14)$$

где t — время от начала работы невозстанавливаемого изделия до его отказа.

Статистическое определение:

$$\bar{T}_1 = (\tilde{t}_1 + \tilde{t}_2 + \dots + \tilde{t}_n) / n = (1/n) \sum_1^n t_i \quad (1.15)$$

- 5) *Средняя наработка на отказ восстанавливаемого изделия T_0*

Математическое определение:

$$T_0 = \int_0^{\infty} t f(t) dt, \quad (1.16)$$

где t - время работы восстанавливаемого изделия от момента окончания $(k-1)$ го восстановления до момента наступления k -го отказа.

Статистическое определение:

$$\bar{T}_0 = (t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n) / n = (1/n) \sum_1^n t_i \quad (1.17)$$

где t_i - наработка восстанавливаемого изделия между отказами, то есть от начала его работы до момента очередного отказа.

- 6) *Ресурс*. Ресурс - наработка от начала эксплуатации до перехода изделия в предельное состояние, то есть состояние, при котором либо невозможно, либо нецелесообразно продолжать использовать изделие по его назначению и необходимо снять его с эксплуатации и сдать в ремонт или списать.
- 7) *Срок службы*. Срок службы, - календарная продолжительность от начала эксплуатации изделия до перехода его в предельное состояние.
- 8) *Вероятность восстановления за заданное время* Это вероятность того, что время восстановления работоспособности t_e не превышает заданное время, то есть $p(t_e < t^A)$.
- 9) *Среднее время восстановления $T_в$* . Оно представляет собой математическое ожидание времени восстановления - время, затраченное на поиск места неисправности и

устранения неисправности. Время, затраченное на организационные простои, не предусмотренные инструкцией по эксплуатации, не должно входить в T_B .

10) Коэффициент готовности K_r . Коэффициент готовности - вероятность того, что восстанавливаемое изделие окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени его использования по назначению:

$$K_r = t_{pz} / (t_{pz} + t_{B2}), \quad (1.18)$$

где t_{pz} - суммарное время нахождения изделия в работоспособном состоянии; t_{B2} - суммарное время восстановления изделия.

Учитывая, что $t_{pz} = T_{0n}$; $t_{B2} = T_{Bn}$, где n - число отказов на интервале времени, для которого определяется значение t_{pz} и t_{B2} , формулу (1.18) можно записать в следующем виде:

$$K_r = T_{0n} / (T_{0n} + T_{Bn}) \quad (1.19)$$

Формула (1.19) находит широкое применение в инженерной практике. Степень ее приближения к истинному значению K_r тем больше, чем больше интервал времени, по которому определяется t_{pz} . Поток отказов и восстановлений при этом становится установившимся и K_r приобретает стационарный характер.

Коэффициент готовности - комплексный показатель надежности как правило, он учитывает свойство аппаратурной безотказности и восстанавливаемости.

11) Коэффициент оперативной готовности $K_{ог}$ * Коэффициент $K_{ог}$ - это вероятность того, что объект в произвольный момент времени, кроме планируемых перерывов в работе, окажется работоспособным, когда требуется его применение по назначению, и с данного момента будет работать безотказно в течение заданного времени:

$$K_{ог} = K_r P(t^{\wedge}),$$

где K_r - коэффициент готовности; $P(t_3)$ - вероятность безотказной работы на интервале заданного времени

12) Коэффициент сохранения эффективности — $K_{эф}$. Коэффициент $K_{эф}$ - это отношение значения показателя эффективности за заданный период эксплуатации к номинальному значению данного показателя, определяемому при условии, что отказы объекта в течение того же периода эксплуатации не возникают: $K_{эф} = \frac{\text{Эр}}{\text{Эном}}$, где Эр - реальное значение эффективности, то есть с учетом надежности; Эном - номинальное значение эффективности, то есть эффективность безотказного объекта.

На рис 1.5. показана связь между отдельными видами и элементами надежности.



Рис 1.5.

Вероятностная форма представления показателей удобна при аналитических расчетах, а статистическая - при экспериментальном исследовании надежности.

В дальнейшем для обозначения статистических оценок будем использовать знак \wedge сверху.

В дальнейших рассуждениях будем исходить из того, что испытания проходят N одинаковых объектов. Условия испытаний одинаковы, а испытания каждого из объектов проводятся до его отказа. Введем следующие обозначения:

$T = \{t, t_1, \dots, t_N\} = \{t\}$ - случайная величина наработки объекта до отказа;

$N(t)$ - число объектов, работоспособных к моменту наработки t ;

$n(t)$ - число объектов, отказавших к моменту наработки t ;

$\Delta n(t, t + \Delta t)$ - число объектов, отказавших в интервале наработки $[t, t + \Delta t]$;

Δt - длительность интервала наработки.

Вероятность безотказной работы (ВБР)

и вероятность отказа (ВО)

Статистическое определение ВБР (эмпирическая функция надёжности) определяется по формуле:

$$\hat{P}(t) = \frac{N(t)}{N} \quad (1)$$

т.е. ВБР есть отношение числа объектов ($N(t)$), безотказно проработавших до момента наработки t , к числу объектов, исправных к началу испытаний ($t=0$), т.е. к общему числу объектов N . ВБР можно рассматривать как показатель доли работоспособных объектов к моменту наработки t .

Поскольку $N(t) = N - n(t)$, то ВБР можно определить как

$$\hat{P}(t) = 1 - \frac{n(t)}{N} = 1 - \hat{Q}(t) \quad (2)$$

где $\hat{Q}(t) = \frac{n(t)}{N}$ - вероятность отказа (ВО).

В статистическом определении ВО представляет эмпирическую функцию распределения отказов.

Так как события, заключающиеся в наступлении или ненаступлении отказа к моменту наработки t , являются противоположными, то

$$\hat{P}(t) + \hat{Q}(t) = 1 \quad (3)$$

Нетрудно убедиться, что ВБР является убывающей, а ВО - возрастающей функцией наработки. Справедливы следующие утверждения:

Ключевые слова: вероятность отказа, ресурс, срок службы, коэффициент готовности.



Контрольные вопросы

6. Вероятность безотказной работы $P(t)$.
7. Вероятность отказа $Q(t)$.
8. Интенсивность отказов восстанавливаемого объекта $A(t)$.
9. Параметр потока отказов восстанавливаемого объекта $\lambda(t)$.
10. Средняя наработка на отказ восстанавливаемого изделия T_0 .

Лекция № 18

Надежность резервированной системы.

План

1. Резерв, как основное средство защиты поездов.

2. Неисправности, при которых необходимо прекращать действия автоблокировки.

3. Неисправности, при которых требуется прекращать действие полуавтоматической блокировки.

Телефон, как основное средство связи при движении поездов, используется крайне редко, лишь на отдельных малодоступных участках. Однако телефонные средства связи применяются во всех случаях, когда ПО тем или иным причинам закрывается действие путевой блокировки или электротяговой системы, поэтому твердое знание правил движения поездов по телефонным средствам связи, обязательно для всех ДСП и поездных диспетчеров независимо от

того, на каких участках они работают.

К неисправностям, при которых необходимо прекращать действия и автоблокировки относятся:

— погасшие сигнальные огни двух или более расположенных подряд светофоров на перегоне;

— наличие разрешающего огня на проходном светофоре при занятом блок-участке;

— невозможность смены направления, в том числе и с помощью рукояток (кнопок) вспомогательного режима, на однопутном перегоне или при отправлении поезда по неправильному пути на двухпутном перегоне с двухсторонней блокировкой.

Пользоваться автоблокировкой в установленном направлении разрешается.

К неисправностям, при которых требуется прекращать действие полуавтоматической блокировки, относятся:

— невозможность закрытия выходного или проходного светофоров;

— невозможность закрытия выходного и проходного светофоров при свободном перегоне.

— произвольное получение блокировочных сигналов;

— невозможность подачи или получения блокировочных сигналов;

— отсутствие пломб на блок -аппарате.

Автоблокировка или полуавтоблокировка закрывается так же, если необходимо отправить на перегон поезд с возвращением его обратно или поезд с подталкивающим локомотивом, а аппараты блокировки;

— необорудованные соответствующими ключами. На однопутном участке полуавтоматическая блокировка закрывается, когда на станции задержан поезд при открытом выходном сигнале, а необходимо отправить на перегон поезд встречного направления.

Радио - телефонные средства связи переходят во всех случаях только по приказу поездного диспетчера при свободности от поездов перегона.

Для осуществляемых в процессе эксплуатации изделий работ по поддержанию и восстановлению их работоспособности характерны значительные затраты труда, материальных средств и времени. Как правило, эти затраты за время эксплуатации изделия значительно превышают соответствующие затраты на его изготовление. Совокупность работ по поддержанию и восстановлению работоспособности и ресурса изделий подразделяют на техническое обслуживание, и ремонт, которые, в свою очередь, подразделяют на профилактические работы, осуществляемые в плановом порядке и аварийные, проводимые по мере возникновения отказов или аварийных ситуаций.

Свойство ремонтпригодности изделий влияет на материальные затраты и длительность простоев в процессе эксплуатации. Ремонтпригодность тесно связана с безотказностью и долговечностью изделий. Так, для изделий, с высоким уровнем безотказности, как правило, характерны низкие затраты труда и средств на поддержание их работоспособности.

Показатели безотказности и ремонтпригодности изделий являются составными частями комплексных показателей, таких как коэффициенты готовности K_r , оперативной готовности $K_{ог}$ и технического использования $K_{т.и.}$. К показателям надёжности, присущим только восстанавливаемым элементам, следует отнести среднюю наработку на отказ, наработку между отказами, вероятность восстановления, среднее время восстановления, коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности и коэффициент технического использования.

Средняя наработка на отказ — наработка восстанавливаемого элемента, приходящаяся, в среднем, на один отказ в рассматриваемом интервале суммарной наработки или определенной продолжительности эксплуатации:

$$T_0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i$$

где t_i — наработка элемента до i -го отказа; m — число отказов в рассматриваемом интервале суммарной наработки.

Нарработка между отказами определяется объемом работы элемента от i -го отказа до $(i + 1)$ -го, где $i = 1, 2, \dots, m$.

Среднее время восстановления одного отказа в рассматриваемом интервале суммарной наработки или определенной продолжительности эксплуатации

$$T_{\text{в}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_{\text{в}i}$$

где $t_{\text{в}i}$ — время восстановления i -го отказа.

Коэффициент готовности K_r представляет собой вероятность того, что изделие будет работоспособно в произвольный момент времени, кроме периодов выполнения планового технического обслуживания, когда применение изделия по назначению исключено. Этот показатель является комплексным, так как он количественно характеризует одновременно два показателя: безотказность и ремонтпригодность.

Восстанавливаемые, работоспособность которых может быть восстановлена, в том числе и путем замены.

К числу невосстанавливаемых объектов можно отнести, например: подшипники качения, полупроводниковые изделия, зубчатые колеса и т.п. Объекты, состоящие из многих элементов, например, станок, автомобиль, электронная аппаратура, являются восстанавливаемыми, поскольку их отказы связаны с повреждениями одного или немногих элементов, которые могут быть заменены. В ряде случаев один и тот же объект в зависимости от особенностей, этапов эксплуатации или назначения может считаться восстанавливаемым или невосстанавливаемым.

Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.

Критерий отказа – отличительный признак или совокупность признаков, согласно которым устанавливается факт возникновения отказа.

. В момент начала испытаний при $t=0$ число работоспособных объектов равно общему их числу $N(t)=N(0)=N$, а число объектов отказавших

равно $n(t)=n(0)=0$. Поэтому $\overset{\cup}{P}(t) = \overset{\cup}{P}(0) = 1$, а $\overset{\cup}{Q}(t) = \overset{\cup}{Q}(0) = 0$;

2. При наработке $t \rightarrow \infty$ все объекты, поставленные на испытания, откажут, т.е. $N(\infty)=0$, а $n(\infty)=N$.

Поэтому, $\overset{\cup}{P}(t) = \overset{\cup}{P}(\infty) = 0$, а $\overset{\cup}{Q}(t) = \overset{\cup}{Q}(\infty) = 1$.

При большом числе элементов (изделий) N_0 статистическая оценка $\overset{\cup}{P}(t)$ практически совпадает с вероятностью безотказной работы $P(t)$, а $\overset{\cup}{Q}(t)$ - с $Q(t)$.

Вероятностное определение ВБР описывается формулой

$$P(t) = P\{T > t\} = P\{T > t\} \quad (4)$$

т.е. ВБР есть вероятность того, что случайная величина наработки до отказа T окажется больше некоторой заданной наработки t.

Очевидно, что ВО будет являться функцией распределения случайной величины T и представляет из себя вероятность того, что наработка до отказа окажется меньше некоторой заданной наработки t:

$$Q(t) = \text{Вер}\{T < t\} \quad (5)$$

Графики ВБР и ВО приведены на рис. 2.3.

Графики вероятности безотказной работы и вероятности отказов

Плотность распределения отказов (ПРО)

Статистическое определение ПРО:

$$f(t) = \frac{\Delta n(t, t + \Delta t)}{N \cdot \Delta t} \quad [\text{ед. наработки}^{-1}], \quad (6)$$

т.е. ПРО есть отношение числа объектов, отказавших в интервале наработки [t, t+Δt] к произведению общего числа объектов n на длительность интервала наработки Δt.

Ключевые слова: неисправности автоблокировки, пломба, неисправности , полуавтоблокировки, телефон, электрожезловая система.

Контрольные вопросы

1. В каких случаях применяются телефонные средства связи?
2. К какому виду неисправностей относится наличие разрешающего огня на проходном светофоре при занятом блок-участке?
3. В каких случаях требуется прекращать действие полуавтоматической блокировки?