

ВВЕДЕНИЕ

Важным вопросом при создании систем автоматического и автоматизированного управления ответственными технологическими процессами, к которым относится и перевозочный процесс на железных дорогах, является обеспечение высокого уровня надежности и безопасности их функционирования. Эти свойства закладываются в системы управления на этапе конструирования и проектирования и поддерживаются в процессе эксплуатации путем технического обслуживания и ремонтов.

Ответственную роль играют в перевозочном процессе средства железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) – они выполняют важные вспомогательные информационно-управляющие функции. От качества работы средств ЖАТ зависит эффективность перевозочного процесса, а отказы, неизбежно возникающие в процессе их функционирования, крайне негативно влияют на работу всего железнодорожного комплекса. Последствия отказов средств ЖАТ – это в лучшем случае отсутствие какого-либо влияния на перевозочный процесс при возникновении отказа в момент отсутствия поездов на железнодорожной линии, где он возник, снижение пропускной способности при наличии движения, а в самых худших случаях отказ может стать причиной аварии или катастрофы. Таким образом, поддержание высокого уровня надежности и безопасности эксплуатируемых устройств и систем ЖАТ – крайне важная задача.

Современные системы автоматики и телемеханики, регулирующие движение на железных дорогах России, включают в себя большое многообразие технических средств, реализованных на различной элементной базе: это и электромагнитные реле, и различного рода преобразователи, работающие с использованием разных физических эффектов, и микроэлектронные и микропроцессорные компоненты. Во второй половине второго десятилетия XXI в. на железных дорогах России наиболее распространенным типом систем автоматики и телемеханики являются релейные системы, однако в последние годы активно внедряются и системы на микроэлектронной и микропроцессорной основе [29, 46, 63].

Первые релейные системы на железных дорогах России (в указанный период – СССР) стали внедряться в 1930-е гг. Первой чисто релейной системой ЖАТ (СЖАТ) была оборудована станция «Гудермес» Северо-Кавказской железной дороги в 1934 г. [54]. От внедрения в России первой микропроцессорной СЖАТ эта дата отстоит на 65 лет – в 1999 г. установкой системы электрической централизации (ЭЦ) ЕВILock-950 была оборудована станция «Калашниково» Октябрьской железной дороги. География страны, а прежде всего масштабы расстояний (Россия занимает третье место после США и Китая по протяженности железнодорожных линий), определили большое разнообразие функционирующих на железных дорогах средств управления движением поездов. В последующие после внедрения первой релейной системы ЭЦ годы в СССР было

разработано свыше десятка различных релейных систем управления. Сегодня ими оборудовано свыше 5 тыс. станций.

Основными объектами управления и контроля систем автоматики являются рельсовые цепи, стрелки и светофоры, входящие в комплекс напольного технологического оборудования ЖАТ. Данные устройства взаимодействуют непосредственно с подвижным составом, позволяя следить за его перемещением, управлять скоростью движения и регулировать его направление. Статистика говорит о том, что наибольшая доля отказов среди всех средств ЖАТ приходится именно на напольное технологическое оборудование – от 50 до 80% [33]. Сами системы управления движением поездов отказывают гораздо реже.

С целью поддержания высокого уровня надежности и безопасности функционирования средств ЖАТ используются, как отмечалось выше, конструктивные меры и мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту. Для решения последней задачи на всех железных дорогах организованы дистанции сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), сотрудники которых призваны поддерживать высокое качество работы средств управления движением поездов. В их работу также входит решение всех задач технической диагностики – это определение технического состояния, прогнозирование дальнейших изменений и локализация возникающих неисправностей [40, 41, 45]. Другими словами, специфика работы сотрудников дистанций СЦБ включает в себя решение задачи ручного технического диагностирования (зачастую с применением автоматизированных средств измерения различных параметров средств автоматики). Для повышения эффективности работы сотрудников дистанций СЦБ, а также для снижения влияния на процесс управления человеческого фактора средства ЖАТ снабжаются системами автоматизированного технического диагностирования. Такие средства внедряются в основном в сами СЖАТ, но позволяют косвенно определять многие ответственные параметры напольного технологического оборудования. Современные микропроцессорные и микроэлектронные СЖАТ уже содержат в себе развитые подсистемы автоматизированного и автоматического технического диагностирования, тогда как системы релейного типа, в которые данный принцип не был заложен при разработке, требуют постановки специальных измерительных контроллеров для измерения рабочих параметров. Разнообразие СЖАТ и их элементной базы, различные принципы поддержания высокого уровня надежности и безопасности в релейных и микропроцессорных системах, отсутствие в релейных системах средств самодиагностирования – все это предопределило возникновение активно развивающихся в первые десятилетия систем непрерывного мониторинга ЖАТ [22].

Вообще, под *мониторингом* понимают *постоянную проверку, надзор, наблюдение и определение текущего состояния с целью выявления изменений по сравнению с ожидаемыми или требуемыми показателями*. Организация систем мониторинга средств ЖАТ позволяет решать задачу обеспечения высокого уровня их надежности и безопасности. В том числе системы непрерывного мониторинга ЖАТ позволяют автоматизировать решение задач технической

диагностики (диагностирование и прогнозирование технического состояния, локализация неисправности), снизить влияние человеческого фактора на процесс обслуживания устройств управления движением поездов, а значит, вывести работу всего железнодорожного комплекса на новый, более высокий, уровень.

Данная книга посвящена изложению основных достижений в области непрерывного мониторинга устройств автоматики и телемеханики на железных дорогах РФ и постсоветского пространства. Авторами описывается наиболее развитая система непрерывного мониторинга «Аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля» (АПК-ДК), разработанная кафедрой автоматики и телемеханики на железных дорогах ПГУПС [25]. В том числе в книге приводятся уникальные материалы и методы обработки данных, полученные непосредственно авторами в период работы в отраслевых научно-технических лабораториях кафедры автоматики над созданием системы АПК-ДК.

Авторы благодарны коллегам, принимавшим участие в создании и развитии системы АПК-ДК, и прежде всего Николаю Богданову, Сергею Григорьеву, Александру Иванову. Отдельно следует упомянуть и инженеров, стоящих у истоков системы АПК-ДК, – Александра Гриненко и Бориса Горбунова. Надеемся, что книга будет полезна специалистам в области железнодорожной автоматики и телемеханики.

ГЛАВА 1. ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫЕ СИСТЕМЫ

1.1. Надежность устройств железнодорожной автоматики и телемеханики

1.1.1. Надежность и безопасность

От качества работы устройств ЖАТ зависит и эффективность перевозочного процесса в целом. С течением времени неизбежен отказ, что приводит к невозможности выполнения функций техническим объектом, а это есть причина снижения надежности и в некоторых случаях безопасности движения поездов [33].

Надежность – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Надежность – это комплексное свойство технического объекта, которое в зависимости от особенностей эксплуатации объекта и его функциональных возможностей может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания данных свойств (рис. 1.1). К надежности относят еще одно важное свойство – безопасность [12].

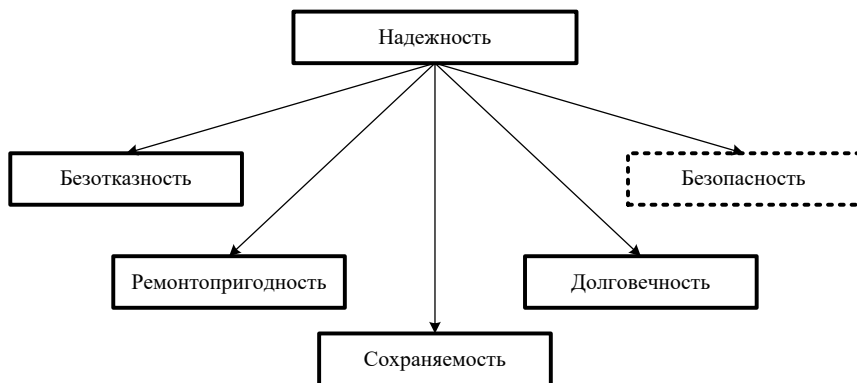


Рис. 1.1. Надежность систем железнодорожной автоматики и телемеханики

С точки зрения надежности любой технический объект может находиться в двух состояниях – исправном и неисправном. В исправном состоянии технический объект соответствует всем требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации и, соответственно, выполняет все требуемые функции. В неисправном состоянии у технического объекта нарушено хотя бы одно требование нормативно-технической и (или) конструкторской документации и, как следствие, им не выполняется хотя бы одна ответственная функция.

Такого деления технических состояний недостаточно, так как неисправное состояние может иметь различную степень «тяжести» (легкие повреждения, не влияющие на выполнение техническим объектом основных функций, или же тяжелые – снижающие эффективность его использования). Поэтому в [33] определены такие технические неисправные состояния, как работоспособное состояние, неработоспособное и предельное. Находясь в работоспособном состоянии, технический объект сохраняет все параметры, характеризующие способность выполнять им заданные функции в соответствии с требованиями нормативно-технической и (или) конструкторской документации, однако часть неосновных функций им может не выполняться. Про объект, находящийся в работоспособном состоянии, говорят, что он имеет *повреждение*. Если объектом не выполняется хотя бы одна основная функция по управлению движением поездов, то считается, что объект находится в неработоспособном состоянии – произошел *отказ*. Во множестве неработоспособных состояний для технических объектов, реализующих ответственные технологические процессы, принято выделять так называемые защитные и опасные состояния. Такое деление связано с влиянием неработоспособных состояний на безопасность движения поездов. Крайняя степень неработоспособности есть предельное состояние технического объекта. В этом состоянии объекту требуется капитальный ремонт или утилизация в связи с физическим или моральным старением. Неисправный объект демонтируется, и в работу включается новый.

1.1.2. Понятие предотказного состояния

Как оказывается, в практике описанных технических состояний недостаточно. Действительно, если зафиксировать состояние отказа, то система уже не выполняет свои основные функции по реализации технологического процесса, а повреждение, то есть работоспособное состояние, на реализацию технологического процесса не влияет. Однако повреждения хотя и могут быть незначительными, но при этом могут иметь признаки развивающегося отказа. Поэтому целесообразно для технического объекта выделять «границу» так называемого предотказного состояния, переход через которую неизбежно влечет за собой отказ.

Сформулируем определение предотказного состояния [47].

Предотказное состояние – такое работоспособное состояние объекта, когда хотя бы один из параметров, характеризующих его способность выполнять заданные функции, достигает граничного значения, определенного нормативно-технической и (или) конструкторской документацией, при котором не может быть гарантирована работоспособность объекта при дальнейшем изменении данного параметра.

В настоящее время предотказное состояние не определено в нормативных документах, но без его задания невозможна качественная работа систем непрерывного мониторинга – невозможно выполнение функции предотвращения отказа путем прогнозирования ухудшений состояний, а значит, и невозможна ре-

ализация поддержки свойства отказоустойчивости самой системы управления движением поездов. Предотказное состояние устройств выделяется во множестве их работоспособных состояний. Признаком предотказного состояния является наличие высокой вероятности ухудшения технического состояния с течением времени.

На рис. 1.2 представлена расширенная классификация технических состояний устройств ответственными технологическими процессами, где указано и предотказное состояние.

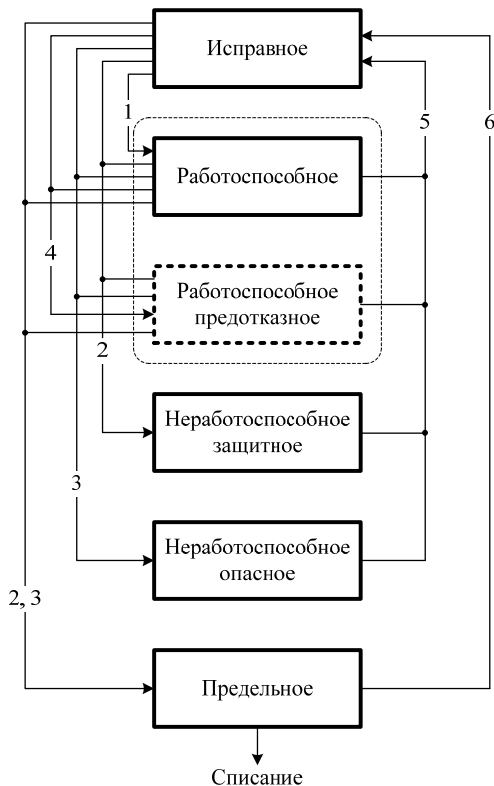


Рис. 1.2. Состояния технических объектов

Диаграмму на рис. 1.2 можно считать полной диаграммой «жизни» технического объекта (можно только еще больше детализировать каждое состояние). В течение эксплуатации технический объект переходит из состояния в состояние, а причины переходов – это ухудшение свойств надежности (возникновение повреждений и отказов) и улучшение свойств надежности (техническое обслуживание и ремонт). Определим переходы на рис. 1.2 следующим образом:

1) переходы, обозначенные слева на диаграмме, связаны с ухудшением свойств надежности под воздействием потоков отказов: 1 – повреждение; 2 – защитный отказ; 3 – опасный отказ; 4 – предотказ;

2) переходы, обозначенные на диаграмме справа, происходят в связи с улучшением свойств надежности под воздействием потоков восстановлений: 5 – ремонт и 6 – капитальный ремонт.

Задача разработчика и эксплуатационного персонала СЖАТ заключается в обеспечении высокого уровня надежности всех составляющих управляющего комплекса, а значит, состоит в недопущении переходов в неработоспособные состояния [58, 59]. Эту задачу решают за счет предупреждения развивающихся отказов путем периодических измерений рабочих параметров устройств ЖАТ и выявления предотказных состояний. Если предотказ будет вовремя обнаружен, то возникнет возможность предотвращения потенциального отказа, а значит, и сохранения безостановочного технологического процесса (рис. 1.3).

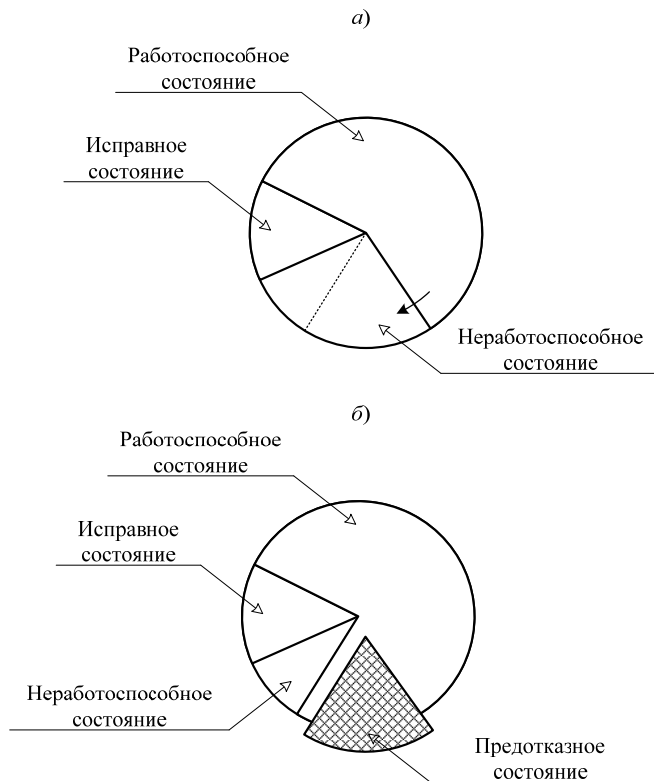


Рис. 1.3. Состояния технических объектов:
а) до введения предотказного состояния; б) после введения предотказного состояния

Для средств ЖАТ в нормативно-технической документации обозначены только граничные значения рабочих параметров, характеризующие возникновение отказа, – минимальные и максимальные значения. Поэтому выявление для средств ЖАТ предотказных состояний носит вероятностный характер.

Пусть функция от времени $f(t)$ является некоторым рабочим параметром технического объекта (рис. 1.4). В течение эксплуатации данный параметр может колебаться между нормальным значением с некоторым разбросом, то приближаясь к границам работоспособности (значения $F_o^1(t)$ и $F_o^2(t)$), то удаляясь от них. При определенных условиях технический объект может достичь предотказного состояния – когда дальнейшее сохранение тенденции ухудшения рабочей характеристики необратимо влечет возникновение отказа. На рис. 1.4 показан такой момент времени t_1 . В момент времени t_1 возникает предостережение, который через время Δt в случае отсутствия своевременной реакции технического персонала на развивающийся отказ приведет к отказу (момент времени t_2). Таким образом, выделение предотказных состояний во множестве работоспособных состояний технических объектов имеет фундаментальное значение – технический персонал получает возможность предотвращения нарушения работоспособности.

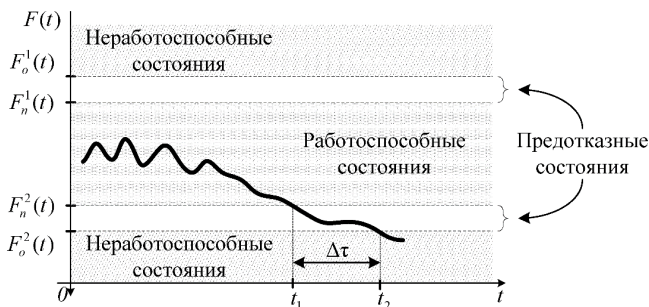


Рис. 1.4. Формальное определение предотказных состояний технических объектов

При фиксации предотказного состояния необходимо учитывать характер изменения параметров технического объекта. В случае если тенденция ухудшения рабочих параметров не сохраняется, а сами параметры достигли граничных норм, возможна фиксация большого числа «ложных» предотказных состояний, т. е. таких состояний, которые не влекут за собой потери работоспособности.

На рис. 1.5 приводится пример предотказного состояния устройства ЖАТ, зафиксированный средствами автоматизированного технического диагностирования. Ситуация возникла на станции «Дорошиха» Октябрьской железной дороги в ноябре 2007 г. Верхний график демонстрирует изменение во времени напряжения на генераторе рельсовой цепи тональной частоты (ТРЦ), средний – напряжения на выходе путевого приемника и нижний – напряжения на путевом реле, контролирующем состояние рельсовой цепи. Напряжение

на генераторе до вертикальной пунктирной линии постепенно снижается, что приводит к уменьшению напряжения на путевом приемнике. В этот момент путевое реле находится под током. В случае сохранения тенденции уменьшения напряжения на выходе генератора ТРЦ через некоторое время выключится путевой приемник, что соответственно приведет к выключению путевого реле. Эта ситуация есть защитный отказ – «логическая занятость пути при отсутствии подвижной единицы» (отказ типа «ложная занятость»). На светофоре, ограждающем контролируемый участок, включится запрещающее проезд показание. Подобная ситуация на станции «Дорошиха» Октябрьской железной дороги техническим персоналом допущена не была – сотрудники дистанции СЦБ, вовремя отреагировав на развитие отказа, произвели регулировку генератора.

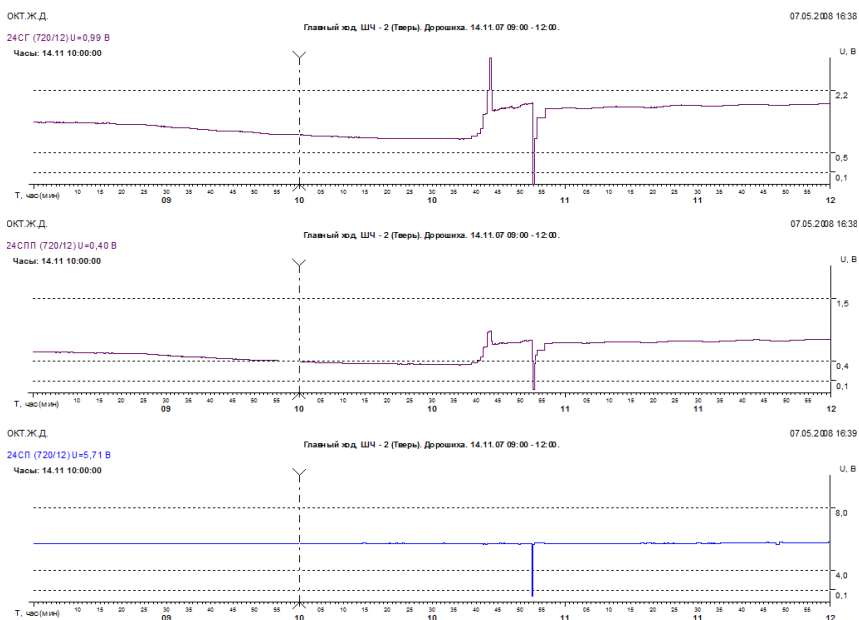


Рис. 1.5. Предотказное состояние

Предотказное состояние для различных технических объектов может иметь различные граничные значения рабочих параметров. Например, для нормальной (штатной) работы ТРЦ напряжение на выходе генератора должно оставаться в заданных пределах U_{\min} и U_{\max} . Из [44] известно, что для рельсовой цепи без изолирующих стыков длиной $l = 1000$ м с несущей частотой $f_n = 480$ Гц граничные значения напряжений на выходе генератора $U_{\min} = 3,72$ В и $U_{\max} = 4,6$ В. Постепенное уменьшение значения рабочего напряжения приво-

дит к тому, что и работа рельсовой цепи при некотором граничном значении U_p становится неустойчивой. Дальнейшее сохранение характера изменения напряжения генератора влечет за собой отказ – возникновение «ложной занятости» рельсовой цепи вследствие выключения путевого приемника.

1.1.3. Отказы технических средств автоматики

Как отмечалось выше, отказы имеют различную степень тяжести. С этой позиции их принято классифицировать на группы защитных и опасных отказов. Первые не влияют на безопасность движения поездов, вторые – ее нарушают. При этом отказ считается опасным, даже если непосредственного нарушения безопасности движения не произошло (СЖАТ строятся с исключением опасных отказов, однако опасные ситуации могут быть спровоцированы действиями человека: неверным монтажом устройств, халатностью при производстве работ по обслуживанию и др.). В табл. 1.1 приведены примеры защитных и опасных отказов средств ЖАТ.

Таблица 1.1. Отказы устройств железнодорожной автоматики

Защитные отказы	Опасные отказы
Понижение значности светофора автоблокировки при перегорании нити лампы	Перевод стрелки под составом
Ложная занятость рельсовой цепи	Прием поезда на занятый путь
Излом контрольной линейки стрелочного электропривода	Ложное включение зеленого огня выходного светофора
Невозможность перевода стрелки при задании маршрута	Замыкание фронтных и общих контактов реле первого класса надежности
Отсутствие обводных соединителей в местах стыкования рельсов	Ложная свобода рельсовой цепи
Сваривание тыловых и общих контактов	Несоответствие показаний пульта-табло фактическому положению остряков

Защитному состоянию соответствует такое состояние технического объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих его способность выполнять заданные функции по обеспечению безопасности движения поездов, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской документации. *Опасному* же состоянию соответствует состояние технического объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность системы выполнять заданные функции по обеспечению безопасности движения поездов, не соответствует требованиям нормативных документов.

В процессе функционирования технический объект переходит из состояния в состояние. Чем больше времени технический объект находится в исправном и работоспособном состояниях, тем выше характеристики его *отказоустойчивости* и тем надежнее его работа.

Таким образом, задача систем автоматизированного технического диагностирования – непрерывный контроль параметров устройств управления для исключения переходов их в неработоспособные состояния. Решение этой задачи основано на автоматизации измерений и технического обслуживания устройств ЖАТ [4, 10].

Возможность определения развивающегося отказа определяется характером его развития и возникновения. Неисправность может быть «заложена» в технический объект еще на этапе его разработки или производства, например вследствие ошибки конструктора или же нарушения технологии изготовления. Также возникновение неисправности может быть следствием нарушений условий эксплуатации или транспортировки. По характеру возникновения все отказы классифицируют на две категории – постепенные и внезапные.

Постепенные отказы возникают при непрерывном ухудшении рабочих параметров устройств ЖАТ и чаще всего связаны с физическим старением устройства. По статистике, такие отказы наиболее часты [33]. Очевидно, что постепенные отказы можно прогнозировать при наличии специальных технических средств.

К внезапным отказам относятся такие отказы, которые происходят вследствие скачкообразного ухудшения рабочих характеристик технических объектов. К внезапным отказам следует отнести также перемежающиеся отказы и сбои. Внезапные отказы носят случайный характер и трудно предсказуемы. Однако внезапный отказ может быть следствием постепенного, но вовремя не установленного отказа.

С точки зрения функционирования систем непрерывного мониторинга интерес представляют постепенные отказы. Подключение измерительных контроллеров, получающих диагностическую информацию, в ответственные узлы, где может развиваться постепенный отказ, позволяет на определенной стадии ухудшения рабочих характеристик фиксировать предотказ контролируемого объекта, выдавать данные об этом событии техническому персоналу дистанций СЦБ и ситуационных центров и, как следствие, создавать условия для предотвращения возникновения отказа.

Для определения предотказного состояния средствами систем непрерывного мониторинга необходимо разделить все средства ЖАТ на две категории [22]:

- 1) устройства, работа которых непрерывна во времени (например, путе-вой приемник рельсовой цепи функционирует постоянно);
- 2) устройства, работа которых дискретна во времени (например, двигатель стрелочного электропривода включается при подаче соответствующего импульса в управляющую цепь лишь при переводе стрелки из одного положения в другое).

В зависимости от характеристики функционирования объектов (непрерывно или дискретно работает объект) следует классифицировать и предотказные состояния. Это вытекает из того факта, что в процессе ожидания объектом работы могут создаваться условия для развития неисправности, а сама неис-

правность может до включения объекта в работу никак не проявиться. Соответственно и технология обслуживания различных устройств ЖАТ будет различной: дискретно действующие элементы можно заменить в интервале ожидания их использования, а непрерывные – только в отсутствие движения поездов.

Поскольку рабочие параметры технических объектов носят различный характер, имеют неодинаковые скорости изменения, а также диагностируются по-разному, предотказы, фиксируемые современными системами непрерывного мониторинга, можно классифицировать на две категории в зависимости от прогнозируемого времени до отказа.

Пусть время восстановления работоспособного состояния некоторого технического объекта с учетом всех факторов (принятия решения техническим персоналом, сборов, перемещения к месту расположения объекта и работ по восстановлению его работоспособного состояния) равно T_B . Тогда, если предотказ некоторого устройства будет зафиксирован за время $\Delta\tau \geq T_B$ до возникновения отказа, при правильных действиях технического персонала отказ может быть предотвращен. Такие предотказы следует отнести к категории предотказов, позволяющих предотвратить отказ. Если же время от момента фиксации предотказа до наступления отказа меньше времени τ ($\Delta\tau < T_B$), то отказ не предотвратим. Это есть категория предотказов, не позволяющих предотвратить отказы. Схема фиксации предотказов представлена на рис. 1.6 (без потери общности взято нижнее значение границ работоспособности). Время наступления отказа обозначено как t_o , время восстановления работоспособности объекта – T_B , время фиксации предотказа первой категории – t_1 , второй – t_2 .

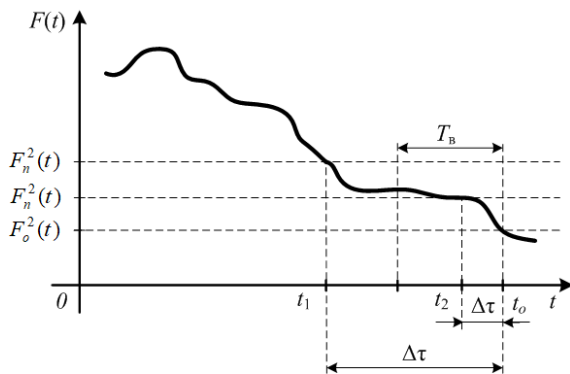


Рис. 1.6. Виды предотказов по способности к предотвращению отказов

Несмотря на то что отказы не всегда можно предотвратить, с практической точки зрения полезны обе категории предотказов: определение первой группы предотказов, например, позволяет предотвратить нарушения в графике движения поездов, т. е. сократить убытки от простоев поездов; определение же второй группы предотказов позволяет обслуживающему персоналу сократить время действия отказа при возникновении за счет реакции на признаки зарож-

дения отказа, что также способствует повышению времени безотказной работы (время на восстановление работоспособного состояния уменьшается). Однако среди предотказов второй категории отдельно следует определить предотказы, возникающие при скачкообразном изменении рабочих параметров (носящие внезапный характер). Это так называемые мгновенные предотказы. Такие предотказы предшествуют внезапным, перемежающимся и сбойным отказам. Их предотвратить невозможно, а фиксация с практической точки зрения является лишней и приводит только к накоплению статистической информации, не несущей какого-либо практического смысла.

Отсюда следует такой факт: предотказ, позволяющий предотвращать отказы, может быть зафиксирован только для группы постепенных отказов, остальные типы отказов предотвратить невозможно или затруднительно.

Очевидно и такое умозаключение: если время фиксации предотказа значительно превосходит время восстановления работоспособного состояния технического объекта T_v , то эффективность технического диагностирования снижается. Однако выбор времени определения предотказного состояния до наступления неработоспособного состояния носит индивидуальный характер для каждого вида устройств ЖАТ.

Современные системы непрерывного мониторинга первоначально фиксировали все типы предотказов (как мгновенных, так и постепенных с завышенным временем фиксации предотказа), накапливая таким образом большое количество лишних результатов технического диагностирования, в том числе неверных результатов прогнозирования. На крупных станциях, по данным статистики, в течение месяца возникало свыше десятка тысяч ложных предотказов, что только загружало технологов дистанций СЦБ и ситуационных центров лишней работой. Сегодня задача фильтрации предотказов решена частично [18].

Отказы с практической точки зрения полезно разделить на обнаруживаемые и необнаруживаемые, так как не всегда отказы можно обнаружить визуально или средствами технического диагностирования. К примеру, если нет проявлений отказа (например, односторонний пробой изоляции в межстряковых тягах стрелочного перевода – визуально не обнаруживаемый, так называемый скрытый отказ), он не будет идентифицирован. Это есть необнаруживаемый отказ. А если проявление отказа есть (например, следствием неисправности путевого реле является занятисть стрелочно-путевой секции), то отказ будет обнаруживаемым. Обнаруживаемый и необнаруживаемый отказы могут появляться в устройствах ЖАТ, как оснащенных, так и неоснащенных устройствами автоматизированного и автоматического технического диагностирования, предотвращаться или не предотвращаться техническим персоналом по различным причинам. Все виды отказов сведены в диаграмму на рис. 1.7.

Согласно статистическим данным многолетнего опыта эксплуатации средств ЖАТ, на пространстве железных дорог Российской Федерации более половины отказов (от 50 до 80%) приходится на объекты, расположенные в непосредственной близости к железнодорожному полотну – в напольном

технологическом оборудовании ЖАТ. К объектам напольного технологического оборудования относятся рельсовые цепи, дроссель-трансформаторы, устройства управления стрелочными переводами, светофоры, релейные шкафы, оборудование переездной автоматики и сигнальных точек автоблокировки и т. д. (рис. 1.8). Средства непрерывного мониторинга устройств автоматики на железных дорогах направлены прежде всего на оперативное получение объективной информации о техническом состоянии наименее надежных элементов. При своевременной реакции технического персонала на развивающуюся неисправность нарушения технологического процесса перевозок можно избежать.

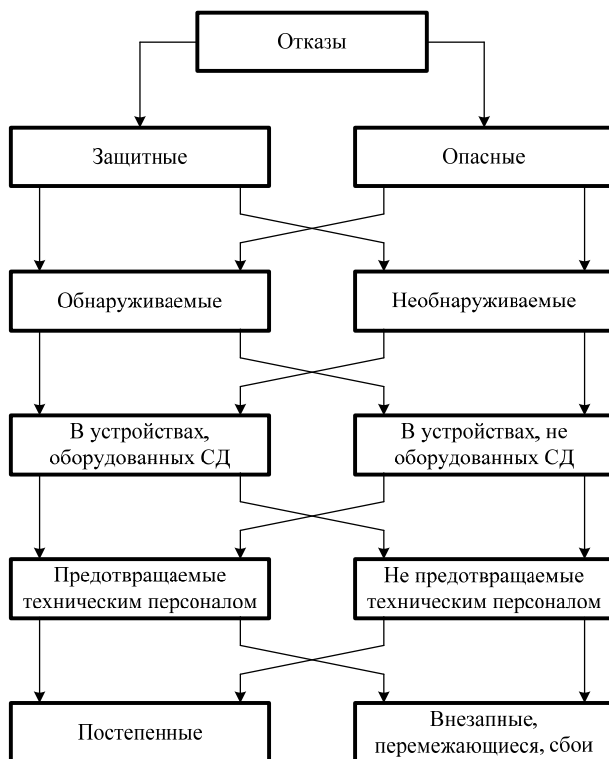


Рис. 1.7. Качественная классификация отказов систем управления

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru