

Д. В. ЕФАНОВ,  
Г. В. ОСАДЧИЙ

# МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРСКОГО КОНТРОЛЯ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

*Учебное пособие*  
Издание второе, стереотипное



ЛАНЬ

• САНКТ-ПЕТЕРБУРГ •  
• МОСКВА •  
• КРАСНОДАР •  
2022

УДК 681.5  
ББК 32.965я73

**Е 90 Ефанов Д. В.** Микропроцессорная система диспетчерского контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: учебное пособие для вузов / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 180 с. : ил. — Текст : непосредственный.

**ISBN 978-5-8114-8991-6**

Рассматриваются теоретические и практические аспекты разработки, конструирования и эксплуатации систем непрерывного мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), функционирующих в настоящее время на железных дорогах Российской Федерации. Дается формальное определение предотказного состояния технического объекта, которое является фундаментальным понятием в работе систем непрерывного мониторинга. Указано место средств мониторинга ЖАТ среди средств и мероприятий по поддержанию высокого уровня надежности и безопасности работы устройств управления движением поездов. Содержатся результаты исследований в области логической обработки диагностической информации для мониторинга состояния напольного технологического оборудования ЖАТ. Отмечаются перспективы развития систем непрерывного мониторинга на железных дорогах Российской Федерации.

Книга может быть полезна как разработчикам, так и пользователям систем непрерывного мониторинга устройств ЖАТ, а также инженерам, научным сотрудникам и аспирантам. Также книга может быть использована как учебное пособие для вузов, обеспечивающих подготовку инженеров путей сообщения по специальности «Системы обеспечения движения поездов».

УДК 681.5  
ББК 32.965я73

**Рецензенты:**

*В. В. САПОЖНИКОВ* — доктор технических наук, профессор кафедры автоматики и телемеханики на железных дорогах Петербургского государственного университета путей сообщения императора Александра I, заслуженный деятель науки РФ;

*С. А. СОКОЛОВ* — доктор технических наук, профессор кафедры транспортных и технологических систем Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

**Обложка**  
*Е. А. ВЛАСОВА*

© Издательство «Лань», 2022  
© Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий, 2022  
© Издательство «Лань»,  
художественное оформление, 2022

## 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 следующие 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].

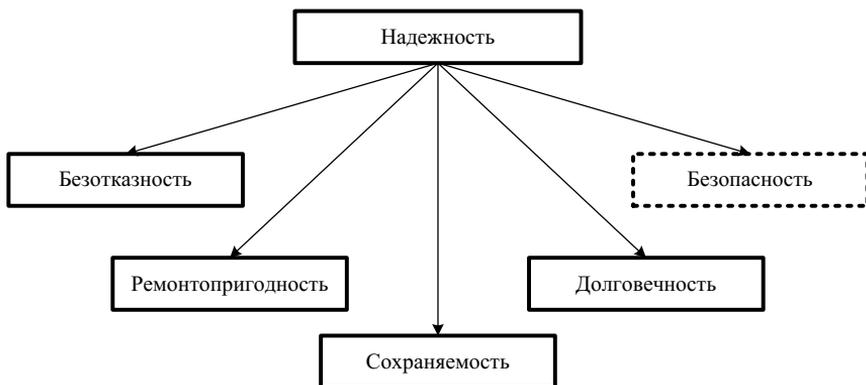


Рис. 1.1. Надежность систем железнодорожной автоматики и телемеханики

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.

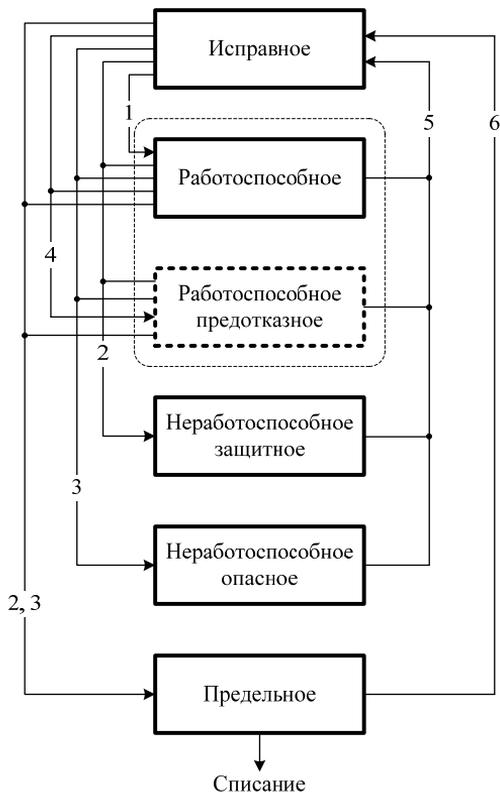
Сформулируем определение предотказного состояния [47].

***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.



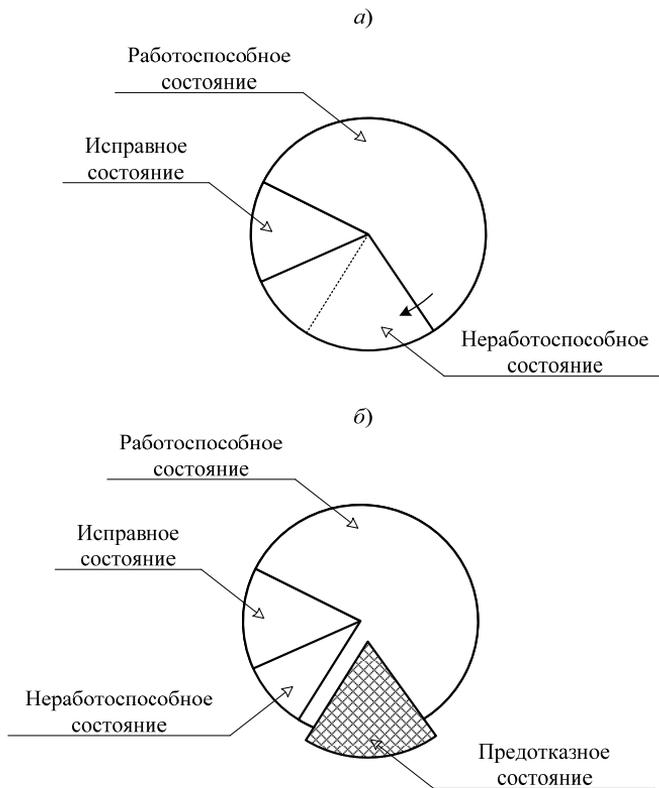
**Рис. 1.2.** Состояния технических объектов

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).

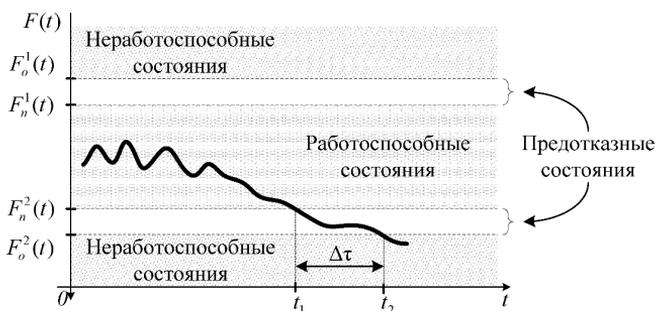


**Рис. 1.3.** Состояния технических объектов:

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 предотказ, который через время  $\Delta t$  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.

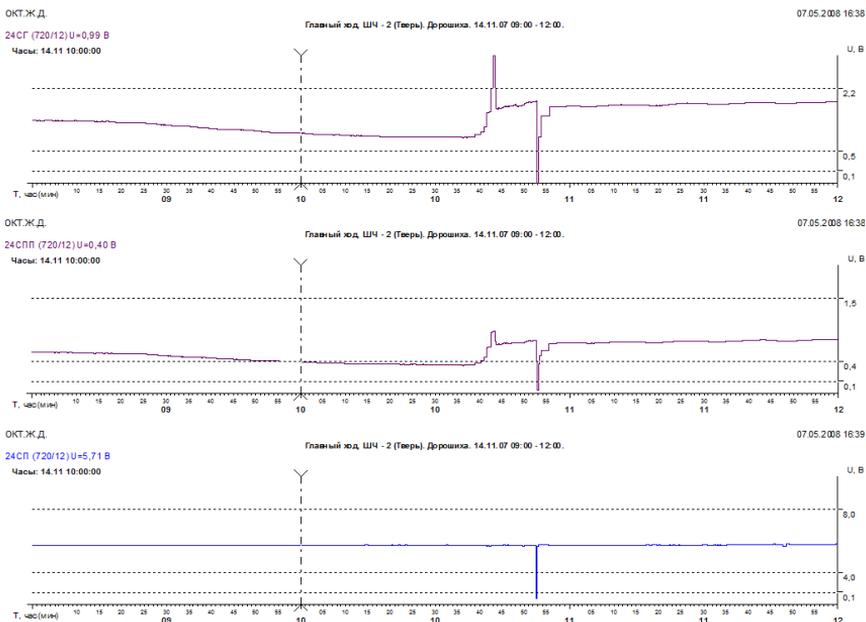


Рис. 1.5. Предотказное состояние

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, путевой 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  $\tau$  ( $\Delta\tau < T_B$ ), 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 –  $t_2$ .

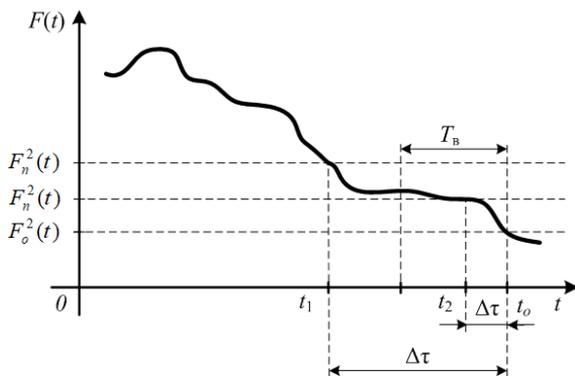


Рис. 1.6. Виды предотказов по способности к предотвращению отказов

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.

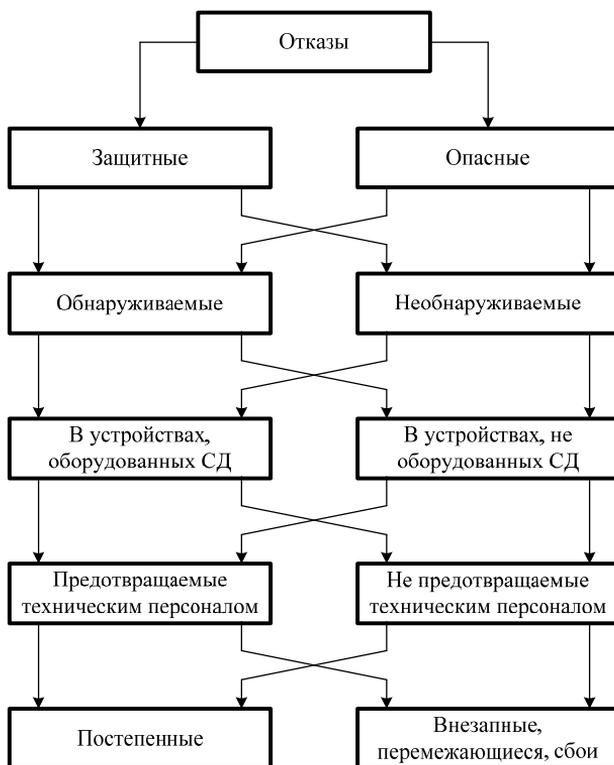
Очевидно и такое умозаключение: если время фиксации предотказа значительно превосходит время восстановления работоспособного состояния технического объекта  $T_{в}$ , то эффективность технического диагностирования снижается. Однако выбор времени определения предотказного состояния до наступления неработоспособного 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 занятость 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

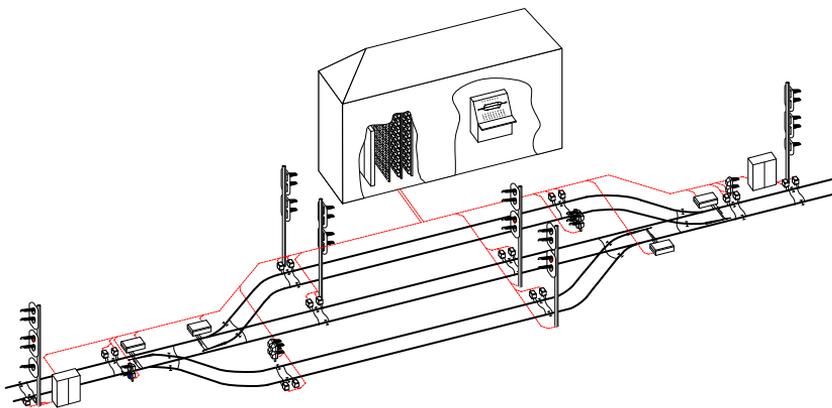


Рис. 1.8. Схема расположения устройств ЖАТ на станции

#### 1.1.4. Повышение уровня безопасности средств автоматики

Надежность и безопасность – непосредственно связанные понятия. Надежное устройство является и безопасным (однако обратное не всегда верно). Используя введенное ранее понятие предотказного состояния, уточним понятие безопасности с учетом расширения количества состояний технических объектов.

**Безопасность средств железнодорожной автоматики и телемеханики** – это их свойство находиться во множестве исправных, работоспособных, работоспособных предотказных и защитных неработоспособных состояниях в течение некоторого времени или наработки.

При реализации перевозочного процесса может возникнуть риск нарушения безопасности движения поездов, который можно определить как произведение интенсивности опасных отказов на ущерб от опасного последствия [63]. Так как автоматизированные средства технического диагностирования позволяют «следить» за развитием отказов, а также в благоприятных случаях их предупреждать, то, очевидно, снижается риск нарушения безопасности. Как известно [63], риск неизменен, а снизить удастся интенсивность отказов.

Например, детальный анализ деятельности ситуационного центра Октябрьской железной дороги за первые 4 года функционирования показал следующие результаты. Число возникающих отказов находится в некоторой зависимости от числа зафиксированных предотказов и с увеличением их количества уменьшается. В 2007 г. на 4328 предотказов приходилось 693 отказа, а в 2010 г. на 10 983 предотказа – 290 отказов. Число зафиксированных предотказов возросло в 2,54 раза, а число отказов сократилось в 2,39 раза.

Понятно, что не все предотказы, зафиксированные автоматическими средствами технического диагностирования действующей на Октябрьской железной дороге системы непрерывного мониторинга (АПК-ДК), непосредствен-

но явились причиной предупрежденных отказов. Часть предотказов, как отмечалось выше, определяется неверно. Однако общая тенденция кажется очевидной: с увеличением правильно выявленных предотказных состояний средств автоматики снижается количество их отказов при условии своевременного и качественного проведения соответствующих ремонтных работ.

В работе [22] введен показатель оценки эффективности систем непрерывного мониторинга на основе *коэффициента предотвращения отказов*:

$$\xi = \frac{N_p}{N}, \quad (1.1)$$

где  $N$  – это общее число отказов средств ЖАТ за рассматриваемый период времени;

$N_p$  – число отказов, которые удалось предотвратить при фиксации на стадии их развития.

Величину  $\xi$  можно определить и иначе, через число отказов, возникающих в объектах ЖАТ после оборудования рассматриваемого объекта средствами технического диагностирования ( $N_b$ ), и число отказов до внедрения СТДМ на данном участке ( $N$ ):

$$\xi = \frac{N - N_b}{N}. \quad (1.2)$$

Формула (1.2) может быть использована для оценки эффективности систем непрерывного мониторинга при новом строительстве на железнодорожных линиях.

Например, для линии «Санкт-Петербург – Москва», воспользовавшись данными статистики, приведенными выше, имеем

$$\xi = \frac{N - N_b}{N} = \frac{693 - 290}{693} \approx 0,58.$$

Таким образом, эффективность работы систем непрерывного мониторинга на обозначенном участке за четыре года работы с 2007 по 2010 г. оценивается почти 60%-ным сокращением числа отказов. Эффект, достигнутый в последующие годы, еще больший!

Используя коэффициент предотвращения отказов  $\xi$ , известные статистические данные об интенсивностях опасных отказов элементов ЖАТ [33] и применяя экспоненциальный закон распределения отказов, можно дать верхнюю оценку вероятности возникновения опасного отказа на участке «Санкт-Петербург – Москва». Экспоненциальное распределение описывается таким выражением:

$$Q = 1 - e^{-\lambda \Delta t}, \quad (1.3)$$

где  $Q$  – вероятность возникновения отказа;

$\lambda$  – интенсивность отказов (в рассматриваемом случае данная величина равна  $\lambda = 1,8 \cdot 10^{-7} \frac{1}{ч}$ );

$\Delta t$  – период эксплуатации (для расчета возьмем  $\Delta t = 1$  год = 8760 ч).

Так как доля непредотвращаемых отказов вычисляется как  $(1 - \xi)$ , то вероятность возникновения опасного отказа можно вычислить как

$$q = Q(1 - \xi) = (1 - e^{-\lambda \Delta t}) (1 - \xi) = 1 - (e^{-\lambda \Delta t} - \xi e^{-\lambda \Delta t} + \xi) \quad (1.4)$$

Подставляя известные величины в формулу (1.4), получаем

$$q = (1 - e^{-\lambda \Delta t}) (1 - \xi) = (1 - e^{-1,810^7 \cdot 8760}) (1 - 0,58) \approx 0,0007$$

Величина  $q$ , полученная с учетом коэффициента предотвращения отказов, почти вдвое меньше статистической величины  $Q = 0,001576$ , полученной на основании опытной эксплуатации устройств ЖАТ без учета функционирования систем непрерывного мониторинга.

Процесс выявления предотказных состояний является важной составляющей процесса управления рисками возникновения отказов, в т. ч. опасных. Уменьшая интенсивность отказов, мы уменьшаем и риск нарушения надежности и безопасности.

Другие показатели эффективности систем технического диагностирования, в том числе экономической, подробно рассмотрены в классических работах советских ученых из области технической диагностики [40, 41, 45].

## ***1.2. Методы повышения отказоустойчивости систем автоматики и телемеханики***

### **1.2.1. Способы повышения безопасности средств автоматики**

При создании СЖАТ на современной микроэлектронной и микропроцессорной базе разработчики руководствуются следующей концепцией обеспечения безопасности [28]: *одиночные дефекты аппаратных и программных средств не должны приводить к опасным отказам систем и должны обнаруживаться при рабочих или тестовых воздействиях не позднее чем в системе возникает второй дефект.*

Задачу обеспечения безопасности можно решить несколькими способами (рис. 1.9). Безопасность достигается за счет повышения безотказности, обеспечения отказоустойчивости и безопасного поведения при отказах [12]. Прежде всего при достижении высокого уровня безотказности применяется высоконадежная элементная база, обладающая низкими значениями интенсивностей отказов. Для обеспечения высокого уровня безопасности применяются элементы с низкими значениями интенсивностей опасных отказов (в системах автоматики на железных дорогах, например, применение реле первого класса надежности в ответственных цепях [29]). В современных микропроцессорных комплексах находят применение различные виды резервирования ответственных блоков и узлов, а также средства внутреннего диагностирования на различных уровнях (от межпроцессорного контроля на уровне вычислений до тестирования отдельных блоков и узлов в промежутках между работой). Кроме всего перечисленного выше, в хозяйстве автоматики и телемеханики в качестве важного средства поддержания отказоустойчивости технических

средств используется ручное техническое обслуживание силами специализированных бригад [8, 55].

Использование методов повышения безотказности и обеспечения отказоустойчивости позволяет повысить надежность системы, что, в свою очередь, снижает риск возникновения опасных отказов. Обеспечение безопасного поведения при отказах требует анализа поведения системы при отказах элементов внутренней структуры.

Таким образом, применение средств автоматического технического диагностирования позволяет обеспечивать отказоустойчивость СЖАТ (рис. 1.10). Применение средств автоматизированного и автоматического диагностирования позволяет снизить человеческий фактор в задаче поддержания высокого уровня надежности систем управления. Как при автоматическом способе проверки рабочих параметров объекта, так и при ручном важно своевременно определить его техническое состояние, ведь таким образом, уловив тенденции ухудшения рабочих параметров, можно выработать стратегию по предотвращению развивающейся неисправности [13].



**Рис. 1.9.** Основные методы повышения безопасности устройств автоматики

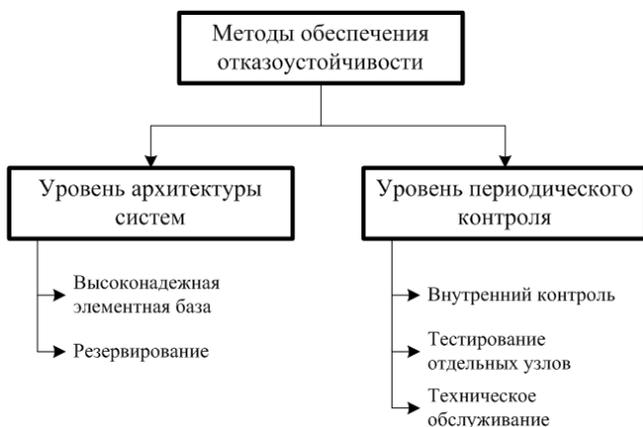


Рис. 1.10. Методы обеспечения отказоустойчивости

### 1.2.2. Системы непрерывного мониторинга как способ повышения безопасности средств автоматики

*Техническим диагностированием* называется процесс определения состояния технического объекта с требуемой полнотой и глубиной поиска [40]. Под полнотой и глубиной поиска понимается состав подлежащих обнаружению дефектов и отклонений рабочих параметров диагностируемого объекта от установленных норм. Техническое диагностирование может проводиться системой автоматического управления и контроля, а может проходить с привлечением обслуживающего персонала. При последнем подходе существует несколько ступеней. При отсутствии средств автоматического диагностирования это чисто ручной труд с применением измерительных приборов [55]. При наличии средств автоматической фиксации параметров технических объектов процесс диагностирования может быть автоматизированным, т. е. сводиться лишь к анализу получаемой информации.

Техническое диагностирование направлено на решение следующих проблем: контроль состояния объекта или системы, локализация неисправности и определение причин ее возникновения, а также определение технического состояния с заданной вероятностью на предстоящий момент времени – прогнозирование [40, 41, 45].

Результатом диагностирования является технический диагноз. Он позволяет решить три основные задачи, ставящиеся в технической диагностике, а именно (рис. 1.11): задачи генеза, диагноза или прогноза. Задача генеза связана с определением причин образования дефекта, и ее решение позволяет выработать мероприятия по недопущению образования неисправностей у аналогичных технических объектов. Решением задач генеза занимается техническая генетика. Задача прогноза – это определение технического состояния объекта с требу-

емой вероятностью в будущем. Ее решение связано с обеспечением отказоустойчивости устройства или системы и достигается в такой области, как техническая прогностика (прогнозирование). Диагностирование – наиболее часто решаемая задача, дающая в качестве результата информацию о состоянии объекта в текущий момент времени. Задачи диагноза решаются технической диагностикой и всегда предшествуют задачам генеза и прогноза.

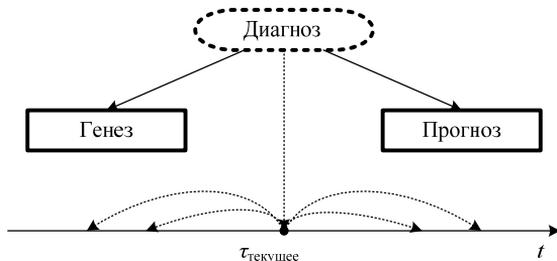


Рис. 1.11. Задачи технической диагностики

По тому, в каком режиме контролируемого объекта (с отключением от работы или без) осуществляется техническое диагностирование, выделяют следующие его виды: тестовое (off-line), функциональное (рабочее, on-line) и их комбинации [64].

**Тестовое диагностирование** подразумевает отключение объекта от работы с целью подачи на его входы специальных проверочных воздействий – теста. На рис. 1.12а изображена общая структура системы тестового диагностирования. В ней контролируемое устройство  $F(x)$  снабжается специальными измерительными контроллерами, являющимися средствами технического диагностирования  $C^*$ . Данные средства подключаются к контрольным выводам контролируемого устройства и измеряют контрольные параметры  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$ , множество которых может быть разнообразным и включать в себя набор измеряемых параметров в различных контрольных точках устройства управления с заданной наперед полнотой и глубиной технического диагностирования.

Тестовое диагностирование используется в системах управления ответственными технологическими процессами на железнодорожном транспорте при наличии в них резервных блоков или же проводится в свободное от движения поездов время. Например, тестирование современных блоков микропроцессорных СЖАТ возможно благодаря наличию нескольких комплектов, работающих по методам дублирования или троирования [28]. Многие процедуры тестирования, такие как ручное техническое диагностирование силами электромехаников СЦБ, производятся согласно специальным графикам технологических процессов технического обслуживания при отсутствии движения поездов на объекте диагностирования [55].

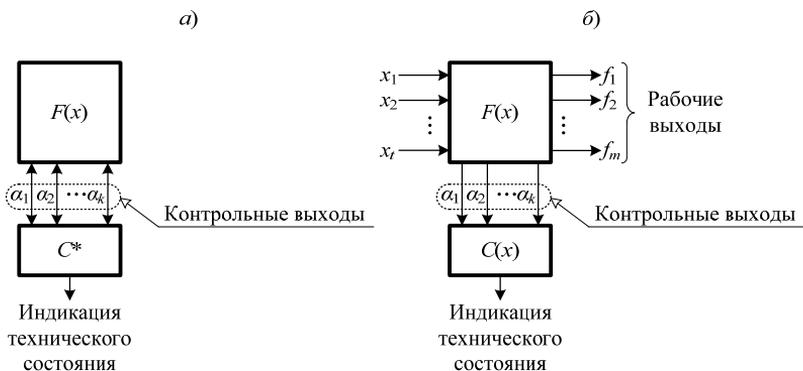


Рис. 1.12. Системы технического диагностирования:

а) система тестового диагностирования; б) система функционального диагностирования

Стратегия тестового диагностирования, как описано выше, осуществима не всегда. Например, путевое реле в рельсовой цепи нельзя отключать в произвольный момент времени, иначе может быть нарушена безопасность перевозочного процесса. В этом случае эффективным будет являться способ **функционального (рабочего) технического диагностирования** – определения технического состояния объекта диагностирования в режиме его работы без отключения от объектов управления [41].

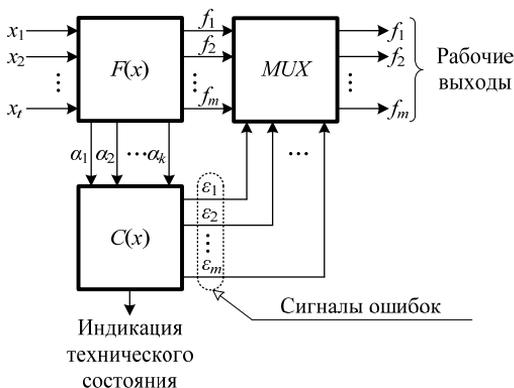
Структура системы функционального диагностирования приведена на рис. 1.12б. В ней контролируемый блок  $F(x)$  выполняет свои функции, а измерительные средства  $C(x)$ , подключенные с соблюдением всех условий безопасности (без прямого электрического контакта) в контрольные точки блока  $F(x)$ , позволяют получать значения контрольных параметров  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$ .

В качестве примера использования средств функционального диагностирования можно привести процесс определения состояния стрелочного перевода по амперметру на пульте-табло дежурного по станции при релейной системе управления движением поездов.

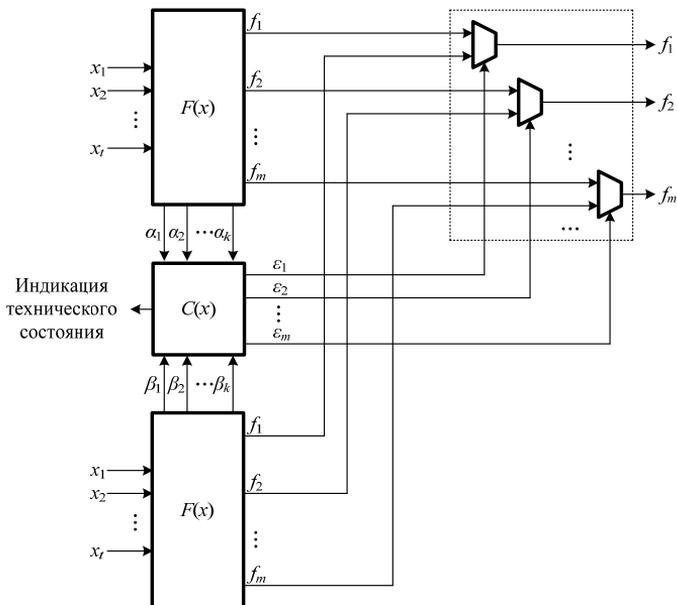
На рис. 1.13 показана более совершенная система функционального технического диагностирования, чем изображенная на рис. 1.12б. В ней средства технического диагностирования  $C(x)$  имеют возможность прямого воздействия на вычисляемые функции блоком  $F(x)$  и при наличии сигнала ошибки отключают рабочий выход с неверным результатом вычисления от управляемых объектов. Это, естественно, влияет на сам технологический процесс – он останавливается, но при этом сохраняется безопасность.

Схема, показанная на рис. 1.14, лишена недостатка структуры, приведенной на рис. 1.13, связанного с блокировкой функций управления. В ней используются два идентичных блока  $F(x)$ , а средства функционального диагностирования  $C(x)$  с установленным периодом диагностирования вычисляют значения контрольных функций  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$  и  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ . Один из блоков  $F(x)$  является

основным, в случае определения в нем отказов выход  $f_i$ , на который влияет возникшая неисправность, отключается и подключается аналогичный выход дополнительного блока.



**Рис. 1.13.** Система управления со встроенными средствами технического диагностирования и возможностью автоматического отключения от работы при наличии ошибок в вычислениях



**Рис. 1.14.** Система дублирования с переключением отказавшего блока

Следует заметить, что структуры, приведенные на рис. 1.13 и 1.14, должны содержать высоконадежные коммутационные устройства, выполненные как

безопасные логические элементы и реализованные в соответствии с требованиями по обеспечению их самопроверяемости [29]. Это так называемая проблема «последнего сторожа». В противном случае не будет обеспечена безопасность работы самой системы.

Современные системы непрерывного мониторинга ЖАТ по способу работы являются системами функционального диагностирования – в выбранные контрольные точки схемных решений ЖАТ подключены измерительные контроллеры, позволяющие получать информацию о техническом состоянии объекта диагностирования, а также реализовывать процесс мониторинга. К сожалению, современные системы непрерывного мониторинга ЖАТ не выполняют ни функций блокирования устройств управления при возникновении опасных отказов, ни тем более переключения вычислительных блоков. Такие функции могли бы существенно улучшить работу всего технологического комплекса, отвечающего за безопасный и безостановочный пропуск поездов по железнодорожным линиям.

На рис. 1.15 отмечаются другие особенности, присущие системам непрерывного мониторинга ЖАТ (они указаны знаком «\*») у соответствующего метода технической диагностики).



Рис. 1.15. Методы технической диагностики

### **1.2.3. Системы непрерывного мониторинга и техническое обслуживание устройств автоматики и телемеханики**

Задача автоматизации процесса функционального диагностирования средств ЖАТ – это задача автоматизации и процесса их технического обслуживания, поскольку это, по сути, одинаковые процессы. Таким образом, создание систем непрерывного мониторинга ЖАТ влечет за собой уменьшение ручного труда по получению значений диагностических параметров и выполнению анализа получаемой информации, а значит, и повышает эффективность самого процесса функционирования средств управления движением поездов и их эксплуатации.

При стопроцентном резервировании и наличии средств технического диагностирования можно проводить мероприятия по восстановлению рабочих характеристик технического объекта только после возникновения неисправности основного элемента. Например, в ЖАТ для подачи сигнальных показаний светофоров используются двухнитевые лампы накаливания. При перегорании основной нити лампы (ресурс ее работы – до 3000 ч) в работу вступает резервная нить. Ресурс ее работы (до 300 ч) позволяет техническому персоналу вовремя, без нарушений в графике движения поездов, произвести замену на исправный технический объект.

При невозможности организации резерва или отсутствии предусмотренного резерва и средств контроля применяется техническое обслуживание с некоторой периодичностью проверок. Например, в дистанциях СЦБ активно используется регламентный или планово-предупредительный метод, подразумевающий выполнение процедур технического обслуживания с недельными, месячными, квартальными или годовыми периодами по специально разработанным технологическим картам [55]. Например, согласно этим картам, для станций первого-четвертого классов требуется производить проверку плотности прижатия острия к рамным рельсам раз в две недели. Однако, как отмечается специалистами [8], данный метод несет высокие экономические расходы за счет необходимости создания структуры по обслуживанию устройств с выделением специализированных бригад электромехаников СЦБ. Совокупная стоимость обслуживания за нормативный период эксплуатации систем ЖАТ может в 5–10 раз превышать капитальные вложения в их строительство.

Тенденции западноевропейских железных дорог связаны с применением так называемого обслуживания устройств по фактическому состоянию [55]. Системы автоматического технического диагностирования непрерывно контролируют состояния объектов, передают информацию на специализированные компьютеры, оснащенные автоматизированными рабочими местами, анализируют ее и выдают сотрудникам сервисных центров. В случае наличия отклонений от норм в работе устройств ЖАТ сервисные бригады выезжают к месту их расположения и восстанавливают их работоспособные состояния. Этот подход позволяет максимально использовать ресурс технического объекта при минимальной численности штата обслуживающего персонала.

В России на станциях и перегонах происходит постепенный переход с релейной элементной базы на новейшую микропроцессорную и микроэлектронную. Этот переход проходит медленно, что определяется масштабами российских железных дорог (по состоянию на конец первого десятилетия XXI в. эксплуатационная длина железных дорог составила свыше 85 тыс. км, число станций – свыше 5 тыс., где функционируют в общей сложности более 150 тыс. централизованных стрелок). Мгновенное же перевооружение инфраструктуры железных дорог новыми системами автоматики невозможно также и по причине высоких экономических затрат на их внедрение. В настоящее время в основном модернизируются системы автоматического управления в крупных промышленных узлах, на многих же периферийных участках продолжают функционировать старые системы релейного действия (или даже электрожелезловая система регулирования движения поездов на перегонах). Увеличение объемов грузовых и пассажирских перевозок в стране, а также повышение пропускной способности линий подразумевают снижение риска возникновения опасных ситуаций в перевозочном процессе и нарушений в графике движения поездов. Совершенствуется весь комплекс железнодорожного транспорта в целом, в том числе и системы автоматики и телемеханики.

С целью повышения отказоустойчивости и ремонтпригодности устройств и систем ЖАТ внедряются развитые средства их автоматизированного функционального диагностирования (рис. 1.16). Данные средства создаются на микропроцессорной основе и позволяют определять технические состояния автоматически с достаточно маленьким периодом (для некоторых устройств это доли секунд). Таким образом, создаются системы непрерывного диагностирования технического состояния устройств ЖАТ, т. е. системы мониторинга (от *лат.* monitor – наблюдение, слежение).

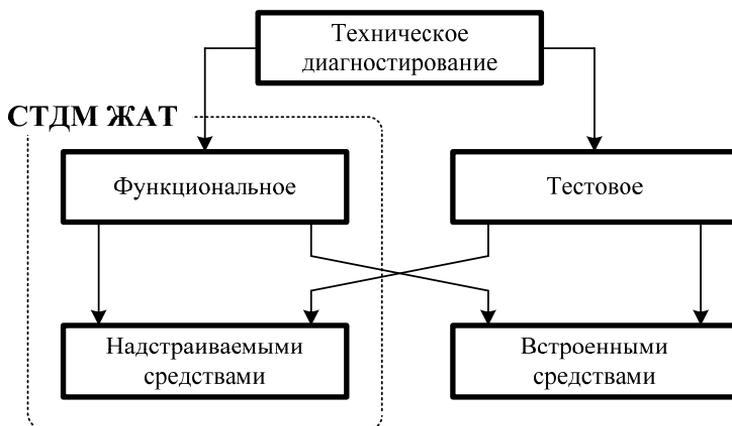


Рис. 1.16. Классификация методов технического диагностирования

### ***1.3. Современные системы непрерывного мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики***

Первые системы, позволяющие передавать на центральный пост информацию с децентрализованного объекта управления на железнодорожном транспорте, возникли на советских железных дорогах. Так в 1934 г. инженер Д. С. Спасский изобрел «Устройство для подачи сигналов с линии на диспетчерский пункт» [54]. Уже в 1935 г. стали появляться первые американские патенты на изобретение устройств диспетчерского контроля. Развитие науки и техники в первой половине XX в. привело к созданию первых прототипов систем непрерывного мониторинга ЖАТ (естественно, в те годы данные системы такого названия не имели) – систем диспетчерского контроля.

В 1949 г. Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта разработал первую систему диспетчерского контроля, получившую название ДК-ЦНИИ-49. В период с 1949 по 1951 г. ею был оборудован опытный участок «Тула – Пахомово» протяженностью 53 км Московско-Курской железной дороги (примечательно, что спустя ровно полвека на этом же объекте будет внедрена первая микропроцессорная система диспетчерского контроля под названием «Аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля» [54]). С 1951 г. началось активное внедрение первой системы диспетчерского контроля на железных дорогах СССР.

В 1957 г. Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта усовершенствовал свою систему диспетчерского контроля и создал быстродействующую систему БДК-ЦНИИ-57. Система стала активно тиражироваться на советских железных дорогах. В 1966 г. была создана еще одна система диспетчерского контроля, работающая с применением частотного принципа передачи информации – система ЧДК. К 1970-м гг. более 50 тыс. км советских железных дорог были оборудованы системами диспетчерского контроля [54].

Первые системы непрерывного мониторинга ЖАТ – системы диспетчерского контроля – имели возможность получения ограниченного количества диагностической информации – ими контролировались только дискретные параметры устройств ЖАТ – свобода/занятость рельсовых цепей, открытие/закрытие светофоров, положение стрелок, состояние переездов и т. п. Более того, мощность множества передаваемой информации была ограничена (например, в системе ЧДК общее количество контролируемых объектов равно 480).

16 декабря 1947 г. физики Bell Labs Уолтер Браттейн и Джон Бардин создали первый в мире работоспособный точечный транзистор. Это событие перевернуло мир техники, в том числе используемой на железнодорожном транспорте. Транзисторная техника стала активно развиваться, стали появляться сначала точечные транзисторы, затем логические элементы, микросхемы и микропроцессоры. Сегодня именно они являются элементной базой систем непрерывного мониторинга ЖАТ. Использование аналого-цифровых преобразователей дало возможность получения непрерывной диагностической информации (напряжения, токи, сопротивления и т. д.), стал возможным не только «диспетчерский контроль», но и прогнозирование технического состояния.

В 1980-е гг. на кафедре автоматики и телемеханики на железных дорогах Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта под руководством А. В. Гриненко проводятся первые работы по автоматизации измерений параметров устройств ЖАТ [15]. Первые прототипы современных систем непрерывного мониторинга ЖАТ были получены в лабораториях кафедры в 1994 г. В 1996 г. в Чудовской дистанции сигнализации и связи Октябрьской железной дороги впервые был внедрен «Аппаратно-программный комплекс диспетчера дистанции сигнализации и связи» (АРМ-ШЧД). Новая система, названная разработчиками «Аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля» (АПК-ДК), стала активно развиваться и внедряться в эксплуатацию на Восточно-Сибирской железной дороге. Параллельно разработку аналогичного средства технического диагностирования вел Институт по проектированию сигнализации, централизации, блокировки, связи и радио на железнодорожном транспорте «Гипротрансигнальсвязь» – филиал АО «Росжелдорпроект». Впоследствии эту систему назвали «Автоматизированная система диспетчерского контроля» (АСДК) [1–3, 43].

В 1999 г. систему АПК-ДК внедрили на станции «Тула» Московской железной дороги. Это событие произошло под руководством научных сотрудников кафедры автоматики и телемеханики на железных дорогах Петербургского государственного университета путей сообщения А. В. Гриненко и Б. Л. Горбунова [25]. Чуть позже, в начале XXI в., на базе научных лабораторий кафедры были созданы предприятия ООО «Компьютерные информационные технологии» и ЗАО МГП «ИМСАТ», функционирующие до сих пор.

В 2001 г. были изданы первые методические указания по проектированию АПК-ДК. Можно сказать, образовался новый класс устройств ЖАТ – систем автоматизированного контроля и технического диагностирования (рис. 1.17).

В 2002 г. в Ростове-на-Дону научно-производственным предприятием «Югпромавтоматизация» была создана «Автоматизированная система диагностирования и контроля устройств сигнализации, централизации и блокировки» (АДК-СЦБ) [50–52, 57]. Кроме того, на ряде перегонов внедрена система диагностики технических средств автоблокировки и переездной сигнализации (СДТС-АПС), разработанная «Инфотэкс АТ».

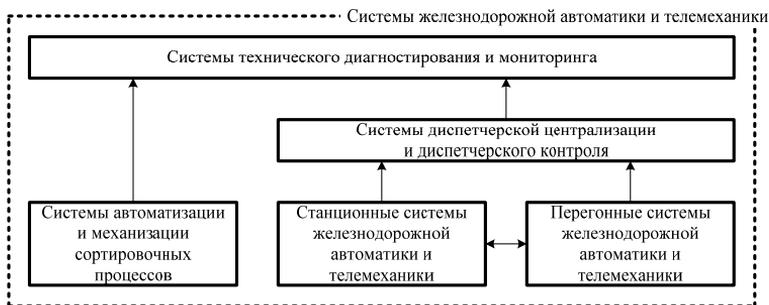


Рис. 1.17. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики

**Таблица 1.2. Основные показатели систем технического диагностирования и мониторинга**

Критерии сравнения	Системы удаленного контроля состояния устройств железнодорожной автоматики и телемеханики					
	ЧДК, ДК-ЦНИИ	АПК-ДК СТДМ	АСДК	АПК-ДК	АДК-СПБ	КДК-СУ
Производитель	ВНИИЖТ	Кафедра АТ совместно с ООО «НИТ»	Институт ГТСС совместно с ООО «Сектор» Санкт-Петербург	Кафедра АТ совместно с ЗАО «МПП „ИМСАТ“» Санкт-Петербург	НПП ЮНПА	ОАО «НИИАС»
Город	Москва	Санкт-Петербург	Санкт-Петербург	Санкт-Петербург	Ростов-на-Дону	Ростов-на-Дону
Год внедрения	1950–1970 гг.	1997	1997	2000	2002	2002
Объекты внедрения	Железные дороги СССР	15 железных дорог РФ, в т. ч. Октябрьская ж. д., Московская ж. д., Северная ж. д.	3 железные дороги РФ: Южная, Восточная ж. д., Горьковская ж. д., Куйбышевская ж. д.	5 железных дорог РФ, в т. ч. Калининградская ж. д., Забайкальская ж. д., Дальневосточная ж. д.	6 железных дорог РФ, в т. ч. Северо-Кавказская ж. д., Свердловская ж. д., Западная Сибирская ж. д.	Сортировочные горки на ж. д. РФ, в т. ч. станции «Баскаково – Сортировочное», «Красноярск – Воронеж», «Санкт-Петербург – Московская Сортировочная»
Километраж покрытия ж. д., не менее	Более 60 000	Более 10 000 км	Более 2000 км	Более 5000 км	Более 5000 км	–
Структура	Иерархическая, трехуровневая	Иерархическая, трехуровневая	Иерархическая, двухуровневая	Иерархическая, трехуровневая	Иерархическая, трехуровневая	Иерархическая, двухуровневая
АРМ отображения информации	АРМ ПШ	КЗ «Мониторинг»	АРМ АСДК	АРМ АПК-ДК	АРМ ДК ПШ	АРМ КДК СУ
Уровень автоматизации процесса анализа диагностической информации	Отсутствует			Средний		Высокий
Полнота контроля	Низкая; только дискретная информация о состоянии светофоров и рельсовых цепей			Высокая; состояние объектов, ячеек технологического назначения, самодиагностирование, аналоговые измерения		
Контроль дискретной инф.	+	+	+	+	+	+
Контроль аналоговой инф.	–	–	–	–	–	–
Возможности прогнозирования и автоматизации ТО	–	–	–	–	–	–
Наличие интегрированных СПИР	–	–	–	–	–	–

**Таблица 1.3. Оснащенность станций и перегонов средствами непрерывного мониторинга**

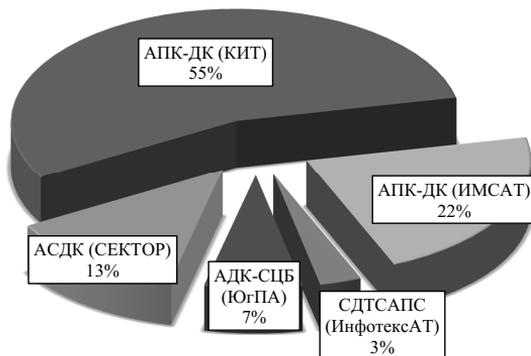
Дорога	Количество станций, оборудованных электрической централизацией стрелок и сигналов		Доля станций, оборудованных средствами непрерывного мониторинга, %	Количество перегонов с автоблокировкой		Доля перегонов, оборудованных средствами непрерывного мониторинга, %
	Всего	Оборудованных средствами непрерывного мониторинга		Всего	Оборудованных средствами непрерывного мониторинга	
Октябрьская	600	228	38	555	221	40
Калининградская	36	29	81	16	18	113
Московская	612	433	71	722	356	49
Горьковская	341	127	37	298	75	25
Северная	327	178	54	326	140	43
Северо-Кавказская	396	185	47	331	79	24
Юго-Восточная	231	146	63	247	138	56
Приволжская	243	42	17	260	30	12
Куйбышевская	327	73	22	398	52	13
Северная	405	62	15	333	27	8
Южно-Уральская	227	31	14	243	22	9
Западно-Сибирская	288	35	12	300	22	7
Красноярская	169	40	24	144	11	8
Восточно-Сибирская	235	90	38	241	83	34
Забайкальская	175	57	33	153	59	39
Дальневосточная	411	79	19	290	75	26
Всего	5023	1835	37	4857	1408	29

Сегодня системы АПК-ДК, АСДК, АДК-СЦБ – это основные системы непрерывного мониторинга ЖАТ, действующие на железных дорогах России (табл. 1.2 и 1.3). Данные системы внедряются на различных полигонах по всей стране. Например, основной объект внедрения АДК-СЦБ – это Северо-Кавказская железная дорога, система АПК-ДК, к слову, внедрена на всех железных дорогах России. На некоторых железных дорогах даже в пределах одной дистанции действует несколько систем непрерывного мониторинга ЖАТ.

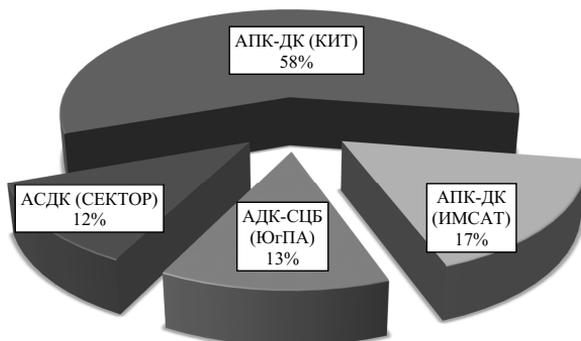
Как следует из табл. 1.3, в настоящее время около трети железнодорожных линий ОАО «РЖД» оборудовано системами непрерывного мониторинга устройств ЖАТ. Наибольшее покрытие среди всех систем непрерывного мониторинга имеет система АПК-ДК – ее покрытие составляет свыше 75% от действующих на железных дорогах Российской Федерации систем непрерывного мониторинга устройств ЖАТ. На рис. 1.18 и 1.19 даются данные об оснащенности станций и перегонов известными системами непрерывного мониторинга устройств ЖАТ на начало 2015 г.

Для централизации процесса обработки диагностической информации с линейных постов данные передаются в концентраторы информации центральных постов, расположенные в зданиях дистанций СЦБ, а затем – в специальные ситуационные центры – Центры мониторинга [11]. Первый такой центр начали строить в 2003 г. в Санкт-Петербурге – центр мониторинга Октябрьской железной дороги [25]. В 2007 г. он был сдан в эксплуатацию. Сотрудники центра мониторинга непрерывно работают, анализируя диагностическую информацию, получаемую от устройств ЖАТ. За годы работы центра мониторинга удалось сократить количество отказов более чем в 2 раза.

К концу первого десятилетия XXI в. ситуационные центры были запроектированы на многих железных дорогах – в первую очередь, Западно-Сибирской, Северо-Кавказской, Московской и Куйбышевской.



**Рис. 1.18.** Оснащенность перегонов системами непрерывного мониторинга



**Рис. 1.19.** Оснащенность станций системами непрерывного мониторинга

Современные системы непрерывного мониторинга ЖАТ постоянно совершенствуются: создаются новые измерительные контроллеры, улучшаются каналы передачи информации, повышается надежность самих элементов систем непрерывного мониторинга ЖАТ, используются логические методы обработки диагностической информации, минимизируется количество измерительного оборудования и соответственно стоимость самой системы непрерывного мониторинга ЖАТ и т. д. [9, 16, 23, 24, 34, 36]. Более того, к началу второго десятилетия XXI в. руководители железных дорог пришли к важному выводу – необходимости комплексного анализа диагностической информации обо всех объектах инфраструктуры железных дорог, и прежде всего от объектов путевого хозяйства, хозяйства автоматики и телемеханики и хозяйства энергоснабжения. Стали создаваться ситуационные центры, куда стекается информация от систем автоматизированного диагностирования различных объектов инфраструктуры железных дорог [31, 32, 37].

Системы непрерывного мониторинга ЖАТ внедряются не только на магистральных железных дорогах, но и на сортировочных горках и в метрополитенах. Например, Ростовским отделением ОАО «НИИАС» с 2002 г. создается система «Контрольно-диагностический комплекс устройств сортировочных горок» (КДК-СУ), ориентированная только на автоматизацию и механизацию сортировочных процессов, а также на диагностирование устройств автоматики, обеспечивающих данные процессы [38, 48], а в 2010 г. был согласован проект оборудования станции «Парнас» петербургского метрополитена средствами автоматизированного технического диагностирования АПК-ДК [21].

В начале XXI в. различные системы непрерывного мониторинга ЖАТ развиваются в одинаковых направлениях. Каждая из данных систем реализует *концепцию технического диагностирования и непрерывного мониторинга устройств ЖАТ*, которую можно сформулировать так: *повышение отказоустойчивости и ремонтпригодности устройств железнодорожной автоматики до-*

стигается за счет непрерывного процесса диагностирования, обработки и автоматизированного анализа получаемой информации от объектов контроля.

Реализация систем непрерывного мониторинга концепции технического диагностирования и мониторинга позволяет решать все задачи технической диагностики, при этом достигается:

- контроль технического состояния устройств ЖАТ с возможностью фиксации отклонений их рабочих параметров от допустимых норм;
- сокращение количества отказов благодаря выявлению момента их зарождения на стадии предотказного состояния;
- контроль качества выполнения технического обслуживания, а в некоторых случаях и автоматизация его выполнения;
- создание предпосылок к переходу на техническое обслуживание устройств по их фактическому состоянию;
- сокращение времени на поиск неисправностей и восстановление работоспособного состояния устройств ЖАТ;
- архивация, хранение, восстановление событий и сбор статистической информации.

Достоинства современных систем непрерывного мониторинга очевидны. Недостатки же с возможными вариантами их устранения сведены в табл. 1.4.

**Таблица 1.4.** Недостатки современных систем непрерывного мониторинга и перспективы их устранения

№	Недостатки систем непрерывного мониторинга	Последствия	Перспективы устранения
1	Недостаточная полнота и глубина контроля некоторых устройств ЖАТ	Непосредственное влияние на предотвращение неисправностей, а в случае возникновения отказов – на время их поиска	Анализ возможностей систем непрерывного мониторинга и разработка технических решений по установке датчиков контроля в необходимые узлы систем ЖАТ
2	Низкое качество работы каналообразующей аппаратуры	Потеря данных о состоянии устройств ЖАТ	Применение современных компьютерных технологий, а также резервирование трактов передачи данных
3	Низкий уровень автоматизации процесса технического обслуживания и процесса обработки диагностической информации	Требуется создание дополнительного эксплуатационного штата в дистанциях СЦБ и ситуационных центрах	Развитие средств логической обработки диагностической информации средствами систем непрерывного мониторинга
4	Наличие специального программного обеспечения и большого количества датчиков съема диагностической информации	Необходима постоянная сервисная поддержка разработчиком	Создание малообслуживаемых систем непрерывного мониторинга с самопроверяемыми датчиками съема данных
5	Выявление большого числа ложных предотказных состояний	Нецелесообразное использование трудовых ресурсов дистанций СЦБ и центров мониторинга	Исследования в области определения предотказных состояний различных устройств ЖАТ

# ГЛАВА 2. АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА СИСТЕМ МОНИТОРИНГА

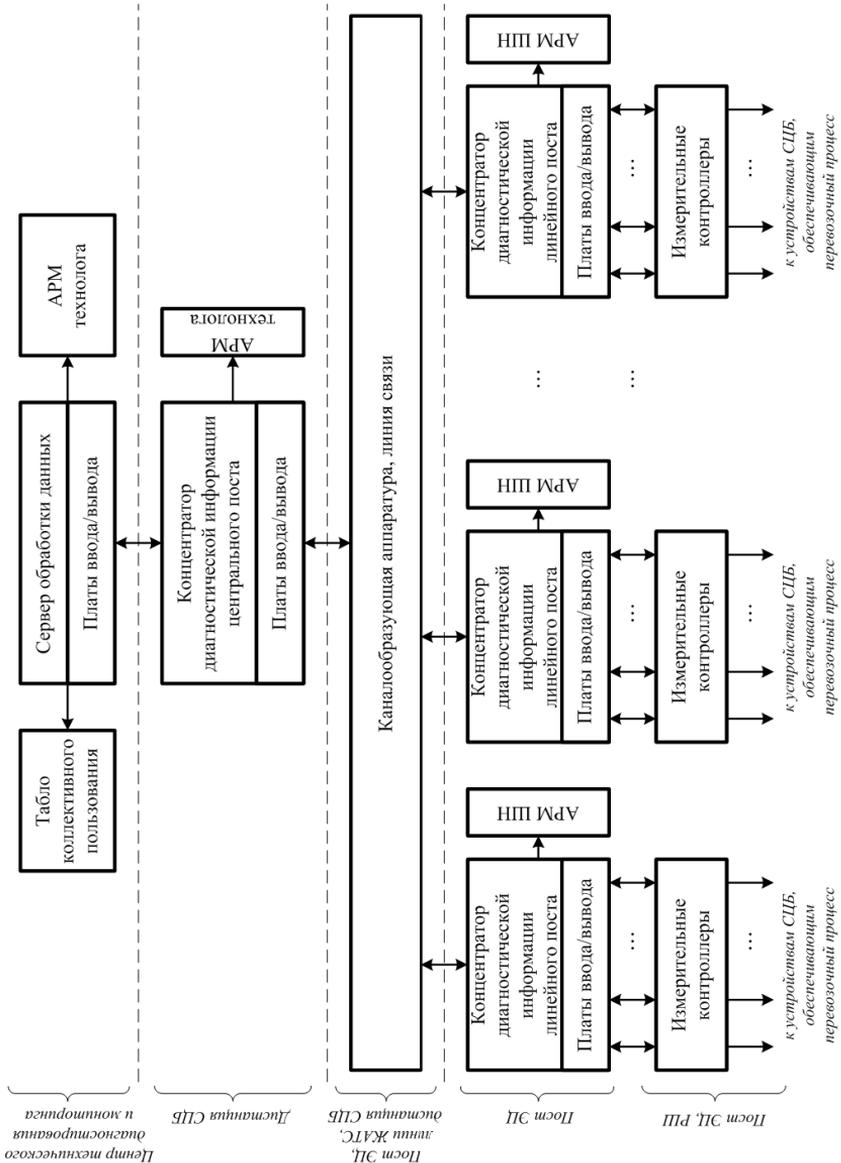
## *2.1. Организация работы систем непрерывного мониторинга*

### **2.1.1. Организационная структура систем непрерывного мониторинга**

Организационная структура любой системы непрерывного мониторинга ЖАТ по сути одинакова – каждая из них строится, как и для всех автоматизированных систем управления и контроля, по многоуровневому иерархическому принципу (рис. 2.1).

На станциях на постах ЭЦ или в транспортабельных модулях, а также на перегонах в релейных шкафах (при их наличии) к средствам ЖАТ подключаются измерительные контроллеры. Это есть уровень «зарождения диагностической информации». Существует большое разнообразие используемых измерительных контроллеров, работающих с применением различных физических эффектов. Измерительные контроллеры либо сами посылают полученные данные в расположенный на посту ЭЦ концентратор информации (например, так происходит при съеме данных устройством АКСТ), либо по запросу, инициируемому самим концентратором (к примеру, опрос контроллера ПИК-10). Так образован уровень низовой автоматики в любой системе непрерывного мониторинга ЖАТ. От выбора точек подключения измерительных контроллеров, а также от объема диагностической информации зависит полнота и глубина технического диагностирования и, как следствие, точность прогнозирования дальнейших изменений в работе устройств ЖАТ. В настоящее время уровень получения диагностической информации преимущественно использует ограниченный набор электрических параметров устройств ЖАТ, чего явно недостаточно для качественного мониторинга.

Концентратор, представляющий собой промышленный компьютер, осуществляет сбор и первичную обработку диагностических данных от контролируемых устройств. Концентратор работает под операционной системой реального времени класса UNIX – системой QNX, в которой, в отличие от любой системы Windows, нет ощутимой задержки передаваемой информации. Здесь же настраиваются программы опроса датчиков измерительных контроллеров (драйверы). Информация с концентратора также передается на автоматизированные рабочие места (АРМ) технологов систем непрерывного мониторинга. АРМ представляют собой персональные компьютеры с установленным на них программным комплексом мониторинга устройств автоматики и функционируют под операционной системой Windows.



**Рис. 2.1.** Организационная структура систем непрерывного мониторинга

Концентратор по трактам передачи данных осуществляет трансляцию информации с конкретной станции (в системах ДК она называется линейным постом) в концентратор, расположенный в здании дистанции СЦБ (на центральный пост). Сети передачи данных, каналобразующая аппаратура и концентратор линейного поста образуют средний уровень, или же уровень связи, в системе непрерывного мониторинга. Уровень связи образуется такими устройствами, как платы ввода/вывода данных в концентраторах, модемы и модульные маршрутизаторы, витые пары или оптоволокно, линия ДСН-ОДСН или ДК-ОДК и пр.

Для передачи данных в последние годы используют сотовую связь стандарта GSM [24], а также радиоканал с выделенной частотой 868,7 МГц в диапазоне нелицензируемых частот [19].

Связь стандарта GSM применяют при организации мониторинга децентрализованных объектов при полуавтоматической блокировке на перегонах. При использовании данной системы управления движением поездов на перегоне не укладываются кабели СЦБ, а значит, передача данных без прокладки нового кабеля или использования сотовой связи невозможна. На перегонах с полуавтоматической блокировкой требуется контролировать состояние переездной автоматики. Для организации сети передачи данных применяют промышленные модемы типа MOXA OnCeLL G3251, работающие в полосе частот 850/900/1800/1900 МГц (GSM/GPRS). Данный прибор имеет два интерфейса RS-232/422/485 и интерфейс Ethernet и работает в диапазоне температур  $-30...+55^{\circ}\text{C}$ . На приемном конце на станции устанавливается роутер типа Huawei b260, работающий в полосе частот 900/1800 МГц (EDGE/GPRS/GSM), 900/2100 МГц (HSPA/HSPDA/UMTS).

В 2015 г. для передачи данных с децентрализованных объектов был разработан способ передачи информации, использующий радиоканал с выделенной частотой 868,7 МГц. Сеть организуется путем применения датчиков, работающих как диагностические приборы и как роутеры и размещаемых на анкерных участках железнодорожной контактной подвески через расстояния от 1 до 2 км [19]. В отличие от известных аналогов, например LoRaWAN, разработанный протокол передачи данных позволяет оптимизировать энергозатраты, а также имеет автоматически перестраиваемую в случае отказов приборов топологию сети.

Использование беспроводных трактов передачи данных открывает широкие возможности в организации мониторинга не только объектов автоматики, но и всей железнодорожной инфраструктуры.

На верхнем уровне систем непрерывного мониторинга (уровне анализа информации) производится получение, обработка и архивирование диагностической информации и, кроме того, ее передача на дорожный сервер мониторинга – например, на Октябрьской железной дороге он располагается в здании Единого центра управления перевозками на станции «Санкт-Петербург – Московская – Пассажи́рская».

На верхнем иерархическом уровне в пределах железных дорог в дирекциях инфраструктуры организованы центры технического диагностирования и мониторинга и ситуационные центры (центры мониторинга и ЦУСИ). Сотрудники данных центров анализируют диагностическую информацию и координируют действия технического персонала дистанций СЦБ по предупреждению и предотвращению неисправностей систем управления движением поездов, тем самым способствуя повышению эффективности их функционирования.

### 2.1.2. Ситуационные центры

Развитие систем непрерывного мониторинга в конце XX – начале XXI в. привело к тому, что электромеханикам и технологам на станциях и в дистанциях СЦБ стало трудно справляться с большим объемом диагностической информации. Кроме того, на некоторые возникающие неисправности (предотказы и отказы) технический персонал дистанций СЦБ стал обращать меньшее внимание. Это возникало по нескольким причинам: некоторые неисправности фиксировались системами мониторинга ложно (некачественная работа систем непрерывного мониторинга), а на некоторые неисправности электромеханики СЦБ сознательно не обращали внимания по причине фиксации неисправностей, непосредственно не влияющих на работу систем управления движением поездов. Более того, с развитием систем непрерывного мониторинга стал заметен рост объема диагностической информации, обработка которой становилась слишком громоздкой и требовала больших трудозатрат. Разработчиками АПК-ДК и руководящим аппаратом ОАО «РЖД» было принято решение о создании специализированных ситуационных центров – центров мониторинга систем непрерывного мониторинга.

В 2003 г. в едином центре управления перевозками Октябрьской железной дороги начинает строиться первый такой центр. Его внедрение в опытную эксплуатацию состоялось в начале 2007 г., и уже к концу 2007 г. первый центр мониторинга был сдан в постоянную эксплуатацию [25]. Параллельно работе над первым центром мониторинга стали планироваться работы и по созданию аналогичных центров на других железных дорогах. Сначала на Западно-Сибирской и Северо-Кавказской железных дорогах, а затем и на Московской и Куйбышевской железных дорогах. Сегодня подобные центры функционируют или строятся почти во всех дирекциях инфраструктуры железных дорог Российской Федерации.

Эксплуатация ситуационных центров подразумевает не только анализ работы средств обеспечения безопасности движения поездов, но и координацию действий технического персонала дистанций СЦБ по поддержанию высокого уровня отказоустойчивости средств автоматики. В свою очередь, функционирование центра мониторинга с дальнейшим распространением систем непрерывного мониторинга ЖАТ на железных дорогах России приближает переход на прогрессивный метод обслуживания устройств автоматики по состоянию.



**Рис. 2.2.** Первый центр мониторинга устройств ЖАТ

Рассмотрим технологию работы центров мониторинга на примере ситуационного центра, построенного в 2003–2007 гг. в Едином центре управления перевозками Октябрьской железной дороги (рис. 2.2).

Организационная иерархия центра мониторинга (рис. 2.3) включает в себя должности технологов и начальника, а также еще и ведущего технолога-аналитика (он является промежуточным звеном между технологами и начальником). Каждый технолог закреплен за группой дистанций СЦБ и анализирует диагностические ситуации, возникающие в обозначенных пределах железной дороги. Так, например, в центре мониторинга Октябрьской железной дороги один технолог закреплен за Московской, Тверской и Бологовской дистанциями СЦБ [32]. Распределение технологов осуществлено по объему диагностических данных, а также по географическому принципу расположения дистанций.

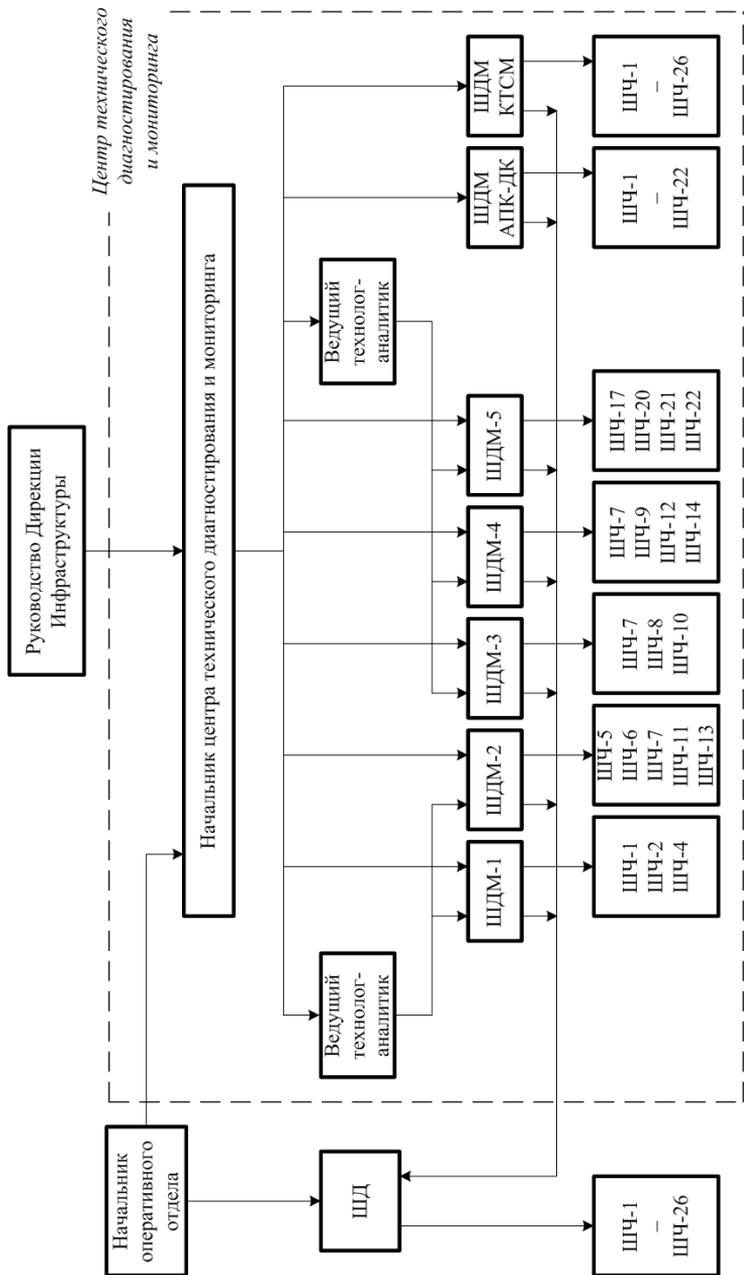


Рис. 2.3. Иерархическая структура центра мониторинга Октябрьской железной дороги

Реагируя на информационные сообщения от АРМ, функционирующей в пределах Октябрьской железной дороги системы АПК-ДК, технологи вырабатывают рекомендации для обслуживающего персонала дистанций СЦБ по поддержанию их надежной работы. Кроме того, в задачи технологов центров мониторинга входят вопросы совершенствования самих средств технического диагностирования и мониторинга, поэтому они взаимодействуют с сервисным центром (*call center*), сформированным самими разработчиками систем непрерывного мониторинга. По рекомендации технологов сотрудники сервисного центра могут корректировать программное обеспечение, а также при необходимости передавать информацию о неисправностях средств диагностирования пусконаладчикам АПК-ДК.

Центр мониторинга работает круглосуточно, здесь организовано посменное дежурство. Поясним взаимосвязи на рис. 2.3. Технологи ШДМ-1 и ШДМ-2 анализируют состояние средств ЖАТ в дистанциях, расположенных на участке «Москва – Санкт-Петербург – Буловская», технолог ШДМ-3 занимается обработкой данных на участке «Санкт-Петербург – Кошта», технолог ШДМ-4 отвечает за направление «Мга – Усть-Луга», а ШДМ-5 – «Свирь – Мурманск». Помимо работы с основными средствами ЖАТ, необходим контроль качества средств самой системы диагностирования АПК-ДК, а также информационной системы КТСМ<sup>1</sup>. Для этого выделены должности технологов ШДМ КТСМ и ШДМ АПК-ДК.

Сегодня с развитием самих систем непрерывного мониторинга преобразуются и центры мониторинга, совершенствуются алгоритмы обработки диагностических данных, появляются новые функции в АРМ технологов, проводятся курсы повышения квалификации технологов и пр. Таким образом, растет уровень диагностирования средств ЖАТ и, как следствие, повышается надежность и безопасность перевозочного процесса в целом.

## **2.2. Измерительные контроллеры**

### **2.2.1. Особенности измерительных контроллеров для устройств железнодорожной автоматики и телемеханики**

Для получения диагностической информации используются разнообразные измерительные контроллеры, различающиеся по принципу действия и назначению, по количеству датчиков для подключения к объектам диагностирования, а также по различным рабочим диапазонам измеряемых величин. Задачи, однако, каждого из них одни и те же – без опасного влияния на контроли-

---

<sup>1</sup> КТСМ – комплекс технических средств многофункциональный; предназначен для поддержания надежности работы подвижного состава железных дорог, в его функции входит контроль нагрева буксовых узлов, обнаружение дефектов поверхностей катания колесных пар, фиксация негабаритностей и пр.

руемые устройства обеспечить получение диагностической информации, ее обработку и передачу в концентратор информации.

Измерительные контроллеры систем непрерывного мониторинга ЖАТ в основном получают ряд электрических параметров устройств ЖАТ, которые в дальнейшем и обрабатываются сначала самими измерительными контроллерами, а затем программным обеспечением, установленным на концентраторах диагностической информации, расположенных на постах ЭЦ и в транспортабельных модулях [22]. Это позволяет системам непрерывного мониторинга в некоторой степени автоматизировать задачу получения контрольной информации о техническом состоянии многих объектов ЖАТ.

Контроллеры подключаются в электрические цепи систем управления движением поездов с соблюдением условий по безопасности – они не должны влиять на работу основных устройств автоматики. С этой целью в измерительных приборах предусматривается использование различных конструктивных мер: гальванической развязки (трансформаторной или оптической), защитных и ограничивающих резисторов и диодов, а также приспособлений измерения напряженности магнитного поля (датчики Холла). Перед использованием в составе систем мониторинга измерительные датчики проходят обязательную процедуру сертификации.

Исторически первые измерительные контроллеры ЖАТ представляли собой устройства, смонтированные в корпусах реле (например, реле НМШ). Выводы датчиков представляли собой выводы на задней панели реле. Это удобно, так как измерительный контроллер при таком исполнении легко можно поместить на свободное место стativa в релейном помещении. Весь монтаж проводов также удобно осуществлять по аналогии с тем, как это реализовано в системе управления движением поездов. Это своего рода интеграция системы технического диагностирования и мониторинга с системой управления движением поездов.

### **2.2.2. Получение диагностической информации от устройств электрических централизаций**

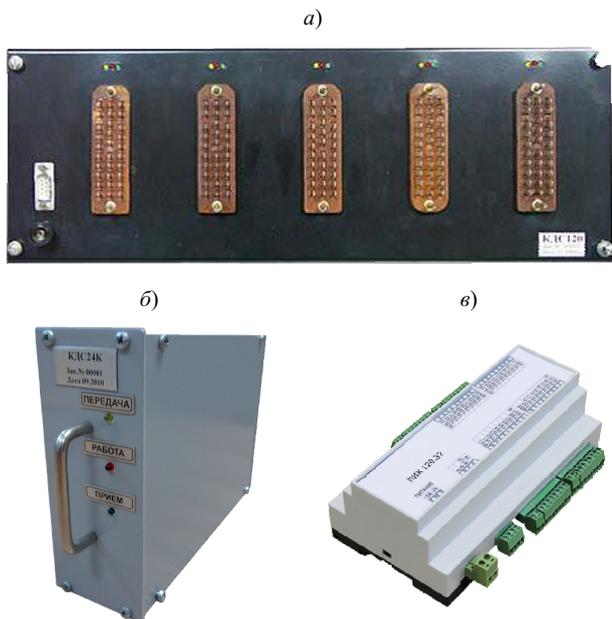
Основным контроллером для получения дискретной диагностической информации о станционных объектах ЖАТ является программируемый индустриальный контроллер съема дискретной информации на станции (ПИК-120). ПИК-120 имеет 120 дискретных входов и предназначен для преобразования в стандартный цифровой вид постоянного напряжения в диапазоне от  $-36$  до  $+36$  В. При этом наличие напряжения на датчике контроллера интерпретируется как сигнал логической единицы, а отсутствие напряжения – как сигнал логического нуля. По запросу концентратора ПИК-120 передает в последовательном коде диагностическую информацию.

Внешне ПИК-120 представляет собой достаточно габаритный объект (рис. 2.4). Его размещают в коммутирующих станционных устройствах УКС-4,

выполненных конструктивно в виде шкафа. В один шкаф УКС-4 помещается до четырех измерительных контроллеров ПИК-120.

ПИК-120 подключается к лампам или светодиодам табло, пультов-табло и пультов-манипуляторов релейных систем ЭЦ, а также на «сухие контакты» реле (свободные контакты без гальванической развязки с цепями электропитания и «землей»). Фирмы-разработчики для этих целей специально разрабатывают улучшенные конструкции светодиодных индикаторов.

ПИК-120 используется достаточно давно и имеет ряд недостатков, прежде всего связанных с повышенным энергопотреблением. Его усовершенствованная модификация – контроллер дискретных сигналов КДС-120 – этого недостатка лишен. В нем снижено энергопотребление входов контроллера, что значительно снижает дополнительную нагрузку на полюса питания индикаторов табло.



**Рис. 2.4.** Внешний вид контроллеров съема дискретной диагностической информации:  
а) ПИК-120 и КДС-120; б) КДС-24К; в) ПИК 120.32

Кроме ПИК-120 и КДС-120 в системах функционального диагностирования и мониторинга используются такие измерительные контроллеры, как КДС-24К (рис. 2.4б). Данный измерительный контроллер размещается на станинах в релейных помещениях и используется для получения диагностической информации от отдельных реле. Можно сказать, что данный прибор применяется для сокращения аппаратной избыточности приборов ПИК-120 и КДС-120.

В КДС-24К имеются 24 датчика ввода дискретной диагностической информации (в 5 раз меньше, чем у других измерительных приборов, предназначенных для этих целей).

В составе системы АПК-ДК также используется прибор ПИК-120/64, реализующий те же функции, что и описанные выше средства технического диагностирования. В зависимости от модификации данный прибор имеет 32 или 64 дискретных входа, разделенных на группы по 8 входов.

Для измерения аналоговых параметров устройств ЖАТ на станциях используется целый ряд контроллеров.

Одним из первых изобретенных контроллеров является программируемый индустриальный контроллер съема аналоговой информации на станции (ПИК-10). ПИК-10 конструктивно исполняется в корпусе реле НМШ (рис. 2.5), что удобно использовать при постановке прибора на релейные стativы. ПИК-10 имеет 10 аналоговых входов и измеряет:

- средние значения напряжений сигналов переменного тока, поступающего на аналоговые дифференциальные входы;
- сопротивление изоляции электрических цепей, подключенных к аналоговым входам относительно земли (кабель, монтаж) контролируемых объектов.



Рис. 2.5. Внешний вид контроллера ПИК-10

ПИК-10 измеряет напряжения с частотой 25, 50 и 75 Гц в рельсовых цепях, с промышленной частотой – на питающих установках и питающих фидерах. Кроме того, как отмечено выше, ПИК-10 измеряет также сопротивление изоляции электрических цепей контролируемых устройств ЖАТ.

Диагностическую информацию ПИК-10 передает в виде последовательного цифрового кода в концентратор по его запросу.

К десяти аналоговым дифференциальным входам могут прикладываться переменные напряжения амплитудой  $0 \text{ В} \leq U \leq 50 \text{ В}$  с частотой 25, 50 или 75 Гц. Эти напряжения подаются на вход аналогово-цифрового преобразователя (АЦП) через контакты релейного коммутатора, в нормальном состоянии каждый из которых разомкнут.

Реле включаются последовательно по командам микроконтроллера только после того, как на микроконтроллер от концентратора поступила команда на проведение измерений напряжения и сопротивления изоляции. В произвольный

момент времени во включенном состоянии может находиться только одно реле, обеспечивая подключение к точке измерения. С выхода релейного коммутатора напряжение поступает на дифференциальный вход АЦП.

Таким образом, к дифференциальному входу АЦП прикладывается напряжение каждого канала для преобразования в цифровой код.

Для измерения сопротивления изоляции используется входящий в состав ПИК-10 источник постоянного напряжения, создающий токи утечки в измеряемой цепи, которые фиксируются АЦП.

Способ измерения сопротивления изоляции основан на измерениях токов утечки, протекающих между защитным заземлением релейного стativa и одной из внешних аналоговых цепей, к которой в данный момент через релейный коммутатор подключен ПИК-10. Измеренные токи утечки подаются на АЦП микроконтроллера, где преобразуются в цифровой код.

Поскольку одним из распространенных датчиков положения подвижных единиц на станциях являются фазочувствительные рельсовые цепи, прибор определения их диагностических параметров ПИК-10 достаточно широко распространен. Им контролируется напряжение на обмотках индукционных секторных реле ДСШ.

Еще одним измерительным контроллером, выполняющим аналогичные прибору ПИК-10 функции, является автомат контроля напряжений и сопротивления изоляции (АКНСИ-8). Внешний вид данного прибора показан на рис. 2.6.



**Рис. 2.6.** Внешний вид контроллера АКНСИ-8

Контроллер АКНСИ-8 позволяет измерять:

- напряжения на путевых реле рельсовых цепей переменного тока с непрерывным питанием;
- переменное напряжение в цепях питания устройств ЖАТ;
- сопротивление изоляции жил кабеля по отношению к земле на релейных концах рельсовых цепей переменного тока с непрерывным питанием.

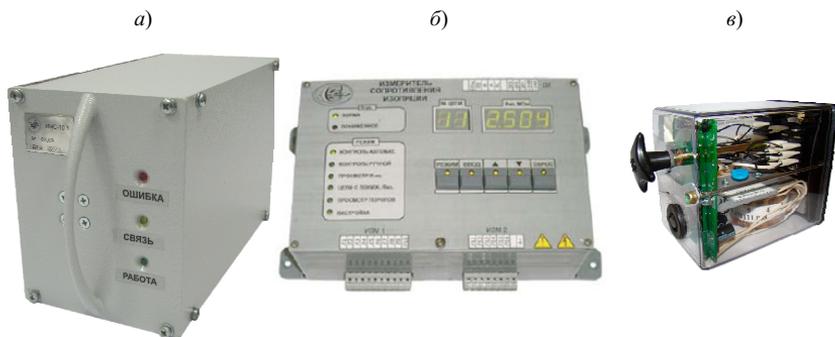
Измерения напряжений прибором АКНСИ-8 производятся в диапазоне 0,2–60 В, а сопротивлений – в диапазоне 0,05–50 МОм.

Описываемый измерительный контроллер имеет 8 гальванически развязанных каналов для измерения средневыпрямленных напряжений в цепях переменного тока с одновременным определением значений сопротивлений изоляции между токоведущими линиями и землей. Все 8 каналов измеряют значения напряжений и сопротивлений с периодичностью не менее 1 с.

Кроме приборов ПИК-10 и АКНСИ-8, для измерения напряжения промышленной частоты и сопротивления изоляции кабеля относительно земли используется десятиканальный измеритель напряжения и сопротивления ИНС-10.1 (рис. 2.7а). Он разработан с целью замены физически и морально устаревших приборов ПИК-10 и выполняет следующие измерения:

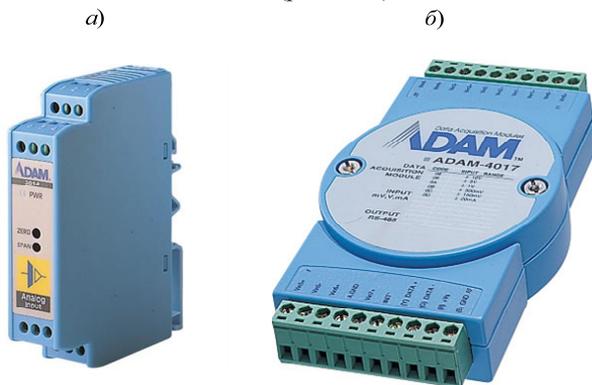
- напряжение переменного тока в фазочувствительных рельсовых цепях;
- угол сдвига фаз между напряжениями в местных и путевых обмотках реле;
- напряжение переменного тока в рельсовых цепях с непрерывным питанием;
- напряжение переменного тока питающих фидеров и основных полюсов питания;
- сопротивление изоляции кабелей относительно земли.

Отдельно для измерений только сопротивления изоляции кабелей относительно земли применяется автомат контроля сопротивления изоляции АКЦИ-24, имеющий 24 аналоговых входа, каждый из которых измеряет сопротивление изоляции в диапазоне от 0,1 до 100 МОм. Кроме АКЦИ-24 известно диагностическое устройство ИСИ – измеритель сопротивления изоляции (имеет 32 входа) и СЗИЦ-Д (рис. 2.7б) – сигнализатор заземления индивидуальный цифровой, предназначенный для измерения сопротивления изоляции электрической сети, питаемой от одного источника питания.



**Рис. 2.7.** Внешний вид контроллеров измерения сопротивления изоляции: а) ИНС-10.1; б) ИСИ; в) СЗИЦ-Д

Для измерения токов и напряжений в системах непрерывного мониторинга ЖАТ часто применяются промышленные модули нормализации аналоговых сигналов ADAM-3014 (рис. 2.8а). Они подключаются к шунтам амперметров с целью измерения тока перевода стрелок с электродвигателями постоянного тока, а также измерения напряжения стационарных аккумуляторных батарей. Для измерения напряжений и их конвертации применяются также восьмиканальные модули аналогового ввода ADAM-4017 (рис. 2.8б).



**Рис. 2.8.** Внешний вид измерительных контроллеров токов и напряжений:  
а) ADAM-3014; б) ADAM-4017

### 2.2.3. Измерение параметров устройств автоматики на перегонах и переездах

Для технического диагностирования и мониторинга устройств автоблокировки и переездной сигнализации используются измерительные контроллеры, располагаемые в релейных шкафах сигнальных точек и переездов. Такие контроллеры обычно устанавливаются на релейные стивы с аппаратурой управления в шкафах или кладутся на дно шкафов. По линии ДСН-ОДСН или по выделенной линии ДК-ОДК измерительные контроллеры с некоторым небольшим периодом передают посылки с диагностической информацией на линейные посты, обычно располагаемые на постах электрической централизации соседних станций или в транспортабельных модулях перегонов.

Одним из первых измерительных контроллеров автоблокировки и переездной сигнализации является автомат контроля сигнальной точки (АКСТ). Данное устройство получает небольшой набор дискретных диагностических параметров и передает их с периодом  $\tau = 5$  с в линию связи. АКСТ работает с применением частотного принципа разделения сигналов (табл. 2.1), что позволяет к одной линии связи подключать сразу же несколько таких приборов (до 8 или 16 – в зависимости от типа приемного устройства, расположенного в концентраторе информации).

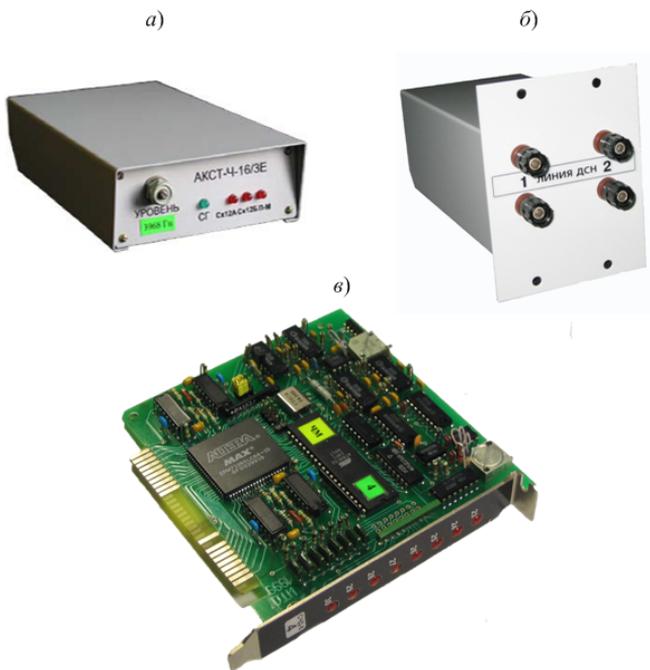
**Таблица 2.1. Частоты АКСТ**

Частоты									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
384	512	704	832	960	1088	1216	1344	1472	1600
Частоты									
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1792	1920	2048	2176	2304	2432	2560	2688	2816	2944
Частоты									
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
3072	3200	3328	3456	3584	3712	3840	3968	4096	4224

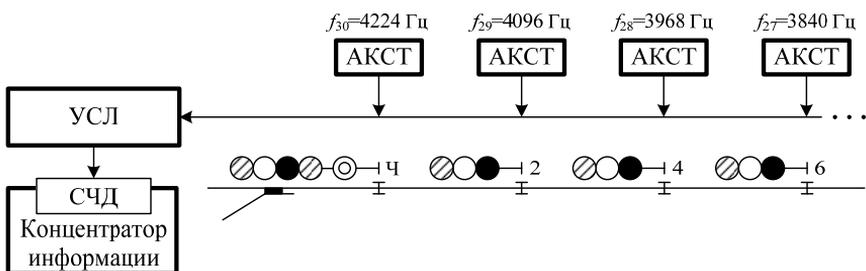
Каждый измерительный контроллер АКСТ имеет заранее предустановленную изготовителем частоту (табл. 2.1). В одну линию связи, естественно, подключаются контроллеры с различными частотами настройки. При этом с целью уменьшения влияния помех АКСТ, как правило, устанавливают на перегоне по следующему принципу: чем ближе объект диагностирования к линейному посту, тем выше частота. Другими словами, ближайшие к станции АКСТ имеют максимальные значения частот, начиная с № 30, а по мере удаления от станции значения частот последовательно уменьшаются (частоты выбираются подряд, без пропусков). Прежде чем попасть в концентратор, диагностическая информация проходит устройство согласования с линией связи (УСЛ), а затем поступает на плату СЧД-8 или СЧД-16. УСЛ работает с двумя линиями связи, а платы СЧД-8 и СЧД-16 способны принимать данные от 8 или 16 АКСТ соответственно. На рис. 2.9 показан внешний вид описанных устройств, а на рис. 2.10 – упрощенная схема их функционирования. Более подробно работа АКСТ описана в [30].

Прибор АКСТ, как отмечалось выше, передает лишь небольшой набор дискретных параметров, к которым для сигнальной точки автоблокировки относятся:

- свобода/занятость блок-участка;
- установленное направление движения;
- сход изолирующего стыка;
- понижение напряжения основного и резервного фидеров питания;
- наличие/отсутствие основного и резервного питания;
- целостность/перегорание основной и резервной нитей красного огня;
- целостность/перегорание нити лампы разрешающего огня (для предупредительного светофора ко входному светофору);
- наличие/пропадание фидеров питания на объектах с аккумуляторным резервом;
- аварийный отказ;
- неисправность АКСТ или линии связи.



**Рис. 2.9.** Оборудование функционального контроля сигнальных точек автоблокировки: а) АКСТ; б) УСЛ; в) СЧД



**Рис. 2.10.** Схема получения диагностической информации

Набор контролируемых параметров для устройств переездной сигнализации несколько другой [25]. На двухпутных участках могут устанавливать два АКСТ. В таком случае оба прибора контролируют следующие параметры устройств переездной сигнализации:

- наличие/отсутствие основного и резервного питания;

- включение аккумуляторного резерва устройств автоматической переездной сигнализации;
- целостность/перегорание нити лампы переездного светофора;
- исправность/неисправность комплекта мигания;
- обесточивание реле сброса по четному и нечетному путям;
- неисправность бесконтактного коммутатора тока по четному и нечетному путям;
- состояние рельсовой цепи за переездом по четному и нечетному путям;
- неисправность АКСТ;
- пропадание обоих фидеров питания – аварийный отказ аппаратуры переездной сигнализации;
- извещение приближения поезда по четному и нечетному путям;
- установленное направление движения по нечетному и четному путям;
- состояние положения переезда для движения автотранспорта;
- погасание одного из переездных светофоров – аварийный отказ аппаратуры переездной сигнализации.

АКСТ также могут использоваться для диагностирования и мониторинга устройств управления входными светофорами и тоннельной сигнализации.

Сегодня АКСТ в различных модификациях продолжают функционировать на множестве перегонов железных дорог Российской Федерации. Однако данные измерительные контроллеры следует признать морально устаревшими – ими передается «скудный» набор дискретных параметров, соответствующий только понятию «диспетчерский контроль», но никак не «функциональный контроль и мониторинг». Измерительные контроллеры постоянно совершенствуются, оптимизируется их работа, создаются универсальные устройства, способные работать на различных частотах, контролируются аналоговые параметры устройств ЖАТ.

Например, вместо АКСТ сегодня могут использоваться автомат диагностирования сигнальной установки (АДСУ) и автомат контроля сигнальной установки (АКСУ). Данные приборы работают также по частотному принципу, выбор частоты осуществляется пользователем путем установки соответствующих переключателей. Кроме дискретной информации, данные приборы способны измерять ряд аналоговых величин:

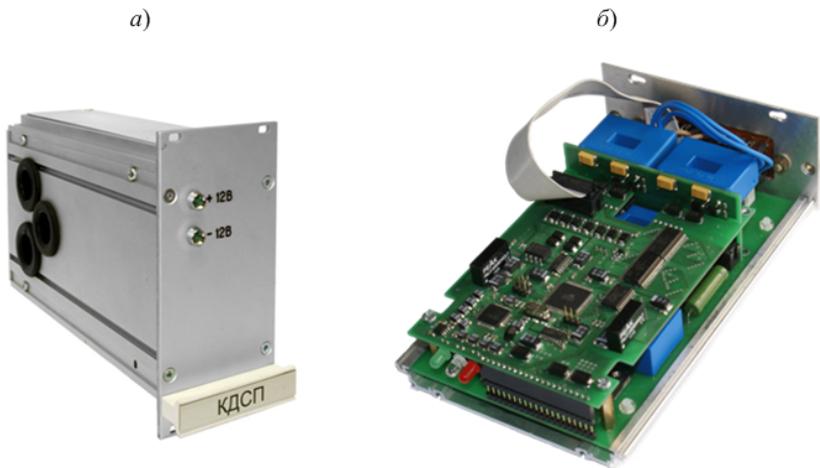
- постоянное или действующее значение переменного напряжения синусоидальной формы в шестнадцати контрольных точках в системах кодовой автоблокировки и переездной сигнализации;
- действующее значение импульсов переменного напряжения частотой  $(25 \pm 1)$ ,  $(50 \pm 1)$  или  $(75 \pm 1)$  Гц, полученных в результате амплитудной манипуляции переменного напряжения кодовой последовательностью, формируемой кодовыми путевыми трансмиттерами КПТШ-5, КПТШ-7, КПТШ-10 и их модификациями;
- при наличии импульсов переменного или постоянного напряжения измерять временные параметры элементов цикла манипулирующей последова-

тельности, определение ее кода («З», «Ж», «КЖ») и типа ее сформировавшего путевого трансмиттера.

Применение данных устройств позволяет осуществлять техническое диагностирование и мониторинг состояния перегонных объектов ЖАТ с большей полнотой и глубиной технического диагностирования.

#### 2.2.4. Измерение электрических параметров в схемах управления электроприводами с двигателями переменного тока

В начале XXI в. в лабораториях кафедры автоматики и телемеханики на железных дорогах были инициированы работы по созданию новых измерительных контроллеров, позволяющих расширять функциональные возможности систем непрерывного мониторинга ЖАТ. Одним из таких измерительных устройств стал контроллер диагностирования усилия перевода стрелки (КДУПС). Внешний вид КДУПС показан на рис. 2.11.



**Рис. 2.11.** КДУПС:  
а) внешний вид снаружи; б) внешний вид изнутри

КДУПС позволяет измерять значения токов и напряжений в контрольных точках трехфазных цепей управления, например в цепях управления и контроля железнодорожных стрелок с электроприводами переменного тока или в цепях управления и контроля автостопами метрополитенов [21].

Во время перевода стрелки КДУПС позволяет непрерывно контролировать некоторые электрические параметры цепи питания стрелочных электроприводов:

- напряжения и токи каждой фазы двигателя переменного тока;
- косвенным образом по значению коэффициента мощности  $\cos\varphi$  усилия, развиваемое двигателем электропривода.

Коэффициент мощности  $\cos\varphi$  показывает, насколько сдвигается по фазе переменный ток относительно приложенного к нагрузке напряжения. Исследования показали, что усилие прижатия острия к рамным рельсам находится в зависимости от коэффициента мощности. При этом погрешность измерений действующих значений токов и напряжений не превышает 2,5%, а погрешность измерений усилия перевода стрелки не превышает погрешности прибора УКРУП (устройство контроля усилия перевода), который используют электро-механики СЦБ для решения схожей задачи при ручном диагностировании. УКРУП закладывают надлежащим образом между острием и рамным рельсом в момент перевода стрелки из одного крайнего положения в другое, т. е. определяют значение усилия прижатия острия к рамным рельсам в режиме работы стрелочного электропривода на фрикцию. Использование КДУПС позволяет этот процесс автоматизировать.

КДУПС имеет 3 датчика напряжения и 3 датчика тока. Подключение КДУПС к схеме управления стрелкой выполнено безопасно: датчики напряжения подключены через предохранители, исключая влияние прибора на цепи управления и контроля объекта диагностирования, а датчики тока работают с использованием эффекта Холла – по величине индукции магнитного поля определяется протекающий в измерительной цепи ток.

КДУПС осуществляет сбор диагностических данных и передает информацию в концентратор информации по его запросу. При этом реализованы два режима работы КДУПС – при переводе стрелки (в рабочей цепи схемы управления стрелкой) и в режиме ожидания (в контрольной цепи схемы управления стрелкой). Выбор режима производится автоматически по критерию наличия фазных токов: если во всех фазах значения токов выше заранее определенного минимального порога, то включается измерительный режим перевода стрелки, если хотя бы в одной из фаз ток не превышает минимального порога – режим ожидания. В первом режиме измерения проводятся непрерывно с накоплением данных, а во втором – установлен некоторый период выборки. По окончании перевода стрелки в первом режиме или по окончании периода выборки во втором сформированный контроллером информационный пакет при инициации концентратором запроса передается для обработки. Связь КДУПС с концентратором данных осуществляется по внешнему интерфейсу RS-485.

Схема подключения КДУПС к схеме управления стрелкой с электродвигателем переменного тока (пятипроводной схемой управления и контроля) показана на рис. 2.12. Аналогом КДУПС, разработанным в ООО «Компьютерные информационные технологии», является автомат диагностирования силовых параметров стрелочного электропривода (АДСП). Данный прибор копирует идею КДУПС.



### 2.2.5. Измерение электрических параметров в рельсовых цепях тональной частоты

Рельсовые цепи на железнодорожном транспорте в Российской Федерации играют роль основных устройств определения местоположения подвижных единиц, а значит, являются одними из ключевых устройств систем ЖАТ. От качества их функционирования во многом зависит и эффективность перевозочного процесса. Рельсовые цепи по своему устройству таковы, что непосредственно взаимодействуют с подвижным составом, подвергаясь не только физическим нагрузкам со стороны подвижных единиц на станциях, но и влиянию на их рабочие параметры внешних погодных факторов. Существует большое разнообразие рельсовых цепей, имеющих различные назначения и использующих разные принципы передачи сигналов [44]. Одними из перспективных рельсовых цепей являются рельсовые цепи тональной частоты (ТРЦ) [56], постепенно вытесняющие традиционные импульсные и фазочувствительные рельсовые цепи. Именно поэтому важным является решение задачи автоматизации технического диагностирования и мониторинга параметров ТРЦ в системах непрерывного мониторинга ЖАТ.

ТРЦ работают на несущих частотах 420, 480, 580, 720, 780 Гц, модулируемых частотами 8 или 12 Гц. Практически вся аппаратура ТРЦ располагается на посту электрической централизации либо в транспортабельном модуле (исключение составляют путевые трансформаторы, выравниватели и резисторы, через которые подключается постовая аппаратура непосредственно к рельсам; они располагаются в путевых ящиках). В постовой аппаратуре ТРЦ выделяются путевые генераторы (ПГ), путевые фильтры (ПФ), путевые приемники (ПП) и путевые реле (ПР). К питающему концу ТРЦ через ПФ подключается ПГ. Генератор питается переменным током частотой 50 Гц и напряжением 35 В. Он вырабатывает ту или иную частоту (420–780 Гц), требующуюся для работы ТРЦ. На приемном (релейном) конце ТРЦ расположены ПП и ПР. При отсутствии подвижного состава ПП, настроенный на соответствующую частоту, находится во включенном состоянии. Соответственно, ПР находится под током и таким образом передает информацию о свободности контролируемого участка. При шунтировании ТРЦ колесной парой либо повреждении в рельсовой линии или ТРЦ ПП и ПР выключаются. Состояние ТРЦ в этом случае в системе управления движением поездов интерпретируется как занятое. ПП питается током 50 Гц и напряжением 17,5 В. Особенности работы ТРЦ во всех необходимых режимах, принципы расчета параметров аппаратуры и особенности технической реализации изложены в [56].

С целью организации мониторинга технического состояния ТРЦ основные рабочие параметры их аппаратуры контролируются с применением специализированных контроллеров съема диагностической информации. Это либо устройства контроля тональных рельсовых цепей (УК-ТРЦ) различных модификаций, либо автомат диагностирования тональных рельсовых цепей (АД-ТРЦ).

На рис. 2.13 изображен контроллер УК-ТРЦ, а на рис. 2.14 – схема подключения контроллеров УК-ТРЦ к объекту диагностирования.

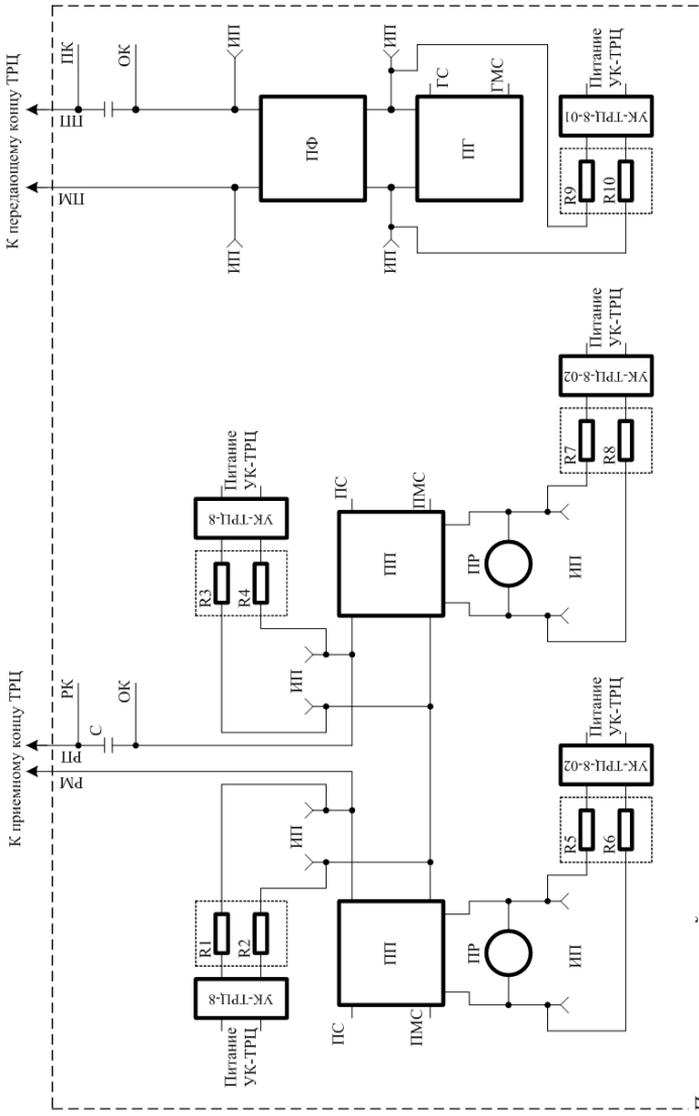


**Рис. 2.13.** Внешний вид УК-ТРЦ

УК-ТРЦ подключается параллельно к ПР, ПП и ПГ (при новом строительстве данные также снимаются с выходов ПФ). При этом по условиям соблюдения безопасности, с целью исключения опасного влияния УК-ТРЦ на схему рельсовой цепи, подключение производится через блок защитных резисторов R1–R2, R3–R4, ..., R9–R10. Каждый резистор имеет сопротивление 6,81 кОм, позволяющее исключить любое мешающее влияние аппаратуры диагностирования на саму ТРЦ.

Каждый прибор УК-ТРЦ имеет 8 каналов съема аналоговой информации и позволяет снимать показания напряжений с периодом опроса 8–12 с. Если используется контроллер УК-ТРЦ-8, то для подключения к разным узлам ТРЦ используется различная его модификация. Устройство УК-ТРЦ-8 подключается параллельно ПП и позволяет снимать переменное напряжение в диапазоне 0–2 В. УК-ТРЦ-8-01 подключается к ПГ и способно измерять напряжение в диапазоне 0–12 В. УК-ТРЦ-8-02 действует аналогично описанной выше модификации контроллера, снимая данные с ПР.

Контроллеры УК-ТРЦ-М и АД-ТРЦ универсальны и могут подключаться к любому из обозначенных выше узлов. Среди преимуществ – повышенная скорость измерения (2–5 с), высокая помехоустойчивость и развитые функции самодиагностирования приборов.



Пост электрической централизации  
**Рис. 2.14.** Схема подключения контроллера диагностики рельсовых цепей тональной частоты

### **2.3. Каналообразующее оборудование, тракты передачи данных и концентраторы диагностической информации**

Диагностическая информация, «собираемая» измерительными контроллерами с контрольных точек в объектах диагностирования, сначала проходит первичную обработку и передается по линиям связи в концентратор линейного поста (рис. 2.15), расположенный в здании поста ЭЦ или в транспортном модуле автоблокировки. Концентратор диагностической информации выполнен в виде промышленного компьютера, обладающего более высокой надежностью, чем распространенные «домашние» персональные компьютеры. Кроме того, в состав промышленного компьютера включаются такие устройства, как безвентиляторный процессор, сторожевой таймер и т. д.



**Рис. 2.15.** Внешний вид концентраторов информации:  
а) Advantech 610; б) KR-489

По сути, концентратор информации линейного поста является вторым уровнем обработки диагностической информации и устройством вывода результатов мониторинга пользователю. Концентратор дополняется персональным компьютером с предустановленной на него операционной системой Windows и рядом периферийных устройств (клавиатура, мышь, принтер и пр.). Данный компьютер вместе со специализированным программным обеспечением представляет собой автоматизированное рабочее место (АРМ) электромеханика СЦБ.

В системе АПК-ДК именно на данном уровне функционируют средства автоматической обработки диагностической информации. К типовым объектам ЖАТ (рельсовым целям, светофорам, стрелкам и пр.) применяются специализированные алгоритмы обработки диагностической информации с возможностью индикации возникающих в процессе их функционирования отклонений рабочих параметров от установленных норм. Такой принцип реализован в системе АПК-ДК производства научно-исследовательской лаборатории функциональной диагностики кафедры автоматики и телемеханики на железных дорогах. В системе АПК-ДК, разработанной в ОНИЛ «Автоматизация технического обслуживания» и поддерживаемой сегодня ООО «Компьютерные информаци-

онные технологии», вся логическая обработка первоначально велась на серверах мониторинга, расположенных в дистанциях СЦБ [22].

Наиболее существенная диагностическая информация с уровня линейных постов передается по специализированным трактам на верхний уровень систем непрерывного мониторинга – в концентратор диагностической информации, а затем на сервер мониторинга и в центр мониторинга и центр управления содержанием инфраструктуры.

Для коммутации между собой измерительных контроллеров и концентраторов используются различные интерфейсы передачи данных. Наиболее распространенные в системах непрерывного мониторинга ЖАТ интерфейсы с некоторыми характеристиками даются в табл. 2.2.

Для передачи информации в системах непрерывного мониторинга ЖАТ используются медножильные кабели, витые пары, оптоволокно, а также в последние годы радиоканал. Радиосвязь применяется в основном на тех участках железнодорожных линий, где нет проложенных кабелей ЖАТ, т. е. на участках с полуавтоматической блокировкой.

Используется несколько топологий сетей передачи диагностической информации. Первоначально использовалась топология сети типа «линия». Это было удобно с позиции расположения линейных постов относительно центрального поста в зависимости от географического положения центрального поста и железнодорожных линий. При такой топологии сети от центрального поста в одну или две стороны отходят линии связи с линейными постами. При этом передача данных от наиболее удаленных линейных постов осуществляется через линейные пункты близлежащих линейных постов.

Для связи концентраторов линейных постов и центрального поста используется оборудование производства Zelax, а именно мультисервисные коммутаторы типа ММ-2хх, объединяющие в себе функции трех устройств – маршрутизатора, мультиплексора и коммутатора Ethernet. Наиболее часто в системах непрерывного мониторинга ЖАТ применяются мультисервисные коммутаторы ММ-201 (рис. 2.16) и ММ-202, поддерживающие различные интерфейсы и стандарты передачи информации по каналам G.703/E1, ИКМ-15, выделенным линиям связи, сетям IP, Ethernet и Frame Relay.



**Рис. 2.16.** Внешний вид коммутатора ММ-201

Недостаток топологии «линия» состоит в том, что при отказе коммуникационного оборудования линейного поста на центральный пост не передается диагностическая информация со всех линейных постов, расположенных за отказавшим оборудованием. Указанная проблема имела место в системе АПК-ДК образца начала XXI в.

**Таблица 2.2. Характеристики интерфейсов передачи данных**

№	Наименование интерфейса	Область применения	Характеристика передачи сигнала	Пример использования в системах неравнового мониторинга ЖАТ	Достоинства	Недостатки
1	RS-232	В компьютерной технике и промышленной автоматизации; интерфейс предназначен для подключения к компьютеру стандартных внешних устройств (принтера, сканера, модема, мыши и др.), а также для связи компьютеров между собой. На данный момент практически полностью вытеснен USB	Дуплексная	ИПК, СЗИЦД	Простота реализации; низкая стоимость	Использование с небольшой скоростью передачи на малые расстояния до 1,5 м
2	RS-485	На рынке промышленных микроконтроллеров	Полудуплексная	АДТРЦ, КДУПС, ПИК120.32, УК-ТРЦ-М, КДС120	Хорошая помехоустойчивость, большая дальность связи, высокая скорость, возможность широкополосной передачи, многоточечность соединения	Большое энергопотребление, отсутствие сервисных сигналов, возможность возникновения коллизий
3	CAN	Применяется в промышленности, энергетике и на транспорте	Дуплексная	ПМИ-РЦ	Высокая устойчивость к помехам, арбитраж доступа к сети без потерь пропускной способности, надежный контроль ошибок приема и передачи, возможность работы в режиме реального жесткого времени	Большой размер служебных данных в пакете и отсутствие единого общепринятого стандарта на протокол высокого уровня
4	RS-422	На рынке промышленных микроконтроллеров	Дуплексная	Платы ввода/вывода данных, например, РСЛ-745	Скорость передачи данных до 10 мегабайт для 12-метрового кабеля	Необходима отдельная витая пара для каждого направления передачи информации
5	USB 2.0	В компьютерной технике	Полудуплексная	Подключение периферийных устройств компьютерной техники	Можно одновременно принимать и отправлять данные, что увеличило скорость работы	При передаче данных в разные стороны необходимы разные такты

Для повышения надежности тракта передачи диагностической информации была реализована функция самодиагностирования оборудования систем непрерывного мониторинга ЖАТ. Данные о результатах самодиагностирования системы также выводятся в технологическое окно АРМ технолога систем непрерывного мониторинга. Кроме реализации функции самодиагностирования, разработчики системы мониторинга изменили топологию сети передачи данных на структуру типа «кольцо», обладающую возможностью «обхода» поврежденного участка тракта передачи данных.

Структура сети передачи данных типа «кольцо» также несовершенна, однако на данном этапе развития систем непрерывного мониторинга ЖАТ позволяет поддерживать приемлемый уровень надежности передачи диагностической информации при небольших затратах на организацию тракта. В будущем при совершенствовании технологий передачи диагностической информации возможно применение и других топологий сетей передачи данных, таких как «звезда» или «полносвязная».

## ***2.4. Программные средства систем непрерывного мониторинга***

### **2.4.1. Структура программных средств систем непрерывного мониторинга**

Системы непрерывного мониторинга ЖАТ на уровне концентратора диагностической информации работают с операционными системами реального времени – системами класса UNIX – QNX<sup>2</sup>. Применение операционных систем реального времени востребовано по причине отсутствия ощутимой задержки при передаче информации от измерительных контроллеров к концентратору. Параллельно результаты мониторинга передаются на автоматизированные рабочие места электромехаников СЦБ, представляющие собой персональные компьютеры с установленными на них операционными системами Windows, что более удобно для обычного пользователя, не знакомого с работой в операционных системах реального времени.

Если отталкиваться от описания программного обеспечения системы АПК-ДК, то следует сказать, что данная система непрерывного мониторинга ЖАТ использует, начиная с 1997 г., QNX4. Основу платформы QNX4 составляет ОСРВ QNX 4.25, графическая оболочка Photon microGUI 1.14, Socket 4.25/5.0 (средства поддержки стека протоколов TCP/IPv4), и система программирования Watcom C/C++ 10.6. Данная система достаточно популярна при работе в составе современных систем автоматизированного и автоматического управления.

Программное обеспечение АПК-ДК построено по модульному принципу, с разделением функций между отдельными процессами. Взаимодействие между модулями организовано на базе стандартных механизмов POSIX. В программ-

---

<sup>2</sup> Первая система QNX разработана в 1982 г. Гордоном Беллом и Дэном Доджем, основателями компании Quantum Software Systems.

ном обеспечении широко используются механизмы IPC QNX (сообщения, прокси, сигналы) и многопоточная обработка (в рамках ограничений QNX4 на работу с потоками). Задачи на различных узлах взаимодействуют по протоколу FLEET, также реализован альтернативный вариант связи концентраторов по протоколу TCP/IP. Передача данных серверам верхнего уровня системы, а также связь с некоторыми микропроцессорными СЖАТ осуществляются с использованием IP-протоколов (TCP и UDP). Для администрирования и технической поддержки системы используется удаленный доступ с использованием Phindows (Photon & Windows) и JumpGate.

В начале второго десятилетия XXI в. разработчики АПК-ДК приняли решение о переходе на более совершенную платформу QNX6, обладающую рядом преимуществ по сравнению с QNX4, которые удобно использовать в связи с функциональным расширением систем непрерывного мониторинга ЖАТ. Применение QNX6 позволило открыть новые возможности в системе АПК-ДК, а также усложнить решаемые ею задачи технического диагностирования и прогнозирования [53].

**Таблица 2.3.** Сравнение операционных систем, используемых в системах непрерывного мониторинга ЖАТ

QNX6	QNX4	ОС Windows
Преимущества платформы в работе систем функционального контроля и мониторинга		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Просмотр информации в реальном времени и архиве.</li> <li>2. Автоматический перезапуск в случае аварийного завершения.</li> <li>3. Возможно сохранение в больших объемах информации.</li> <li>4. Позволяет добавлять новые алгоритмы обработки информации без изменения кода системы, а также создавать математические модели устройств и систем ЖАТ.</li> <li>5. Возможно удаленно реализовывать настройки и обновление программного обеспечения.</li> <li>6. Имеется большое количество различных библиотек.</li> <li>7. Можно писать программы на языке C++</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Просмотр информации в реальном времени и архиве.</li> <li>2. Автоматический перезапуск в случае аварийного завершения</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дешевле лицензия.</li> <li>2. Легче писать программное обеспечение, так как большинство специалистов работают именно с этой системой.</li> <li>3. Проще работать эксплуатационному штату</li> </ol>
Недостатки платформы в работе систем функционального контроля и мониторинга		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Нет совместимости с ПО, написанным в других версиях QNX (нужно переписывать заново).</li> <li>2. Высокая цена лицензии</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Неудобный интерфейс.</li> <li>2. Ограниченный доступ библиотек.</li> <li>3. Возможно писать программы только на языке C</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Система не работает в режиме реального времени.</li> <li>2. В Интернете имеется большое количество вирусов, которым подвержена система</li> </ol>

В табл. 2.3 приводится сравнение используемых в современных системах непрерывного мониторинга ЖАТ операционных систем по основным показателям.

#### **2.4.2. Взаимодействие программных и аппаратных средств систем непрерывного мониторинга**

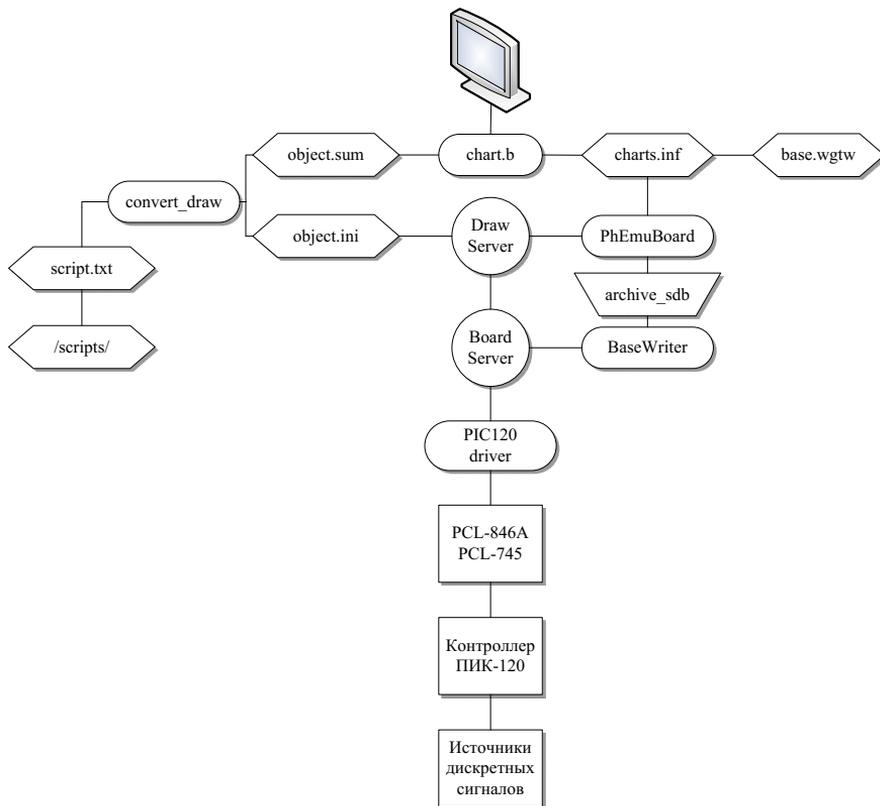
Рассмотрим технологию получения дискретной диагностической информации в системе АПК-ДК и ее обработки на примере промышленного индустриального контроллера ПИК-120 (рис. 2.4а).

Как отмечалось выше, ПИК-120 предназначен для получения дискретных сигналов в информационно-управляющих системах и взаимодействия с более высокими уровнями системы АПК-ДК. Один прибор ПИК-120 позволяет получить данные о 120 дискретных состояниях и подключается, например, к лампам пульта-табло дежурных по станции или на «сухие» контакты реле. Зачастую одного прибора недостаточно, и используют установку сразу же нескольких ПИК-120. Сами контроллеры располагают в шкафу УКС-4 (устройство коммутирующее станционное). В УКС-4 помещается от одного до четырех приборов ПИК-120, блок питания (или блок питания с конвертором RS-485 для обмена) и кабель, соединяющий контроллеры ПИК-120 с блоком питания.

Для графического отображения состояний объектов железнодорожной автоматики и телемеханики на автоматизированном рабочем месте (АРМ) используется программа «Поездное положение», для корректной работы которой требуется предварительный запуск системного приложения DrawServer. Данное приложение производит преобразование полученных от BoardServer данных в специальном формате системы АПК-ДК в цвета графических элементов приложения. BoardServer – одна из ключевых программ в составе АПК-ДК, в задачи которой входит взаимодействие с драйверами устройств, анализ полученной информации и дальнейшая передача данных программам-клиентам. Структура обработки данных на программном уровне от диагностических устройств ПИК-120 представлена на рис. 2.17.

В системе АПК-ДК существует возможность просмотра технического состояния объектов диагностирования на так называемом поездном положении как в режиме реального времени (on-line), так и в архивном режиме (off-line). Это позволяет решать как задачу постановки диагноза, так и задачи генеза и прогноза. Для каждого режима работы приложения программы мониторинга запускается программа DrawServer. Информация о цветах графических элементов приложения поступает в программу из адаптированного файла «object.ini». В каталоге «/scripts/» расположены файлы привязки элементов поездного положения к датчикам контроллера ПИК-120. Файл «script.txt» содержит ссылки только на те файлы привязки, которые нужно использовать на данной станции. Файлы object.ini и object.sum получаются в результате компиляции файла script.txt программой conwert\_draw. Программа отображения chart.b производит преобразование полученных от DrawServer данных о цвете элемента поездного

положения и адаптированных данных из файлов object.sum и charts.inf о положении элемента на экране и выводит сами данные на экран.



**Рис. 2.17.** Структурная схема программных средств обработки дискретной диагностической информации

Для записи данных в архив запускается программа BaseWriter, формирующая файлы каталога /archive\_sdb/. Работу BoardServer в архивном режиме эмулирует программа PhEmuBoard. Как в режиме реального времени, так и архивном режиме, применяются одни и те же файлы графического изображения станции base.wgtw. Файл charts.inf содержит ссылки на те путевые планы станций и перегонов, которые нужно отобразить на конкретной станции. Количество дискретной информации для крупной станции составляет несколько тысяч датчиков. Период диагностирования составляет примерно 10–100 раз в секунду.

Дискретная информация о состоянии устройств железнодорожной автоматики и телемеханики хранится в качестве массива байт в программном обес-



функция CompareBuffers, где и происходит побайтовое сравнение старых и новых данных от драйвера.

**Таблица 2.4.** Представление дискретной информации в системе АПК-ДК

Бит данных	Бит достоверности	Значение дискретного датчика
0	0	0
0	1	Нет данных
1	0	1
1	1	Ошибка (данная комбинация не используется)

### 2.4.3. Вывод диагностической информации пользователю

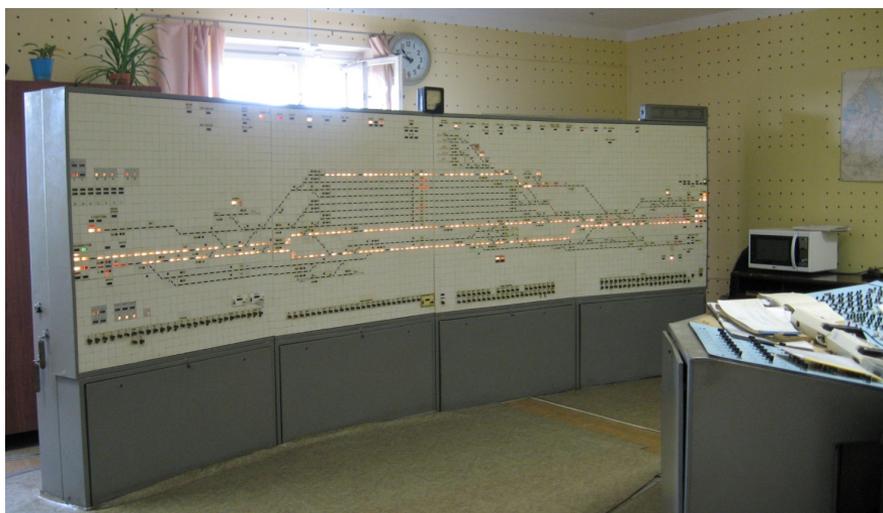
Для работы пользователя (технолога дистанции СЦБ или ситуационного центра, электромеханика или диспетчера и т. д.) с результатами мониторинга необходим АРМ. АРМ технолога системы непрерывного мониторинга ЖАТ, как и АРМ многих других систем управления и контроля во всех областях промышленности и транспорта, представляет собой программно-технический комплекс, предназначенный для автоматизации процесса анализа результатов мониторинга.

АРМ системы непрерывного мониторинга ЖАТ представляет собой персональный компьютер с периферийными устройствами, позволяющими вводить управляющие воздействия (мышь, клавиатура и пр.) и выводить информацию на экран или бумажный носитель (монитор, принтер и пр.), а также установленный на компьютере комплекс программ по работе с результатами мониторинга. Для удобства работы пользователя АРМ работает под известной всем операционной системой Windows.

Поскольку объем диагностических данных достаточно большой (для станций до 30 стрелок количество диагностических параметров устройств ЖАТ может достигать 1–2 тыс.), необходимо выводить результаты мониторинга в удобной графической форме. АРМ системы АПК-ДК является одним из наиболее удобных среди АРМ других систем мониторинга устройств ЖАТ [30]. Программный комплекс АПК-ДК называется «Комплекс задач „Мониторинг“» (КЗ «Мониторинг»). В нем информация представляется в виде следующей иерархии: железнодорожная сеть Российской Федерации → конкретная железная дорога → участок → дистанция СЦБ → диспетчерский круг → станция (перегон) → типовой объект диагностирования, функционирующий на станции (перегоне). В зависимости от того, какому пользователю (электромеханик СЦБ, технолог дистанции СЦБ или ситуационного центра и т. д.) предоставляется диагностическая информация, КЗ «Мониторинг» может содержать набор тех или иных объектов диагностирования.

В КЗ «Мониторинг» диагностическая информация выводится в удобном для пользователя виде – использована некоторая аналогия с действующими устройствами вывода информации в системах ЖАТ. Например, в релейных си-

стемах ЖАТ на станциях большинство дискретной диагностической информации получается с аппарата управления движением (пульта управления и табло вывода данных), где с использованием некоторого набора условных изображений приведено путевое развитие станции с управляющими и контролирующими элементами (стрелками, светофорами, рельсовыми цепями, переездами и пр.). Аппараты управления имеют стандартные исполнения в виде набора блоков трех типов: желобкового, мозаичного и с применением субблоков на светодиодах. На рис. 2.19 приводится выносное табло на станции с релейной системой ЖАТ. Разработчики АПК-ДК в КЗ «Мониторинг» сохранили соответствующий принцип представления диагностической информации (рис. 2.20), что в некоторой степени удобно для работы железнодорожного персонала диспетчерских СЦБ и ситуационных центров.

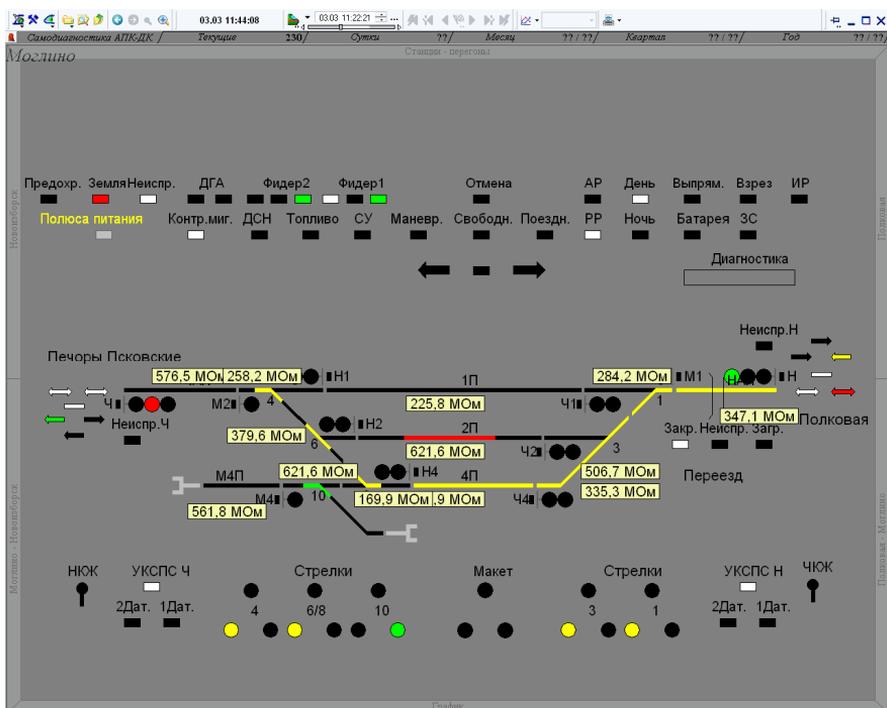


**Рис. 2.19.** Табло отображения данных в релейной системе электрической централизации

Для отображения различных технических состояний объектов диагностирования в системах функционального контроля устройств ЖАТ используется различная цветовая гамма, подобранная с учетом психологических особенностей человека по реакции на тот или иной цвет. Например, наибольшее внимание привлекается красным и красным мигающим цветами как максимально «тревожными» цветами, меньшее внимание привлекает зеленый цвет. При выборе условных обозначений в комплексах программ АРМ системы непрерывного мониторинга ЖАТ применяется отраслевой стандарт.

В рассматриваемом АРМ КЗ «Мониторинг» на сером нейтральном фоне располагаются индикаторы объектов диагностирования, позволяющие просматривать как дискретные, так и аналоговые данные о состоянии устройств автоматики. Как отмечалось выше, КЗ «Мониторинг» выполнен по иерархиче-

скому принципу, позволяющему фильтровать диагностические данные. Информация предоставляется в различных масштабах. В пределах отдельной железной дороги имеется возможность просмотра состояния объектов диагностирования на всей железной дороге, в пределах одной дистанции СЦБ, определенного участка контроля, станции, перегона или сложного технического объекта (например, устройства бесперебойного питания или электропитающей установки). Переходы от менее детализированного изображения к более детализированному и наоборот осуществляются манипулятором «мышь». Двойной щелчок левой кнопкой мыши по пустому полю серого фона позволяет технологу уменьшить масштаб предоставляемых данных, и наоборот, щелчок левой кнопки мыши по выделенному объекту позволяет детализировать диагностическую информацию.



**Рис. 2.20.** Технологическое окно КЗ «Мониторинг» с отображением станции (скриншот)

КЗ «Мониторинг» является постоянно совершенствующимся АРМ: развиваются и оптимизируются методы предоставления данных, создаются новые технологические окна предоставления данных и различные фильтры диагностической информации. Авторами данной книги в период с 2008 по 2010 г. в лаборатории кафедры автоматики и телемеханики на железных дорогах

ПГУПС «Автоматизация технического обслуживания» разработано несколько типовых технологических окон предоставления результатов диагностирования техническому персоналу дистанции СЦБ. Это технологические окна, включающие в себя сложные технические объекты диагностирования, сгруппированные и централизованные в отдельном окне, всплывающем при щелчке манипулятором «мышь» по условному обозначению сложного объекта в технологическом окне станции или перегона. В такие технологические окна вынесены следующие сложные объекты ЖАТ: электропитающая установка, устройства автоматики сигнальной точки на перегоне, кабельный план и подсистема самодиагностирования.

Опишем здесь технологические окна комплекса программ КЗ «Мониторинг».

На рис. 2.21 даны использованные в этом разделе обозначения цветов.



**Рис. 2.21.** Используемые для обозначения цвета

Наиболее значимым и в то же время простейшим звеном в КЗ «Мониторинг» является технологическое окно отображения данных на станции (либо на перегоне). Здесь приводится мнемосхема путевого развития станции (подобно схематическому плану в однопутном исполнении или пульту-табло дежурного по станции), а также индикаторы ячеек контроля устройств ЖАТ. Исторически данные о состоянии устройств ЖАТ снимались с лампочек пульты-табло дежурного по станции, соответственно, кроме состояния рельсовых цепей, светофоров, стрелок и переездов, в окне отображения станции можно найти индикаторы всех ячеек технологического назначения (наличие/отсутствие электропитания, режим горения сигналов, контроль сигнализаторов заземления, срабатывание устройств контроля схода подвижного состава и пр.). Каждому объекту диагностирования в режиме реального времени ставится диагноз. Информация о наличии неисправности, отказа или предостережения выводится в данное технологическое окно соответственно красным мигающим или желтым мигающим цветом. При желании пользователь КЗ «Мониторинг» может включить режим просмотра аналоговых данных по контролируемым объектам, применив в меню соответствующий фильтр. Пример технологического окна станции дается на рис. 2.23.

# Бушевец 2 5

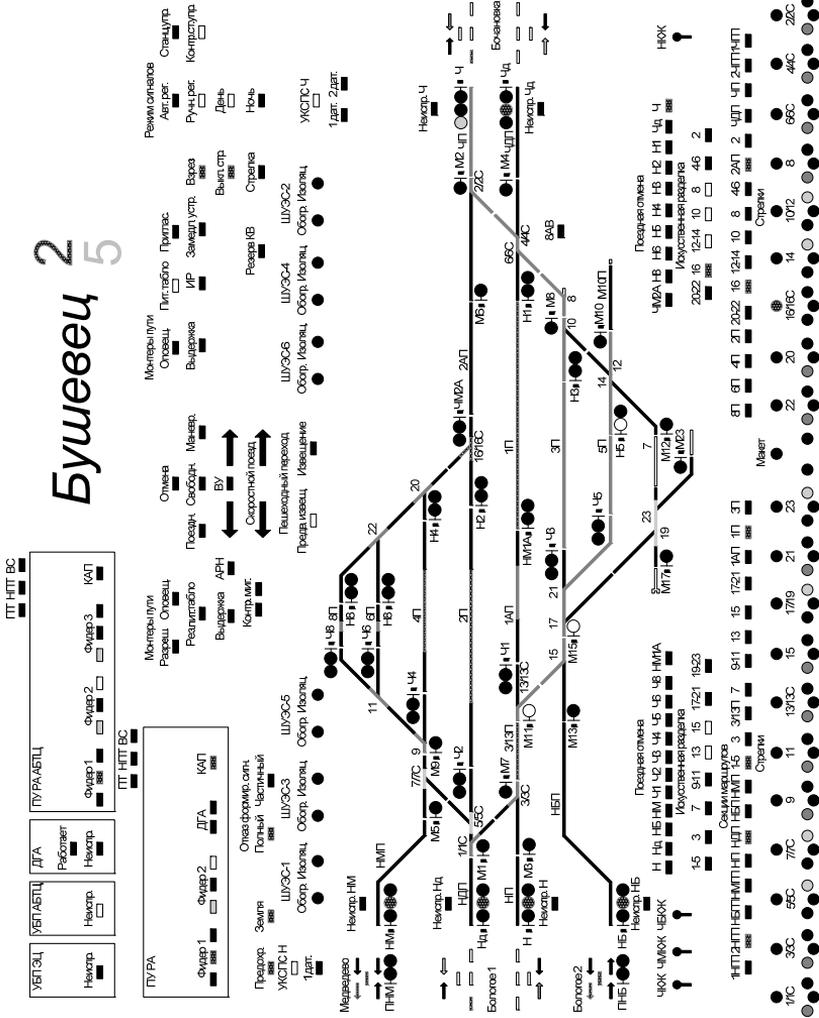


Рис. 2.22. Технологическое окно в КЗ «Мониторинг» с отображением станции

Как отмечалось выше, диагностические данные отображаются с учетом психологических особенностей восприятия информации. В индикации рельсовых цепей выделены такие цвета: красный, сигнализирующий о логической занятости; желтый – о замкнутости стрелочно-путевой секции или участка пути в маршруте; желтый мигающий, обозначающий включение режима искусственной разделки секции; черный – свобода цепи; серый – потерю диагностической информации или неисправность системы АПК-ДК. Для светофоров характерны такие цвета: зеленый, индицирующий включение одного из разрешающих показаний светофора, красный – соответствующий горению запрещающего показания, желтый (для перегонных светофоров) – горение желтого огня светофора, серый – потеря диагностической информации или неисправность системы АПК-ДК. Стрелки в нормальном (плюсовом) положении подсвечиваются в технологическом окне зеленым цветом, в переведенном (минусовом) положении – желтым цветом. В технологическом окне станции также присутствуют индикаторы стрелочных коммутаторов, стиль представления которых аналогичен исполнению на пультах-манипуляторах дежурных по станциям: зеленый – плюсовое положение, желтый – минусовое, красный – потеря контроля.

Кроме дискретной информации о состоянии устройств ЖАТ, в КЗ «Мониторинг» можно видеть результаты предусмотренных разработчиком измерений, например напряжение на путевых элементах рельсовых цепей, напряжение источников питания и пр. Они высвечиваются цифрами, вписанными в прямоугольное поле. В случае если измеренное значение находится в норме, цифры горят черным цветом, достижение предотказного состояния обозначается желтым мигающим цветом измеренного значения в индикаторе, выход за границы работоспособности – красным мигающим цветом измеренного значения в поле индикатора.

Кроме информации о состоянии всех объектов контроля на станции, КЗ «Мониторинг» выдает сообщение об общем числе отказов и предотказов, возникших на станции и на текущий момент не устраненных, что показывается большими цифрами справа от наименования станции: красный шрифт соответствует числу отказов, желтый – числу предотказов.

Сложные технические объекты диагностирования централизованно размещаются в отдельные окна АРМ (так называемые «четвертые виды»). Среди таких объектов: электропитающая установка, устройство бесперебойного питания, дизель-генераторный агрегат, управляющий вычислительный комплекс микропроцессорной системы централизации, устройства сигнальных точек, оборудованных измерительными контроллерами БКА<sup>3</sup> и АДСУ, а также структурная схема подсистемы самодиагностирования средств систем непрерывного мониторинга. Во всех сложных технических объектах показаны взаимосвязи элементов, текущее техническое состояние, указываются пути протекания то-

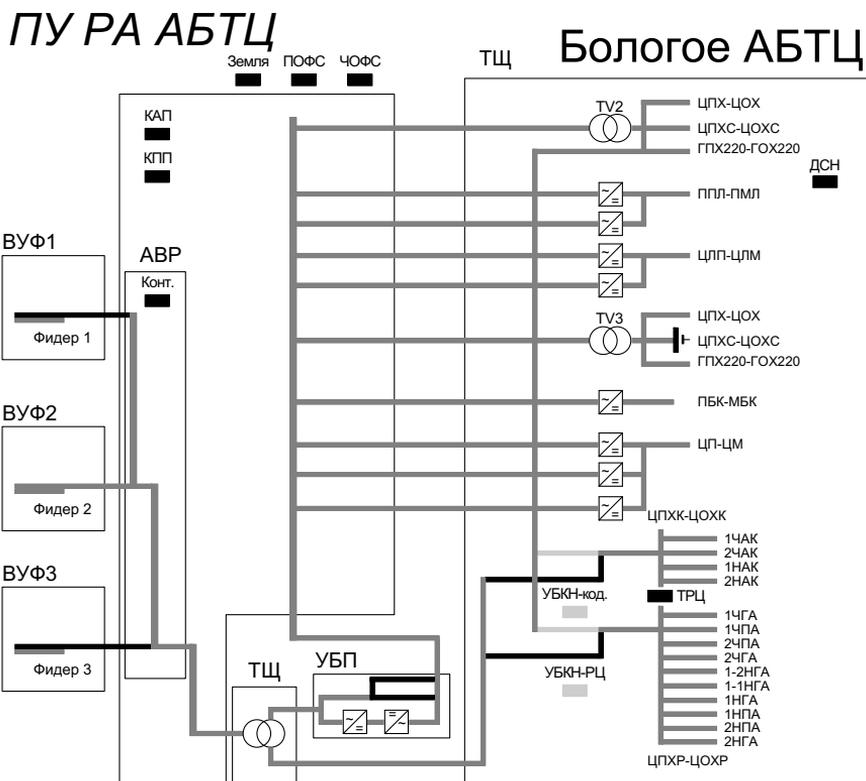
---

<sup>3</sup> В настоящее время измерительные контроллеры БКА не применяются, по сути, они явились промежуточной разработкой при создании контроллера АДСУ.

ков, а рядом с индикаторами объектов контроля при необходимости выводится аналоговая информация.

Для контроля устройств энергоснабжения предусмотрено сразу несколько технологических окон, где отображаются электропитающая установка (рис. 2.23), устройства бесперебойного питания (рис. 2.24) и дизель-генераторный агрегат (ДГА) (рис. 2.25) [60].

В питающей установке условными обозначениями показаны пути протекания токов – по зеленым цветам линий можно определить объекты, от которых осуществляется питание (например, на рис. 2.23 это фидер 2, напряжение в фидерах 1 и 3 есть (см. зеленые линии в устройстве ввода питания фидеров ВУФ1 и ВУФ3)). В окне отображения электропитающей установки отдельно изображен трансформаторный щит (ТЩ), где выведены полюса питания. При необходимости технолог может включить режим просмотра измерительной информации по данным объектам. Наведение курсора мыши на измерительное поле выводит подсказку о том, какой именно параметр измеряется.

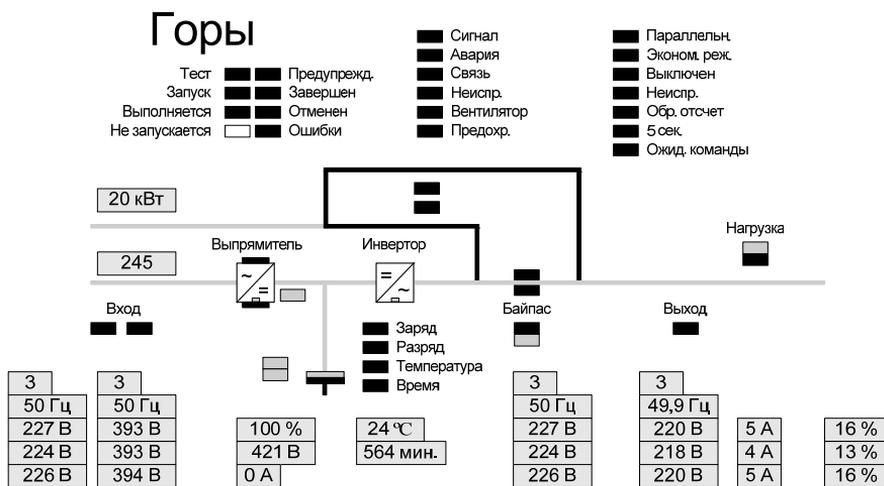


**Рис. 2.23.** Технологическое окно КЗ «Мониторинг» с отображением объектов электропитающей установки

На рис. 2.24 дано окно вывода данных о состоянии объектов устройства бесперебойного питания (УБП). Перейти в это окно можно по двойному щелчку левой кнопки «мыши» на соответствующем объекте в окне отображения станции или электропитающей установки. В окне контроля УБП дан весь набор существующих элементов, их взаимозависимости и необходимая аналоговая информация (ее также можно скрыть, поставив в меню соответствующий фильтр).

Контроль ДГА с целью концентрации диагностической информации о сложном объекте также выведен в отдельном окне, разворачивающемся при двойном щелчке на соответствующем поле на отображении станции или питающей установки (рис. 2.25). Смысл обозначений тот же.

УБП



**Рис. 2.24.** Технологическое окно КЗ «Мониторинг» с отображением объектов устройства бесперебойного питания

Отдельно в КЗ «Мониторинг» выводится информация о состоянии управляющего вычислительного комплекса микропроцессорной централизации (рис. 2.26). Здесь дана функциональная схема управляющего вычислительного комплекса (УВК) системы микропроцессорной централизации ЭЦ-ЕМ [29]. Три рабочих места дежурного по станции (РМ) связаны между собой и с блоками центральных постовых устройств (ЦПУ). В исправном состоянии все линии связи подсвечиваются зеленым цветом, сигнализация красным цветом соответствует случаям возникновения нарушений в работе. Для контроля триад модулей съема информации (МСИ), модулей выходных усилителей (МВУ), а также модулей безопасного контроля и отключения (МБКО) предусмотрены ячейки, при исправности каждого из объектов горящие зеленым цветом, а в случае отказов загорающиеся красным.

ДГА

Рзд. Лужская

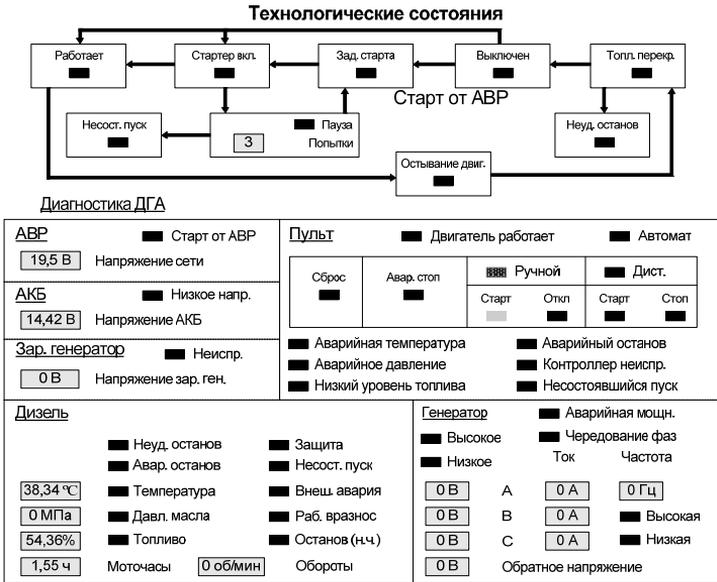


Рис. 2.25. Технологическое окно КЗ «Мониторинг» с отображением объектов дизель-генераторного агрегата

Шкаф УВК

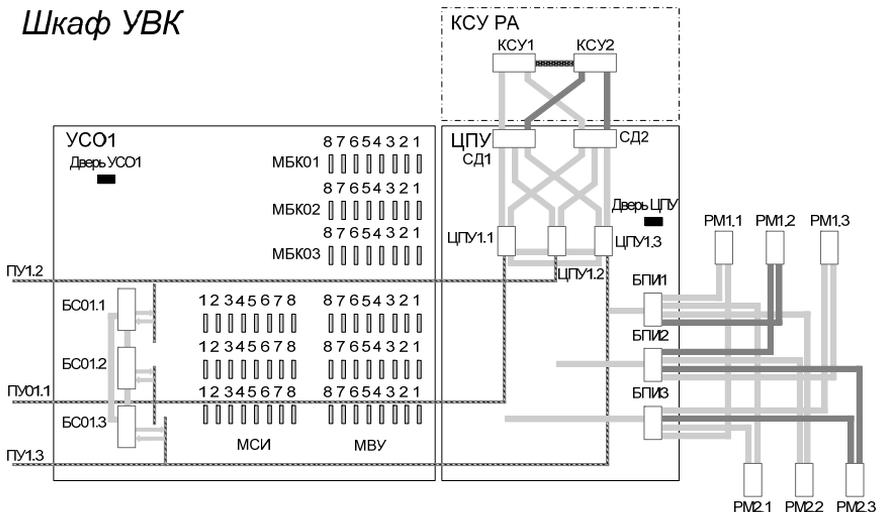
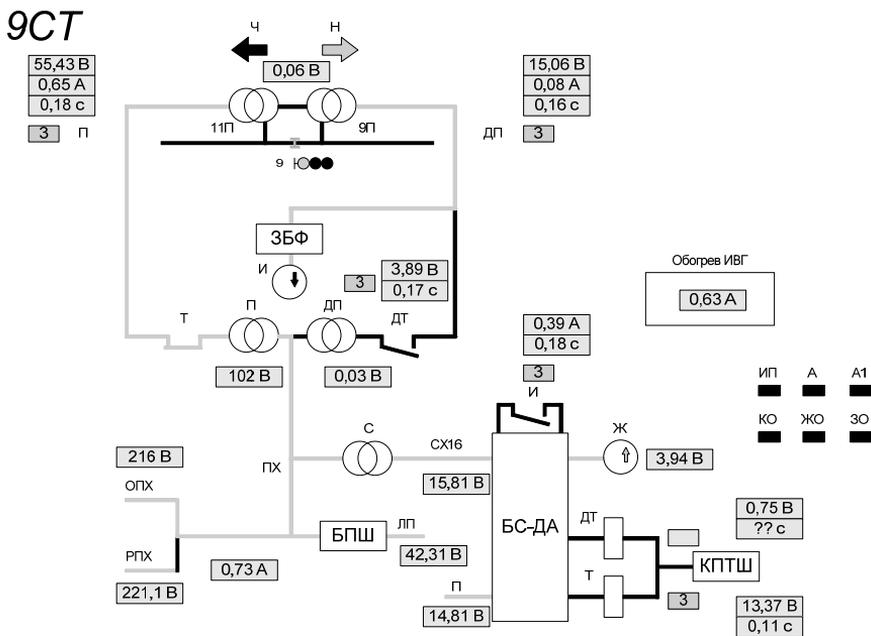


Рис. 2.26. Технологическое окно КЗ «Мониторинг» с объектами УВК микропроцессорной централизации

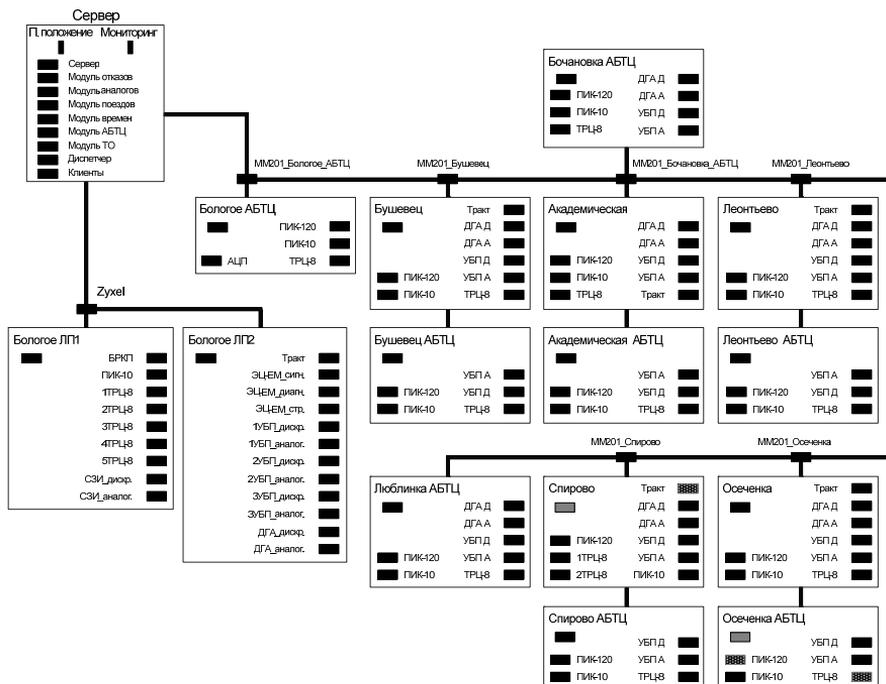
В конце первого десятилетия XXI в. авторами был разработан принцип отображения информации о состоянии сигнальных точек при использовании в качестве контроллера съема данных АДСУ, устанавливаемых взамен устаревших низко функциональных диагностических приборов АКСТ. Окно отображения данных типовое, и сегодня тиражируется при проектировании АПК-ДК на всех участках, где применены АДСУ (рис. 2.27). В окне отображения оборудования сигнальных точек показан в виде структуры принцип действия рельсовой цепи. Здесь зеленым цветом обозначены пути протекания токов при четном и нечетном направлениях движения поездов. По сравнению с предыдущими отображениями здесь есть уникальные индикаторы состояния реле и кодовых путевого трансмиттеров (КПТШ). Стрелка реле направлена вверх и горит зеленым при включенном состоянии реле, в противном случае – стрелка направлена вниз. Индикатор КПТШ показывает цвет, соответствующий вырабатываемому им коду («З», «Ж») или «КЖ».



**Рис. 2.27.** Технологическое окно КЗ «Мониторинг» с объектами сигнальной точки автоблокировки

Для организации контроля состояния самих устройств систем непрерывного мониторинга предусматривается окно самодиагностирования системы, также разработанное авторами (рис. 2.28). Здесь фактически индикаторами показаны состояния всех устройств съема диагностической информации в преде-

лах одной дистанции СЦБ, а также взаимосвязи между концентраторами. В нормальном состоянии (когда все устройства систем непрерывного мониторинга исправны) все индикаторы горят черным цветом. В случае потери работоспособности одним из устройств получения диагностических данных ячейка возле наименования станции загорается желтым цветом (см. концентратор информации станции «Спирово» на рис. 2.28). При отказе всех измерительных контроллеров на станции или самого концентратора информации ячейка горит красным. Для контроля состояния сервера предусмотрено отдельное поле: здесь индицируется состояние самого сервера и программных средств АРМ АПК-ДК.



**Рис. 2.28.** Технологическое окно КЗ «Мониторинг», отображающее структурную схему подсистемы самодиагностирования средств АПК-ДК

Кроме указанных выше составляющих системы мониторинга, в отдельные виды отображения результатов технического диагностирования в КЗ «Мониторинг» выносятся ячейки диагностирования пожарной сигнализации, сигнализаторов заземления, фиксации отмены маршрутов.

Такая структура КЗ «Мониторинг» позволяет централизовать диагностическую информацию от объектов диагностирования, относящихся к одному объекту, что обеспечивает удобство использования АРМ.



Используя имеющиеся измерительные контроллеры, можно анимировать схемы, то есть подсвечивать различными цветами пути протекания токов, состояния реле и их контактов, выводить значения некоторых аналоговых измерений. Естественно, что это возможно только при наличии соответствующего множества контрольных точек в схемных решениях ЖАТ, куда подключены измерительные контроллеры. Описываемый подход позволит, в свою очередь, выдавать информационные сообщения об отклонениях параметров устройств от норм, возникающих неисправностях (отказах и предотказных состояниях), а также прогнозировать дальнейшие изменения состояний. Таким образом, анимация схем расширяет функциональные возможности и совершенствует работу АПК-ДК, что позволяет использовать данную систему более эффективно с позиции технического персонала дистанций СЦБ.

Работа эксплуатационного штата дистанций СЦБ, как отмечалось выше, нередко связана с анализом схемных решений ЖАТ, и наличие функции «подсказки» в АРМ систем непрерывного мониторинга заметно бы упростило данный процесс.

Ясно, что в существующих СЖАТ невозможна полная анимация схем, так как во все схемные узлы постановка измерительных контроллеров невозможна. С другой стороны, даже частичная анимация схем представляется существенным развитием АПК-ДК, так как позволит сузить поле поиска неисправностей и облегчить анализ схемных решений при наличии неисправностей.

Следует отметить, что анимация схем ЖАТ ранее использовалась для поиска неисправностей в результате машинного моделирования, где в качестве исходных данных выступали реальные дискретные и аналоговые величины, значения которых получены от устройств ЖАТ.

Таким образом, представление диагностической информации в программных комплексах современных систем непрерывного мониторинга ЖАТ еще несовершенно, однако находится на достаточно хорошем уровне. Перспективным является увеличение полноты и глубины технического диагностирования с возможной выдачей информационных сообщений об отклонениях от норм рабочих параметров с большей степенью детализации, чем имеется. Это позволит также улучшить решение задачи прогнозирования технического состояния устройств ЖАТ.

# ГЛАВА 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА

## 3.1. Цикл проектирования систем мониторинга

Процесс проектирования систем непрерывного мониторинга устройств ЖАТ является трудоемким и в настоящее время практически не содержит элементов автоматизации [20, 49]. Проектирование схемных решений состоит из двух частей – проектирование аппаратных и программных средств (рис. 3.1 и 3.2). Аппаратные средства систем мониторинга включают в себя разработку схемных решений оборудования линейных и центральных постов, а также общей части системы. Аппаратные средства систем мониторинга разрабатывают сотрудники проектных организаций. Программные средства – более сложная часть проекта системы мониторинга – проектируется самим производителем системы мониторинга и включает в себя разработку драйверов взаимодействия программных средств с измерительными контроллерами, разработку технологических окон вывода информации и алгоритмов обработки данных. При этом исходными данными для проектировщика программных средств являются данные, предоставленные разработчиком проектных решений аппаратных средств.

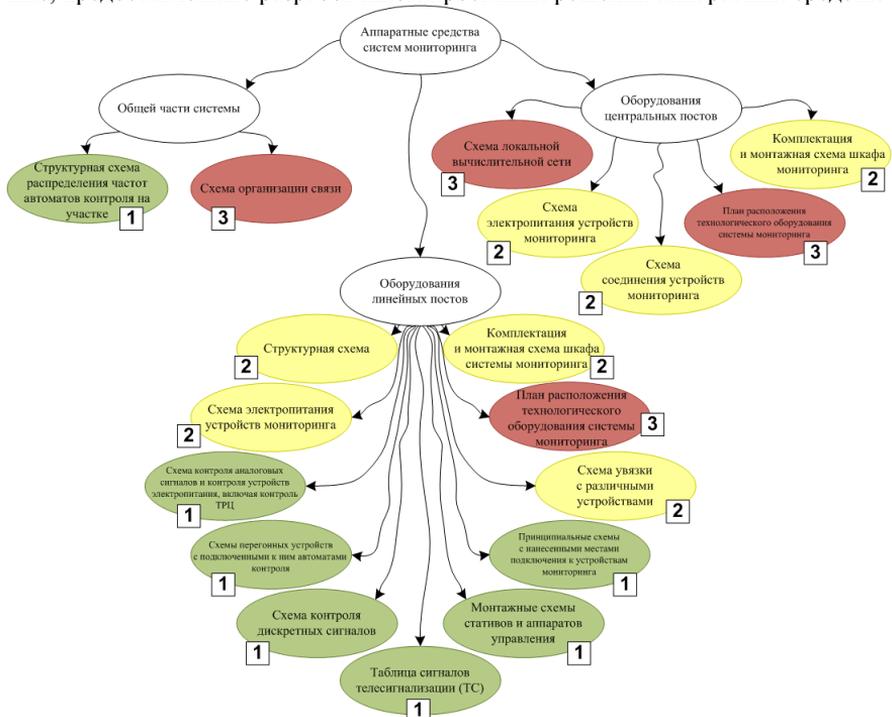


Рис. 3.1. Структура проектирования аппаратных средств мониторинга устройств ЖАТ

Сегодня процесс проектирования схемных решений систем непрерывного мониторинга практически полностью выполняется вручную, однако ведутся работы по автоматизации ряда процедур. На диаграммах рис. 3.1 и 3.2 детализированно показано, какие элементы проектируются для систем мониторинга:

- 1) цифрой «1» – стадии, автоматизация которых высока (свыше 70% работ);
- 2) цифрой «2» – стадии, возможность автоматизации которых невелика (от 20 до 70%);
- 3) цифрой «3» – стадии, которые автоматизировать практически невозможно (менее 20%).

Как видно из обеих диаграмм, стадии проектирования как аппаратной, так и программной составляющих систем непрерывного мониторинга могут быть в значительной степени автоматизированы.



**Рис. 3.2.** Структура проектирования программных средств мониторинга устройств ЖАТ

### ***3.2. Техническая документация систем мониторинга***

При оборудовании участка системой непрерывного мониторинга чертежи можно разделить на три группы:

- чертежи общей части системы;
- чертежи центрального поста;
- чертежи линейного пункта (для каждой станции участка свой комплект).

В комплект чертежей общей части системы входят: структурная схема распределения частот автоматов контроля на участке и схема организации связи.

В комплект чертежей центрального поста входят:

- план расположения технологического оборудования системы мониторинга в здании центрального поста;
- схема соединения устройств мониторинга;
- схема локальной вычислительной сети (ЛВС);
- схема электропитания устройств мониторинга на центральном посту;
- комплектация и монтажная схема шкафа системы мониторинга центрального поста.

Чертежи линейных пунктов участка можно условно разделить на чертежи станций и чертежи перегонов.

В связи с тем, что документация по центральному посту системы мониторинга и по линиям связи составляет примерно 5% от всей документации при проектировании участка, оборудуемого системой мониторинга, мы остановимся только на автоматизации проектирования линейных пунктов.

При проектировании системы мониторинга на станциях и на перегонах, оборудованных централизованной системой автоблокировки, комплект чертежей каждой станции и каждого перегона включает в себя:

- структурную схему линейного пункта;
- схему контроля аналоговых сигналов;
- схему контроля дискретных сигналов;
- таблицу сигналов телесигнализации (ТС);
- схему контроля тональных рельсовых цепей сигналов;
- схему контроля устройств электропитания (схема подключения устройств Альфа-А2, КДСП, АДСП, АДАМ-3014 и др.);
- схему увязки с различными устройствами (микропроцессорной централизацией, диспетчерской централизацией, УБП, ШУДГА, СЗИЦ-Д, ИСИ, ЭССО, СПД ЛП и др.);
- схему измерения сопротивления изоляции;
- схему контроля перегонных устройств;
- план расположения технологического оборудования системы мониторинга в здании поста ЭЦ или в транспортабельном модуле;
- схему электропитания станционных (перегонных) устройств системы мониторинга;
- комплектацию и монтажную схему шкафа системы мониторинга линейного пункта;
- принципиальные схемы станционных (перегонных) устройств ЖАТ с нанесенными местами подключения устройств мониторинга;
- монтажные схемы стативов и аппаратов управления.

При проектировании системы мониторинга на перегонах, оборудованных децентрализованной системой автоблокировки, чертежи включают в себя:

- структурную схему распределения частот автоматов контроля на перегоне;
- принципиальные схемы всех сигнальных и разрезных точек;
- схемы релейных шкафов поездов с указанием мест подключения автоматов контроля, измерителя тока и устройств измерения сопротивления изоляции;
- монтажные схемы этих точек и релейных шкафов.

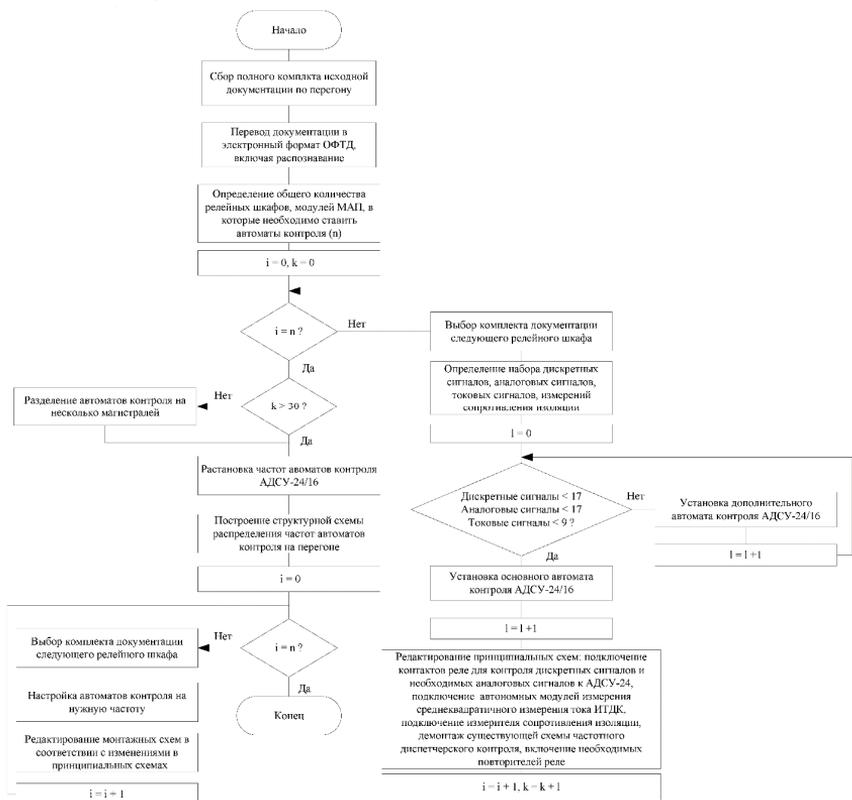
### ***3.3. Автоматизация проектирования схемных решений систем мониторинга***

Рассмотрим вопросы автоматизации проектирования схемных решений систем непрерывного мониторинга на примере разработки аппаратных средств системы мониторинга для децентрализованных автоблокировок. В настоящее время данные системы имеют доминирующее положение на сети железных дорог ОАО «РЖД». К ним относятся: числовая кодовая автоблокировка (ЧКАБ), релейная автоблокировка с тональными рельсовыми цепями (АБТ), импульсopроводная автоблокировка, электронная кодовая автоблокировка (КЭБ), автоблокировка с фазочувствительными рельсовыми цепями (УСАБ), микропроцессорная автоблокировка с тональными рельсовыми цепями (АБЦМ).

По состоянию на 1 января 2015 г. на сети ОАО «РЖД» примерно 53 тыс. км оборудовано децентрализованной системой автоблокировки (свыше 60% железных дорог РФ). При этом только 9,7 тыс. км из них оснащены системами мониторинга устройств ЖАТ (18,5%), а 43,3 тыс. км (81,5%) оснащены морально устаревшей системой частотного диспетчерского контроля (ЧДК) и требуют установки на них современных систем непрерывного мониторинга. Практически 55% всех перегонов, оснащенных системами непрерывного мониторинга, используют средства АПК-ДК ООО «Компьютерные информационные технологии». Вопрос перевооружения дистанций СЦБ на современные средства мониторинга является актуальным и требует большой работы по проектированию.

На рис. 3.3 приведен алгоритм автоматизации процесса проектирования с применением электронного представления технической документации в отраслевом формате технической документации. В данном формате технический документ описывает не только визуальную часть чертежа, но и модель изображенного на ней элемента или схемы. Имея набор схем (принципиальных или монтажных), можно построить общую модель системы, описывающей систему в целом. Специально разработанные алгоритмы позволяют создать такую обобщенную модель.

На первом этапе вся исходная документация переводится в электронный вид в отраслевой формат или берется действующая техническая документация из базы данных технической документации.



**Рис. 3.3.** Блок-схема алгоритма проектирования оснащения децентрализованной системы автоблокировки системой мониторинга

Полученная модель имеет информацию обо всех приборах, использованных в схеме, их свойствах, связях с другими приборами и месторасположении в релейном помещении. На основании данных такой модели легко определяется местоположение для выбора мест установки измерительных контроллеров АПК-ДК (в качестве данных приборов в настоящее время используется автомат диагностики сигнальной установки АДСУ-24/16 [30]). При этом если имеются монтажные схемы или принципиальные с нанесенными монтажными адресами, то возможно и получение точных монтажных адресов для подключения устройств контроля.

На втором этапе для каждого релейного шкафа (РШ) определяется его тип (сигнальная установка, разрезная установка, РШ переезда), тип автоблокировки, наличие дополнительных устройств (УКСПС, САУТ), для сиг-

нальной установки указывается ее вид (одиночная, спаренная, предвходная и т. д.).

На третьем этапе по полученным данным из предыдущего этапа определяется набор дискретных и аналоговых сигналов. Из полученных данных определяется количество автоматов, устанавливаемых в шкафу.

На четвертом этапе к автомату подключаются контакты реле для контроля дискретных сигналов с учетом, что один АДСУ-24/16 может контролировать 16 дискретных сигналов (рис. 3.4). Подключаются необходимые аналоговые сигналы (питания, напряжения на обмотках реле) с учетом, что АДСУ-24/16 может контролировать 16 сигналов (32 вывода). Выбираются места подключения датчиков измерения тока с учетом, что к одному АДСУ-24/16 могут быть подключены 8 автономных модулей измерения среднеквадратичного значения тока ИТДК (рис. 3.5). Демонтируется существующая схема частотного диспетчерского контроля или автоматы диагностики устаревшего образца (рис. 3.6). В интерактивном режиме строятся повторители реле для тех реле, у которых не хватает контактных групп для контроля.

При этом точки подключения устройств контроля могут быть получены автоматически из общей модели системы. Места вставки на принципиальных схемах известны, и проектировщику необходимо подключаться только в момент окончательного оформления чертежа и для проверки проекта. Выбор демонтируемого оборудования также автоматизирован, так как все демонтируемое оборудование может быть определено из модели и помечается на чертеже как демонтируемое.

На пятом этапе определяется количество автоматов в каждом шкафу, производится распределение частот автоматов с учетом, что в одну магистраль может подключаться до 30 автоматов. Если автоматов на перегоне больше 30, то они распределяются на несколько магистралей и магистрали тянутся на разные станции. Строится структурная схема распределения частот автоматов контроля на перегоне. Производится настройка автоматов согласно выбранной частоте.

На шестом этапе производится корректировка монтажной документации согласно полученным принципиальным схемам.

Особенности автоматизации проектирования систем непрерывного мониторинга для других объектов ЖАТ аналогичны.

При проектировании системы непрерывного мониторинга на станциях и на перегонах, оборудованных централизованной системой автоблокировки, одной из основных задач является контроль аналоговых сигналов, в том числе технического диагностирования тональных рельсовых цепей.

Рассмотрим пример автоматизации проектирования устройств диагностирования системы АПК-ДК производства ЗАО МП «ИМСАТ». В этой системе для контроля состояния тональных рельсовых цепей, фазочувствительных рельсовых цепей, аналоговых сигналов применяется один прибор – адаптер диагностики тональных рельсовых цепей (АДТРЦ).





менного тока путем измерения напряжений отдельных гармонических составляющих сигналов (гармоник);

– режим измерения напряжения постоянного тока.

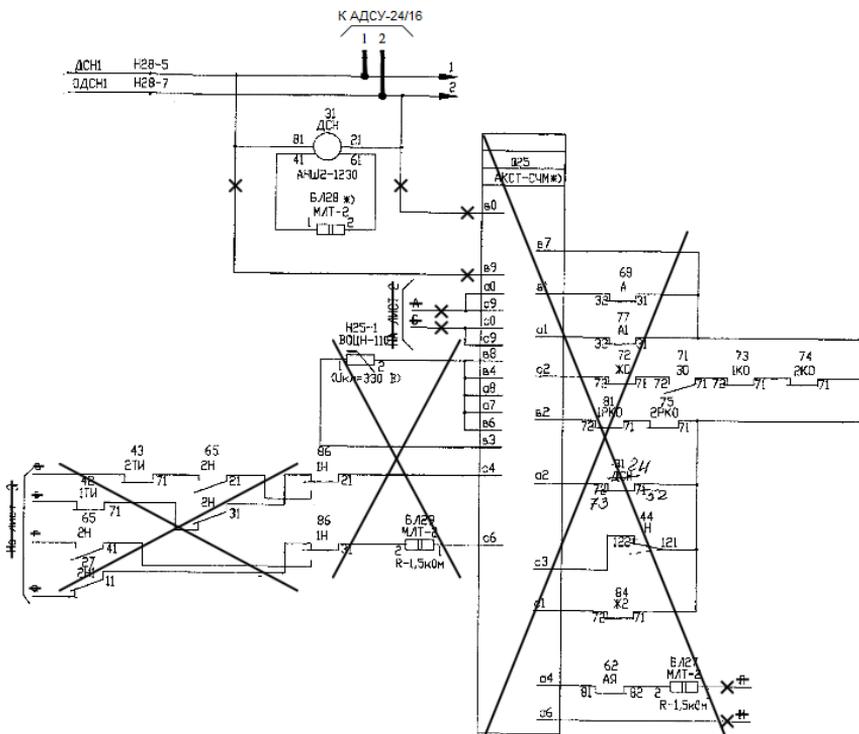


Рис. 3.6. Демонтаж существующей схемы диспетчерского контроля

На рис. 3.7 приведен алгоритм автоматизации процесса проектирования с применением электронного представления технической документации. В электронной модели имеется информация обо всех приборах, использованных в схеме объекта диагностирования, их свойствах, связях с другими приборами и месте расположения в релейном помещении. На основании данных такой модели легко определяются местоположения для выбора мест установки измерительных контроллеров АПК-ДК. При этом если имеются монтажные схемы или принципиальные с нанесенными монтажными адресами, то возможно и получение точных монтажных адресов для подключения измерительных устройств.

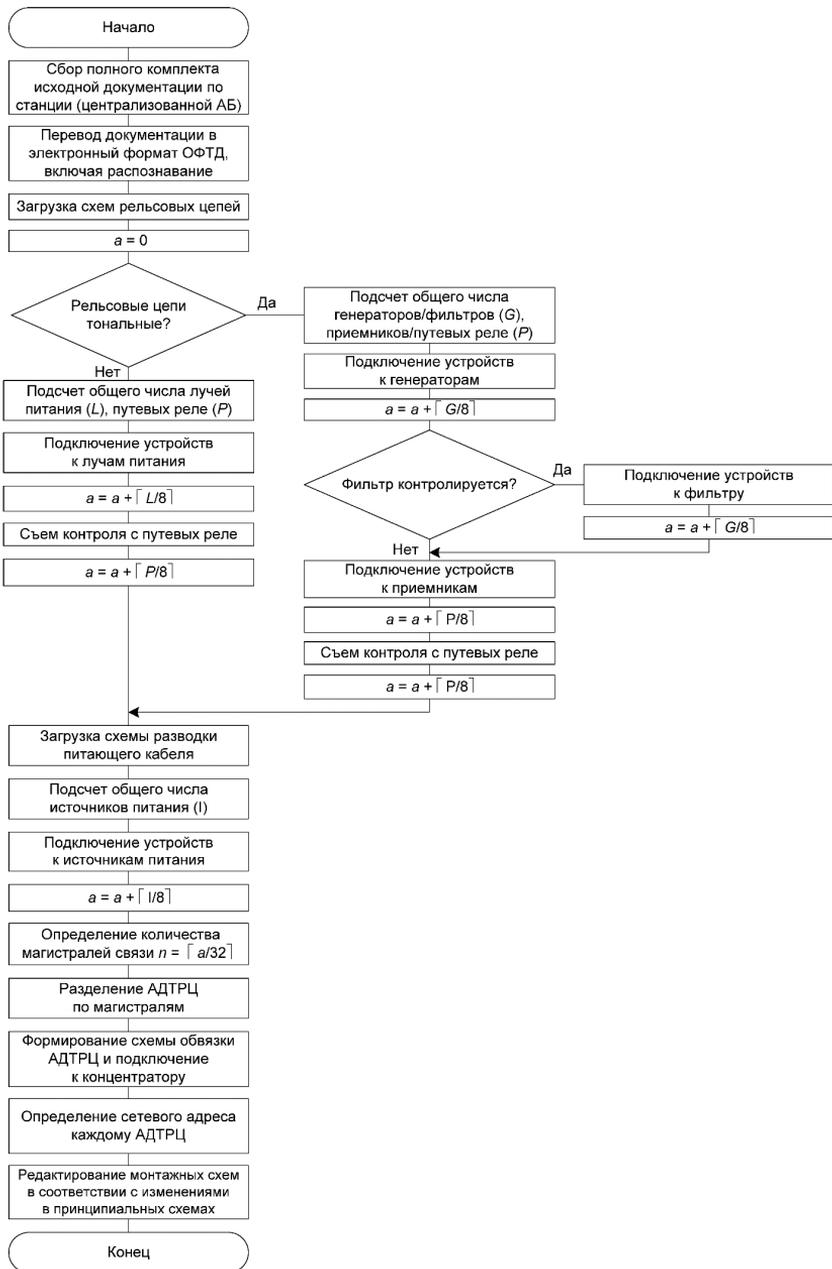


Рис. 3.7. Блок-схема алгоритма автоматизации проектирования средств мониторинга

На втором этапе из комплекта документации находятся схемы с рельсовыми цепями. В найденных схемах ищутся точки подключения для оборудования:

- для тональных рельсовых цепей это измерительные панели, подключенные к генератору, фильтру (если это предусмотрено техническим заданием), путевому приемнику и путевому реле (рис. 3.8);

- для фазочувствительных рельсовых цепей это измерительные панели, подключенные к путевым реле, и лучевые питания.

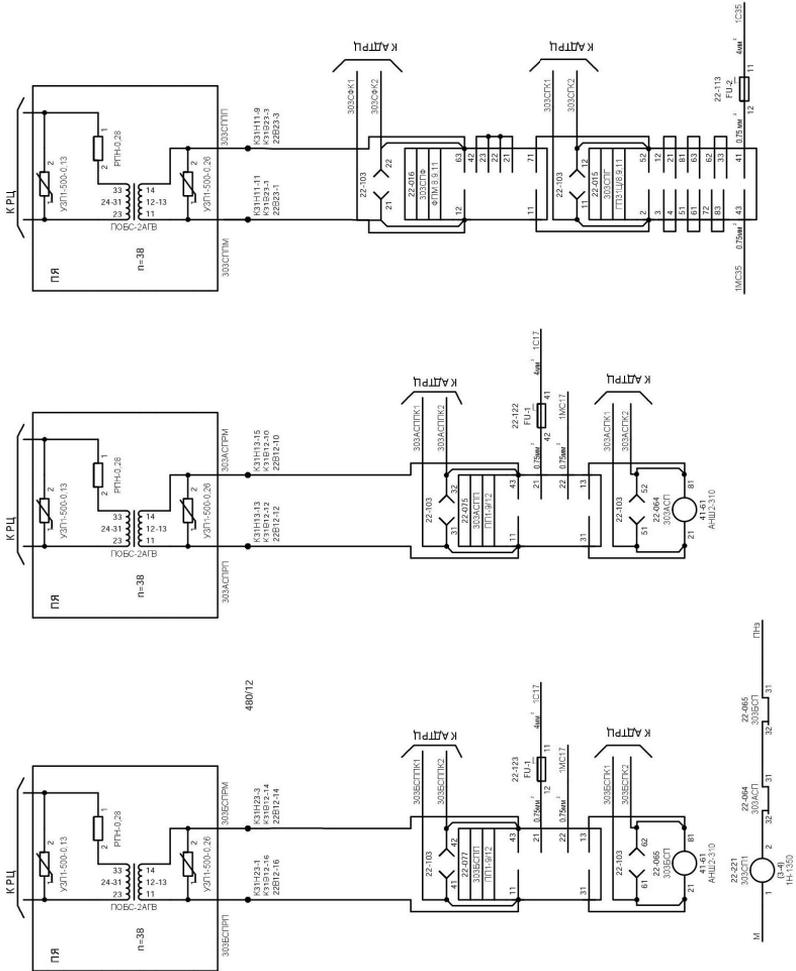
На третьем этапе полученный список сигналов диагностирования рельсовых цепей распределяется по адаптерам АДТРЦ, учитывая, что к одному прибору можно подключить 8 пар точек измерения и что для контроля фильтров, генераторов, приемников, путевых реле, лучей питания должны быть отдельные АДТРЦ. При группировке сигналов от АДТРЦ также учитывается то, что адаптеры должны располагаться на том же или соседнем стative, что и контролируемое устройство. Выбираются монтажные адреса АДТРЦ и защитных резисторов (блока защитных резисторов БЗР-2). Формируются схемы подключения АДТРЦ к приборам рельсовых цепей (рис. 3.9).

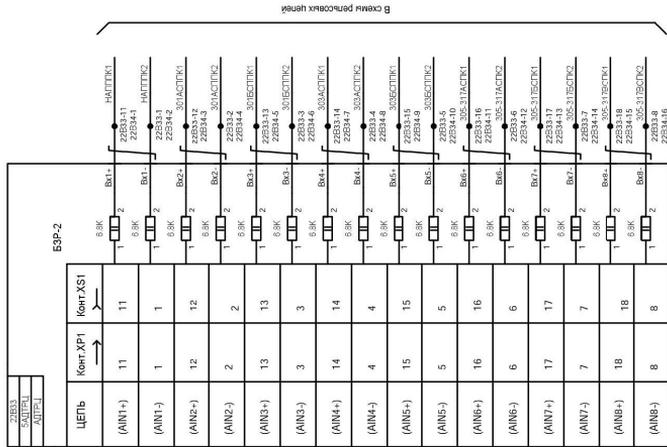
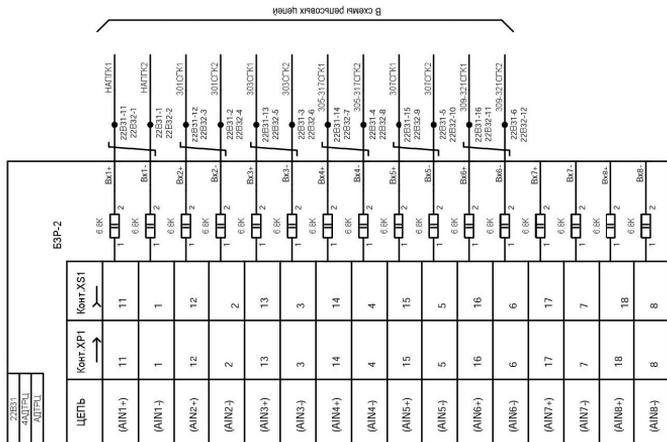
На четвертом этапе из комплекта документации находятся схемы, на которых показываются схемы питания электрической централизации или централизованной автоблокировки (схема межпанельных соединений, схема разводки внутрипостового питающего кабеля). В найденных схемах ищутся необходимые полюса питания, мониторинг которых необходим. Далее эти полюса питания распределяются по АДТРЦ, учитывая, что к одному прибору можно подключить 8 пар точек измерения. При группировке сигналов от АДТРЦ также учитывается то, что адаптер должен располагаться на том же или соседнем стative, что и место подключения к полюсу питания. Выбираются монтажные адреса АДТРЦ и защитных резисторов (блока защитных резисторов БЗР-2). Формируются схемы подключения АДТРЦ к полюсам питания (рис. 3.10).

На пятом этапе определяется общее количество АДТРЦ, производится распределение адаптеров по магистралям, учитывая, что в одну магистраль может подключаться до 32 адаптеров и чтобы магистраль была по возможности короче. Производится установка на адаптеры сетевых адресов, учитывая, что адаптер с первым сетевым адресом должен быть подключен к концентратору, а все остальные – последовательно к первому. Формируется схема обвязки АДТРЦ и подключения к концентратору (рис. 3.11).

На шестом этапе формируется схема электропитания АДТРЦ. АДТРЦ питаются либо от источника питания постоянного тока от 18 до 30 В или от источника питания переменного тока частотой 50 Гц от 15 до 24 В. К одному источнику питания допускается подключение 16 АДТРЦ. В зависимости от фактического числа приборов в одном луче питания выбирается номинал предохранителя.

На седьмом этапе производится корректировка монтажной документации согласно полученным принципиальным схемам.





Провод от релеисторие разделять на вилку С12ДШ-30.  
Провод со стороны клеммы на розетку С12Г-30

Релеисторие типа С2-29В-16.6ЮМ

Вилка пара кабелей-ЭСЦИВНП-5.2х2х0,6

Рис. 3.9. Схемы подключения оборудования к приборам релейсовых цепей



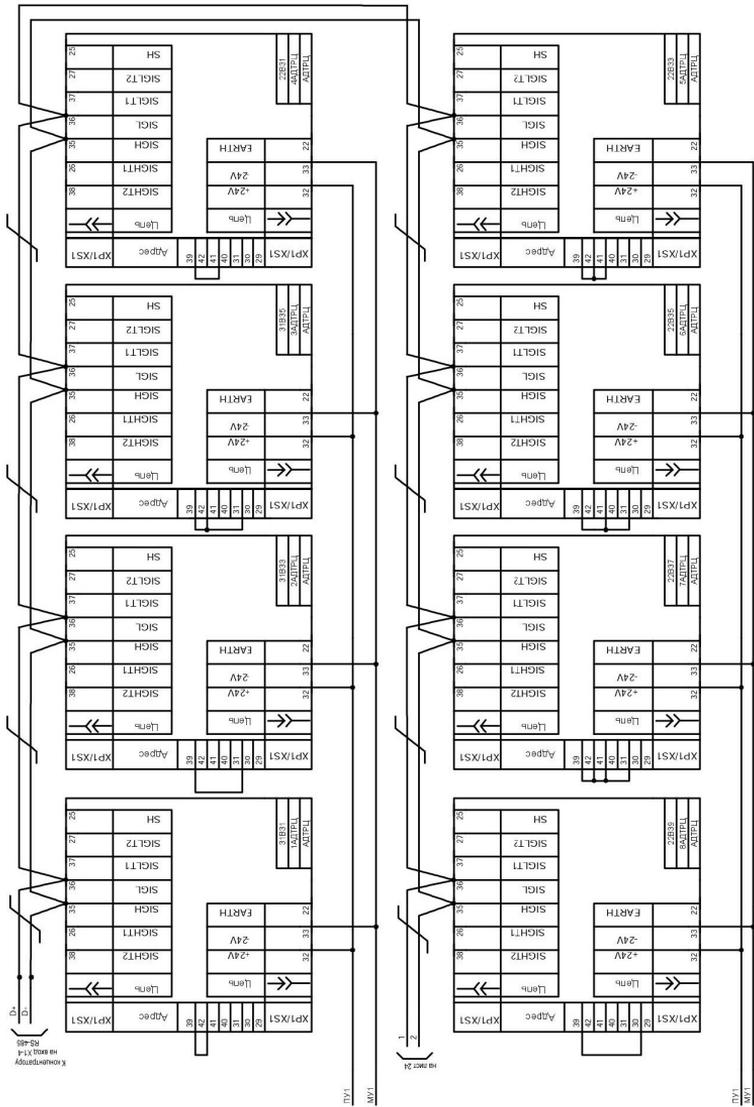


Рис. 3.11. Схема обвязки и подключения к концентратору

### *3.4. Программные средства для проектирования систем мониторинга*

Современные средства систем непрерывного мониторинга – это аппаратно-программные средства. Для их технической реализации используется специализированное оборудование, рассмотренное в предыдущих разделах, а также специализированное программное обеспечение. Рассмотрим особенности систем непрерывного мониторинга ЖАТ на примере АПК-ДК.

Аппаратные средства АПК-ДК подробно описаны ранее, здесь же остановимся на особенностях программного обеспечения, которое условно можно разделить на два вида:

- 1) программное обеспечение для разработки и тестирования системы;
- 2) программное обеспечение для эксплуатации системы.

Процесс разработки и тестирования системы АПК-ДК складывается из нескольких составляющих и начинается с этапа составления технического задания, где указываются все требования к системе, в том числе по многообразию получаемой диагностической информации.

После этапа утверждения технического задания на систему разработчик определяет способы получения диагностических данных и технические средства диагностирования. На данном этапе осуществляется выбор конкретных измерительных контроллеров для решения поставленных задач. Определяются узлы схемных решений, в которые будет осуществлено подключение контроллеров. Создается спецификация оборудования АПК-ДК. Таким образом создается проект АПК-ДК для конкретного технического объекта автоматике.

За этапом проектирования мест подключения контроллеров следуют три параллельных процесса: монтаж специализированных контроллеров, настройка программного обеспечения, в том числе написание драйверов для опроса контроллеров и для сопряжения с действующими системами автоматического и автоматизированного управления и контроля, а также создание файла проекта в специализированном редакторе проектировщика АПК-ДК. Программное обеспечение позволяет осуществлять прием данных от контроллеров и систем сопряжения, а создаваемый файл проекта – выводить диагностическую информацию на АРМ пользователей.

Процесс тестирования программного обеспечения, а также корректировка базы данных, куда обращается файл проекта, являются наиболее трудоемкими. Здесь выявляются все особенности действующего объекта, а также устраняются неполадки в процессе мониторинга. Например, одними из неисправностей являются запаздывание передачи данных в систему диагностирования и неверный алгоритм функционирования индикатора состояния объекта.

Программное обеспечение систем непрерывного мониторинга ЖАТ содержит большое количество компонентов: от редакторов проектировщика, содержащих в различных системах непрерывного мониторинга ЖАТ различное

количество модулей, до комплексов программ по отображению результатов технического диагностирования и мониторинга.

Рассмотрим особенности программного обеспечения проектировщика системы непрерывного мониторинга ЖАТ. На рис. 3.12 и 3.13 изображены технологические окна редакторов проектировщика систем АПК-ДК. Суть использования данных редакторов состоит в подготовке проекта, отображающего результаты технического диагностирования и мониторинга. В базе данных системы АПК-ДК имеется некоторый набор элементов проектировщика, каждый из которых реализован с использованием установленных условных обозначений, имеет определенный тип, свойства отображения информации и множество диагностических параметров. Например, объекты автоматики «светофоры» могут относиться к двум типам – стационарные (входные, выходные, маршрутные, маневровые и т. д.) и перегонные (проходной светофор, предупредительный ко входному и пр.). Светофоры могут быть расположены на участках с полуавтоматической и автоматической блокировкой с различной значностью показаний. Сам объект «светофор» имеет некоторое множество дискретных состояний, выводимых с помощью условных обозначений в технологическое окно АРМ АПК-ДК, а также ряд диагностических параметров (например, сопротивление изоляции жил кабеля). Задача проектировщика – изображение в условных обозначениях объекта диагностирования – станции или перегона – с указанием на них элементов отображения напольного технологического оборудования (рельсовых цепей, светофоров, стрелок, переездной автоматики и пр.), а также ячеек технологического назначения (они отображают результаты мониторинга энергоснабжения, режим электропитания, состояния участков приближения/удаления к/от станции и т. д.). Каждому объекту диагностирования в системе ЖАТ ставится в соответствие множество диагностических параметров, алгоритмы вывода данных в технологические окна АРМ АПК-ДК, граничные значения диагностических параметров, применяемые алгоритмы определения технического состояния и т. д.

Важной деталью проектирования системы непрерывного мониторинга является установление соответствия между изображенной «картинкой» и реальными измерительными контроллерами, эту «картинку» оживляющими. При проектировании системы АПК-ДК каждому объекту диагностирования в системе ЖАТ ставится в соответствие тип измерительного контроллера, его идентификационный номер и номер датчика, подключенного для получения того или иного диагностического параметра (некоторые датчики могут быть «виртуальными», т. е. вычисляться программным обеспечением измерительных контроллеров на основе полученных измерений; так передаются данные, к примеру, от устройства КДУПС). Таким образом, проектировщик АПК-ДК в редакторе конкретного проекта должен также указать измерительные контроллеры, их идентификационные номера и номера датчиков используемых измерительных контроллеров (рис. 3.14). Именно эта процедура в последующем позволяет выводить диагностические данные в удобном для их просмотра виде.



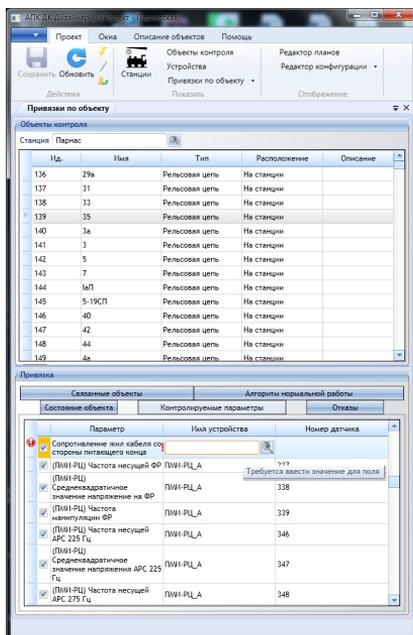


Рис. 3.14. Ввод датчиков контроллеров в специализированном окне

В системе АПК-ДК ООО «Компьютерные информационные технологии» имеется целый комплекс редакторов проектировщика (редактор ДК, редактор отказов, редактор измерений и т. д.), а в системе АПК-ДК ЗАО МГП «ИМСАТ» такой редактор один, в нем минимизировано количество производимых проектировщиком операций, а все необходимые «привязки» осуществляются с использованием внутренних вкладок (см. рис. 3.13). Отметим, что внешний вид последнего, а также набор объектов диагностирования и их параметров создавались при непосредственном участии авторов данной книги, в т. ч. уделено внимание некоторым вопросам автоматизации проектирования.

# ГЛАВА 4. ТЕСТИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ

## *4.1. Реализация самодиагностирования в программных средствах систем непрерывного мониторинга*

### **4.1.1. Программные средства концентраторов информации**

Программное обеспечение концентратора АПК-ДК представляет собой совокупность операционной системы реального времени QNX и прикладных программ, включающих в себя: драйверы устройств, серверы данных, серверы логической обработки, графические приложения, программы ведения архива, сетевые приложения и программы настройки. При оснащении концентратора монитором для обеспечения индикации собранной информации непосредственно на станции ПО дополняется графической оболочкой Photon. На концентраторе центрального пункта для организации связи с автоматизированными рабочими местами верхнего уровня дополнительно устанавливается сетевой пакет ТСР/ІР. Каждое приложение выполняет свои функции по приему, обработке и выдаче информации.

Прикладное программное обеспечение имеет модульную, распределенную структуру. Связь между отдельными элементами программного обеспечения осуществляется на основе механизмов взаимодействия процессов, предоставляемых операционной системой реального времени QNX.

Модульная структура позволяет сделать весь комплекс программного обеспечения более гибким. Возможна замена отдельных существующих модулей или добавление новых модулей, решающих новые задачи, без изменения всего комплекса программ. Кроме того, для каждого конкретного концентратора АПК-ДК устанавливается только тот набор программных компонентов, который необходим для решения возложенных на него задач, что позволяет максимально использовать вычислительные мощности компьютера. Так, на концентраторы, не оснащаемые мониторами, не нужно устанавливать графические приложения. А концентраторы линейных пунктов, не имеющие сетевого соединения с автоматизированными рабочими местами верхнего уровня, не требуют установки сетевых приложений передачи данных по сетям ТСР/ІР.

*Драйверы устройств* представляют собой прикладные программы, предназначенные для получения диагностической информации от измерительных контроллеров, управления их работой, выполнения первичной обработки информации и передачи ее серверам данных. Кроме того, специальные драйверы решают задачу обмена данными с другими микропроцессорными системами железнодорожной автоматики и телемеханики.

Взаимодействие с контроллерами осуществляется через последовательные порты с использованием мультипортовых плат или через специальные пла-

ты ввода/вывода. Обмен данными с другими микропроцессорными системами также ведется через последовательный интерфейс.

Серверы данных представляют собой прикладное программное обеспечение, предназначенное для приема данных от драйверов подсистемы контроля, маршрутизации принятой информации и формирования выходных данных для программ отображения, архивации и сетевой передачи информации. В общем случае структуру взаимодействия программ с сервером данных можно представить в виде рис. 4.1.

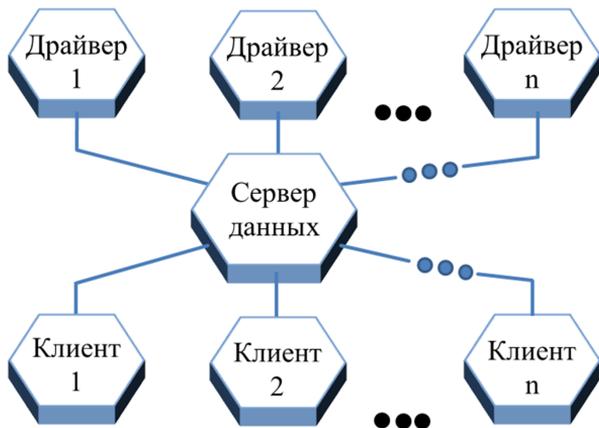


Рис. 4.1. Общая структура взаимодействия программ с сервером данных

По отношению к серверу данных программы, взаимодействующие с ним, можно разделить на источники данных (драйверы) и потребители данных (клиенты). Кроме драйверов устройств, подключенных к данному концентратору, в качестве источников информации выступают также виртуальные драйверы, передающие информацию с других концентраторов по сети. Из-за использования виртуальных драйверов сервер данных выступает также в роли элемента системы ретрансляции данных по сети QNX (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Ретрансляция данных по сетям QNX

Серверы логической обработки анализируют состояния дискретных датчиков в соответствии с определенными правилами. В качестве источника информации выступают серверы данных. Клиентами серверов логической обработки выступают графические приложения и драйверы управления интерфейсными платами. В программном обеспечении концентратора АПК-ДК в качестве серверов логической обработки выступают графический сервер и сервер предупреждений.

Графический сервер решает задачу формирования отображения путевых планов станций и перегонов участка.

Сервер предупреждений занимается логической обработкой получаемых данных о состоянии контролируемых устройств в соответствии с заданными зависимостями. Результатами его работы выступает информация, выводимая на экран концентратора и на табло дежурного по станции.

Для формирования графического интерфейса на концентраторах среднего уровня АПК-ДК используется многооконная графическая оболочка Photon. Она устанавливается на концентратор в дополнение к ОС QNX при его оснащении монитором. Графические приложения АПК-ДК представляют собой несколько программных комплексов, построенных с использованием среды разработки графических приложений Photon Application Builder (PhAB). На экране концентратора каждое приложение представляется в виде одного или нескольких окон графической оболочки.

Программы ведения архива представляют собой комплект приложений, осуществляющих формирование и удаление баз данных для ведения архива дискретной и текстовой информации.

Срок хранения архива на концентраторах является настраиваемой величиной. Обычно он составляет 10 суток для концентраторов линейных постов и 30 суток для концентраторов центральных постов.

Сетевые приложения программного обеспечения концентраторов АПК-ДК обеспечивают передачу всех видов получаемой информации по сетям QNX от одного узла к другому. Также обеспечивается передача собранной информации по сети ТСР/ІР к АРМ верхнего уровня.

Для удобства отладки работы аппаратных и программных средств концентраторов среднего уровня АПК-ДК используются специальные программы настройки. Они используются на этапе пусконаладочных работ и для выявления причин неправильной работы комплекса.

Прикладное программное обеспечение концентраторов среднего уровня АПК-ДК построено в виде отдельных программных комплексов, взаимодействующих друг с другом, каждый из которых выполняет определенную функцию в рамках общей задачи. Эта архитектура становится возможной благодаря широкому использованию различных средств операционной системы QNX: специальные механизмы операционной системы обеспечивают связь между различными элементами программных комплексов. Использование системы приоритетов позволяет гарантировать первоочередное выполнение наиболее

важных задач. Использование глобальных и локальных имен позволяет различным элементам программного обеспечения устанавливать связь.

Такая архитектура позволяет добавлять средства решения новых задач или совершенствовать существующие элементы без изменения всего существующего программного обеспечения. Это позволяет организовывать уровень самодиагностирования в программном обеспечении концентратора линейных постов без существенной переработки имеющихся программ.

#### **4.2.2. Реализация самодиагностирования измерительных контроллеров**

Задача самодиагностирования измерительных контроллеров с помощью программных средств концентратора распадается на подзадачи реализации процесса диагностирования контроллеров и обработки результатов диагностирования.

В свою очередь, задача реализации процесса диагностирования измерительных контроллеров состоит из следующих процедур:

- 1) выбора момента времени для проведения тестирования контроллера;
- 2) непосредственно процесса тестирования.

Рассмотрим решение первой задачи.

Проведение диагностирования измерительного контроллера (подача на него проверяющего теста) влечет за собой отключение устройства от объектов диагностирования, то есть на время проведения тестирования информация с объектов, контролируемых этим устройством, будет потеряна. Это приводит к нарушению полноты снимаемой информации с объектов диагностирования. Поэтому появляется проблема выбора временного интервала для проведения тестирования контроллера при условии максимально возможного сохранения качества информации.

Возможны два пути решения этой задачи.

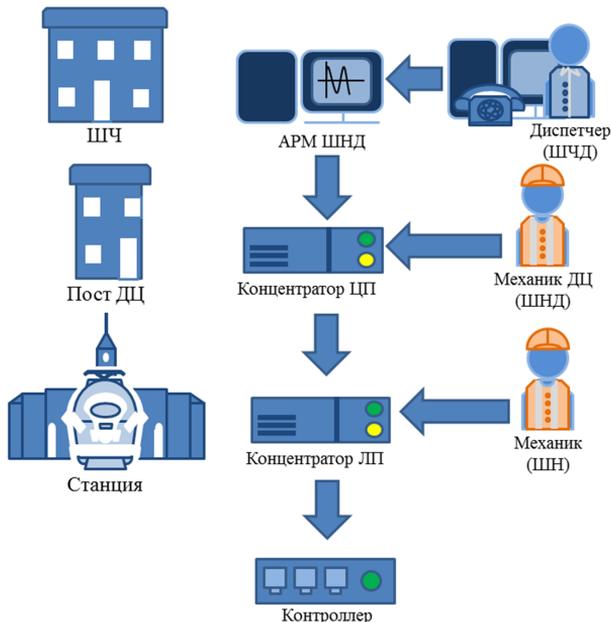
1. Получение команды на проведение тестирования непосредственно от пользователя (ручной режим). К достоинствам этого метода можно отнести простоту реализации. К недостаткам относится включение человеческого фактора в качество получаемой от системы информации.

2. Автоматический режим, когда принятие решения о проведении теста производится на базе информации, получаемой от объектов диагностирования.

При реализации подачи команды на проведение сеанса диагностирования в так называемом ручном режиме необходимо предусмотреть возможность подачи этой команды на различных уровнях системы.

Можно выделить три уровня системы, с которых может подаваться команда на проведение тестирования измерительного контроллера (рис. 4.3). На уровне концентратора линейного поста (уровне станции) команду на проведение тестирования может подать электромеханик СЦБ (ШН), непосредственно работающий на станции. На уровне концентратора центрального поста (уровне поста диспетчерской централизации) команду на проведение тестирования может подать электромеханик диспетчерской централизации, обслуживающий си-

стему на участке. Также команду на проведение тестирования может подать непосредственно диспетчер дистанции (ШЧД). При реализации возможности ручного запуска самодиагностирования на всех указанных уровнях необходимо вести протоколирование всех переданных команд и обеспечить авторизацию пользователя.



**Рис. 4.3.** Уровни подачи команды на проведение сеанса диагностики

После принятия решения о возможности выделения времени для проведения тестирования контроллера (для всех датчиков контроллера или его части) начинается сам процесс тестирования. Его основные этапы представлены на рис. 4.4.

Принятие решения о проведении тестирования контроллера путем подачи теста на все входы или на часть входов. При этом за один сеанс тестирования на входы могут быть поданы не все тестовые комбинации, а только их часть. Это связано с длительностью временного промежутка, выделяемого на проведение сеанса тестирования. Подготовка к подаче теста включает в себя логическое отключение тестируемых входов (датчиков) в программном обеспечении концентратора АПК-ДК. Эта операция нужна для того, чтобы не рассматривать информацию от этих датчиков во время теста в качестве информации от объектов диагностирования (другими словами, чтобы не передавать в систему мониторинга ложные состояния объектов диагностирования). При этом датчики с точки зрения программного обеспечения могут быть установлены в неопределенное состояние или сохранять результат последнего получения диагностиче-

ской информации. Физическое переключение (коммутация) линий связи между тестируемыми входами контроллера и контролируемыми объектами на источник подачи теста производится с помощью программно управляемого коммутатора. Сама процедура тестирования заключается в подаче на входы измерительного контроллера теста и регистрации результатов состояний датчиков, получаемых от самого контроллера. Тест может быть прерван внешней командой при необходимости получения данных от тестируемых входов раньше, чем это было запланировано. Завершение теста происходит по алгоритму, противоположному подготовке к подаче теста.



Рис. 4.4. Процесс тестирования контроллеров

Если за указанный цикл диагностирования тест подается только на часть входов измерительного контроллера или подается только часть тестовых комбинаций из запланированного набора (например, тест был прерван), то этот этап может отсутствовать. Тогда результаты тестирования сохраняются в накопительном буфере. Если же тест завершен, то производится сравнение результатов, полученных от контроллера с тестовым набором, в соответствии с заданными алгоритмами. По результатам анализа делается вывод о состоянии элементов контроллера, которые были проверены. После этого сеанс тестирования завершается и программное обеспечение переходит к ожиданию нового промежутка времени для следующего сеанса тестирования.

Если в результате процедуры самодиагностирования был зафиксирован дефект измерительного контроллера, то в программном обеспечении АПК-ДК

осуществляется парирование информации от отказавших датчиков или контроллера в целом (информация считается утерянной). Этим маскируются датчики для исключения передачи ложной информации в систему мониторинга. Кроме того, система индицирует в технологическом окне автоматизированного рабочего места технолога о возникшем дефекте.

#### **4.2.3. Комплекс алгоритмов самодиагностирования**

Авторами данной книги разработан оригинальный подход к организации уровня самодиагностирования в системе АПК-ДК.

С точки зрения аппаратной реализации коммутатор, переключающий входы измерительного контроллера от объектов диагностирования на источник подачи теста, может иметь несколько реализаций. Одним из вариантов его реализации является интерфейсная плата, вставляемая непосредственно в концентратор. Этот вариант удобен при размещении диагностируемого контроллера в непосредственной близости от концентратора. Другим вариантом может быть реализация в виде отдельного контроллера, который управляется через стандартный порт (например, последовательный) концентратора. Тогда контроллер, выполняющий функции коммутатора, размещается в непосредственной близости от диагностируемого контроллера. Этот вариант удобен, когда концентратор АПК-ДК и диагностируемый контроллер располагаются на удалении друг от друга, поскольку при этом сокращается протяженность физических линий и объем монтажа. Аппаратный источник теста может быть также реализован в виде дополнительных плат в концентраторе или в виде отдельных контроллеров. Как и в рассмотренном случае с коммутатором, выбор реализации зависит от условий на месте внедрения.

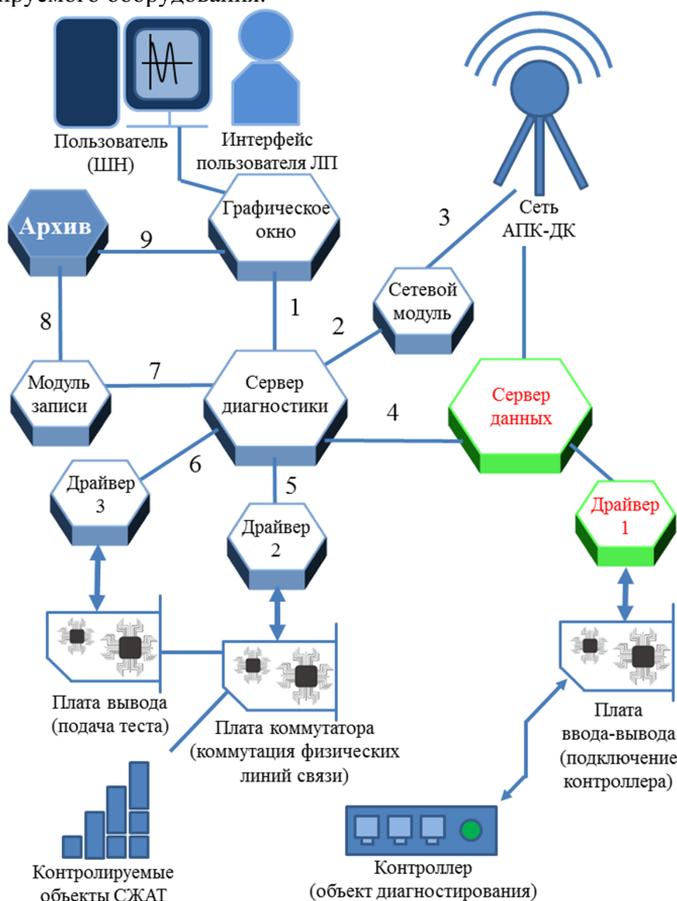
Рассмотрим вариант реализации коммутатора с использованием дополнительных плат непосредственно в концентраторе данных. При использовании дополнительных контроллеров вместо плат структура программного обеспечения системы мониторинга останется прежней, изменения же коснутся только драйверов платы коммутации и платы вывода. Общий вид структуры программного комплекса представлен на рис. 4.5. Здесь указаны связи программного комплекса самодиагностирования с аппаратной частью концентратора и существующим программным обеспечением.

В состав комплекса входят:

- сервер диагностирования, предназначенный для управления работой комплекса, организации передачи данных и логической обработки;
- драйвер платы коммутации, необходимый для управления платой коммутации;
- драйвер платы вывода – для управления платой вывода;
- модуль записи архива, позволяющий вести архив сеансов диагностирования и результатов мониторинга;

- модуль сетевого обмена, необходимый для организации передачи данных между концентраторами;
- интерфейсное окно для вывода результатов самодиагностирования.

Программа сервера диагностирования является основой комплекса самодиагностирования и решает задачи управления работой других модулей комплекса диагностирования; обеспечения передачи данных между модулями комплекса диагностирования; взаимодействия с существующим программным обеспечением концентратора данных; реализации алгоритмов принятия решения о проведении теста в автоматическом режиме; реализации алгоритмов проведения теста, анализа полученных результатов и принятия решения о состоянии тестируемого оборудования.



**Рис. 4.5.** Связи средств самодиагностирования с имеющимся программным обеспечением

Обобщенный алгоритм работы сервера диагностирования представлен на рис. 4.6.

Большую часть времени сервер находится в ожидании запросов от других модулей комплекса диагностирования и от серверов данных АПК-ДК. После получения запроса производится его обработка и передача информации тем модулям, которым она необходима.



Рис. 4.6. Обобщенный алгоритм работы сервера

В качестве примера на рис. 4.7 приводится алгоритм проведения теста измерительного контроллера при принятии решения о начале тестирования в ручном режиме непосредственно на концентраторе.

Началом работы алгоритма служит получение от графической программы команды на запуск сеанса процедуры самодиагностирования (в указанном примере предполагается, что сеанс тестирования не прерывался и тест был проведен полностью). В процессе тестирования на экран концентратора выводится информация о ходе процесса диагностирования. По окончании процесса – информация о результатах самодиагностирования. В архив записывается информация о факте начала сеанса диагностирования, а также о результатах диагностирования измерительного контроллера.

При запуске сеанса диагностирования в ручном режиме по команде с центрального поста системы мониторинга приведенный алгоритм начинался бы с получения команды на запуск сеанса от программы сетевого взаимодействия.

При запуске сеанса диагностирования в автоматическом режиме алгоритм будет начинаться с получения данных о состоянии объектов диагностиро-

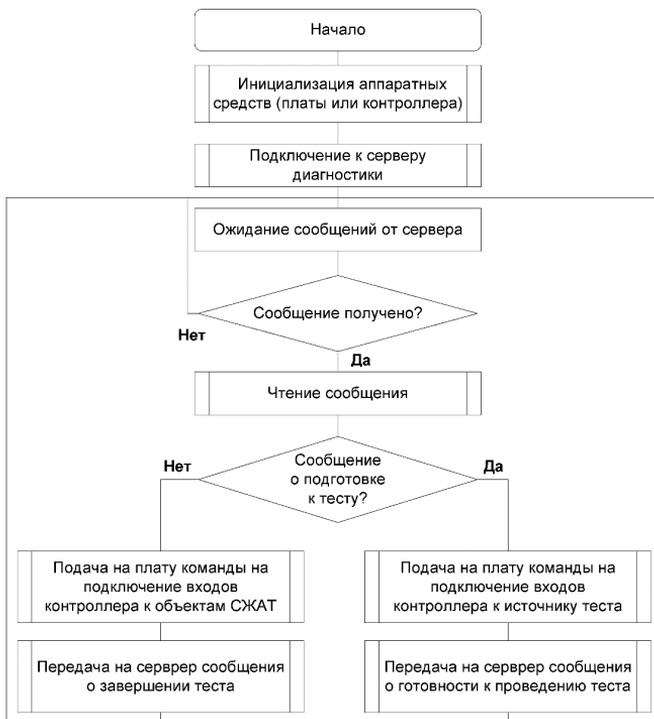
вания от сервера данных АПК-ДК. Использованию алгоритма будет предшествовать анализ этих данных с использованием описанных ранее принципов.



Рис. 4.7. Алгоритм проведения сеанса диагностики контроллера

Управление платой коммутации обеспечивает программа драйвера. Она является аппаратно зависимой программой (зависит от типа конкретной платы).

При использовании различных типов плат может быть разработано несколько различных драйверов, учитывающих особенности работы каждого типа (рис. 4.8).

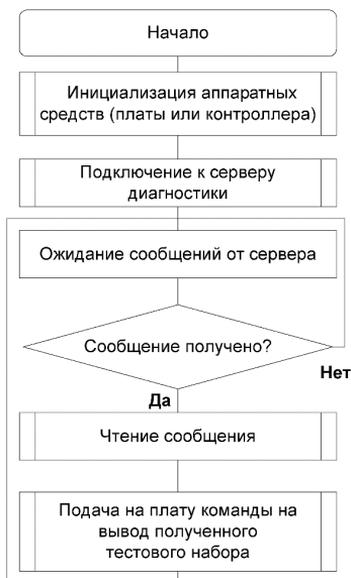


**Рис. 4.8.** Укрупненная блок-схема алгоритма работы драйвера платы коммутации

Плата коммутации предназначена для физического переключения входов контроллера от объектов контроля к источнику тестовых сигналов и обратно. Коммутации платы производятся по командам от драйвера. Команды на коммутацию на драйвер поступают от сервера диагностики при подготовке к тесту и при его завершении.

Управление платой вывода также обеспечивается с помощью специального драйвера, являющегося аппаратно зависимой программой. При реализации диагностирования контроллеров АПК-ДК в соответствии с аппаратными решениями предполагается использовать платы вывода двух типов. Первый тип предназначен для подачи теста на дискретные входы контроллеров (плата дискретного вывода). Второй – для подачи заданного уровня напряжения на аналоговые входы контроллера (плата аналогово-цифрового преобразователя). Для каждого типа платы разрабатывается свой драйвер.

В одном концентраторе может быть установлена одна или несколько плат каждого типа (в зависимости от числа диагностируемых контроллеров). При этом на каждую плату запускается отдельная копия соответствующего драйвера (рис. 4.9).



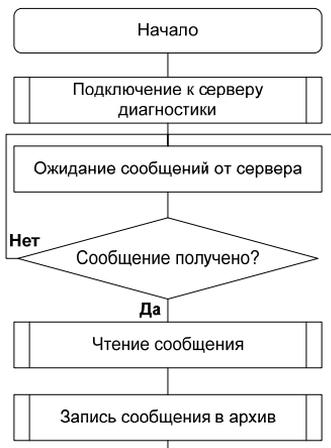
**Рис. 4.9.** Укрупненная блок-схема алгоритма работы драйвера платы вывода

Плата вывода предназначена для подачи тестовой последовательности на входы диагностируемого контроллера после физического переключения входов контроллера от объектов контроля к источнику тестовых сигналов. Наборы теста (выводимые значения) передаются на плату через ее драйвер от сервера диагностики.

Программа ведения архива предназначена для сохранения результатов диагностирования в программном обеспечении системы. Эта информация может использоваться впоследствии для просмотра пользователем и для организации автоматической обработки статистической информации на уровне концентратора линейного пункта. Информация для записи в архив поступает от сервера диагностирования в процессе проведения теста (рис. 4.10).

Программа сетевого обмена предназначена для передачи по сетям QNX информации, связанной с работой программ самодиагностирования системы. Она позволяет снять с сервера диагностирования задачи, связанные с организацией сетевого взаимодействия. От концентратора центрального поста к концентраторам линейных постов мониторинга передаются команды на запуск и завершение сеанса диагностирования контроллера (контроллеров) определенной станции. Это позволяет реализовать так называемый ручной вариант управле-

ния сеансами диагностирования контроллеров. Когда команда на проведение сеанса подается непосредственно оперативным персоналом. При этом управлять сеансами может либо диспетчер дистанции СЦБ, либо механик поста диспетчерской централизации.



**Рис. 4.10.** Укрупненная блок-схема алгоритма работы программы ведения архива

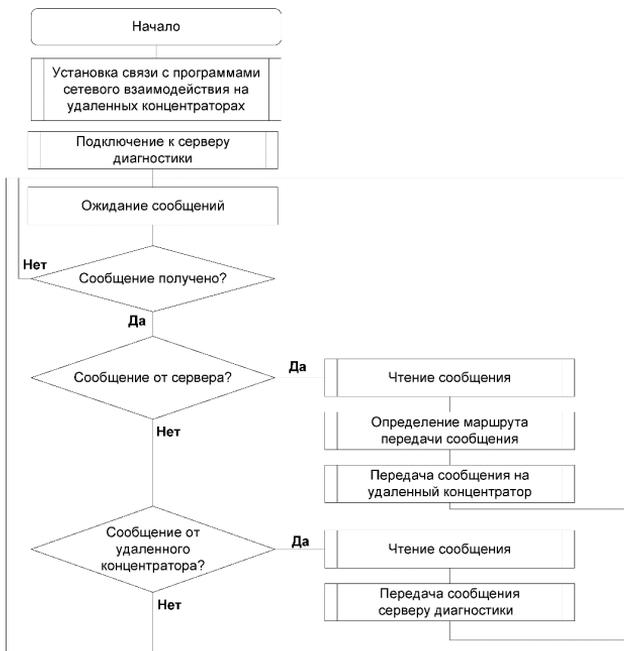
От концентратора линейного поста к концентратору центрального поста и далее на автоматизированные рабочие места передаются результаты диагностирования контроллеров. Возможна реализация передачи результатов в автоматическом режиме или по запросу с автоматизированного рабочего места (рис. 4.11).

Интерфейсное окно должно обеспечивать взаимодействие с пользователем на уровне концентратора линейного поста и концентратора центрального поста.

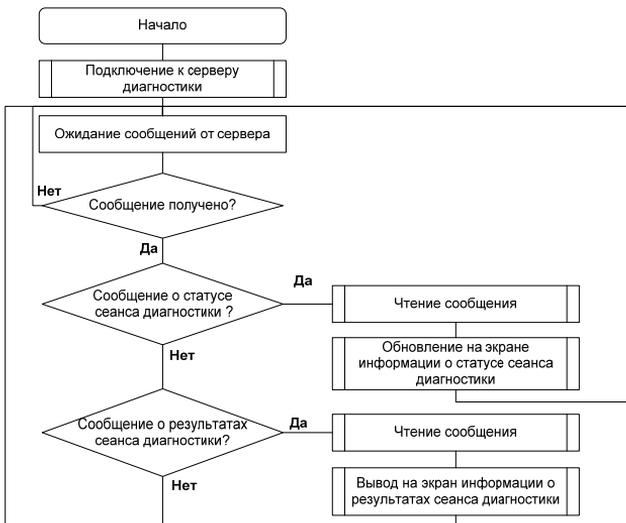
Функционирование программы интерфейсного окна можно представить в виде двух алгоритмов: алгоритм обработки сообщений от сервера (рис. 4.12) и алгоритм обработки пользовательских запросов (рис. 4.13).

С помощью средств управления окна пользователь может отдавать команды на запуск и остановку сеансов самодиагностирования контроллера. При этом необходимо указать, к какому контроллеру (контроллерам) относится эта команда. Полученная команда передается на сервер диагностирования для реализации. Также по запросам пользователя производится просмотр накопленной информации о проведенных результатах диагностирования контроллеров. При этом пользователь должен указать период времени, информация за который его интересует. Просмотр архива может выполняться одновременно с проведением очередного сеанса диагностирования.

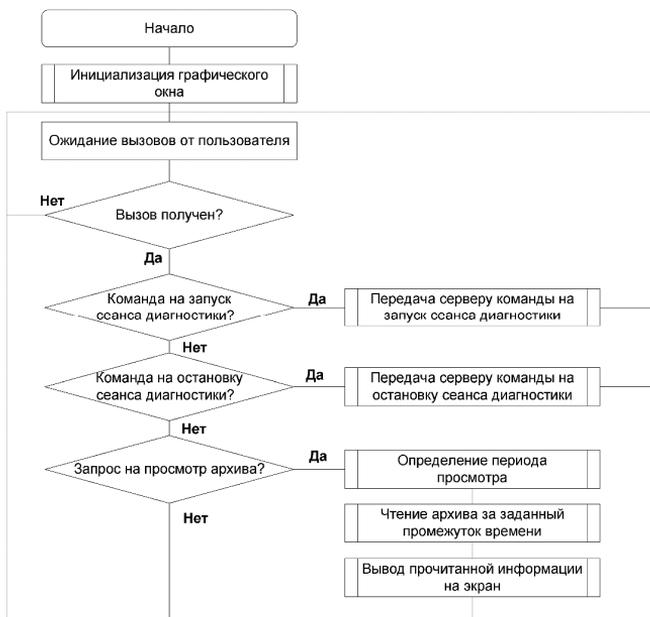
Разработанные авторами алгоритмы позволяют осуществлять тестовое диагностирование измерительных контроллеров, а сами алгоритмы предполагают отслеживание всех этапов работы программного обеспечения.



**Рис. 4.11.** Укрупненная блок-схема алгоритма работы программы сетевого взаимодействия



**Рис. 4.12.** Укрупненная блок-схема алгоритма обработки сообщений от сервера графического окна



**Рис. 4.13.** Укрупненная блок-схема алгоритма обработки вызовов пользователя графического окна

## ***4.2. Методика самодиагностирования измерительных контроллеров в системах мониторинга***

Большинство измерительных контроллеров систем непрерывного мониторинга обеспечено средствами самодиагностирования. Рассмотрим методику тестирования измерительных контроллеров в системе АПК-ДК на примере диагностического прибора ПИК-120.

При диагностировании прибора ПИК-120 возможно выявление дефектов цифровых дифференциальных входов оптронного преобразователя, соединительных проводов, портов С и Е микроконтроллера и самого микроконтроллера.

Одним из вариантов реализации процедуры диагностирования для проверки работоспособности прибора ПИК-120 является принудительная посылка на его цифровые дифференциальные входы тестовых комбинаций. Причем на время теста необходимо отключение цифровых дифференциальных входов оптронного преобразователя от рабочих сигналов. При этом нужно учитывать, что отключение 15 восьмиканальных групп требуется производить таким образом, чтобы исключить потерю информации системой во время проведения диагностирования. Вся собранная таким образом диагностическая информация поступает на концентратор, где программным способом производится ее дальнейший анализ.

Задача диагностирования прибора ПИК-120 разбивается на две задачи:

- диагностирование схемы измерения средних значений напряжений сигналов, получаемых с путевых реле и поступающих на аналоговые дифференциальные входы;

- проверка работоспособности цифровых входов.

При диагностировании ПИК-120 в ключе решения первой части задачи диагностирования возможно выявление неисправностей:

- обрыв или короткое замыкание контактов аналоговых дифференциальных входов релейно-транзисторного коммутатора;

- неисправность аналогово-цифрового микроконтроллера;

- неисправности элементов схемы измерения сопротивления изоляции жил кабеля;

- сбой программного обеспечения.

Для поиска данных неисправностей устанавливается магазин сопротивлений на входе релейно-транзисторного коммутатора. Подключив каждой паре контактов матрицы резистор с выбранным номиналом, по величине падения напряжения на этих резисторах при работоспособной и неработоспособной матрице и аналогово-цифрового преобразователя можно установить вид неисправности. Оценить полученные результаты можно при помощи программного обеспечения, установленного на концентраторе, сравнивая их с эталонными данными.

Контроль схемы измерения изоляции основан на проверке конденсатора, расположенного в низкочастотном фильтре. По изменению значения емкости при воздействии на него электрическим сигналом переменного напряжения высокой и низкой частоты возможно сделать заключение о его исправности.

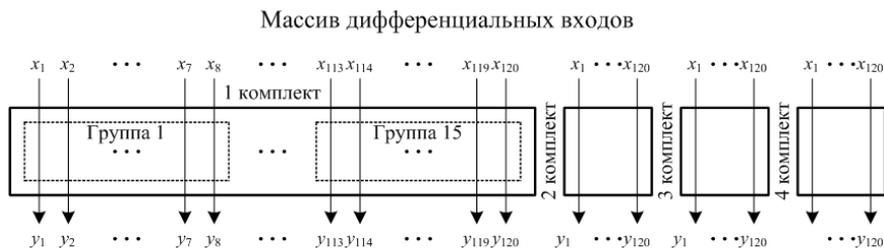
Заключение об исправности элементов и о точности измерений производится программным обеспечением концентратора линейного или центрального поста.

При организации тестового диагностирования измерительных контроллеров систем непрерывного мониторинга основным требованием является оказание наименьшего влияния на качество управления на участке. Особое внимание здесь необходимо было уделить принципам построения и протоколу использования диагностического программного обеспечения.

К настоящему времени известно большое множество методов и средств диагностики, позволяющих по виду оказываемого воздействия обнаруживать в современных микропроцессорных устройствах неисправности различного происхождения. Ранее были перечислены неисправности, которые могут быть обнаружены при организации системы диагностирования для ПИК-120. Таким образом, ситуация, связанная с необходимостью прогнозирования появления неисправных элементов в микропроцессорном устройстве, а также с оценкой риска эксплуатации в условиях неполноты и неопределенности информации о качестве и состоянии микропроцессорных устройств, является постоянно действующим фактором. Одним из возможных способов реализации прогноза

в условиях неопределенности исходной информации является вероятностный подход [45].

На рис. 4.14 представлена структурная схема ПИК-120, где все 120 выходов прибора разбиты на 15 групп по 8 выходов в каждой.



**Рис. 4.14.** Структура диагностируемого устройства

Определим, при каких условиях неисправность ПИК-120 не будет обнаружена при тестировании. Пусть на некотором числе функциональных выходов (рис. 4.14) имеются искажения различных видов ( $0 \rightarrow 1$  или  $1 \rightarrow 0$ ) или, другими словами, присутствует ошибка. Для удобства представления информации, считаваемой с этих функциональных выходов, они конструктивно объединены в группы по 8 выходов в каждой, образуя таким образом массив из  $k$  числа групп (если рассматривать один комплект микропроцессорного устройства, подлежащего диагностированию, то  $k=15$ ). Время, отводимое для реализации процедуры диагностирования, регламентируется технологической ситуацией на участке контроля. Обозначим период диагностирования как  $t$ .

Для упрощения задачи прогноза рассмотрим ошибки одного вида, а системой контроля ошибок этого вида задаем интервал времени  $\tau_{\text{пор}}$ , за который опрашивается группа функциональных выходов. Отказ на выходах такой группы будет обнаружен с вероятностью  $P_1(\tau_{\text{пор}})$  за счет диагностирования устройства или не обнаружен с вероятностью  $H_1(\tau_{\text{пор}}) = 1 - P_1(\tau_{\text{пор}})$ .

Для оценки вероятности отказа в микропроцессорном устройстве по результатам диагностирования необходимо вычислить вероятность необнаружения неисправностей  $H(\tau)$ .

Пусть процесс поиска отказов в группах функциональных выходов состоит из независимых событий, появляющихся через случайные промежутки времени.

Событием будем считать необнаружение одиночной ошибки на выходе микропроцессорного устройства с помощью теста. Под понятием одиночной ошибки понимаем, что за время  $\Delta t$  (рис. 4.15) данная ошибка является единственной в выбранной группе выходов. Это легко обеспечить, выбрав интервал  $\Delta t$  сравнительно малым. Тестовое воздействие может не обнаружить ошибку в

любой из  $k$  групп, составленных из любого сочетания числа функциональных выходов  $m$  (рис. 4.15).

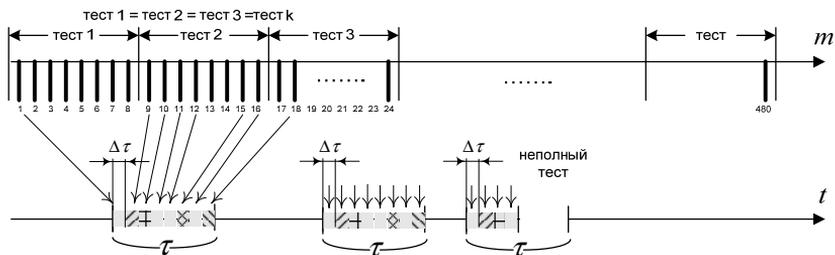


Рис. 4.15. Модель проведения тестирования

Выбор выходов, включаемых в тестируемые группы, происходит случайно. Свободные от сигналов от объектов диагностирования функциональные выходы объединяются в группы, а сам тест подается одновременно на всю сформированную группу. На время проведения теста вся сформированная группа физически отключена от рабочих сигналов устройством коммутации. Тест представляет собой последовательную генерацию двух векторов, состоящих из логических нулей и единиц по числу выбранных функциональных выходов.

Будем считать, что поток событий не ограничен во времени и непрерывен (хотя, понятно, что есть перерывы между циклами тестирования).

Интересующее нас событие (необнаружение ошибки) может наступить по следующему ряду причин:

- либо тест не является полным, т. е. обнаруживает не все 100% неисправностей микропроцессорных устройств (например, на один из выбранных входов не поступил тестовый вектор, так как устройство коммутации подало на него рабочий сигнал);
- либо за время тестирования  $\tau$  тестовый набор не поступил на вход устройства.

Рассмотрим требования, при которых поток является простейшим:

- стационарность (вероятность возникновения того или иного числа событий в равные промежутки времени одинакова, т. е.  $\tau_1 = \tau_2$ ) – это требует допущения, что в промежутки времени  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  на вход устройства поступают одни и те же тестовые воздействия;
- ординарность (вероятность появления двух событий на малом промежутке времени  $\Delta t$  пренебрежимо мала) – это требует допущения, что на одном тестовом воздействии, которое обнаруживает ошибки одновременно на нескольких выходах устройства, не может произойти обнаружение ошибки более чем на одном выходе;
- отсутствие последствия (возникновение одного события не влечет за собой возникновение другого) – это требование выполняется без дополнительных допущений.

Не исключено, что за время  $\tau$  может произойти сколь угодно много событий. Это обусловлено тем, что выбор выходов, объединяемых в группу, происходит случайным образом, а сам процесс тестирования повторяется циклично, т. е. происходит перебор всех возможных сочетаний выходов в сформированной группе. Следовательно, множество этих событий образует пуассоновский поток.

Данная задача аналогична задаче из классического примера, демонстрирующего, как пуассоновский закон распределения описывает вероятность наступления случайных событий, – работы автоматической телефонной станции, где событием является поступление заявок на обслуживание от абонентов (рис. 4.16).

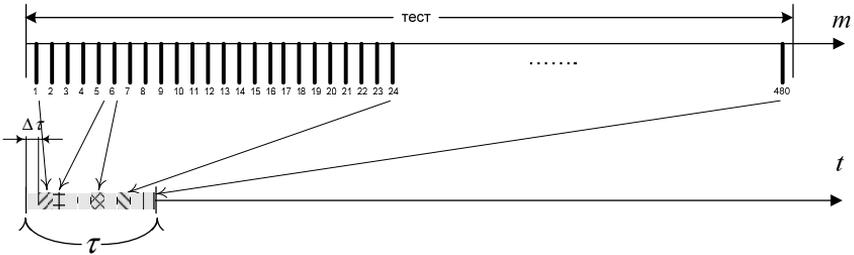


Рис. 4.16. Модель появления событий

Для потока Пуассона вероятность необнаружения  $n$  ошибок  $Q_n(\tau)$  вычисляется по формуле

$$Q_n(\tau) = \frac{v^n(\tau)}{n!} e^{-v(\tau)}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad (4.1)$$

где  $v(\tau)$  – математическое ожидание числа необнаруженных в результате контроля ошибок в группе функциональных выходов за время  $\tau$ .

Тогда вероятность необнаружения хотя бы одной ошибки в группе функциональных выходов  $H(\tau)$  за время  $\tau$  вычисляется как:

$$H(\tau) = \sum_{n=1}^{\infty} Q_n(\tau) = 1 - Q_0(\tau) = 1 - e^{-v(\tau)}. \quad (4.2)$$

Обозначим через  $\mu(\tau)$  – математическое ожидание общего числа ошибок определенного вида в группе функциональных выходов за время  $\tau$ , а через  $P_0(\tau)$  – вероятность обнаружения одной ошибки в группе за время  $\tau$ . С учетом введенных обозначений выражение (4.2) примет вид

$$v(\tau) = \mu(\tau)(1 - P_0(\tau)). \quad (4.3)$$

Так как в результате теста можно подсчитать только обнаруженные ошибки, то их математическое ожидание, очевидно, равно

$$n(\tau) = \mu(\tau) - v(\tau) = \mu(\tau)P_0(\tau).$$

Отсюда с учетом (4.3) следует, что

$$\nu(\tau) = n(\tau) \frac{1 - P_0(\tau)}{P_0(\tau)}. \quad (4.4)$$

В итоге для вероятности  $H(\tau)$  получим

$$H(\tau) = 1 - e^{-n(\tau) \frac{1 - P_0(\tau)}{P_0(\tau)}}. \quad (4.5)$$

В формулы (4.3)–(4.5) входит вероятность  $P_0(\tau)$  обнаружения случайно взятой ошибки в группе за время  $\tau$ . Эта вероятность зависит от вероятности  $P_{ст}(\tau)$  обнаружения ошибки за время  $\tau$ , а также от распределения ошибок по (4.2):

$$P_0(\tau) = \frac{1}{1 - F(\tau)} \int_1^t P_{ст}(\tau) p(\tau) d\tau, \quad (4.6)$$

где  $F(\tau)$  – функция распределения времени по поиску отказов;

$p(\tau) = \frac{dF(\tau)}{d\tau}$  – соответствующая плотность вероятности.

Вероятность  $P_{ст}(\tau)$  оценивается статистически. Путем испытаний с заданным числом ошибок и временем, необходимым для их диагностирования.

Ее статистическая оценка равна отношению числа обнаруженных ошибок за отведенное время к их общему числу. Вполне понятно, что для выбранного времени диагностирования и для каждого типа ошибок имеется свой порог обнаружения  $\tau_{пор}$ , для которого ошибки за время  $\tau \leq \tau_{пор}$  не обнаруживаются с вероятностью, близкой к единице. В качестве аппроксимации для функции  $P_{ст}(\tau)$  можно взять экспоненциальную зависимость:

$$P_{ст}(\tau) = \begin{cases} 0, & \tau \leq \tau_{пор}, \\ 1 - e^{-\eta(\tau - \tau_{пор})}, & \tau > \tau_{пор} \end{cases} \quad (4.7)$$

с параметром  $\eta$ , который оценивается экспериментально.

Итак, в зависимости от времени опроса функциональных выходов и вида ошибок вероятность наступления события при наличии системы диагностирования будет равна

$$H(\tau_{пор}) = 1 - e^{-n(\tau_{пор}) \frac{1 - P_0(\tau)}{P_0(\tau)}}. \quad (4.8)$$

Полученные соотношения нетрудно обобщить на случай, когда имеются ошибки различного вида. Пусть число таких типов ошибок равно  $l$ , а ошибки каждого типа образуют пуассоновский поток (4.1) суммарной интенсивностью, равной сумме интенсивностей:

$$\nu(\tau_{пор}) = \sum_{i=1}^l \nu_i(\tau_{пор}),$$

где  $\tau_{пор_i}$  – предельное время поиска для ошибки  $i$ -го типа.

Суммарная вероятность появления ошибки будет иметь вид

$$H(\tau_{\text{пор}}) = 1 - e^{-\sum_{i=1}^n v_i(\tau_{\text{пор}})}, \quad (4.9)$$

а интенсивности потоков, пропущенных при тестировании ошибок, можно найти, преобразуя формулу (4.4):

$$v_i(\tau) = n_i(\tau) \frac{1 - P_0(\tau)}{P_0(\tau)}.$$

Соответствующие вероятности обнаружения находятся по формуле (4.6):

$$P_0(\tau) = \frac{1}{1 - F_i(\tau)} \int_1^t P_{\text{ст.}}(\tau) p_i(\tau) d\tau.$$

Данное выражение содержит функцию  $F_i(\tau)$  распределения времени поиска  $i$ -й ошибки и плотность вероятности  $p_i(\tau)$ .

Результаты поиска ошибок в группах функциональных выходов при различных значениях  $\tau_i \leq \tau_{\text{пор}}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , приведены в табл. 4.1. При выборе значений  $\tau$  учитывается, что команды, получаемые ПИК-120 от «ХОСТ-процессора», передаются с максимальной скоростью 9600 бот, а выбор  $\tau_{\text{пор}}$  производится последовательным уменьшением времени относительно предыдущего значения на 2%, начиная с порогового  $\tau_{\text{пор}} = 10$  мс.

**Таблица 4.1.** Результаты поиска ошибок в группах функциональных выходов

Время поиска ( $\tau$ )	$\tau_{\text{пор}}$	$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_2$	$\tau_4$	$\tau_5$
$P_0(\tau)$	99,3	98,1	97,4	96,6	95,2	94,5
Число необнаруженных ошибок ( $n_{\text{он}}$ ), %	0	0,3	0,6	0,7	1	1,4

Из изложенного материала можно сделать следующие выводы:

1. При создании диагностического теста необходимо учитывать статистическую информацию о частоте появления ошибок в функциональных узлах микропроцессорного устройства.

2. Требуется создание семейства тестов, позволяющих целенаправленно выявлять в группах функциональных выходов только определенные ошибки (цифровых дифференциальных входов оптронного преобразователя, соединительных проводов, портов С и Е микроконтроллера, микроконтроллера).

Для повышения эффективности таких тестов удобным критерием для сортировки ошибок служит статистическая информация. Выбор теста, очередности запуска того или иного теста происходит согласно установленному протоколу.

# ГЛАВА 5. АНАЛИЗ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

## *5.1. Анализ неисправностей устройств железнодорожной автоматики и телемеханики в системах непрерывного мониторинга*

Системы технического диагностирования и мониторинга устройств ЖАТ в начале XXI столетия имели существенный недостаток – в них практически полностью отсутствовал уровень автоматической обработки диагностической информации. Как отмечается в большом количестве публикаций, например в [32], технический персонал дистанций СЦБ и ситуационных центров ежедневно обрабатывал огромный объем диагностической информации. С учетом того, что разработчики непрерывно совершенствуют измерительные контроллеры, увеличивают количество собираемой диагностической информации, разрабатывают новые устройства с применением различных физических эффектов (индукционные, оптические, тензометрические датчики), эффективность ручной обработки диагностической информации становится крайне низкой. Большие потоки информации невозможно обрабатывать вручную. Да и ценой «человеческого фактора» может стать пропущенное повреждение, предотказ или отказ, которые могут стать причиной нарушения технологического процесса.

Заметим, что и сам процесс определения факта возникающего события нарушения надежности в современных системах непрерывного мониторинга ЖАТ в начале XXI в. был крайне несовершенен. Разработчики для каждого технического объекта ЖАТ без учета его особенностей устанавливали нормы нижних и верхних границ значений некоторого диагностического параметра для установления факта возникновения отказа. Предотказ же фиксировался вне зависимости от типа устройства, его характеристик и выполняемых функций по некоторому процентному отклонению от установленных граничных норм отказа (зачастую устанавливалась величина  $\pm 10\%$  от границы отказа). Это приводило к весьма странным результатам мониторинга: система фиксировала в день очень большое количество предотказов и отказов, которые на практике никакого влияния на перевозочный процесс и работу всего железнодорожного комплекса не оказывали, т. е. являлись «ложными». Например, в отчетах работы системы АПК-ДК на Калининградской железной дороге для некоторых станций отмечается, что в месяц фиксировалось свыше 10 тыс. предотказных состояний путевых реле ДСШ на одной крупной станции. Подобная работа системы технического диагностирования и мониторинга не только не эффективна, но и оказывает пагубное влияние на работу технического персонала дистанций СЦБ – сотрудники заняты обработкой диагностической информации, которая не несет особенной смысловой нагрузки, однако системой фиксируется. Не обращать

внимание на появление «ложных» событий нарушения надежности нельзя – можно пропустить развивающуюся неисправность.

Системы непрерывного мониторинга ЖАТ, кроме функции предупреждения неисправностей, выполняют также роль технического средства, облегчающего поиск возникшей неисправности, если ее избежать не удалось. Пользуясь результатами измерений, технический персонал на станциях и в самой дистанции СЦБ может проанализировать события, предшествующие отказу, и, работая только с АРМ мониторинга, указать примерное место возникшей неисправности. Следует отметить, что процесс поиска неисправности в системах непрерывного мониторинга ЖАТ начала XXI в. практически полностью велся с применением сил технического персонала. При этом на роль «анализатора» возникающих событий нарушения надежности подходит не любой человек, а только имеющий большой опыт работы в сфере ЖАТ. От его квалификации зачастую и зависело, как быстро будет локализована неисправность, а значит, как быстро восстановится при нарушении перевозочный процесс. Таким образом, отсутствие автоматизированных и автоматических СППР является также существенным недостатком систем непрерывного мониторинга ЖАТ.

Таким образом, первые образцы систем непрерывного мониторинга ЖАТ содержали низко развитый искусственный интеллект, являясь, по сути, только системами сбора и хранения диагностической информации, разделяя ее при этом на некоторые категории важности [32].

Системы непрерывного мониторинга ЖАТ – это аппаратно-программные комплексы, позволяющие собирать и обрабатывать данные. Логика работы опытного сотрудника, знающего особенности работы той или иной системы управления движением поездов, может быть описана в виде последовательности действий при различных вариантах изменений диагностических параметров и затем записана в виде программного модуля автоматической обработки информации. Например, подобным образом пошли разработчики автоматизированной обучающей системы АОС-ШЧ, внедряемой в учебный процесс в железнодорожных колледжах и вузах, а также в дистанциях СЦБ [34]. Данная система напрямую не может быть интегрирована в АРМ систем непрерывного мониторинга ЖАТ, поскольку не работает с реальными числовыми данными, измеренными контроллерами. Однако при соответствующей доработке могла бы быть полезной и, несомненно, улучшила бы работу всей системы мониторинга.

В связи с описанными выше аспектами функционирования систем непрерывного мониторинга ЖАТ уместно говорить о развитии их программного обеспечения, и в первую очередь искусственного интеллекта, который бы позволил системе иметь большую свободу от «человеческого фактора», а значит, стать более надежным средством помощи техническому персоналу в поддержании на высоком уровне качества и эффективности перевозочного процесса. Здесь возникает задача логического анализа диагностической информации.

## 5.2. Логический анализ неисправностей

Диагностическая информация, получаемая системами непрерывного мониторинга ЖАТ, отнюдь не является достаточной и необходимой для постановки максимально верного диагноза и, в последующем, прогноза. Задача выбора диагностических параметров и точек подключения измерительных контроллеров в системах непрерывного мониторинга ЖАТ до сих пор не решена и не является тривиальной. Это объясняется тем, что производители систем непрерывного мониторинга разрабатывали свои технические решения по подключению в схемные узлы ЖАТ без учета теоретических вопросов синтеза систем диагностирования, подробно рассмотренных, например, в [41]. Кроме того, создание систем непрерывного мониторинга ЖАТ требовало анализа большого разнообразия действующих на железных дорогах систем управления движением поездов, в которых не всегда представляется возможным подключение измерительных контроллеров в любые схемные узлы (например, в пятипроводных схемах управления железнодорожными стрелками используется реле НМПШ1200/250, имеющее 2 контактные группы и 2 фронтных и общих контакта, использованы все контакты, то есть нет возможности подключения измерительного устройства на свободные контакты).

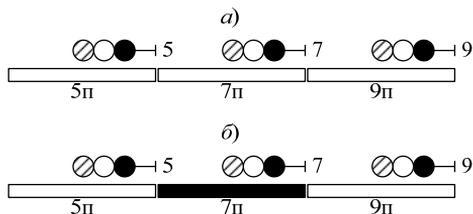
Тем не менее, пользуясь диагностической информацией, получаемой современными системами непрерывного мониторинга ЖАТ, можно автоматизировать некоторые функции по анализу возникающих в работе средств управления движением поездов событий снижения надежности.

Работа устройств ЖАТ может быть описана в виде конечных автоматов, имеющих некоторое количество состояний. Конечный автомат – это модель, которая легко может быть описана на программном уровне. Например, сегодня распространены языки программирования SystemVerilog и VHDL, на которых описываются функциональные узлы логических устройств автоматики и вычислительной техники, реализованные на программируемых логических элементах.

Для установления диагноза и прогноза важным параметром является «время». Другими словами, по последовательности смены состояний технического объекта можно судить о развивающихся изменениях и в его техническом состоянии. Более того, необходимо учитывать и технические объекты, функционирующие с объектом диагностирования во взаимосвязи. Приведем пример из области ЖАТ. На рис. 5.1 показана рельсовая цепь 7п перегона, оборудованного автоблокировкой, а также смежные к ней рельсовые цепи 5п и 9п. Пусть в дискретный момент времени  $t^n$  рельсовая цепь 7п, а также примыкающие к ней слева и справа рельсовые цепи 5п и 9п свободны (рис. 5.1а). Предположим, что в следующий момент времени  $t^{n+1}$  рельсовая цепь 7п занята (рис. 5.1б), но рельсовые цепи 5п и 9п остаются свободными. Данная технологическая ситуация не является нормальной, так как смежные рельсовые цепи не занимались. Таким образом, отслеживая изменения состояний объектов диагностирования

во времени, можно определять нарушения в их работе, в том числе определять предтоказные состояния.

Любое устройство автоматики характеризуется набором возможных технических состояний и диагностических параметров. Под *диагностическим параметром* понимается параметр объекта, используемый при его диагностировании [45]. При этом следует отметить, что в системах непрерывного мониторинга ЖАТ контролируется не все множество возможных состояний и параметров технического объекта, а только некоторое их подмножество, что, в свою очередь, определяется методом диагностирования.



**Рис. 5.1.** Перегонная рельсовая цепь:  
 а) в момент времени  $t^n$ ; б) в момент времени  $t^{n+1}$

Диагностические параметры бывают прямыми и косвенными. Прямым параметром называется структурный параметр, непосредственно характеризующий техническое состояние объекта, например износ объекта или зазор между острием и рамным рельсом в стрелочном переводе. Косвенным параметром является некоторый параметр, который косвенно характеризует состояние технического объекта, например напряжение на путевом реле рельсовой цепи. В системах непрерывного мониторинга ЖАТ практически все получаемые диагностические параметры являются косвенными, большинство из которых принадлежит к классу электрических параметров (токи, напряжения, сопротивления и т. д.) [25].

Одну диагностическую модель работы всех средств ЖАТ в совокупности на станции или перегоне построить практически невозможно. К примеру, для десяти объектов диагностирования с учетом даже двух состояний («включен/выключен») потребуется перебрать 1024 комбинации только дискретных состояний. Поэтому целесообразно создавать диагностические модели типовых технических объектов и внедрять в программное обеспечение систем непрерывного мониторинга ЖАТ некоторое множество алгоритмов логической обработки диагностической информации, принадлежащих к одному и тому же типу объектов. Объекты диагностирования одного типа могут быть при этом разбиты на классы. Например, можно выделить тип объектов ЖАТ «светофоры», а классы – «входной», «выходной», «предупредительный к входному при автоблокировке» и т. д. Каждому объекту диагностирования ставится в соответствие набор диагностических параметров.

Рассмотрим процесс создания логико-временных моделей, описание которых внедряется в программное обеспечение систем непрерывного мониторинга ЖАТ [18], на элементарном примере анализа корректности работы смежных рельсовых цепей. Такая логико-временная модель внедрена, например, в программное обеспечение системы АПК-ДК в петербургском метрополитене [21].

Пусть системой мониторинга контролируется состояние двух датчиков – свободности секции (датчик П) и замыкания секции в маршруте (датчик З). К примеру, система мониторинга АПК-ДК в петербургском метрополитене контролирует именно эти параметры.

Логика работы системы непрерывного мониторинга задается табл. 5.1. Каждый из дискретных датчиков может находиться в четырех состояниях: 0 – «низкий уровень», 1 – «высокий уровень», 2 – «попеременная смена значений 0 и 1» (соответствует фактически «миганию») и 3 – неопределенное значение. Значимыми в данном случае являются состояния 0 и 1, а два других объединены знаком «х». На основании значений, поступающих непрерывно с датчиков, в системе мониторинга происходит отображение в установленной цветовой гамме соответствующей смысловой нагрузки в технологическом окне АРМ электромеханика и технолога дистанции СЦБ.

**Таблица 5.1.** Дискретные параметры рельсовой цепи

№	П	З	Логическое значение
0	0	0	Секция занята и замкнута
1	0	1	Секция занята и не замкнута
2	1	0	Секция свободна и замкнута
3	1	1	Секция свободна и не замкнута
4	х	х	Неисправность системы функционального контроля

К объекту диагностирования – рельсовой цепи (РЦ) – справа и слева прилегают смежные рельсовые цепи (РЦ<sub>1</sub> и 1\_РЦ соответственно). Другие случаи расположения рельсовых цепей опустим (процесс автоматизации для них аналогичен). Таким образом, для оценки корректности работы данной рельсовой цепи достаточно анализировать ее работу и работу смежных рельсовых цепей, без проверки работы всех остальных рельсовых цепей на станции или перегоне (рис. 5.2). Каждая из рельсовых цепей дает двuzначный логический вектор значений от датчиков П<sub>і</sub> и З<sub>і</sub>: < П<sub>і</sub> З<sub>і</sub> >. Объединяя все три вектора в один вектор < П<sub>1</sub> З<sub>1</sub> П<sub>2</sub> З<sub>2</sub> П<sub>3</sub> З<sub>3</sub> >, получим некоторый информационный вектор длиной  $m = 6$ , по набору значений в разрядах которого можно судить о наличии той или иной логической ситуации, связанной с работой диагностируемой рельсовой цепи. Под логической ситуацией здесь понимается событие, связанное с изменением состояний устройств автоматики при их взаимном функционировании: корректная (нормальная) работа рельсовой цепи или наличие неисправности рельсовой цепи (список логических ситуаций может быть и расширен за счет учета аналоговых параметров устройств автоматики).

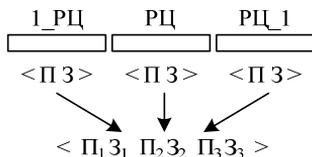


Рис. 5.2. Выбор объектов диагностирования и кодирование данных

По логике смены значений в векторе  $\langle П_1 З_1 П_2 З_2 П_3 З_3 \rangle$  с течением времени можно судить о правильности работы рельсовой цепи. При этом, поскольку длина информационного вектора  $m = 6$ , существует  $2^6$  различных векторов, соответствующих логическим ситуациям, которые могут сформироваться в процессе работы объекта диагностирования. Кроме того, необходимо выделить один вектор, которому соответствует набор значений  $\langle x x x x x x \rangle$ , соответствующий нарушениям в работе системы мониторинга (например, потере данных в результате отказа измерительного контроллера или отказу каналаобразующей аппаратуры).

Из анализа значений информационного вектора  $\langle П_1 З_1 П_2 З_2 П_3 З_3 \rangle$ , например, следует, что при формировании в некоторый момент времени двух векторов  $\langle 11 10 11 \rangle$  и  $\langle 11 00 11 \rangle$  возникает нарушение в работе рельсовой цепи. Первый вектор соответствует замыканию рассматриваемой рельсовой цепи в маршруте при свободности обеих смежных рельсовых цепей, а второй – занятости и замкнутости рельсовой цепи в маршруте при свободности обеих смежных рельсовых цепей. Кроме того, можно выделить еще две логические ситуации: появление вектора  $\langle 11 01 11 \rangle$  после того, как был сформирован вектор  $\langle 11 11 11 \rangle$ , и появление вектора  $\langle 01 11 01 \rangle$  после того, как был сформирован вектор  $\langle 01 01 01 \rangle$ . Первая логическая ситуация соответствует защитному отказу типа «ложная занятость», а вторая – опасному отказу типа «ложная свободность».

На рис. 5.3 изображен граф переходов в виде конечного автомата Мура, где выходные значения  $A_2, A_3, A_5, A_6$  соответствуют перечисленным выше отказам средств автоматики, значение  $A_5$  – некорректной работе средств диагностирования и  $A_1$  – нормальному функционированию средств автоматики. Вектором  $\langle \sim \sim \sim \sim \sim \sim \rangle$  обозначены все нерассмотренные векторы. Фактически рис. 5.3 представляет собой описание логико-временной модели, внедренной в программное обеспечение системы АПК-ДК, позволяющей фиксировать ситуации ложной занятости и свободности рельсовой цепи метрополитена. По последовательности переходов во времени система сама выявляет данную ситуацию.

Помимо введенных обозначений, на графе рис. 5.3 сплошными стрелками указаны переходы, соответствующие ситуациям нарушения логики работы рельсовых цепей, пунктирными – ситуациям, связанным с отказом средств диагностирования, пунктирными стрелками с точками – переходам, связанным с восстановлением нормального режима работы.



При создании логико-временных моделей, внедренных, например, в программное обеспечение АПК-ДК, в качестве помехоустойчивого кода был выбран модульно-модифицированный код из семейства  $RS4(m,k)$ -кодов (где  $m$  – длина информационного вектора, а  $k$  – длина контрольного вектора), специально разработанный для повышения надежности устройств автоматики и вычислительной техники [22].

Данный код строится по следующим правилам:

1. Фиксируется модуль  $M = 8$ .
2. Подсчитывается вес информационного вектора  $r$  (число единичных информационных разрядов).
3. Число  $r$  представляется по модулю  $M$  (другими словами, определяется вычет числа  $r$  по заданному модулю):  $V = r \pmod{M}$ .
4. Определяется поправочный коэффициент  $\alpha$ , равный сумме по модулю два произвольного (но заранее установленного) числа любых информационных разрядов.
5. Формируется число  $W = V + \alpha M$ .
6. Полученное число  $W$  представляется в двоичном виде и записывается в контрольный вектор.

Приведенный алгоритм получения контрольных векторов  $RS4(m,k)$ -кода иллюстрируется на нескольких примерах информационных векторов с длиной  $m = 6$  в табл. 2. При этом поправочный коэффициент определяется как сумма по модулю два первых трех информационных разрядов  $\alpha = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3$ . При выборе  $\left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor$  информационных разрядов в сумме поправочного коэффициента  $\alpha$ , где запись  $\lfloor \dots \rfloor$  обозначает целое снизу от вычисляемого значения,  $RS4(m,k)$ -коды обнаруживают максимальное число ошибок в информационных векторах при данной длине.

**Таблица 5.2.** Некоторые векторы  $RS4(6,3)$ -кода

Информационный вектор						$r$	$V$	$\alpha$	$W$	Контрольный вектор		
$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$					$y_1$	$y_2$	$y_3$
0	1	0	1	0	1	3	3	1	7	1	1	1
0	1	1	1	0	1	4	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	1	1	5	1	0	1	0	0	1
1	1	1	1	1	1	6	2	1	6	1	1	0

Применение в логико-временных моделях семейства  $RS4(m,k)$ -кодов позволяет при постоянном числе контрольных разрядов  $k = 3$  обеспечивать защиту от:

- любых ошибок нечетных кратностей;
- любых монотонных ошибок (ошибок, связанных с искажением только 0 или только 1), кратность которых не равна  $d = 4, 8, 12, \dots$ ;
- более половины двукратных симметричных ошибок (ошибок, связанных с искажением  $0 \rightarrow 1$  и  $1 \rightarrow 0$ ).

Например, классический код Бергера не обнаруживает все 100% симметричных искажений, имея при этом число контрольных разрядов, равное  $k = \lceil \log_2(m+1) \rceil$ , где запись  $\lceil \dots \rceil$  обозначает целое сверху от вычисляемого значения. Другие коды с постоянным числом контрольных разрядов, например модульные коды  $S8(m,k)$ , также не обнаруживают 100% симметричных искажений.

Описанный здесь подход к логической обработке диагностической информации использован в системе АПК-ДК для решения многих задач автоматизации процесса функционирования систем непрерывного мониторинга ЖАТ, в том числе при организации мониторинга средств автоматики, обеспечивающих высокоскоростное движение. Сами логико-временные модели являются «наращиваемыми» и образуют «интеллектуальный уровень» (или «мозг») системы мониторинга. Дальнейшее развитие логико-временного анализа результатов технического диагностирования может способствовать совершенствованию самой технологии мониторинга, многие проблемы в работе средств ЖАТ могут анализироваться как на самих датчиках, так и в концентраторе информации линейного поста, а на вышестоящие уровни систем непрерывного мониторинга – передаваться только наиболее существенная информация.

# ГЛАВА 6. НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ НАПОЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

## *6.1. Анализ качества работы рельсовых цепей тональной частоты*

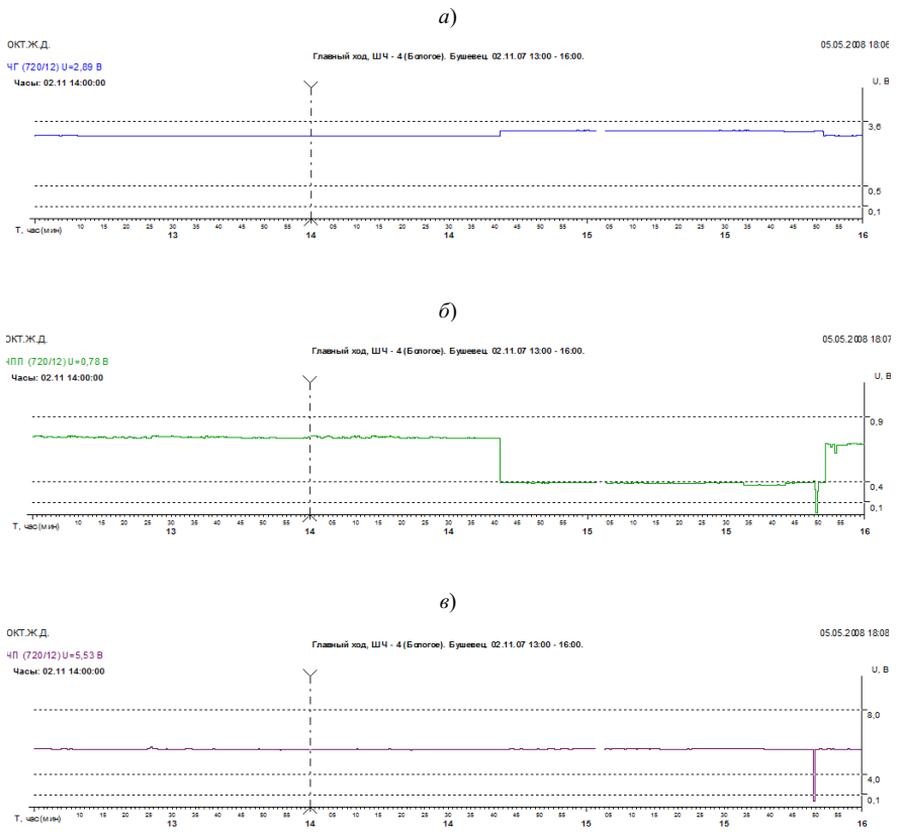
Одним из часто используемых датчиков контроля положения подвижных единиц в системах ЖАТ является рельсовая цепь тональной частоты. Известные измерительные контроллеры УК-ТРЦ, наиболее часто применяющиеся в составе аппаратных средств систем непрерывного мониторинга ЖАТ, измеряют напряжения на выходах аппаратуры ТРЦ – путевых генераторов (ПГ), путевых приемников (ПП) и путевых реле (ПР) (см. главу 2). Измерительные контроллеры располагаются на посту электрической централизации и по интерфейсу связи RS-485 передают полученные диагностические данные через плату ввода-вывода данных в концентратор диагностической информации. Анализируя диагностическую информацию, технолог дистанции СЦБ или ситуационного центра может сделать вывод о техническом состоянии рельсовой цепи и спрогнозировать дальнейшие изменения [5, 27].

Например, в системе АПК-ДК для удобства работы технического персонала диагностическая информация в режиме реального времени выводится в графической форме в специальные технологические окна АРМ (рис. 6.1). Для каждой рельсовой цепи в режиме реального времени по результатам периодических выборок строятся графики изменения напряжения во всех контролируемых схемных узлах. Например, на рис. 6.1 показаны графики изменения напряжений на ПГ, ПП и ПР неразветвленной рельсовой цепи 4п с несущей частотой 720 Гц, модулируемой частотой 12 Гц (станция «Бушевец» Октябрьской железной дороги). Горизонтальная ось соответствует времени в часах (минутах), вертикальная – напряжению в вольтах.

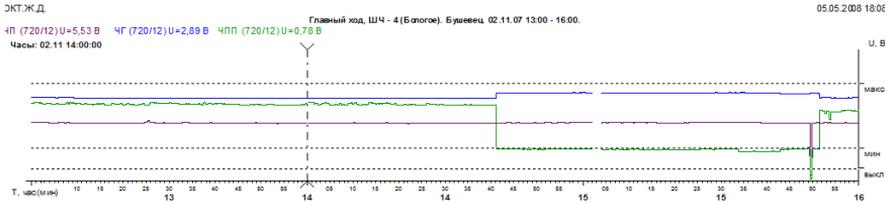
С целью упрощения анализа функционирования рельсовой цепи в АРМЕ технолога системы непрерывного мониторинга АПК-ДК графики напряжений можно просматривать не только в отдельности, но и совмещать (рис. 6.2). График, полученный на выходах каждого устройства ТРЦ, окрашен в определенный цвет.

Анализируя графики в совокупности, технолог системы непрерывного мониторинга АПК-ДК может поставить диагноз, а также прогноз. Например, на рис. 5.1 или 5.2 приведены графики изменения напряжений на выходах ТРЦ на станции «Бушевец» Октябрьской ж. д. с 13:00 до 16:00 02.11.2007. В 14:40 про-

исходит небольшой скачок напряжения ПГ (рис. 6.1а), напряжение остается на достигнутом уровне. В этот же момент напряжение ПП падает и также остается на достигнутом уровне. ПР находится под током. ТРЦ свободна. Данная ситуация не является нормальной, так как в любой момент времени начиная с 14:40 ПР может выключиться, что приведет к возникновению ложной занятости рельсовой цепи (см. время 15:50).



**Рис. 6.1.** Графики изменения напряжений:  
 а) путевого генератора; б) путевого приемника; в) путевого реле



**Рис. 6.2.** Совмещенные графики изменения напряжений

Технолог дистанции СЦБ или ситуационного центра, анализируя подобные графики, может зафиксировать предотказное состояние, связанное с падением напряжения на выходе ПП, а также выработать рекомендации техническому персоналу по восстановлению качества работы средств ЖАТ.

В 2008–2009 гг. была проведена масштабная работа по созданию каталогов типичных для ТРЦ графиков изменения напряжений в контролируемых точках (табл. 6.1 и 6.2). Каталоги содержат типичные для отказов и предотказов аппаратуры ТРЦ виды графиков. Целью работы являлось создание пособия по принятию решений техническим персоналом, а позднее и СППР, интегрированной в комплекс задач «Мониторинг». Сегодня данные каталоги часто используются для анализа качества работы аппаратуры ТРЦ.

В табл. 6.1 приведен каталог предотказов аппаратуры ТРЦ, а в табл. 6.2 – каталог отказов аппаратуры ТРЦ. Данные каталоги содержат типичные для той или иной технологической ситуации (отказа или предотказа) формы графиков изменения напряжений в контрольных измерительных точках. Для каждой совокупности графиков приводится описание, а также дается краткий анализ представленных кривых. Каталог графиков, соответствующих некоторой технологической ситуации, позволяет техническому персоналу гораздо легче анализировать изменения получаемых значений от приборов диагностирования ТРЦ. С дальнейшим совершенствованием технологии мониторинга логика работы технолога по анализу диагностической информации должна лечь в основу обработки данных программными методами.

Приведенные каталоги послужили источником данных для формирования алгоритма поиска неисправностей в ТРЦ [12], а затем и написания специального программного обеспечения, позволяющего автоматически фиксировать те или иные отклонения от норм в работе ТРЦ [85]. Для обучения технического персонала поиску неисправностей в ТРЦ был создан программный модуль, позволяющий наглядно изучить каждую возникающую в ТРЦ неисправность на графиках напряжений. В основе программного модуля лежит алгоритм, приведенный на рис. 6.3.

Таблица 6.1. Каталог предтоказов аппаратуры тональных релейсовых цепей

№	График	Событие	Комментарии
1	<p>2</p> <p>0КЛ.Ж.Д.                      10:07 (42012) U=10.8 10:07 (42012) U=5.3.8 10:07 (42012) U=1.68.8                      Часы: 44.11.03.000</p>	3	4
1		Пред-отказ ПП	При предтоказном состоянии ПП на его выходе будет наблюдаться медленное падение напряжения, при этом также будет наблюдаться падение напряжения на входе ПП. Также возможно пульсирование параметров напряжения между верхним и нижним пределами
2		Пред-отказ ПП	<p>При анализе нарушений в работе ПП наблюдаются следующие отличительные особенности в графиках напряжения:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Напряжение на выходе ПП остается без изменений.</li> <li>2. Напряжение на входе ПП пульсирует в пределах нижней и верхней нормы.</li> <li>3. Напряжение на выходе ПП практически не изменяется.</li> </ol> <p>Если анализируется разветвленная ТРЦ, то при нарушении работы одного из приемников ответвления на других приемниках может наблюдаться небольшое увеличение напряжения</p>

Продолжение табл. 6.1

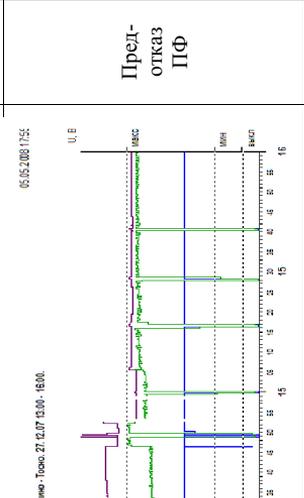
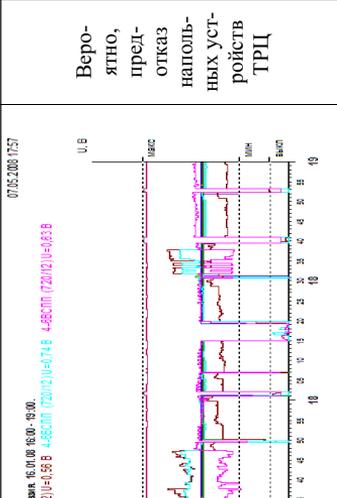
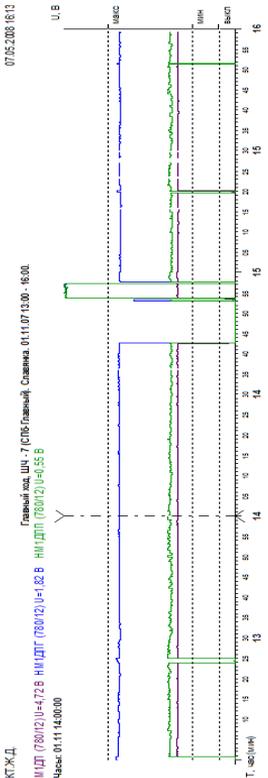
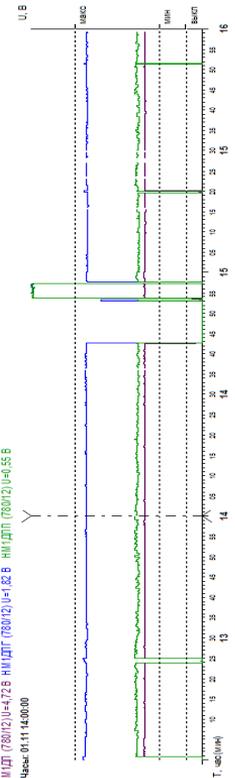
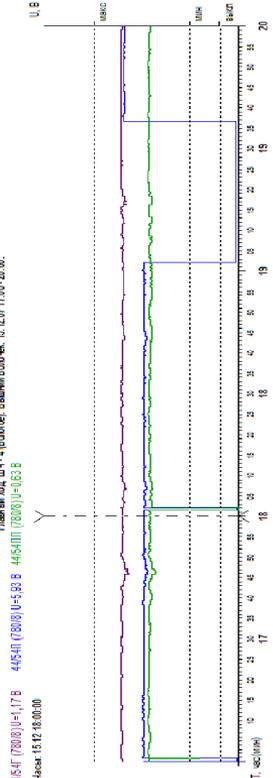
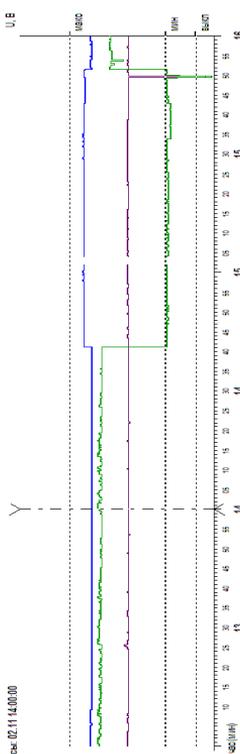
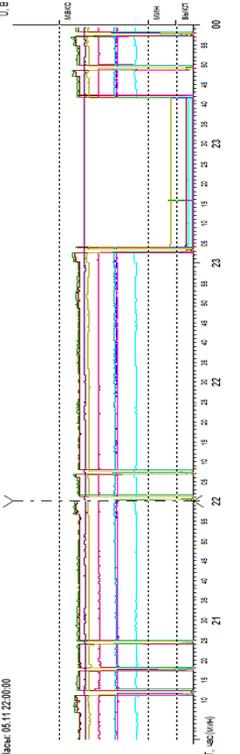
1	2	3	4
<p>ЖКЗЖД                      413457 (42012)U=5.81 B 4130 (42012)U=0.07 B 4130 (42012)U=0.03 B                      Часы: 27.12.14 00:00</p> 	<p>Пред-отказ ПФ</p>	<p>При предотказном состоянии путевого фильтра происходит увеличение напряжения на выходе путевого генератора на 5–10%. При этом напряжение на входе приемника может снизиться до минимального значения</p>	
<p>ОПЗЖД                      448001 (72012)U=5.81 B 448001 (72012)U=5.81 B 448001 (72012)U=5.81 B                      Часы: 16.01.17 00:00</p> 	<p>Вероятно, пред-отказ напольных устройств ТРЦ</p>	<p>Возможные предотказные состояния в напольных устройствах:                      – рост переходных сопротивлений в трюсовых и стыковых соединителях;                      – рост переходных сопротивлений в пучковых коробках и дресселях;                      – короткие замыкания в рельсовых цепях.                      При данных предотказах происходит уменьшение напряжения на входе ПП с пульсированием в пределах нормы.                      Для локализации неисправности можно использовать измеренные значения напряжений на ПП всех ответвлений ТРЦ</p>	

Таблица 6.2. Каталог отказов аппаратуры тональных рельсовых цепей

№	График	Событие	Комментарии
1	<p data-bbox="196 1347 218 1386">0КТ Ж.Д.</p> <p data-bbox="196 1108 218 1339">Главный код, ШЧ-7 (С106) Глазьевый, Селезневка. 01.11.07 13.00 - 16.00.</p> <p data-bbox="196 1039 218 1101">ННДПТ (78012) U=472.5 ННДПТ (78012) U=132.8 ННДПТ (78012) U=4.55.8</p> <p data-bbox="196 970 218 1031">Часы: 01.11.14.00.00</p>  <p data-bbox="464 1347 485 1386">Т. час(мм)</p>	3	4
1	<p data-bbox="229 1347 251 1386">0КТ Ж.Д.</p> <p data-bbox="229 1108 251 1339">Главный код, ШЧ-4 (Белосое), Восточный Волочек. 15.12.07 19.00 - 20.00.</p> <p data-bbox="229 1039 251 1101">445.4Г (78083) U=4.17.8 445.4П (78083) U=5.59.8 445.4П (78083) U=6.53.8</p> <p data-bbox="229 970 251 1031">Часы: 15.12.18.00.00</p>  <p data-bbox="464 1347 485 1386">Т. час(мм)</p>	Отказ ПП	При отказе ПП происходит резкое падение напряжения на выходе генератора. На входе и выходе ПП напряжение падает ниже нормы
2	<p data-bbox="502 1347 524 1386">0КТ Ж.Д.</p> <p data-bbox="502 1108 524 1339">Главный код, ШЧ-4 (Белосое), Восточный Волочек. 15.12.07 19.00 - 20.00.</p> <p data-bbox="502 1039 524 1101">445.4Г (78083) U=4.17.8 445.4П (78083) U=5.59.8 445.4П (78083) U=6.53.8</p> <p data-bbox="502 970 524 1031">Часы: 15.12.18.00.00</p>  <p data-bbox="780 1347 802 1386">Т. час(мм)</p>	Отказ ПП	При отказе ПП наблюдается резкое снижение напряжения на его выходе, при этом графики напряжений на входе ПП и выходе ПП остаются практически неизменными. По этим особенностям можно сделать вывод о том, что с выхода ПП напряжение не поступает на ПР, а на входе ПП напряжение присутствует и находится в норме

Продолжение табл. 6.2

1	2	3	4
<p>ЭКЛЖД 01 (72012)U=5,538 ЧТ (72012)U=2,898 ЧПТ (72012)U=0,788 Маяк 02.11.14.00.00</p> <p>16.05.2008 16:55</p> 	<p>2</p> <p>Главный вх. ШЧ-4 (Белое) Булево. 02.11.07 15:00 - 16:00</p>	<p>3</p> <p>Отказ ПФ</p>	<p>4</p> <p>При откате ПФ на выходе ПГ будет наблюдаться небольшое увеличение напряжения, а на входе и выходе ПП – падение напряжения ниже нормы</p>
<p>ЭКЛЖД 2367СГ (68012)U=4,418 2367Т (68012)U=39,8 2368СГП (68012)U=0,778 2368СГП (68012)U=0,818 2368СГП (68012)U=5,578 2367СГП (68012)U=0,748 Маяк 05.11.22.00.00</p> <p>05.05.2008 05:55</p> 	<p>4</p> <p>Отказ напольных устройств ТРЦ</p>	<p>3</p> <p>Отказ напольных устройств ТРЦ</p>	<p>4</p> <p>Возможные отказы состояния в напольных устройствах: – рост переходных сопротивлений и обрывы в тросовых и стыковых соединениях; – рост переходных сопротивлений и обрывы в путевых коробках и дресселях; – короткое замыкание в ТРЦ. При откате возможно падение напряжения на входе и выходе приемника на уровень ниже нормы. Напряжение на ПГ практически не меняется. Для локализации неисправности можно использовать измеренные значения напряжений на ПП всех ответвлений ТРЦ</p>

1	<p>ОК7ЖД  #301 (72012) U=5,68 В #301П (72012) U=2,42 В  Часы: 03.01.01:00:00</p> <p>Главный лод. ШЧ-4 (Б статор) - Сирокво. 03.01.08.00:00 - 03:00.  03.05.2003 15:05</p> <p>U, В</p> <p>I, А</p> <p>T, мс(мк)</p>	3	4
5	<p>ОК7ЖД  #301 (72012) U=5,76 В #301П (72012) U=0,83 В #302-307 (72012) U=2,42 В  Часы: 03.01.01:00:00</p> <p>Главный лод. ШЧ-4 (Б статор) - Сирокво. 03.01.08.00:00 - 03:00.  03.05.2003 15:04</p> <p>U, В</p> <p>I, А</p> <p>T, мс(мк)</p>	Излом рельса	<p>После произведения анализа графиков напряжений ТРЦ, в которых был обнаружен излом рельса, были выявлены следующие отличительные особенности.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. На выходе ПГ ТРЦ, на которой произошел излом, напряжение не меняется.</li> <li>2. На входе ПП ТРЦ, где произошел излом, напряжение падает ниже минимального значения и наблюдается слабая пульсация (чем ближе излом к питающему концу рельсовой цепи, тем выше амплитуда и частота пульсации).</li> <li>3. На выходе ПП напряжение до нулевого значения не падает.</li> </ol> <p>Если у рассматриваемой рельсовой цепи есть смежная ТРЦ, которая питается от того же генератора, то на ней наблюдаются следующие проявления.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. На выходе ПГ небольшой подъем напряжения на 5–10%.</li> <li>2. На входе ПП происходит подъем напряжения на 5–10%</li> </ol>

Продолжение табл. 6.2

1	2	3	4
6	<p>05.05.2008 10:36</p> <p>ОС КД</p> <p>38,667 (42012) I=45,538    38,667П (42012) I=75,6    38,667Т (42012) I=141,8</p> <p>Часы: 23.03.11.00:00</p> <p>ОПС - Юрта, Ш.ч. 8 (Питер). Базовое: 23.03.08 10:30 - 13:00</p> <p>U, В</p> <p>γ</p> <p>I, А</p> <p>T, sec (min)</p>	<p>Вероятно, периодически замыкаются</p> <p>отказ</p> <p>напольных устройств</p>	<p>Возможные перемежающиеся отказы в напольных устройствах:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– короткое замыкание ИС;</li> <li>– переходные сопротивление и обрывы в тросовых и стыковых соединениях;</li> <li>– переходные сопротивление и обрывы в путевых коробках и дресселях;</li> <li>– короткие замыкания в ТРЦ.</li> </ul> <p>При перемежающемся отказе возможно падение напряжения на входе приемника на уровень ниже нормы и его пульсирование от максимального значения и ниже минимального. При этом напряжение на выходе приемника стремится к нулю.</p> <p>Для локализации неисправности можно использовать данные напряжения ИП на всех ответвлениях. При коротком замыкании ИС можно использовать параметры смежных ТРЦ</p>

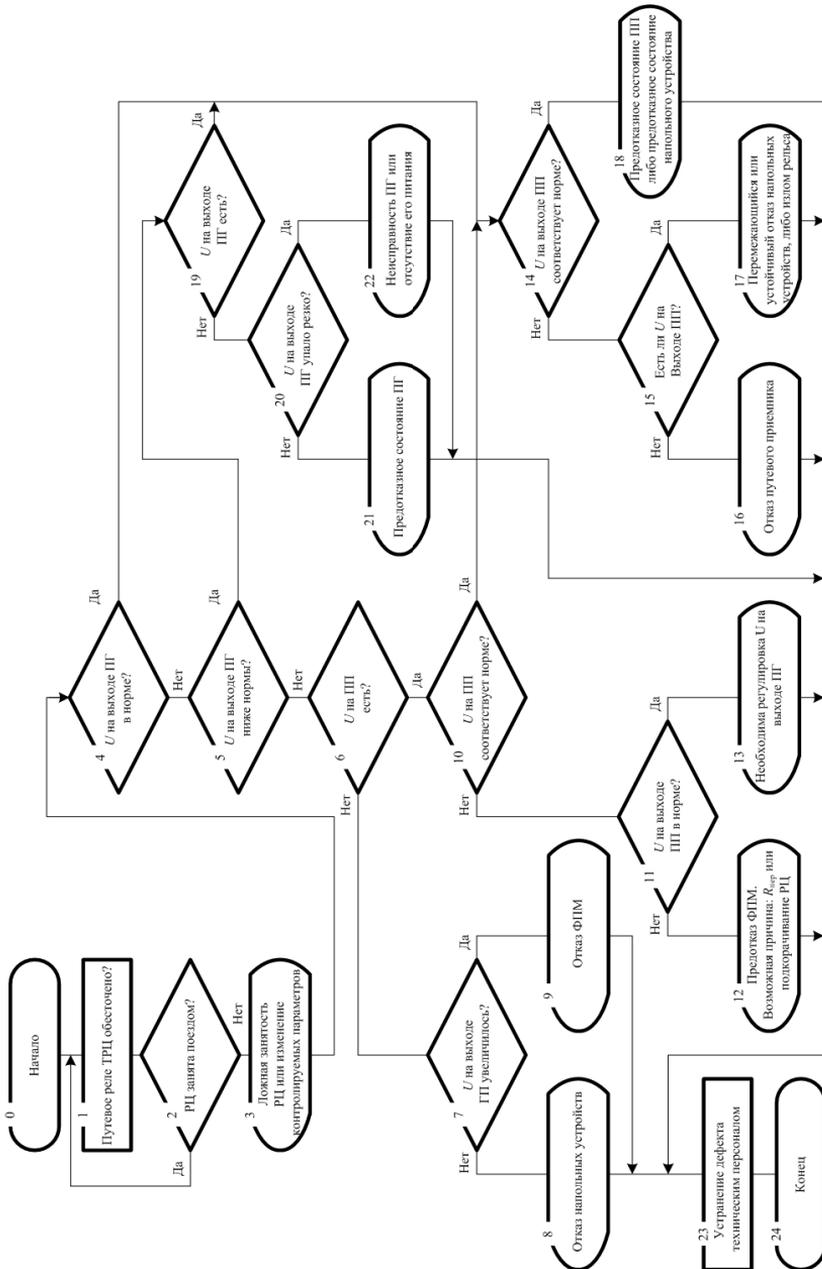


Рис. 6.3. Алгоритм поиска неисправностей в ТРЦ

Для автоматизации работы технолога с целью повышения эффективности технологии мониторинга в АПК-ДК разработаны алгоритмы, которые без участия человека на программном уровне анализируют изменения напряжения в контрольных точках ТРЦ при изменении времени. Рассмотрим, например, алгоритм фиксации предотказов путевых приемников тональных рельсовых цепей (рис. 6.4).

В основе алгоритма фиксации предотказов ПП лежат приведенные выше каталоги графиков напряжений на выходах аппаратуры ТРЦ, созданные с применением программного обеспечения АПК-ДК систем непрерывного мониторинга.

Рассмотрим работу алгоритма выявления предотказного состояния на примере контроля напряжения на входе ПП тональной рельсовой цепи (рис. 6.4). Главным условием для работы алгоритма является практически постоянное значение напряжения на выходе путевого генератора (ПГ)  $U_{пг} \approx \text{const}$ , так как напряжение на ПП напрямую зависит от изменения напряжения на ПГ. Допустим, что данное условие выполняется и  $U_{пг}$  соответствует нормали (расчитанному значению параметров для всех типов рельсовых цепей), установленной для данной ТРЦ (логический оператор <1>). При этом необходим также контроль свободности смежных рельсовых цепей на предмет отсутствия занятия их подвижными единицами.

В логическом операторе <2> проверяется то, что рельсовая цепь не занята подвижной единицей и на нее не наложен испытательный шунт или напряжение от ПГ не попадает на входы ПП. Оператором <4> проверяется то, что остаточное напряжение ТРЦ при занятии рельсовой цепи подвижной единицей или наложении на нее испытательного шунта превышает допустимую норму (0,25 В), установленную в [44], или при свободной рельсовой цепи на вход ПП поступает недостаточное для нормальной работы напряжение от ПГ, установленное нормалью для данной рельсовой цепи. Оператором <6> проверяется нахождение в зоне от  $U_{\text{мин}}$  до  $U_{\text{крит}}$  напряжения ПП в ТРЦ, это соответствует предотказному состоянию устройства. Оператору <8> соответствует проверка работы ТРЦ в нормальном режиме и нахождение всех параметров в пределах установленных норм (рельсовая цепь свободна). Если напряжение на ПП ТРЦ завышено, то есть находится выше установленного нормалью максимального предела для данной рельсовой цепи, то оператором <10> фиксируется ситуация «логическая свобода ТРЦ», данный вид нарушения в работе является опасным отказом.

Так как алгоритм должен работать непрерывно во времени, то требуется наличие обратной связи для создания цикла обработки данных.

Выбор значения  $U_{\text{крит}}$  требует дополнительных исследований и будет зависеть от характера кривой графика конкретного измерения, удаленности устройства от места расположения обслуживающего персонала, климатической зоны и графика работы обслуживающего персонала.

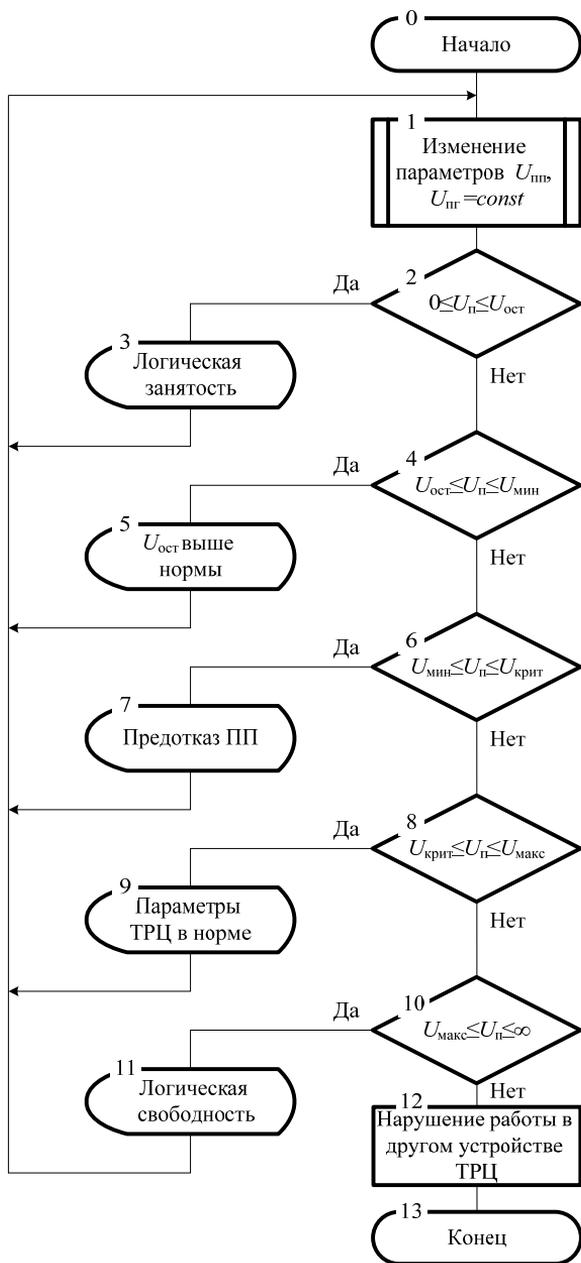
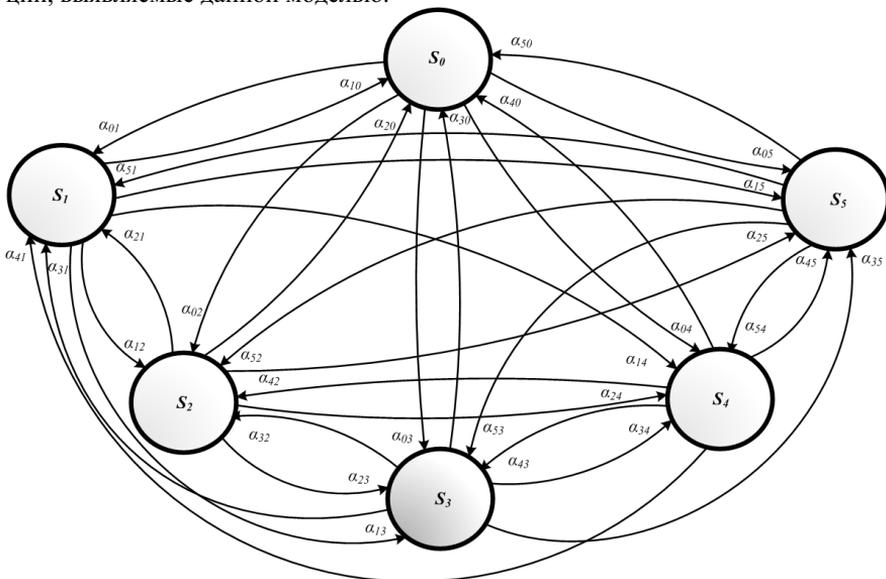


Рис. 6.4. Алгоритм фиксации предотказов путевых приемников ТРЦ

Алгоритм, приведенный на рис. 6.4, был описан на программном уровне. Фактически была создана логико-временная модель на основе метода кодирования диагностических состояний, приведенная на рис. 6.5. В данной модели  $S_i$  – это состояние объекта диагностирования ( $S_0$  – неисправность системы мониторинга,  $S_1$ – $S_5$  – состояния ТРЦ, соответствующие определенным в алгоритме рис. 6.4 граничным нормам напряжений в контрольных точках). Интерпретация состояний также дается на рис. 6.6, где указаны технологические ситуации, выявляемые данной моделью.



**Рис. 6.5.** Логико-временная модель фиксации предотказных состояний путевых приемников ТРЦ

Сама модель поясняется зонным делением напряжения ПП (рис. 6.6). Вершинам графа, приведенного на рис. 6.5, соответствуют номера зон, переходы  $\alpha_{ij}$  рис. 6.5 совпадают с переходами между зонами рис. 6.6. Каждой зоне соответствует некоторое значение напряжения, таким образом, любой переход сопоставляется с этим значением. Зона напряжения 1 соответствует отсутствию напряжения или занятию рельсовой цепи, зона 2 – пониженному относительно нормы напряжению, зона 3 – предотказному состоянию рельсовой цепи, зона 4 – нормальному напряжению и зона 5 – завышенному относительно нормы напряжению.

В зависимости от характеристик рельсовой цепи (например, длины) значения ключевых точек, определяющих момент фиксации того или иного технического состояния, будут различными. На каждом объекте диагностирования они настраиваются вручную.

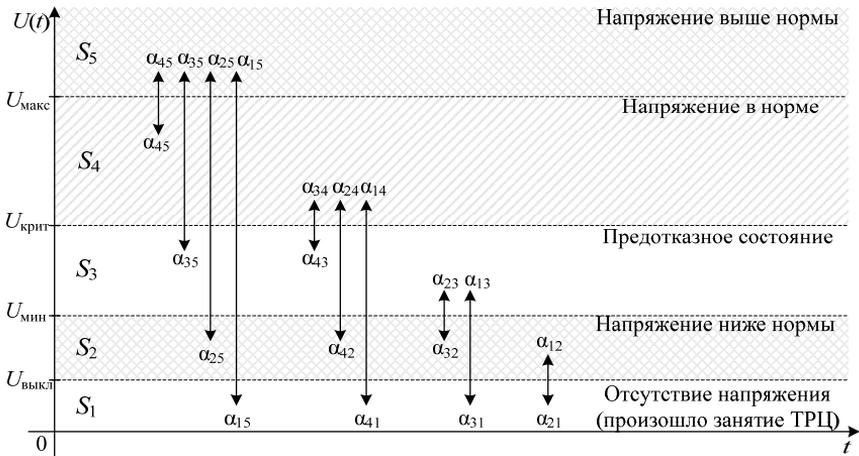


Рис. 6.6. Зоны напряжения путевого приемника

С помощью приведенной здесь технологии анализа диагностических данных можно производить фиксацию предотказных состояний любых непрерывных параметров (напряжений, токов, частот и пр.). Укажем некоторые из них:

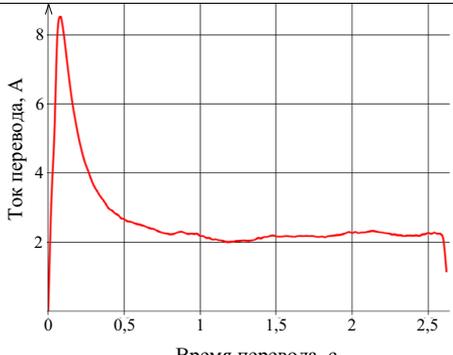
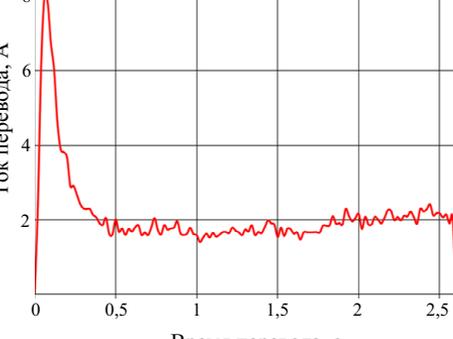
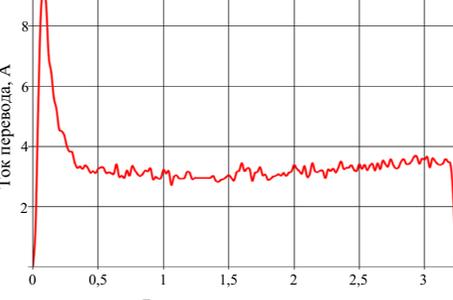
- напряжение на путевом генераторе ТРЦ;
- напряжение на путевом приемнике ТРЦ;
- напряжение на путевом реле;
- напряжение фидеров и полюсов питания;
- сопротивление изоляции.

## 6.2. Анализ качества работы устройств автоматического управления стрелочными электроприводами

### 6.2.1. С электродвигателями постоянного тока

Данные о техническом состоянии стрелочных электроприводов со схемой управления и контроля постоянного тока в системе АПК-ДК получают путем подключения диагностического прибора к амперметру, устанавливаемому на пультах-табло дежурных по станции [7]. Сами данные в системе представляются в графической форме в виде графика тока перевода стрелки, по которому можно выявлять типичные диагностические события (табл. 6.3).

**Таблица 6.3.** Графики тока перевода стрелок с двигателями постоянного тока

№	График тока перевода стрелки	Описание
1	<p style="text-align: center;">2</p>  <p style="text-align: center;">Ток перевода, А</p> <p style="text-align: center;">Время перевода, с</p>	<p style="text-align: center;">3</p> <p>Исправное состояние</p>
2	 <p style="text-align: center;">Ток перевода, А</p> <p style="text-align: center;">Время перевода, с</p>	<p>Загрязнение коллекторного узла</p>
3	 <p style="text-align: center;">Ток перевода, А</p> <p style="text-align: center;">Время перевода, с</p>	<p>Короткое замыкание якоря двигателя</p>

Продолжение табл. 6.3

1	2	3
4		Искрение щеток двигателя
5		Неисправность стрелочного перевода
6		Требуется осмотр запирающего механизма

## 6.2.2. С электродвигателями переменного тока

Для повышения точности прогнозирования технического состояния устройств управления стрелочными электроприводами с электродвигателями переменного тока в схему управления с соблюдением всех требований по безопасности подключается устройство КДУПС или АДСП.

Устройство КДУПС при переводе стрелки измеряет значения напряжений в трех контрольных точках (между фазами А и В, А и С, В и С) и значения токов в трех контрольных точках (на фазах А, В и С), а специальное программное обеспечение рассчитывает коэффициент мощности  $\cos\phi$ . Диагностическая информация выводится в удобном для пользователя виде в технологическое окно АРМ в графической форме (рис. 6.7). Дальнейший анализ графиков дает возможность определить техническое состояние стрелочного электропривода и косвенным образом развиваемое двигателем усилие, передаваемое шиберу, а затем и острьякам стрелочного перевода.

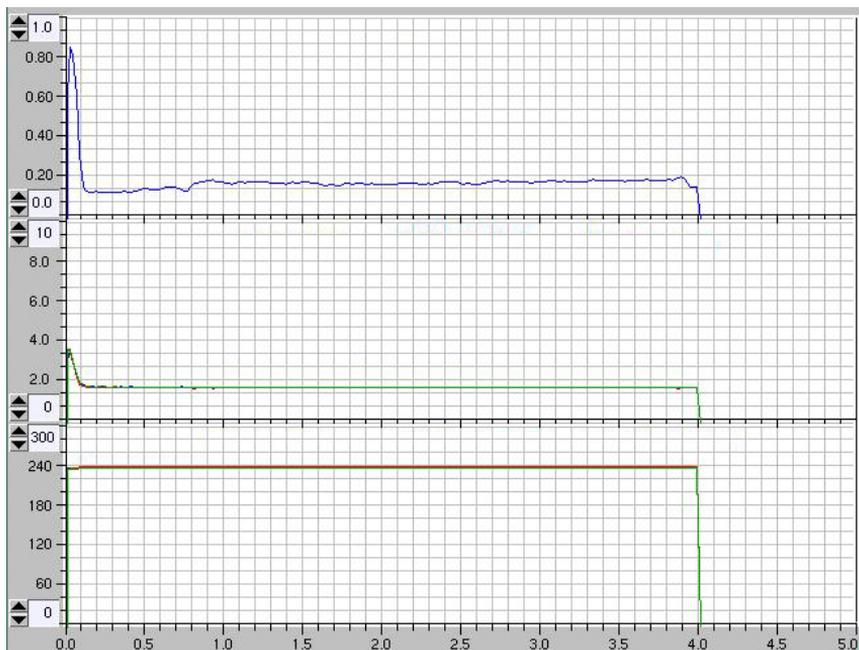


Рис. 6.7. Программа отображения графиков, полученных КДУПС

Коэффициент мощности  $\cos\phi$  показывает, насколько сдвигается по фазе переменный ток относительно приложенного к нагрузке напряжения. Натурные

эксперименты показали, что усилие прижатия острия к рамным рельсам находится в зависимости от коэффициента мощности. При этом погрешность измерений действующих значений токов и напряжений, как отмечалось в главе 2, не превышает 2,5%, что меньше погрешности прибора УКРУП, используемого для ручного определения того же параметра.

Сама идея измерительного контроллера, работающего по описанному принципу, естественно, не нова [61]. Инженеры-разработчики использовали опыт разработки средств технического диагностирования известной немецкой фирмы Siemens Transportation System (TS). Производимая Siemens TS система управления движением поездов Sidis W позволяет автоматически контролировать те же параметры при переводе стрелки, а также косвенно оценивать усилие перевода стрелки по установленной зависимости между ним и активной мощностью электродвигателя [62].

Измерительный контроллер КДУПС имеет три встроенных датчика напряжения и три датчика тока. Подключение к схеме управления стрелочным электроприводом выполнено безопасно: датчики напряжения подключены через предохранители, исключая влияние прибора на цепи управления и контроля крайнего положения стрелки, а датчики тока работают с использованием эффекта Холла – по величине индукции магнитного поля определяется протекающий в измерительной цепи ток.

КДУПС осуществляет сбор диагностических данных и передает информацию в концентратор информации по его запросу. При этом реализованы два режима работы КДУПС – при переводе стрелки (в рабочей цепи схемы управления стрелкой) и в режиме ожидания (в контрольной цепи схемы управления стрелкой). Выбор режима производится автоматически по критерию наличия фазных токов: если во всех фазах значения токов выше заранее определенного минимального порога, то включается измерительный режим перевода стрелки, если хотя бы в одной из фаз ток не превышает минимального порога – режим ожидания. В первом режиме измерения проводятся непрерывно с накоплением данных, а во втором – установлен некоторый период выборки. По окончании перевода стрелки в первом режиме или по окончании периода выборки во втором сформированный контроллером информационный пакет при инициации концентратором запроса передается для обработки. Связь КДУПС с концентратором данных осуществляется по внешнему интерфейсу RS-485.

В процессе работы схемы управления стрелкой напряжения и токи измеряются с частотой 2,5 кГц. На основе полученных массивов измерений программное обеспечение КДУПС рассчитывает  $\cos\varphi$ . На рис. 6.7 приведен фрагмент окна АРМ технолога АПК-ДК, на котором показаны в виде графиков передаваемые КДУПС измерения: на двух нижних графиках изображено по три зависимости токов и напряжений соответственно (они слиты в единую кривую, так как имеют близкие значения). А на верхнем – график зависимости  $\cos\varphi$  от времени.

Все графики получены при переводе одной стрелки и имеют одинаковые временные оси. На основании полученных зависимостей и сопоставления дан-

ных с эталонными значениями определяются отклонения от установленных граничных норм. Программное обеспечение КДУПС позволяет это осуществлять автоматически в режиме реального времени и в случае определения отклонений в нормальной работе стрелочного электропривода формировать соответствующее информационное сообщение (рис. 6.8 и 6.9).

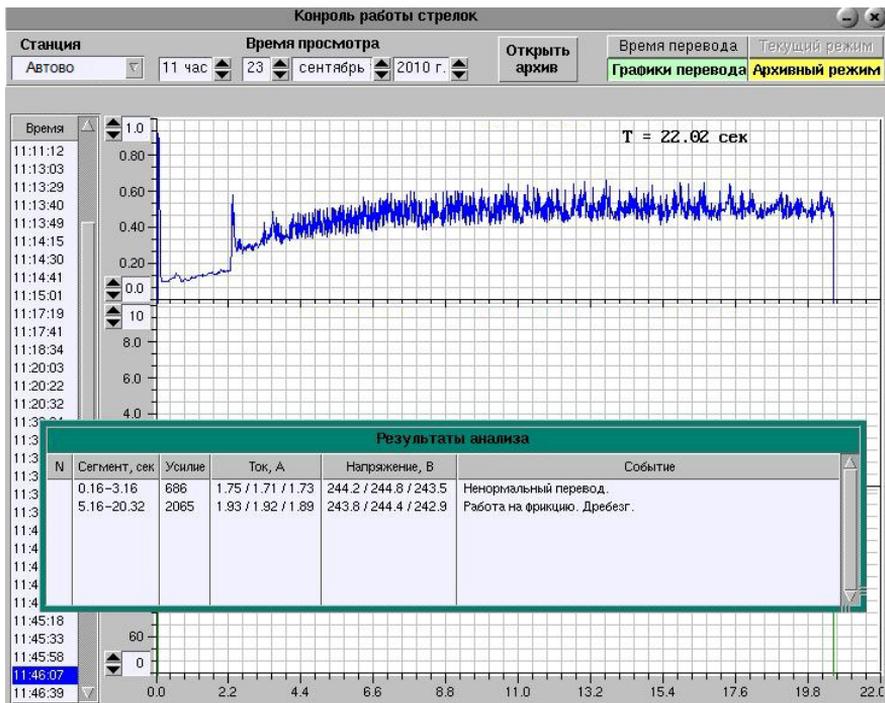


Рис. 6.8. Определение отклонений от норм при переводе стрелки

На рис. 6.8 для примера показан график коэффициента мощности при работе стрелочного электропривода на фрикцию. Определение данной технологической ситуации в работе стрелочного электропривода происходит по форме графика (она характерна для работы двигателя на фрикцию) и по возросшей сверх нормативной длительности перевода. Большая дисперсия значений  $\cos\varphi$  в интервале работы на фрикцию сигнализирует о наличии дребезга, при этом значения напряжений и токов находятся в пределах допустимых норм.

Рис. 6.9 иллюстрирует особенности контролируемых параметров при ненормальном переводе стрелки при наличии дополнительного сопротивления в проводах. Анализируя график, отмечаем, что в программном обеспечении системы диагностирования зафиксирован провал значения тока в фазе В ниже нормативного, а также относительно других фаз. Это свидетельствует о воз-

никновении дополнительного сопротивления в линейном проводе фазы В. Однако при этом уровни напряжений в норме, а кривая  $\cos\phi$  имеет нормальную форму и продолжительность (5 с).

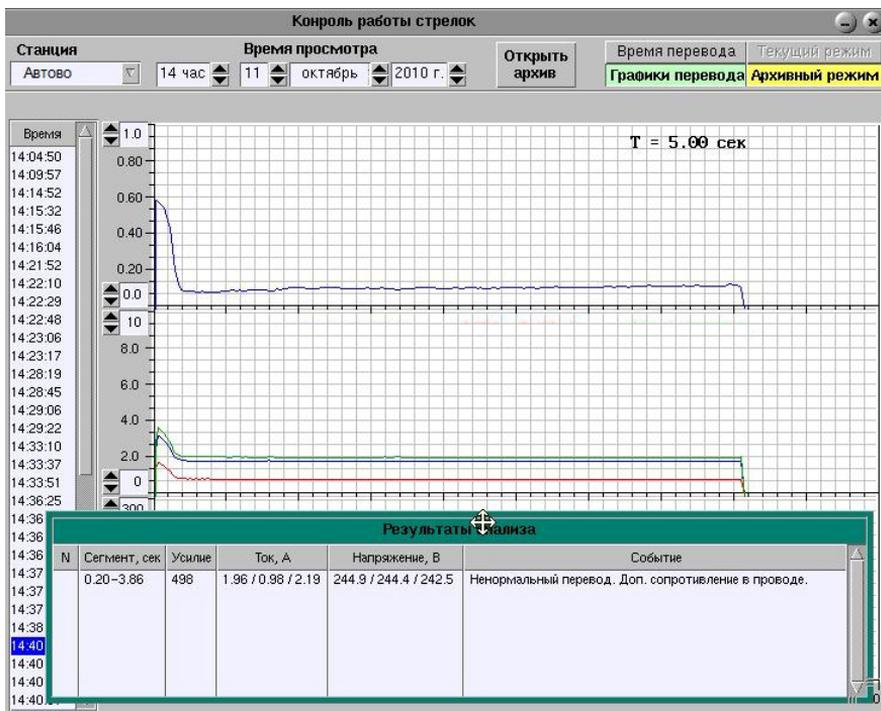


Рис. 6.9. Определение отклонений от норм при переводе стрелки

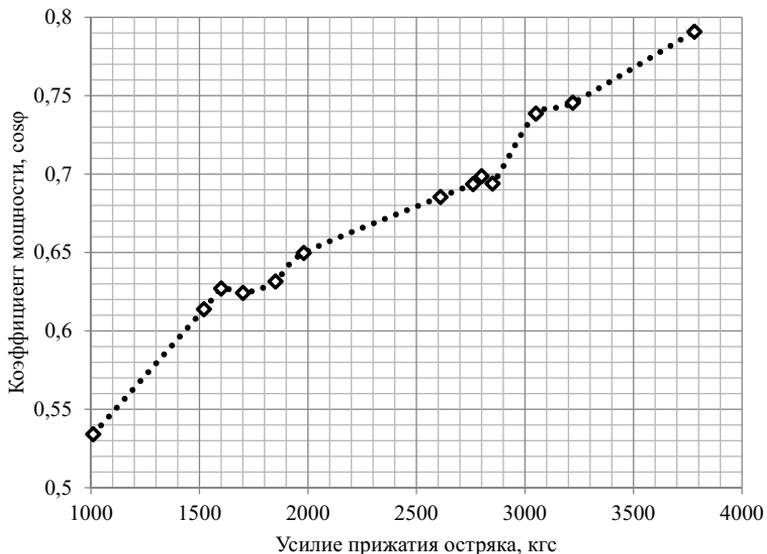
Научными сотрудниками и преподавателями кафедры автоматики и телемеханики на железных дорогах велась продолжительная работа по установлению зависимости между усилием перевода стрелки и коэффициентом мощности  $\cos\phi$ . Проводились исследования и многочисленные эксперименты, как в лабораторных условиях, так и на практике. Результатом работы стало построение зависимости усилия, передаваемого двигателем от коэффициента мощности (табл. 6.4 и рис. 6.10).

Полученная в результате экспериментов зависимость легла в основу математической модели работы КДУПС на одиночных стрелочных переводах. Повторные испытания подтвердили корректность выбранного метода определения усилия, развиваемого двигателем. Дальнейшее развитие методики диагностирования с помощью КДУПС связано с вариацией схем подключения к объектам контроля, а также расширением числа контролируемых неисправно-

стей. Другими словами, применение для анализа качества функционирования стрелочного электропривода прибора КДУПС позволяет автоматизировать процесс анализа диагностической информации и, как следствие, повысить точность самого процесса мониторинга.

**Таблица 6.4.** Зависимость усилия перевода  $H$  от коэффициента мощности  $\cos\phi$

$H$ , кгс	$\cos\phi$
1010	0,5341
1520	0,6138
1600	0,627
1700	0,6242
1850	0,6315
1980	0,6497
2610	0,6854
2760	0,6936
2800	0,6986
2850	0,6939
3050	0,7386
3220	0,7455
3780	0,7908



**Рис. 6.10.** Зависимость усилия перевода стрелки от коэффициента мощности

Сегодня приборы КДУПС установлены для автоматизированного диагностирования большого количества объектов ЖАТ, среди которых, например, станция ОАО «РЖД» «Гатчина – Товарная – Балтийская» и станции «Депо Автото» и «Парнас» петербургского метрополитена. На станции «Парнас», к примеру, прибор КДУПС контролирует, помимо работы стрелочных электроприводов, также электроприводы автостопов [21].

Применение КДУПС совместно с развитыми алгоритмами логической обработки диагностической информации позволяет повысить эффективность функционирования систем непрерывного мониторинга ЖАТ.

### ***6.3. Контроль обслуживания устройств автоматики и телемеханики***

Одной из задач систем непрерывного мониторинга ЖАТ является контроль надлежащего выполнения работ по текущему обслуживанию и ремонту устройств автоматики силами сотрудников дистанций СЦБ. К концу первого десятилетия XXI в. вопросам контроля качества технического обслуживания было уделено огромное внимание. Такой контроль, несомненно, необходим, так как зачастую электромеханик СЦБ проводит техническое обслуживание по графику технологического процесса некачественно (и даже, вообще, может его не проводить!). Это связано с несколькими факторами: от загруженности работы станции и нежелания дожидаться окон в перевозочном процессе для выполнения той или иной работы по обслуживанию устройства до зачастую предсказуемого результата при множестве рутинных операций. Невыполнение работ по техническому обслуживанию устройств ЖАТ может привести к серьезным нарушениям в работе всего железнодорожного комплекса.

На основании метода кодирования состояний диагностируемых объектов, описанного ранее, были созданы и внедрены в работу программные модули для системы АПК-ДК. Данные модули позволяют автоматически оценивать качество технического обслуживания устройств автоматики в дистанциях СЦБ.

Первыми объектами внедрения технологии программного анализа качества технического обслуживания стали станции и перегоны Октябрьской и Московской железных дорог. Научно-исследовательская работа была проведена в 2007–2009 гг. с постановкой экспериментов на серверах обработки диагностической информации в дистанциях СЦБ.

Одним из важных мероприятий по техническому обслуживанию является работа по проверке централизованных стрелок на плотность прилегания острия к рамным рельсам. Например, запрещается эксплуатация стрелочных переводов, у которых допускается запыриание стрелки при отставании острия от рамного рельса на 4 мм и более, измеряемое у острия напротив первой тяги. Невыполнение данного условия может привести к сходу подвижного состава на стрелочном переводе. Именно с целью исключения возникновения данной ситуации работниками дистанций пути и СЦБ производится проверка стрелочных

переводов на плотность прижатия острия к рамным рельсам. При этом для каждой централизованной стрелки проверяется невозможность ее замыкания при закладке между острием и рамным рельсом щупа толщиной 4 мм. Проверка производится в свободное от поездов время или в специальное «технологическое окно». Стрелки проверяют с применением имеющихся в наличии средств связи с дежурным по станции (ДСП).

Перевод по требованию электромеханика (бригадира пути) осуществляет ДСП выполнением соответствующей операции (например, поворот рукоятки коммутатора управления стрелкой при работе с релейной ЭЦ). Электромеханик устанавливает щуп толщиной 4 мм между острием и рамным рельсом напротив первой межостряковой (связной) тяги для стрелок без внешних замыкателей, а для стрелок с внешним замыкателем – по оси рабочей сережки. Проверка осуществляется в нормальном (плюсовом) и переведенном (минусовом) положениях стрелок.

При закладке между острием и рамным рельсом щупа толщиной 4 мм стрелка замыкаться не должна, также не должно контролироваться окончание перевода на аппарате управления в плюсовом и минусовом положениях. При этом электропривод должен продолжать работать на фрикцию.

При закладке между острием и рамным рельсом щупа 2 мм стрелка без внешних замыкателей должна нормально переводиться и иметь на аппарате управления контроль окончания перевода, при этом шиббер электропривода не должен заклиниваться.

Для реализации поставленной задачи автоматизации фиксации факта проведения технического обслуживания на стрелке был применен метод кодирования состояний диагностируемых объектов.

Для возможности фиксации события «Техническое обслуживание стрелки» было использовано имеющееся множество диагностических параметров, получаемых АПК-ДК. Диагностическая информация от стрелки содержит: данные о контроле крайнего положения стрелки (эту информацию получают от измерительных контроллеров ПИК-120 или КДС-120, подключаемых к лампам пульта-табло или к свободным контактам реле контроля положения стрелки ПК и МК), а также аналоговые данные от имеющихся на станции измерительных контроллеров КДУПС, АДСП, АДАМ-3014 и т. п.

Для автоматизации контроля факта проведения технического обслуживания потребовалась диагностическая информация о контроле крайнего положения стрелки. Данная информация выводится в окне АРМ АПК-ДК в виде ячеек коммутатора положений (рис. 6.11).

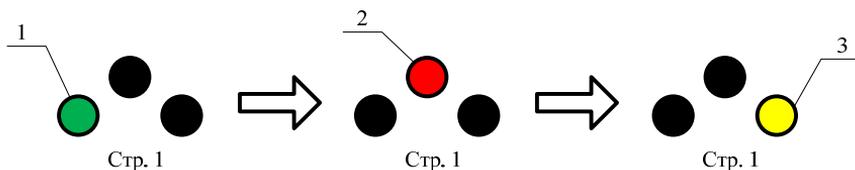


Рис. 6.11. Индикатор положения стрелки в АРМ АПК-ДК

Коммутатор содержит индикацию о плюсовом (зеленый цвет ячейки, цифра 1 на рис. 6.11) и минусовом (желтый цвет ячейки, цифра 3 на рис. 6.11) положениях, а также о потере контроля стрелки (красный цвет ячейки, цифра 2 на рис. 6.11). При этом при переводе стрелки из какого-нибудь крайнего положения (минусового либо плюсового) ячейка текущего состояния гаснет (черный цвет), загорается ячейка потери контроля и по завершении перевода стрелки загорается ячейка полученного состояния. В нормальном состоянии горит только один индикатор.

В случае изменения состояния индикатора коммутатора стрелки при выполнении и соблюдении технологии технического обслуживания системы непрерывного мониторинга способны автоматически фиксировать факт его проведения, так как подобные изменения четко определены по последовательности возникновения и продолжительности воздействия.

Для формализации алгоритма были поставлены следующие условия.

1. Стрелка должна находиться в одном из крайних положений на момент начала технического обслуживания.

2. Во время перевода стрелки и закладки щупа не должна нарушаться связь устройств ЖАТ с измерительными контроллерами и средствами передачи ее на уровень обработки (должны надежно работать все элементы систем непрерывного мониторинга ЖАТ).

3. Время проверки стрелки ограничивается 120 с.

Для каждого объекта диагностирования измерительный контроллер в системе АПК-ДК получает с некоторым периодом диагностирования данные о 4 дискретных состояниях:

1 – активное состояние сигнала датчика измерительного контроллера («логическая единица»);

2 – пассивное состояние сигнала датчика измерительного контроллера («логический ноль»);

3 – попеременное изменение значений сигнала датчика измерительного контроллера с активного на пассивное состояние («мигание»);

4 – неопределенное состояние сигнала датчика измерительного контроллера («потеря диагностической информации, отказ аппаратно-программных средств систем непрерывного мониторинга ЖАТ»).

Состояние 3 обычно сопоставляют с режимом мигания индикатора на АРМ АПК-ДК, состояние 4 – с отсутствием диагностических данных. Таким образом, значимыми для создания логико-временной модели в программном обеспечении АПК-ДК являются состояния 1 и 2 – они фактически формируют цвет коммутатора в технологическом окне АРМ АПК-ДК.

Используя состояния 1 и 2 датчиков измерительного контроллера ПИК-120, каждое возможное состояние коммутатора было закодировано натуральным двоичным кодом (табл. 6.5). Таким образом, каждому набору формирующихся во времени с периодом диагностирования двоичных векторов была поставлена соответствующая технологическая ситуация в работе АПК-ДК.

**Таблица 6.5.** Индикация состояния коммутатора стрелки

Индикация коммутатора стрелки		Внутренние переменные		
Индикация	$S_i$	Зеленый индикатор, $x_1$	Красный индикатор, $x_2$	Желтый индикатор, $x_3$
Неисправность аппаратно-программных средств непрерывного мониторинга	$S_1$	0	0	0
Индикация минусового положения стрелки	$S_2$	0	0	1
Индикация о потере контроля стрелки	$S_3$	0	1	0
Неисправность аппаратно-программных средств непрерывного мониторинга	$S_4$	0	1	1
Индикация плюсового положения стрелки	$S_5$	1	0	0
Неисправность аппаратно-программных средств непрерывного мониторинга	$S_6$	1	0	1
Неисправность аппаратно-программных средств непрерывного мониторинга	$S_7$	1	1	0
Неисправность аппаратно-программных средств непрерывного мониторинга	$S_8$	1	1	1

Последовательность смены во времени технических состояний железнодорожной стрелки удобно описать графом. Например, такой граф показан на рис. 6.12 для последовательности смены состояний при переводе стрелки из плюсового положения в минусовое положение. В программное обеспечение АПК-ДК, разработанной в лаборатории автоматизации технического обслуживания кафедры автоматики и телемеханики на железных дорогах ПГУПС, был добавлен специальный редактор проектировщика логико-временных моделей, как раз работающий с графами. Предполагалось, что опытный технолог дистанции СЦБ или ситуационного центра сам сможет добавлять новые логико-временные модели, а также отлаживать работу уже имеющихся в базе данных моделей с учетом особенностей объекта диагностирования.

Каждому состоянию логико-временной модели будет соответствовать множество  $Q(S_i)$ , содержащее всего один элемент – элементарное событие из табл. 6.5. Дугам будут соответствовать переходы по условиям возникновения того или иного состояния. Состояниям неисправности аппаратно-программных средств систем непрерывного мониторинга присвоим одно множество:

$$Q_x = Q(S_1) \cap Q(S_4) \cap Q(S_6) \cap Q(S_7) \cap Q(S_8),$$

а возможным переходам в это состояние для простоты обозначений следующее значение:

$$\alpha = \{000 \cup 011 \cup 101 \cup 110 \cup 111\}.$$

Опишем граф переходов выполнения технического обслуживания, изобращенный на рис. 6.12.

1. Стрелка имеет крайнее положение (плюс, минус), чему соответствуют множество  $Q(S_5)$ , либо  $Q(S_2)$ .

2. Потеря контроля стрелки – множество  $Q(S_3)$ .

3. Получение контроля крайнего положения (плюс, минус), в котором стрелка находилась до потери контроля, – соответственно множество  $Q(S_2)$  либо  $Q(S_2)$ .

4. Потеря контроля стрелки – множество  $Q(S_3)$ .

5. Получение контроля крайнего положения (минус, плюс), противоположного тому, в котором стрелка находилась до начала перевода. Этому соответствует множество  $Q(S_2)$  либо  $Q(S_5)$ .

6. Потеря контроля стрелки – множество  $Q(S_3)$ .

7. Получение контроля крайнего положения (плюс, минус), в котором стрелка находилась до потери контроля, – множество  $Q(S_2)$  либо  $Q(S_5)$ . При этом с выполнением условия о том, что между первым переводом и последним прошло время не более 120 с, фиксируется факт технического обслуживания стрелки.

8. Ситуации неисправности систем непрерывного мониторинга происходят под воздействием переходов  $a$ .

Граф переходов, описывающий техническое обслуживание стрелки при переводе из минусового положения в плюсовое положение, аналогичен приведенному на рис. 6.12.

Для соблюдения технологии проверки, при которой происходит выявление технического обслуживания, была разработана последовательность действий ДСП и технического персонала.

1. Начальное состояние – плюсовое положение стрелки.

2. Закладка щупа шириной 4 мм; перевод стрелки в минусовое положение; неполучение контроля минусового положения; работа двигателя электропривода на фрикцию; возврат стрелки в плюсовое положение; выемка щупа.

3. Перевод стрелки в минусовое положение (возможны переводы в течение 2 мин), главное – перевести стрелку в противоположное состояние.

4. Закладка щупа шириной 4 мм; перевод стрелки в плюсовое положение; неполучение контроля плюсового положения; работа двигателя электропривода на фрикцию; возврат стрелки в минусовое положение.

В случае ошибочных действий электромеханика (или ДСП) действия повторяются заново.

Приведенная выше технология обслуживания железнодорожных стрелок была адаптирована и внедрена в программное обеспечение АПК-ДК на диагностических серверах линии «Санкт-Петербург – Москва» в 2009–2010 гг. Это повысило эффективность технического обслуживания железнодорожных стрелок.

Процедура адаптации алгоритма, повторяющего граф (рис. 6.12), проста и состоит лишь в ручном присваивании индикаторам коммутаторов стрелок идентификационных номеров из базы данных систем непрерывного мониторинга. Это следует из того, что граф переходов является универсальным – требуется лишь единожды разработать такой аппарат обработки данных (поскольку коммутаторы всех стрелок имеют одинаковые множества состояний). Позднее был разработан программный модуль, позволяющий автоматически приме-

нять алгоритм выявления технического обслуживания ко всем объектам типа «коммутатор» в программном обеспечении АПК-ДК.

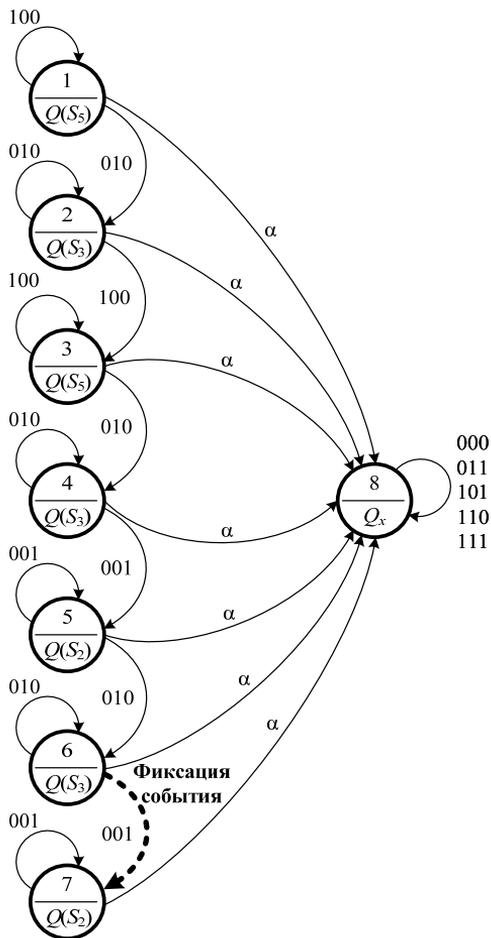


Рис. 6.12. Граф переходов, описывающий техническое обслуживание стрелки при переводе из плюсового положения в минусовое

В ходе тестирования новой методики мониторинга авторами был проведен ряд экспериментов, позволяющих проверить корректность разработанного программного обеспечения.

На рис. 6.13 и 6.14 приведены примеры фиксации фактов технического обслуживания стрелок средствами АПК-ДК. В программном обеспечении комплекса задач «Мониторинг» в модуле «Отказы» добавлена возможность фикса-

ци факта технического обслуживания железнодорожной стрелки. На рис. 6.14 для примера дано технологическое окно модуля «Отказы» с выявленными событиями обслуживания стрелок.

Тип	Время	Длительность	Объект	Состояние
			изм. 23+, изм. 23-	
⚡	07.06 13:47:59	19:35:47	изм. Перевод стрелок	4,39 с (0)
⚡	08.06 09:02:26	20:37	инд. 23	Плюсовой контроль (16)
⚡	08.06 09:23:03	:15	инд. 23	Потеря контроля (4)
⚡	08.06 09:23:03		инд. 23	Техническое обслуживание (1)
⚡	08.06 09:23:18	:04	инд. 23	Плюсовой контроль (16)
⚡	08.06 09:23:22	:05	инд. 23	Потеря контроля (4)
⚡	08.06 09:23:27	:01	инд. 23	Минусовой контроль (1)
⚡	08.06 09:23:28	:14	инд. 23	Потеря контроля (4)
⚡	08.06 09:23:42	:04	инд. 23	Минусовой контроль (1)
⚡	08.06 09:23:46	:05	инд. 23	Потеря контроля (4)
⚡	08.06 09:23:46	:10	изм. Перевод стрелок	4,2 с (0)
⚡	08.06 09:23:51	:05	инд. 23	Плюсовой контроль (16)
⚡	08.06 09:23:56	:04	инд. 23	Потеря контроля (4)
⚡	08.06 09:23:56		изм. Перевод стрелок	4 с (0)
⚡	08.06 09:24:00	:04	инд. 23	Минусовой контроль (1)
⚡	08.06 09:24:04	:04	инд. 23	Потеря контроля (4)
⚡	08.06 09:24:08		инд. 23	Плюсовой контроль (16)

Рис. 6.13. Выявление ТО в комплексе задач «Мониторинг»

Тип	Начало	Конец	Длительность	Объект	Место
⚡	08.06 09:13:27	09:14:12	00:00:45	инд. 39	Боровенка
⚡	08.06 09:22:12	09:23:57			
⚡	08.06 09:23:03	09:23:42	00:00:45	инд. 21	Боровенка
⚡	08.06 09:23:03	09:23:42	00:00:39	инд. 23	Боровенка
⚡	08.06 09:35:28	09:36:57	00:01:29	инд. 2/2С	Мстийский мост
⚡	08.06 09:36:47	09:37:37	00:00:50	инд. 31	Окуловка
⚡	08.06 09:37:14	09:38:39	00:01:25	инд. 2/2С	Мстийский мост
⚡	08.06 09:38:37	09:39:26	00:00:49	инд. 29	Окуловка
⚡	08.06 09:38:56	09:39:28	00:00:32	инд. 11	Бурга
⚡	08.06 09:39:52	09:40:19	00:00:27	инд. 17	Бурга
⚡	08.06 09:40:33	09:40:59	00:00:26	инд. 19	Бурга
⚡	08.06 09:40:19	09:41:47	00:01:28	инд. 4/4С	Мстийский мост
⚡	08.06 09:41:29	09:42:20	00:00:51	инд. 27	Окуловка
⚡	08.06 09:43:14	09:44:04	00:00:50	инд. 25	Окуловка
⚡	08.06 09:44:42	09:45:32	00:00:50	инд. 21	Окуловка
⚡	08.06 09:47:08	09:47:57	00:00:49	инд. 19	Окуловка
⚡	08.06 09:47:12	09:48:31	00:01:19	инд. 8/8С	Мстийский мост
⚡	08.06 09:48:21	09:49:10	00:00:49	инд. 17	Окуловка
⚡	08.06 09:49:37	09:50:26	00:00:49	инд. 1СВ	Окуловка
⚡	08.06 09:50:59	09:52:17	00:01:18	инд. 14/14С	Мстийский мост

Рис. 6.14. Общая информация по обслуживанию в комплексе задач «Мониторинг»

Общая информация по дистанциям СЦБ в комплексе «Мониторинг» выводится в виде окна специального назначения (рис. 6.14). Просмотр данной информации позволяет определить, на каких стрелках каких станций производилось техническое обслуживание, а значит, повысить надежность работы стрелок за счет «наблюдения» за процедурой их обслуживания.

Например, на рис. 6.14 приводится диагностическая информация по станциям Чудовской дистанции СЦБ Октябрьской железной дороги: за период времени с 9:00 до 10:00 8 июня 2010 г. на станциях Чудовской дистанции СЦБ были выявлены 39 случаев технического обслуживания стрелок. Данная информация заносится и хранится в модуле отказов программного обеспечения АПК-ДК.

Отметим плюсы и минусы внедренной в программное обеспечение АПК-ДК технологии автоматизации контроля фактов проведения технического обслуживания железнодорожных стрелок.

Помимо расширения диагностических возможностей систем непрерывного мониторинга, достоинствами подхода в автоматизации выявления технологических ситуаций следует считать низкую стоимость производства работ по вводу в действие новых функций, поскольку не требуется дополнительное оборудование, и высокий уровень автоматизации на стадии проектирования и адаптации алгоритмов. Кроме того, несомненным плюсом является то, что использована только имеющаяся в АПК-ДК информация. Другими словами, повышена эффективность технического диагностирования и мониторинга за счет использования имеющихся в «арсенале» разработчика АПК-ДК диагностических данных.

В качестве недостатка следует указать увеличение количества программных модулей в АПК-ДК и необходимость «кропотливой» работы технолога по привязыванию номеров датчиков измерительных контроллеров в специальном редакторе проектировщика проектов АПК-ДК на первых этапах технологии алгоритмизации процесса контроля за надлежащим проведением технического обслуживания.

# ГЛАВА 7. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

## *7.1. Пути совершенствования систем непрерывного мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики*

Системы непрерывного мониторинга ЖАТ, «шагнувшие» из XX в XXI в. и имеющие более чем полувековую историю, несомненно, являются полезными и необходимыми средствами повышения отказоустойчивости устройств управления движением поездов, а также средствами, облегчающими поиск возникшей неисправности. Системы ЖАТ, не имеющие встроенного уровня самодиагностирования или установленных измерительных контроллеров, кажутся сегодня средствами обеспечения безопасного движения поездов, не защищенными от возникновения отказов (пусть в большинстве своем и защитных). Еще велика роль человека в поддержании высокого уровня отказоустойчивости средств ЖАТ. Однако нельзя забывать, что только с повышением уровня автоматизации процессов управления и контроля технического состояния средств управления возможно повышение эффективности и безопасности самих систем, реализующих ответственные технологические процессы, к которым относится и перевозочный процесс на железнодорожном транспорте. Системы непрерывного мониторинга ЖАТ – это те звенья сложного механизма, которые позволяют «наблюдать» и «предсказывать» поведение устройств управления движением поездов. Такое свойство весьма полезно.

Тем не менее следует констатировать, что современные системы непрерывного мониторинга ЖАТ далеки по своей надежности и эффективности от действительно грамотно выстроенных систем мониторинга технического состояния. Прежде всего сыграла свою роль историческая преемственность – переход от систем диспетчерского контроля с минимальным количеством дискретных диагностических параметров к системам, имеющим к тому же некоторую долю аналоговых диагностических параметров. К сожалению, как во второй половине XX в., так и в первой половине XXI в., системы мониторинга организовывались и организуются по «интуитивному» подходу – выбираются наиболее простые способы получения диагностической информации, без какого-либо детального анализа необходимости ее дальнейшего целенаправленного использования. Системы непрерывного мониторинга ЖАТ в большей степени представляют собой хранилища информации с ее архивацией и легким доступом к результатам мониторинга в нужный момент времени. В меньшей мере системы непрерывного мониторинга ЖАТ напоминают развитые системы мониторинга со встроенными СППР и помощи обслуживающему персоналу ди-

станций СЦБ. Тем не менее в «зачаточном» варианте эти функции имеются, их остается только развить.

Современные системы непрерывного мониторинга ЖАТ нуждаются в пересмотре принципов получения диагностической информации. Складывается впечатление, что подход к мониторингу носит больше эмпирический, нежели научный характер. Не уделено внимание такому важному вопросу, как полнота и глубина технического диагностирования. Этот вопрос может быть решен путем детального анализа систем ЖАТ с разделением их на напольное технологическое оборудование, каналообразующее оборудование и оборудование постов централизаций с учетом статистических данных о возникающих в них неисправностях. Также в настоящее время сам процесс мониторинга носит преимущественно косвенный характер. Например, о техническом состоянии светофора, расположенного возле железнодорожного пути, системы непрерывного мониторинга ЖАТ судит по состоянию датчика измерительного контроллера, установленного на контакты ламп пульта-табло, или же берет данные из управляющего вычислительного комплекса микропроцессорной централизации [29]. Более эффективно задача технического диагностирования светофоров решается, например, в современных микропроцессорных централизациях [35].

Для схемных решений ЖАТ, включающих в себя большое количество реле, может быть применен подход к оценке тестопригодности логических схем [6]. При этом целесообразно учитывать статистические данные об отказах и вероятностные характеристики элементов автоматики. Сегодня данный вопрос является открытым. Ответ на него позволит получить адекватную оценку необходимости получения того или иного диагностического параметра в схемном узле ЖАТ с учетом известных способов сбора диагностической информации. Применительно к конкретной системе ЖАТ это будет первый шаг. Второй шаг, естественно, должен быть связан с оценкой возможности подключения датчиков измерительных контроллеров в схемные узлы ЖАТ.

Для напольного технологического оборудования и кабельной сети ЖАТ следует проработать диагностические модели со всеми особенностями входящих в них устройств. И только после результатов моделирования выработать рекомендации по тому, какие именно параметры следует контролировать. Это весьма актуально, поскольку на напольное оборудование и кабельную сеть ЖАТ приходится свыше 75% отказов. Некоторые технические решения по диагностированию средств автоматического управления железнодорожных стрелок могут оказаться в будущем достаточно перспективными, например подход, связанный с мониторингом механических параметров подвижных элементов стрелочного перевода с использованием технологии радиочастотной идентификации.

Не контролируются сегодня проявления и другой немаловажной составляющей функционирования датчиков контроля подвижных единиц на линиях с электротягой – асимметрия тягового тока. Асимметрия является причиной сбоев в работе бортового оборудования локомотивов и негативно влияет на перевозочный процесс. Например, в системах непрерывного мониторинга ЖАТ не

используются известные подходы в измерении коэффициентов асимметрии для железных дорог с электротягой переменного тока.

Другой немаловажной проблемой современных систем непрерывного мониторинга ЖАТ является низкая надежность трактов передачи данных. Сегодня назрел переход от передачи диагностической информации по кабелям ЖАТ и витым парам к оптоволоконной, радио- и спутниковой связи. Это было бы максимально удобно при передаче данных с перегонного напольного оборудования ЖАТ (светофоры, сигнальные точки светофоров при релейных АБ, путевые коробки и ящики устройств ЖАТ и т. д.). В том числе важным элементом является создание собственных протоколов передачи данных для нужд железных дорог и непосредственно систем мониторинга ЖАТ и объектов инфраструктуры в целом [19].

Сегодня не решена и задача, связанная с минимизацией аппаратно-программных средств технического диагностирования и выбором периода диагностирования. Некоторые попытки ее решения, связанные с мультиплексированием измерительных каналов, описаны в [36]. Период же диагностирования должен выбираться не интуитивно, как для некоторых измерительных контроллеров, а с учетом особенностей самих устройств ЖАТ и решаемых задач диагностики. Один из подходов к выбору периода диагностирования в микроэлектронных и микропроцессорных системах ЖАТ описан в [33].

К середине второго десятилетия XXI в. системами непрерывного мониторинга ЖАТ покрыто свыше 10% железных дорог Российской Федерации, установлено большое количество измерительных контроллеров, концентраторов информации, программного обеспечения, созданы целые бригады обслуживания самих систем контроля и т. д., системы непрерывного мониторинга образовали новый класс устройств ЖАТ. В их работу вовлечено огромное количество технического персонала дистанций СЦБ и ситуационных центров, что, конечно же, является недостатком. Путь к малообслуживаемым и максимально автоматизированным системам непрерывного мониторинга ЖАТ прослеживается сам по себе. В противном случае сотрудники дистанций СЦБ и ситуационных центров будут следить за самими «системами слежения», а не за устройствами, реализующими безопасный перевозочный процесс.

Методы прогнозирования технического состояния, используемые в системах непрерывного мониторинга ЖАТ, сегодня практически отсутствуют, хотя известно большое количество способов решения этой задачи [13]. Например, эффективно можно было бы использовать методы аналитического прогнозирования, используя для этого измеренные значения контролируемых параметров устройств ЖАТ. В системе АПК-ДК, например, для выявления предотказных состояний используется информация о состоянии действующих сигналов телеизмерения и телеконтроля, построение графиков по снятым диагностическим данным, их сплайн-аппроксимация, а также дальнейшее сопоставление результатов с имеющимися в базе данных эталонными графиками соответствующих контролируемых параметров. Учитывается степень разброса измеренных и эталонных значений, а также сглаживаются случайные «всплески» графиков. Дан-

ный подход позволяет повысить точность прогнозирования и снизить число ложно выявленных предотказных состояний устройств ЖАТ.

Системы непрерывного мониторинга ЖАТ не только «дорабатываются», но и продолжают проектироваться на новых объектах. Процесс создания системы мониторинга является весьма трудоемким, и само собой напрашивается применение автоматизированных средств проектирования. В современных системах непрерывного мониторинга ЖАТ этот вопрос практически полностью обойден. По крайней мере, разработка технологических окон в АРМ мониторинга и присвоение объектам, расположенным на них, номеров измерительных контроллеров и датчиков могут осуществляться автоматически. В будущем вполне реально, что, исходя из требований заказчика по схематическому плану станции и принципиальным схемным решениям ЖАТ, будет предоставляться полный «пакет» документов проектировщика систем непрерывного мониторинга. В области ЖАТ так, например, реализуют АРМ проектировщиков систем управления движением поездов на станции и перегоне.

Немаловажным пунктом в развитии систем непрерывного мониторинга ЖАТ является использование в работе Интернета. До сих пор все АРМ систем непрерывного мониторинга ЖАТ являются стационарными и неудобными в использовании, так как требуют присутствия одного-единственного пользователя у персонального компьютера и навыков работы с программными средствами систем мониторинга. Более перспективным является использование веб-интерфейса систем непрерывного мониторинга ЖАТ. В этом случае у пользователя развязаны руки и он получает громадные преимущества: в результате мобильности можно иметь доступ к данным мониторинга непосредственно с рабочего места (будь то релейное помещение или напольный объект ЖАТ), облегчается поиск неисправностей, становится возможным коллективное использование программы мониторинга. Все это не требует больших капиталовложений, так как мобильный комплекс программ может быть установлен на смартфон, планшет или ноутбук технического персонала дистанций СЦБ.

С развитием систем управления движением поездов и систем контроля их технического состояния возрастает проблема минимизации аппаратных затрат. Большое количество производителей систем управления и контроля для железных дорог пропагандируют установку собственного оборудования, включая АРМ на основе персональных компьютеров. Этот подход на практике приводит к установке в одном помещении сразу же до десятка персональных компьютеров, в функции которых входит только обработка и отображение информации. Целесообразно минимизировать количество АРМ, используя в том числе облачные технологии и реализуя тем самым облачные АРМ. Вся обработка данных может вестись на выделенных серверах, а доступ может осуществляться через мобильные приложения.

Также в будущем вполне реально налаживание SMS-информирования пользователя систем непрерывного мониторинга ЖАТ о возникающих неисправностях в процессе их функционирования. Конечно, это возможно только при совершенствовании методов технического диагностирования и мониторинга

га с минимизацией вероятности постановки неверного диагноза и прогноза. Тем не менее современные системы непрерывного мониторинга ЖАТ от этого только выиграли бы, поскольку информация о наиболее важных событиях в работе устройств ЖАТ была бы своевременной, а значит, технический персонал имел бы достаточное время на принятие мер по обеспечению отказоустойчивости систем управления движением поездов.

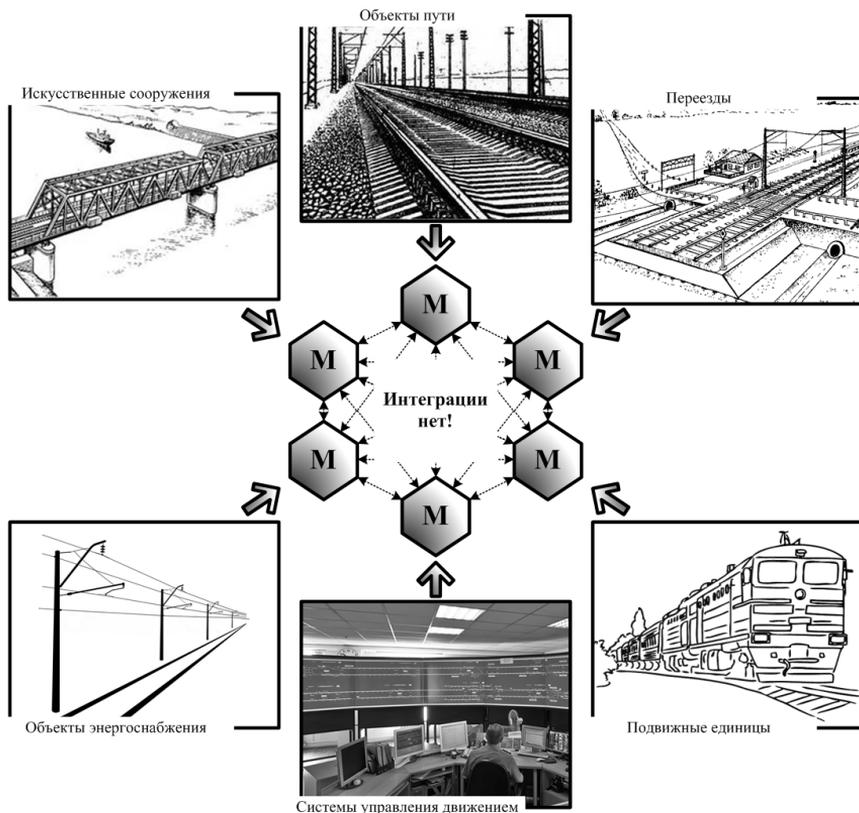
## ***7.2. Интеграция систем непрерывного мониторинга в системы управления движением поездов***

Организация систем непрерывного мониторинга ЖАТ является первым опытом совершенствования методов определения технического состояния систем управления на железнодорожном транспорте. Однако среди объектов железнодорожной инфраструктуры выделяются также искусственные сооружения самого железнодорожного пути, контактной сети, мостов и путепроводов и т. д. Развитие систем мониторинга должно идти по пути создания целого комплекса средств технического диагностирования и мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры. Это вытекает из того факта, что многие отказы в той же области ЖАТ являются следствием отказов в технических объектах смежных хозяйств. Например, неисправности контактной сети во многих случаях являются причиной возникновения сбоев автоматической локомотивной сигнализации [19]. Более того, для перевозочного процесса важным является поддержание на высоком уровне надежности именно напольных объектов инфраструктуры, а не только средств регулирования движения поездов. В первую очередь средствами мониторинга должны снабжаться объекты без резервирования (например, контактная подвеска) и те объекты, которые непосредственно взаимодействуют с подвижным составом (например, железнодорожный путь). Из-за отказов таких объектов на железных дорогах нередко случаются различные по степени тяжести происшествия.

Необходимо совершенствовать методы получения диагностической информации, используя в том числе достижения из области геодезического мониторинга (использование тензодатчиков, акселерометров, инклинометров и т. д.). Для контроля технического состояния железнодорожных стрелок, например, могут быть использованы ультразвуковые датчики. Совершенствоваться должны и средства мониторинга железнодорожного пути, путепроводов, тоннелей и мостов, железнодорожных переездов и контактной сети [19, 39, 42]. В настоящее время как таковые системы непрерывного мониторинга данных объектов на железных дорогах отсутствуют. Важно также использовать опыт создания средств мониторинга в других сферах транспорта и промышленности.

Многие географически распределенные объекты железнодорожной инфраструктуры обслуживаются вручную, силами технического персонала. Получаемый в ходе обслуживания результат не всегда объективно свидетельствует о

техническом состоянии объекта диагностирования: сам процесс обслуживания может произойти до критического ухудшения параметров или же на результат может повлиять «человеческий фактор» в виде некачественного обслуживания. Ввиду этих обстоятельств активно развиваются средства непрерывного мониторинга каждой из составляющих железнодорожного комплекса (рис. 7.1). Это развитие, несомненно, оказывает положительное влияние на сам перевозочный процесс, позволяя повысить его отказоустойчивость, но тем не менее несет и некоторое негативное воздействие.



**Рис. 7.1.** Принцип децентрализованных систем мониторинга

Примечание: М на рисунке – мониторинг состояния

В контуре управления движением поездов важна каждая составляющая и сам железнодорожный комплекс – един! Его задача – эффективная реализация технологических алгоритмов по обеспечению надежного и безопасного перевозочного процесса в заданных временных рамках. Другими словами, цен-

тральными объектами на железнодорожном транспорте являются подвижные единицы, а все остальные объекты служат для безопасного их перемещения между пунктами отправления и назначения. Безопасность движения обеспечивается надежностью и безопасностью каждой составляющей.

Современные средства непрерывного мониторинга не предусматривают комплексный мониторинг всех объектов железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава и тем более использования получаемой информации в «цепи обратной связи» с системой управления движением поездов [17]. Сегодня средства непрерывного мониторинга направлены только на автоматизацию операций по техническому обслуживанию объектов диагностирования и позволяют в некоторых частных случаях прогнозирования изменения технических состояний. Данное утверждение отражает ситуацию как на пространстве железных дорог Российской Федерации, так и в мире.

Сегодня на железнодорожном транспорте превалирует децентрализованный подход к организации систем непрерывного мониторинга – они внедряются в отдельности в каждом хозяйстве (тяги, пути, энергоснабжения, автоматики и телемеханики) для отдельных устройств в виде внешних средств автоматического диагностирования и никак не взаимодействуют между собой и тем более с системой управления движением. Это приводит к необходимости создания ситуационных центров мониторинга, сотрудники которых непрерывно анализируют потоки диагностической информации. Только в хозяйстве автоматики и телемеханики ОАО «РЖД» такой подход привел к необходимости введения специализированных бригад обслуживания средств мониторинга, а сама работа по эксплуатации средств автоматики получила усложнение в виде необходимости анализа диагностических данных от средств мониторинга. Более того, как отмечается пользователями и специалистами, качество работы систем мониторинга является крайне низким. Например, в области железнодорожной автоматики доля полезной информации от систем мониторинга не превышает 5%, что только усложняет работу по эксплуатации систем управления движением поездов. Таким образом, *следование заранее неверному концептуальному подходу привело только к увеличению объемов диагностической информации, разрозненной относительно всего железнодорожного комплекса и систем управления движением поездов!*

Естественно возникает задача перенаправления потоков диагностической информации и ее «более точная» трактовка и использование. Система взаимодействия объектов инфраструктуры и подвижного состава должна рассматриваться как единое целое, а диагностическая информация о каждой структурной единице в этом сложном «организме» должна быть направлена на координирование движения в соответствии с принципами обеспечения надежного и безопасного перевозочного процесса.

Конечная цель внедрения и эксплуатации систем непрерывного мониторинга – повышение уровня надежности и безопасности движения поездов за счет перехода на более высокий уровень отказоустойчивости при фиксации

критических изменений состояний объектов инфраструктуры и подвижного состава на стадии их зарождения.

Получая диагностическую информацию о критическом отклонении рабочих параметров объектов от норм, система мониторинга должна передать ее системе управления движением поездов, установленной на станции, и на бортовые устройства автоматики (рис. 7.2). Взаимодействуя с подсистемой мониторинга объектов инфраструктуры и подвижного состава, система управления движением должна сама принимать решение о «поведении» подвижной единицы (рис. 7.3): парирование дефекта, уход на защитный уровень (вплоть до полной остановки движения) и т. д. [26].

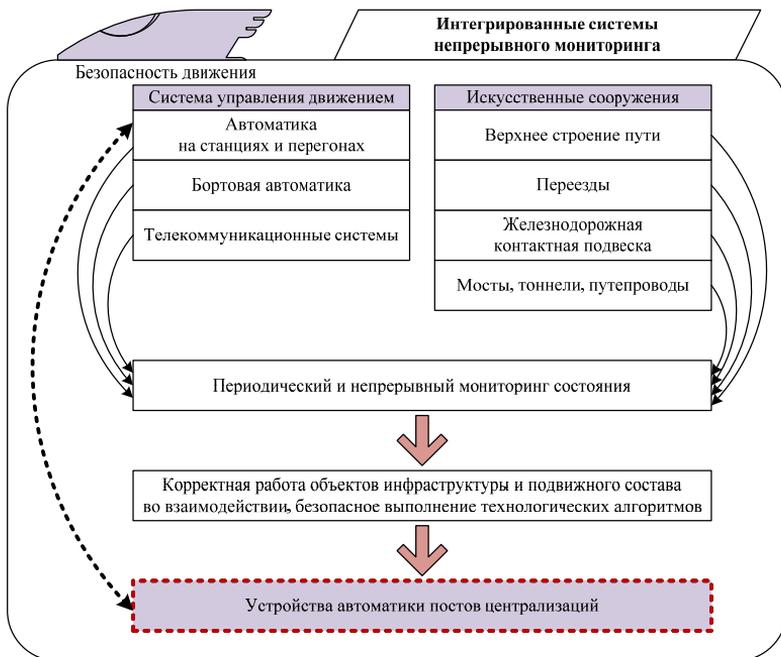


Рис. 7.2. Структурная схема сбора данных о техническом состоянии объектов железнодорожной инфраструктуры

Зная технические особенности взаимодействия объектов инфраструктуры между собой и подвижным составом, можно реализовывать задачи оптимального управления по различным критериям (например, по затратам).

Осуществляя комплексный мониторинг технического состояния контактной подвески, железнодорожного пути и устройств пропуска обратного тягового тока, можно с высокой точностью выявлять зоны энергопотерь (не только на подвижной единице, как это реализовано сейчас, а непосредственно в хозяйстве энергоснабжения).



Рис. 7.3. Возможности адаптивного управления на железных дорогах

Другим примером пользы от интеграции систем мониторинга и управления движением является возможность парирования ситуации выезда электрифицированного подвижного состава на неэлектрифицированный путь. Такая ситуация влечет за собой поломку пантографа подвижной единицы, а также парализует движение поездов. Ее можно избежать!

На современном этапе развития проходной светофор систем интервального регулирования движения поездов передает машинисту информацию о свободности для движения блок-участков в попутном направлении, а также о допустимой скорости проследования светофора, но никак не учитывает возможные дефекты на участке пути, связанные, например, с разворотом и попаданием в негабарит опоры контактной подвески вследствие коррозии или же опасного повреждения пути. Дефекты объектов железнодорожной инфраструктуры, обслуживаемых специалистами различных хозяйств, которые нарушают условия безопасности движения поездов, не редки. Зачастую их не способны зафиксировать средства регулирования движения поездов и создать условия предотвращения аварии или катастрофы.

Невозможна и другая диагностическая ситуация. В процессе движения поезда датчик мониторинга зафиксировал обрыв струны на одном из анкерных участков контактной подвески и данные о координате расположения дефектного объекта передал в систему управления движением поездов, на борт локомотива и техническому персоналу. Подъезжая к опасному участку, система управления сама опускает пантограф в зоне дефекта и поднимает его после.

Тем самым исключается возможность повреждения токоприемника локомотива без особенного влияния на перевозочный процесс (автоматическое опускание пантографа при проходе определенной координаты, к слову, уже реализовано при движении электропоезда «Ласточка» в направлении «Санкт-Петербург – Петрозаводск»).

Исторически эксплуатационные службы инфраструктуры разделены, в них используются свои методы эксплуатации и обслуживания, каналы передачи данных, способы периодического и непрерывного мониторинга, более того, в каждом хозяйстве (пути, энергоснабжения и автоматики и телемеханики), по сути, используется своя «система координат» (например, контактная подвеска анкеруется, а отсчет ординат в автоматике осуществляется от оси пассажирского здания). Однако, как показывают приведенные выше примеры, интеграция назрела! И научно-технический прогресс в области технологий строительства, автоматики и связи последних лет позволяет говорить о ее возможности!

Техническая возможность реализации представленной концепции интегрированных в систему управления движением поездов средств непрерывного мониторинга без пересмотра принципов получения диагностической информации невозможна. Эта информация должна отвечать высокому уровню достоверности для принятия решения об управлении теми или иными элементами, обеспечивающими движение поездов.

Особую актуальность рассматриваемая концепция взаимодействия систем мониторинга и систем управления движением поездов приобретает с развитием железнодорожного сообщения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Системы непрерывного мониторинга ЖАТ, предназначенные для «наблюдения» за техническим состоянием устройств, обеспечивающих безопасный и безостановочный пропуск поездов, в начале XXI в. образовали отдельный класс средств автоматики на железных дорогах. Работа систем мониторинга за счет повышения отказоустойчивости устройств ЖАТ, а также снижения времени на восстановление их работоспособных состояний позволяет в целом повысить эффективность перевозочного процесса. Таким образом, системы мониторинга в последние годы становятся все более значимыми средствами ЖАТ.

Сегодня в работе систем непрерывного мониторинга ЖАТ наметились положительные тенденции совершенствования – от систем, выстроенных по интуитивному принципу, с набором избыточной диагностической информации об электрических параметрах устройств ЖАТ, происходит постепенный переход к интеллектуальным системам мониторинга. Такие системы, в отличие от существующих, имеют в качестве основы четко продуманную теоретическую базу, основанную на достижениях многих ученых второй половины XX в. в области построения систем диагностирования, а также развитые средства автоматизации обработки диагностической информации и встроены СППР.

Тем не менее современные системы непрерывного мониторинга до сих пор имеют существенный недостаток, связанный с вовлеченностью в их работу большого количества технического персонала. От качественной работы технологов дистанций СЦБ и ситуационных центров нередко зависит результат обработки результатов технического диагностирования. Снижение влияния на этот процесс «человеческого фактора» путем автоматизации решаемых технологиями задач должно существенно повысить эффективность процесса мониторинга. Решение этой проблемы должно сопровождаться повышением надежности самих систем непрерывного мониторинга ЖАТ – совершенствованием трактов передачи диагностической информации, повышением качества обработки диагностической информации, расширением возможностей в области аналитического прогнозирования и т. д.

Будущее систем непрерывного мониторинга ЖАТ, кроме затронутых выше вопросов, видится и в развитии методов получения диагностической информации – контроля не только электрических параметров устройств, но и механических, оптических, акустических и т. п., а также так называемого «распределенного», а не «точечного» контроля параметров.

Поскольку железные дороги – это сложный инженерно-технический комплекс, включающий в себя как объекты инфраструктуры, так и подвижные элементы (тяговые и нетяговые единицы), получаемая диагностическая информация от устройств ЖАТ должна анализироваться в комплексе с данными от других «систем – участников перевозочного процесса».

В случае возникновения опасных отказов средств управления движением поездов, зафиксированных системами функционального контроля и монито-

ринга, перевозочный процесс должен останавливаться до определения причин нарушений в их работе. Такая функция позволит во многих случаях избежать аварий и катастроф. Таким образом, системы функционального контроля и мониторинга фактически должны стать «критическими» звеньями в цепях обратных связей систем управления на железнодорожном транспорте.

Путь совершенствования систем непрерывного мониторинга ЖАТ – это путь к интеграции в управляющие комплексы адаптивных систем автоматического управления. Сегодня такое движение только начинается, но можно предположить, что в ближайшие годы произойдет резкий скачок в этой области и устройства ЖАТ, как и железные дороги в целом, выйдут на новый уровень качества функционирования с еще более высокими показателями надежности и безопасности!

## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Автомат диагностирования сигнальной установки АДСУ, 50  
Автомат диагностирования силовых параметров стрелочного электропривода АДСП, 52  
Автомат диагностирования тональных рельсовых цепей АД ТРЦ, 54  
Автомат контроля напряжений и сопротивления изоляции АКНСИ-8, 45  
Автомат контроля сигнальной точки АКСТ, 47  
Автомат контроля сигнальной установки АКСУ, 50  
Автомат контроля сопротивления изоляции АКСИ-24, 46  
Безопасность, 17  
Драйверы устройств, 97  
Измерительный контроллер, 42  
Измеритель сопротивления изоляции ИСИ, 46  
Интерфейс передачи данных, 59  
Классификация отказов, 16  
Коммутатор, 58  
Комплекс задач «Мониторинг», 65  
Контроллер диагностирования усилия перевода стрелки КДУПС, 51  
Контроллер дискретных сигналов КДС-120, 43  
Концентратор информации, 57  
Концепция безопасности, 19  
Концепция технического диагностирования и непрерывного мониторинга, 33  
Коэффициент предотвращения отказов, 18  
Логический анализ данных, 120  
Методы обеспечения отказоустойчивости, 21  
Методы повышения безопасности, 20  
Методы технической диагностики, 25  
Модуль нормализации аналоговых сигналов ADAM-3014, 47  
Мониторинг, 4  
Надежность, 6  
Организационная структура систем мониторинга, 35  
Отказ, 7  
Повреждение, 7  
Предотказное состояние, 7  
Программируемый промышленный контроллер ПИК-10, 44  
Программируемый промышленный контроллер ПИК-120, 43  
Программное обеспечение системы мониторинга, 60  
Программные средства концентратора, 97  
Самодиагностирование концентратора, 103  
Селектор частот демодулирующий СЧД, 48  
Сигнализатор заземления индивидуальный цифровой СЗИЦ-Д, 46  
Состояния технических объектов, 8  
Тестирование контроллеров, 111  
Тестовое диагностирование, 22  
Техническая документация систем мониторинга, 80  
Техническое диагностирование, 21  
Устройство контроля тональных рельсовых цепей УК ТРЦ, 54  
Функциональное (рабочее) диагностирование, 23  
Центр мониторинга, 41

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АД ТРЦ – автомат диагностирования тональных рельсовых цепей;  
АДК-СЦБ – автоматизированная система диагностирования и контроля устройств сигнализации, централизации и блокировки;  
АДСП – автомат диагностирования силовых параметров стрелочного электропривода;  
АДСУ – автомат диагностирования сигнальной установки;  
АКНСИ – автомат контроля напряжений и сопротивления изоляции;  
АКСИ – автомат контроля сопротивления изоляции;  
АКСУ – автомат контроля сигнальной установки;  
АКСТ – автомат контроля сигнальной точки;  
АПК-ДК – аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля;  
АРМ-ШЧД – аппаратно-программный комплекс диспетчера дистанции сигнализации и связи;  
АРМ – автоматизированное рабочее место;  
АСДК – автоматизированная система диспетчерского контроля;  
АЦП – аналогово-цифровой преобразователь;  
БКА – блок контроля автоблокировки;  
ДГА – дизель-генераторный агрегат;  
ДК – диспетчерский контроль;  
ДСН – двойное снижение напряжения;  
ЖАТ – железнодорожная автоматика и телемеханика;  
ИСИ – измеритель сопротивления изоляции;  
КДК-СУ – контрольно-диагностический комплекс устройств сортировочных горок;  
КДС – контроллер дискретных сигналов;  
КДУПС – контроллер диагностирования усилия перевода стрелки;  
КТСМ – комплекс технических средств монофункциональный;  
НМШ – реле нейтральное малогабаритное штепсельное;  
ПИК – программируемый промышленный контроллер;  
ПГ – путевой генератор;  
ПП – путевой приемник;  
ПР – путевое реле;  
ПФ – путевой фильтр;  
РЦ – рельсовая цепь;  
СЖАТ – системы железнодорожной автоматики и телемеханики;  
СЗИЦ-Д – сигнализатор заземления индивидуальный цифровой;  
СДТС-АПС – система диагностики технических средств автоблокировки и переездной сигнализации;  
СЦБ – сигнализация, централизация и блокировка;  
СЧД – селектор частот демодулирующий;  
ТРЦ – тональная рельсовая цепь;  
УБП – устройство бесперебойного питания;  
УКРУП – устройство контроля усилия перевода;  
УКС – устройство коммутирующее станционное;  
УК ТРЦ – устройство контроля тональных рельсовых цепей;  
УСЛ – устройство согласования с линией связи;  
ЦУСИ – центр управления содержанием инфраструктуры;  
ЧДК – частотный диспетчерский контроль;  
ШДМ – технолог центра мониторинга;  
ЭЦ – электрическая централизация.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аверкиев, С. А.* Автоматизированная система диспетчерского контроля АСДК «ГТСС-Сектор» / С. А. Аверкиев, С. С. Морозов // Автоматика, связь, информатика. – 2000. – № 9. – С. 38–41.
2. *Аверкиев, С. А.* АСДК: Развитие и совершенствование системы / С. А. Аверкиев, С. С. Морозов // Автоматика, связь, информатика. – 2003. – № 7. – С. 35–36.
3. *Аверкиев, С. А.* Измерительные каналы АСДК // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 3. – С. 32–37.
4. Автоматизация технического обслуживания устройств СЦБ / Е. А. Гоман, А. Л. Вотолевский, Е. М. Шандин, К. В. Маслов // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 4. – С. 22–25.
5. *Белов, А. Г.* Определение места короткого замыкания в тональных рельсовых цепях // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 5. – С. 33–34.
6. *Беннетт, Р. Дж.* Проектирование тестопригодных логических схем. – М.: Радио и связь, 1990. – 176 с.
7. *Бочкарев, С. В.* Совершенствование методов диагностирования стрелочного переводного устройства / С. В. Бочкарев, А. А. Лыков, Д. С. Марков // Автоматика на транспорте. – 2015. – № 1. – С. 40–50.
8. *Брейдо, А. И.* Организация обслуживания железнодорожных устройств автоматики и связи / А. И. Брейдо, В. А. Овсянников. – М.: Транспорт, 1983. – 209 с.
9. *Волков, А. А.* Выявление предотказов стрелочных электроприводов / А. А. Волков, Д. С. Першин, С. Н. Григорьев // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 4. – С. 16–18.
10. *Вотолевский, А. Л.* АСУ и технологии обслуживания устройств ЖАТ // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 10. – С. 36–42.
11. *Вотолевский, А. Л.* Проектирование дорожных центров мониторинга устройств ЖАТ // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 6. – С. 10–11.
12. *Гавзов, Д. В.* Методы обеспечения безопасности дискретных систем / Д. В. Гавзов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 8. – С. 3–50.
13. *Гаскаров, Д. В.* Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры / Д. В. Гаскаров, Т. А. Голинкевич, А. В. Мозгалевский; под ред. Т. А. Голинкевича. – М.: Сов. радио, 1974. – 224 с.
14. *Горбунов, Б. Л.* Аппаратные средства диспетчерского комплекса АПК-ДК // Автоматика, связь, информатика. – 2000. – № 9. – С. 19–21.
15. *Гриненко, А. В.* Основные принципы построения диспетчерской подсистемы в АПК-ДК / А. В. Гриненко, А. И. Пресняков, В. И. Варченко // Автоматика, связь, информатика. – 2000. – № 9. – С. 16–19.
16. *Ефанов, Д. В.* Автоматизация контроля на стрелках / Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Мир транспорта. – 2011. – № 2. – С. 54–59.
17. *Ефанов, Д. В.* Интеграция систем непрерывного мониторинга и управления движением на железнодорожном транспорте // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – № 4. – С. 62–65.
18. *Ефанов, Д. В.* Некоторые аспекты развития систем функционального контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Транспорт Урала. – 2015. – № 1. – С. 35–40.
19. *Ефанов, Д. В.* Непрерывный мониторинг железнодорожной контактной подвески / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий, Д. В. Седых // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – № 3. – С. 20–24.
20. *Ефанов, Д. В.* Особенности автоматизации проектирования аппаратных средств для непрерывного мониторинга аналоговых сигналов в устройствах железнодорожной автоматики

ки и телемеханики / Д. В. Ефанов, Д. В. Седых, М. А. Гордон // Транспорт Урала. – 2017. – № 3. – С. 14–23.

21. *Ефанов, Д. В.* Техническое диагностирование и мониторинг устройств автоматики в метрополитенах // Автоматизация в промышленности. – 2014. – № 3. – С. 4–8.

22. *Ефанов, Д. В.* Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : монография. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 171 с.

23. *Иванов, А. А.* Новые приборы регистрации параметров устройств железнодорожной автоматики в системе АПК-ДК (СТДМ) / А. А. Иванов, К. А. Легоньков, В. П. Молодцов // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 3. – С. 282–297.

24. *Иванов, А. А.* Передача данных с устройств оборудования переезда аппаратурой АПК-ДК при отсутствии физической линии и круглосуточного дежурства / А. А. Иванов, К. А. Легоньков, В. П. Молодцов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 1. – С. 65–80.

25. Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения в XX – начале XIX в. / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников [и др.]. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2009. – 346 с.

26. *Лисенков, В. М.* Статистическая теория безопасности движения поездов : учебник. – М. : ВИНТИ РАН, 1999. – 332 с.

27. *Лыков, А. А.* Обнаружение и предотвращение неисправностей в ТРЦ / А. А. Лыков, Н. А. Богданов // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 10. – С. 17–21.

28. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Х. А. Христов, Д. В. Гавзов. – М. : Транспорт, 1995. – 272 с.

29. Микропроцессорные системы централизации : учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. А. Кононов [и др.]; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 398 с.

30. *Молодцов, В. П.* Системы диспетчерского контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : учеб. пособие / В. П. Молодцов, А. А. Иванов. – СПб. : ПГУПС, 2010. – 140 с.

31. *Москвина, Е. А.* Опыт организации ЦУСИ // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 9. – С. 22–25.

32. *Москвина, Е. А.* Развитие центра диагностики и мониторинга // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 11. – С. 2–6.

33. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : учеб. пособие / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, В. И. Шаманов ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017. – 318 с.

34. *Нестеров, В. В.* Развитие систем СТДМ, АСУ-Ш-2 и АОС-ШЧ // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 12. – С. 45–46.

35. *Никитин, А. Б.* Контроль целостности нитей выключенных светофорных ламп / А. Б. Никитин, А. Н. Ковкин // Актуальные вопросы развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. ; под ред. Вл. В. Сапожников. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2013. – С. 80–86.

36. *Никитин, А. Б.* Совершенствование диагностики систем ЖАТ // Автоматика, связь, информатика. – 2015. – № 11. – С. 14–15.

37. *Новиков, О. В.* Сетевой центр мониторинга средств ЖАТ // Автоматика, связь, информатика – 2012. – № 6. – С. 5–6.

38. *Одикадзе, В. Р.* Мониторинг сортировочной горки / В. Р. Одикадзе, Д. В. Родионов // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 2. – С. 10–12.

39. *Осадчий, Г. В.* Система диагностики и удаленного мониторинга состояния железнодорожного пути / Г. В. Осадчий, А. А. Лыков // Открытое образование. – 2011. – № 2-2. – С. 221–224.
40. Основы технической диагностики / В. В. Карибский, П. П. Пархоменко, Е. С. Согомонян, В. Ф. Халчев ; под ред. П. П. Пархоменко. – М. : Энергия, 1976. – 464 с.
41. *Пархоменко, П. П.* Основы технической диагностики (оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратурные средства) / П. П. Пархоменко, Е. С. Согомонян. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 320 с.
42. Реализация системы непрерывной диагностики и мониторинга состояния путепроводов на участке высокоскоростного движения поездов / К. Ю. Долинский, А. А. Лыков, В. Б. Соколов [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – № 11. – С. 34–35.
43. *Ребенок, Г. В.* Диагностическая аппаратура АСДК // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 5. – С. 34–35.
44. Рельсовые цепи магистральных железных дорог : справочник / В. С. Аркатов, Ю. В. Аркатов, С. В. Казеев, Ю. В. Ободовский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во «ООО Миссия-М», 2006. – 496 с.
45. *Сапожников, В. В.* Основы технической диагностики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – М. : Маршрут, 2004. – 316 с.
46. *Сапожников, В. В.* Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики : учебник для вузов ж.-д. транспорта / В. В. Сапожников, Ю. А. Кравцов, Вл. В. Сапожников ; под ред. В. В. Сапожникова. – М. : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 394 с.
47. *Сапожников, Вл. В.* Понятие предотказного состояния / Вл. В. Сапожников, А. А. Лыков, Д. В. Ефанов // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 12. – С. 6–8.
48. *Сачко, В. И.* Подсистема технического обслуживания и ремонта СЖАТ на автоматизированных сортировочных горках / В. И. Сачко, А. В. Мельников // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 11. – С. 11–13.
49. *Седых, Д. В.* Автоматизация проектирования систем непрерывного мониторинга децентрализованной автоблокировки / Д. В. Седых, М. А. Гордон, Д. В. Ефанов // Автоматика, связь, информатика. – 2017. – № 7. – С. 7–10.
50. *Сепетый, А. А.* Мониторинг объектов инфраструктуры в СТДМ АДК-СЦБ / А. А. Сепетый, И. А. Фарапонов, А. А. Карпов // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 12. – С. 33–35.
51. *Сепетый, А. А.* Совершенствование технического обслуживания устройств ЖАТ / А. А. Сепетый, И. А. Фарапонов, М. В. Прищепа // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 1. – С. 29–32.
52. *Сепетый, А. А.* Технология диагностирования и мониторинга устройств ЖАТ на уровне дистанций автоматики и телемеханики / А. А. Сепетый, А. Е. Федорчук // Информатизация и связь. – 2013. – № 2. – С. 71–76.
53. Совершенствование программных средств АПК-ДК / Б. Л. Горбунов, Е. В. Басалаев, Д. В. Ефанов, А. Е. Федоров // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 4. – С. 9–10.
54. *Сороко, В. И.* Автоматика, телемеханика, связь и вычислительная техника на железных дорогах России : энциклопедия : в 2 т. / В. И. Сороко, В. М. Кайнов, Г. Д. Казиев ; под ред. В. И. Сороко. – М. : НПФ «Планета», 2006. – Т. 1. – 736 с.
55. Техническая эксплуатация устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики : учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / Вл. В. Сапожников, Л. И. Борисенко, А. А. Прокофьев, А. И. Каменев ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Маршрут, 2003. – 336 с.
56. *Федоров, Н. Е.* Современные системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями : учеб. пособие. – Самара : СамГАПС, 2004. – 132 с.

57. Федорчук, А. Е. Автоматизация технического диагностирования и мониторинга устройств ЖАТ (система АДК-СЦБ) / А. Е. Федорчук, А. А. Селетый, В. Н. Иванченко. – М. : УМЦ ЖДТ, 2013. – 400 с.
58. Шаманов, В. И. Методы оптимизации технического обслуживания систем автоматики // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 4. – С. 481–496.
59. Шаманов, В. И. Обобщенная математическая модель процесса эксплуатации систем автоматики и телемеханики // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 2. – С. 163–179.
60. Diagnostics and Monitoring of Railway Automation and Remote Control Power Supply Devices / A. Porosin, V. Shatokhin, A. Nikitin, A. Kotenko // Proceedings of 15<sup>th</sup> IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017), Novi Sad, Serbia, September 29 – October 2, 2017. – P. 592–597.
61. Domingues, J. L. M. Diagnostic levels in railway applications // Signal + Draht. – 2004. – № 1/2. – P. 31–34.
62. Intelligent Point Diagnostic System SIDIS W from Siemens Transportation Systems: Technology for Efficient Rail Services // Siemens AG Transportation Systems Rail Automation. – Braunschweig, Germany. – 6 p.
63. Railway Signalling & Interlocking / G. Theeg, S. Vlasenko. – 1<sup>st</sup> ed. – DW Media Group GmbH. – Eurailpress, Hamburg, 2009. – 448 p.
64. Ubar, R. Design and Test Technology for Dependable Systems-on-Chip (Premier Reference Source) / R. Ubar, J. Raik, H.-T. Vierhaus // Information Science Reference. – Hershey ; N. Y. : IGI Global, 2011. – 578 p.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 1. ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫЕ СИСТЕМЫ .....	6
1.1. Надежность устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.....	6
1.1.1. Надежность и безопасность .....	6
1.1.2. Понятие предотказного состояния .....	7
1.1.3. Отказы технических средств автоматики.....	12
1.1.4. Повышение уровня безопасности средств автоматики.....	17
1.2. Методы повышения отказоустойчивости систем автоматики и телемеханики .....	19
1.2.1. Способы повышения безопасности средств автоматики .....	19
1.2.2. Системы непрерывного мониторинга как способ повышения безопасности средств автоматики .....	21
1.2.3. Системы непрерывного мониторинга и техническое обслуживание устройств автоматики и телемеханики .....	26
1.3. Современные системы непрерывного мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики.....	28
ГЛАВА 2. АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА СИСТЕМ МОНИТОРИНГА .....	35
2.1. Организация работы систем непрерывного мониторинга .....	35
2.1.1. Организационная структура систем непрерывного мониторинга .....	35
2.1.2. Ситуационные центры.....	38
2.2. Измерительные контроллеры .....	41
2.2.1. Особенности измерительных контроллеров для устройств железнодорожной автоматики и телемеханики .....	41
2.2.2. Получение диагностической информации от устройств электрических централизаций .....	42
2.2.3. Измерение параметров устройств автоматики на перегонах и переездах .....	47
2.2.4. Измерение электрических параметров в схемах управления электроприводами с двигателями переменного тока .....	51
2.2.5. Измерение электрических параметров в рельсовых цепях тональной частоты .....	54
2.3. Каналообразующее оборудование, тракты передачи данных и концентраторы диагностической информации.....	57
2.4. Программные средства систем непрерывного мониторинга .....	60
2.4.1. Структура программных средств систем непрерывного мониторинга .....	60
2.4.2. Взаимодействие программных и аппаратных средств систем непрерывного мониторинга .....	62
2.4.3. Вывод диагностической информации пользователю .....	65
ГЛАВА 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА .....	78
3.1. Цикл проектирования систем мониторинга .....	78

3.2. Техническая документация систем мониторинга .....	79
3.3. Автоматизация проектирования схемных решений систем мониторинга .....	81
3.4. Программные средства для проектирования систем мониторинга .....	93
<b>ГЛАВА 4. ТЕСТИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОНТРОЛЛЕРОВ.....</b>	<b>97</b>
4.1. Реализация самодиагностирования в программных средствах систем непрерывного мониторинга .....	97
4.1.1. Программные средства концентраторов информации .....	97
4.2.2. Реализация самодиагностирования измерительных контроллеров .....	100
4.2.3. Комплекс алгоритмов самодиагностирования .....	103
4.2. Методика самодиагностирования измерительных контроллеров в системах мониторинга.....	111
<b>ГЛАВА 5. АНАЛИЗ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.....</b>	<b>118</b>
5.1. Анализ неисправностей устройств железнодорожной автоматики и телемеханики в системах непрерывного мониторинга.....	118
5.2. Логический анализ неисправностей.....	120
<b>ГЛАВА 6. НЕПРЕРЫВНЫЙ МОНИТОРИНГ НАПОЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ .....</b>	<b>127</b>
6.1. Анализ качества работы рельсовых цепей тональной частоты .....	127
6.2. Анализ качества работы устройств автоматического управления стрелочными электроприводами .....	140
6.2.1. С электродвигателями постоянного тока .....	140
6.2.2. С электродвигателями переменного тока.....	143
6.3. Контроль обслуживания устройств автоматики и телемеханики .....	148
<b>ГЛАВА 7. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ .....</b>	<b>156</b>
7.1. Пути совершенствования систем непрерывного мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики .....	156
7.2. Интеграция систем непрерывного мониторинга в системы управления движением поездов .....	160
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>166</b>
<b>АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.....</b>	<b>168</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СОКРАЩЕНИЙ.....</b>	<b>169</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....</b>	<b>170</b>

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Ефанов Дмитрий Викторович** – доктор технических наук, доцент, руководитель направления систем мониторинга и диагностики ООО «ЛокоТех-Сигнал», профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта (МИИТ).

Область научных интересов: живучесть, безопасность, надежность, техническая диагностика и методы непрерывного мониторинга систем автоматического управления и сложных инженерных конструкций и сооружений.

Число научных публикаций – свыше 300.

Контактные данные: TrES-4b@yandex.ru, dmitrii.efanov@locotech-signal.ru, 107113, РФ, г. Москва, ул. 3-я Рыбинская, д. 18, стр. 22; р. т. +7(915)480-9191, д. т. +7(911)709-2164.

**Осадчий Герман Владимирович** – технический директор ООО «Комплексные системы мониторинга».

Область научных интересов: живучесть, безопасность, надежность, техническая диагностика и методы непрерывного мониторинга систем автоматического управления и сложных инженерных конструкций и сооружений.

Число научных публикаций – свыше 50.

Контактные данные: osgerman@mail.ru, РФ, 192102, г. Санкт-Петербург, ул. Фучика, д. 4, лит. Д, оф. 411; р. т. +7(921)951-2471, д. т. +7(921)308-1145.

*Дмитрий Викторович ЕФАНОВ,  
Герман Владимирович ОСАДЧИЙ*

**МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА  
ДИСПЕТЧЕРСКОГО КОНТРОЛЯ УСТРОЙСТВ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ  
АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ**

*Учебное пособие*

Издание второе, стереотипное

Редакция  
инженерно-технической литературы

ЛР № 065466 от 21.10.97

Гигиенический сертификат 78.01.10.953.П.1028  
от 14.04.2016 г., выдан ЦГСЭН в СПб

**Издательство «ЛАНЬ»**

lan@lanbook.ru; www.lanbook.com;

196105, Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, д. 1, лит. А.

Тел.: (812) 412-92-72, 336-25-09.

Бесплатный звонок по России: 8-800-700-40-71

Подписано в печать 08.10.21.

Бумага офсетная. Гарнитура Школьная. Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Печать офсетная/цифровая. Усл. п. л. 11,25. Тираж 50 экз.

Заказ № 1197-21.

Отпечатано в полном соответствии  
с качеством предоставленного оригинал-макета  
в АО «Т8 Издательские Технологии».  
109316, г. Москва, Волгоградский пр., д. 42, к. 5.