

## *Техническая диагностика и прогнозирование*

УДК 681.518.5+625.42

**Д. В. Ефанов, канд. техн. наук**

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»,  
Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I

### **ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ НА ЛИНИЯХ ПЕТЕРБУРГСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА**

Создание подсистем технического диагностирования и мониторинга – востребованный способ обеспечения высокого уровня надежности и безопасности управляющих комплексов. Подобные системы активно развиваются в первой половине XXI в.: создаются новые измерительные контроллеры, принципы действия которых основаны на различных физических эффектах, повышается уровень автоматизации анализа диагностической информации, расширяются области внедрения. В работе рассмотрены вопросы организации подсистемы технического диагностирования и мониторинга устройств автоматики и телемеханики на линиях Петербургского метрополитена – станциях «Парнас» и «Спасская» и прилегающих к ним перегонах. Подсистема технического диагностирования и мониторинга была создана путем модернизации известной системы «Аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля» и является одной из первых подобных систем, действующих на объектах метрополитенов. Описываются особенности модернизированной системы, последовательность действий по ее проектированию на отмеченных объектах Петербургского метрополитена, особенности автоматизации процесса анализа диагностической информации на примере логического анализа работы смежных рельсовых цепей. Указываются недостатки новой системы непрерывного контроля технического состояния, пути ее совершенствования.

метрополитен; автоматика; телемеханика; надежность; безопасность; техническое диагностирование; мониторинг; прогнозирование; диагностическая информация; предотказное состояние; логический анализ

### **Введение**

Для обеспечения свойства отказоустойчивости систем управления движением поездов на сети железных дорог РФ часто используются интегрированные и внешние средства технического диагностирования и мониторинга

[1–7]. Такими средствами снабжаются как современные микроэлектронные и микропроцессорные управляющие комплексы, так и морально устаревшие релейные системы управления [8–10].

Наличие средств технического диагностирования и мониторинга устройств управления позволяет за счет прогнозирования изменения их состояний предотвращать отказы и соответственно их пагубное влияние на перевозочный процесс (нарушение графика движения поездов, происшествия, аварии и катастрофы). Даже если отказа избежать не удастся (в том случае, если он имеет внезапный характер или произошел в неконтролируемом объекте), то наличие средств технического диагностирования и мониторинга позволяет техническому персоналу оперативно локализовать и ликвидировать его [11].

Конфигурация средств технического диагностирования и мониторинга зависит от типа действующей системы управления. Например, для релейных систем требуется больший объем измерительных контроллеров, чем для микроэлектронных и микропроцессорных систем, имеющих усовершенствованные подсистемы технического диагностирования и мониторинга. Для централизации анализа диагностической информации все данные от систем управления движением поездов по специальным протоколам передачи заносятся в концентраторы информации. При этом в часть схемных решений с соблюдением всех условий безопасности подключаются измерительные контроллеры. Для современных систем управления движением поездов на железных дорогах РФ характерно измерение электрических параметров (токи, напряжения, сопротивления и пр.) контроллерами. Таких данных, естественно, не хватает для отражения полной картины технического состояния устройств управления. Разработчики проводят исследования в области измерения и неэлектрических параметров (например, расстояний между подвижными объектами [12, 13]), а также применения различных физических эффектов при получении диагностических данных (например, использование тензометрических датчиков [14]). Среди хорошо зарекомендовавших себя фирм – производителей средств технического диагностирования и мониторинга, объединяемых в сети, – ООО «Компьютерные информационные технологии» (система АПК-ДК<sup>1</sup>), ЗАО «МГП «ИМСАТ» (система АПК-ДК), НПО «Югпромавтоматизация» (система АДК-СЦБ<sup>2</sup>) и многие другие [15–19].

Разработчики постоянно совершенствуют свои измерительные контроллеры, повышают уровень надежности самого процесса мониторинга, а также расширяют области внедрения своей продукции. Так, например, ГУП «Петербургский метрополитен» совместно с ЗАО «МГП “ИМСАТ”» в 2012 г.

<sup>1</sup> АПК-ДК – «Аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля».

<sup>2</sup> АДК-СЦБ – «Автоматизированная система диагностирования и контроля устройств сигнализации, централизации и блокировки».

решил реализовать пилотный проект организации технического диагностирования и мониторинга средств управления движением поездов на станциях «Парнас» Московско-Петроградской линии, а также на станции «Спасская» Правобережной линии [20]. К работе были привлечены и сотрудники кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ФГБОУ ВПО ПГУПС).

## **1 Концепция подсистемы технического диагностирования и мониторинга в Петербургском метрополитене**

В задачи разработчиков входила организация подсистемы технического диагностирования и мониторинга устройств управления движением поездов, способной стать основным средством помощи в работе технического персонала дистанций сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ). Подсистему технического диагностирования и мониторинга было решено организовать на новой (на тот момент) платформе QNX6, а также снабдить ее «развитым интеллектом», основанным на высоком уровне автоматизации обработки диагностической информации [21].

С этой целью была проведена модернизация известной системы технического диагностирования и мониторинга АПК-ДК, созданной в конце 1990-х гг. на кафедре «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО ПГУПС. Модернизация заключалась в совершенствовании аппаратных и программных средств системы АПК-ДК: разработке новых измерительных контроллеров, создании нового интерфейса предоставления информации, автоматизации процесса обработки диагностических данных и т. д. Фактически была создана новая подсистема, полностью впитавшая в себя все достоинства старой системы АПК-ДК и лишенная ряда ее недостатков.

При модернизации системы АПК-ДК разработчики придерживались концепции повышения надежности и эффективности технического диагностирования и мониторинга. Были решены весьма важные проблемы в этой области (табл. 1). Это стало возможным за счет замены операционной системы QNX4 на QNX6 [21]. Что самое важное, подобная замена позволила вести обработку диагностической информации прямо на линейном посту, без сложных настроек и передачи всей информации на центральный пост, как это, например, было ранее (на сервере мониторинга запускался специальный программный модуль, который обрабатывал поступающие аналоговые и дискретные сигналы [17]).

Переход на новую операционную систему потребовал создания новой базы данных. Разработчики определили множество типовых объектов диагностирования (рельсовые цепи, светофоры, стрелки и т. д.), множество их

**Таблица 1.** Недостатки системы диагностирования и пути их ликвидации

Недостаток в работе системы АПК-ДК	Решение проблемы
Нестабильная работа каналов связи	Не предоставляется информация об изменении состояния датчиков контроллеров, вместо этого реализован принцип непрерывного контроля с сохранением диагностической информации в архиве со сжатием информации.
Низкий уровень автоматизации анализа диагностической информации и принятия решений	Добавлена возможность внесения в базу данных подсистемы технического диагностирования и мониторинга алгоритмов логического анализа диагностической информации как совокупности аналоговых и дискретных измеренных величин (использованы сплайн-аппроксимация и динамический анализ графиков измеряемых параметров).
Большое количество ложно фиксируемых диагностических ситуаций (отказов, предостказов и пр.)	Добавлена возможность редактирования параметров объектов диагностирования (например, длины участков контроля) и учета их при автоматической обработке диагностической информации.
Неполнота и недостаточная глубина поиска неисправности	Разработаны новые измерительные контроллеры*, ведется работа по анализу технических решений с использованием достижений ученых всего мира в области выбора контрольных точек для получения диагностической информации**.
Отсутствие систем поддержки принятия решений	Формулируются требования к системам поддержки принятия решений, анализируются достижения в области синтеза оптимальных алгоритмов технического диагностирования и прогнозирования***.

\* См. [22, 23].

\*\* См. [24–26].

\*\* См. [27–30].

технических состояний (например, занятость, свобода рельсовой цепи и пр.), множество измерительных параметров (аналоговые и дискретные данные о состоянии объекта), а также установили однозначные связи между ними. Использование в алгоритмах заранее установленных типовых объектов диагностирования позволяет при синтезе алгоритма автоматизации обработки диагностической информации минимизировать работу проектировщика.

## 2 Проектирование подсистемы технического диагностирования и мониторинга

Проектирование подсистемы технического диагностирования и мониторинга состоит из нескольких этапов:

- разработка технических решений по подключению измерительных контроллеров в схемные узлы системы управления движением поездов;
- разработка интерфейса отображения диагностической информации;
- монтаж и подключение измерительных контроллеров к контрольным точкам;
- написание специализированных программ опроса (драйверов) датчиков контроллеров и сопряжения с действующими системами управления;
- увязка программного обеспечения с аппаратными средствами: установление соответствия между измеряемыми величинами и объектами диагностирования;
- отладка и тестирование разработанной подсистемы;
- внедрение логико-временных моделей устройств управления.

Каждый из описанных этапов трудоемок, кроме того, многие задачи были решены впервые. Например, для вывода информации на технологические окна автоматизированных рабочих мест (АРМ) технолога подсистемы технического диагностирования и мониторинга потребовалось создать новую среду проектирования (редактор или дизайнер проектов). Этот процесс, как и многие другие, проходил при непосредственном участии автора статьи.

Для вывода диагностической информации были проанализированы технические решения, использованные для управления движением поездов на линиях Петербургского метрополитена, а также ряд руководящих документов [31–35].

При проектировании подсистемы технического диагностирования и мониторинга на объектах Петербургского метрополитена было решено провести работы в два этапа:

1. Организовать «полный» контроль объектов станции «Парнас» и прилегающих перегонов со станций «Проспект Просвещения» и «Депо Выборгское» с выводом следующей информации:

- дискретные состояния основных реле схем, отвечающих за безопасность движения поездов;
- динамика усилия перевода стрелок;
- напряжения и токи в рабочих цепях стрелочных комплектов;
- напряжения на контрольных реле схем управления стрелочными электроприводами;
- токи в цепях самоблокировки нейтрального стрелочного (НС) реле схем управления стрелочными электроприводами;
- динамика усилий перевода и удержания автостопов;
- напряжения и токи в рабочих цепях автостопов;
- напряжения и токи в цепях питания огней светофоров;
- сопротивления жил магистральных, сигнальных, стрелочных кабелей, а также питающих и релейных концов рельсовых цепей, пригласительных

сигналов, красного и белого фонарей – повторителей показаний маневровых светофоров; контрольно-габаритных устройств и пр.;

– напряжения питания и напряжения на выходах генераторов тональных рельсовых цепей (ТРЦ) и автоматических регуляторов скоростей (АРС), а также напряжения питания путевых приемников ТРЦ;

– напряжения на входах питающих трансформаторов рельсовых цепей и на входах путевых реле АНВШ2-2400;

– токи в цепях АРС;

– внутривозовые напряжения питания;

– уровни напряжения фидеров питания в режиме реального времени.

2. Взять на контроль рельсовые цепи станции «Спасская» и прилегающих перегонов со станции «Достоевская» с последующим выводом дискретной информации о состоянии объектов управления.

На станциях «Парнас» и «Спасская» управление движением поездов осуществляется с использованием Комплексной автоматизированной системы диспетчерского управления работой линии метрополитена (КАС ДУ), разработанной на кафедре «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ПГУПС, в Центре компьютерных железнодорожных технологий (ЦКЖТ) [33]. Поэтому практически вся дискретная диагностическая информация в подсистему технического диагностирования и мониторинга поступает по специальному протоколу сопряжения. Для этого разработчиками КАС ДУ в отсутствие трафика поездов в управляющем комплексе установлена специальная плата, осуществляющая передачу данных к подсистеме технического диагностирования и мониторинга, а также произведена стыковка с концентратором информации последней. Фактически разработчиками КАС ДУ осуществляется передача данных согласно таблице телесигнализации разработчикам модернизированной системы АПК-ДК. Последние ее расшифровывают и выводят в виде картинки с соответствующими требованиями обозначениями на технологическое «окно» программного модуля отображения диагностической информации [36].

Техническими средствами модернизированной системы АПК-ДК на станции «Парнас» контролируется 16 неразветвленных ТРЦ, две разветвленные ТРЦ, четыре стрелочных электропривода централизованных стрелок с девятипроводными схемами управления, 15 светофоров и 10 автостопов, а также ряд параметров устройств СЦБ. Осуществлено сопряжение подсистемы технического диагностирования и мониторинга:

– с системой управления движением поездов КАС ДУ;

– диагностическим комплексом КОМАГ-Б, обеспечивающим контроль параметров рельсовых цепей;

– устройствами внепоездного контроля скорости (УКСДП);

– системой счета осей (ССО);

– источниками бесперебойного питания на станции.

Для получения дополнительных измерительных параметров были использованы следующие контроллеры:

- ADAM-4017 – для измерения токов и напряжений;
- ПМИ-РЦ – для измерения параметров АРС и ТРЦ;
- КДУПС – для диагностирования параметров стрелок и автостопов;
- ИСИ – измеритель сопротивления изоляции;
- ПИК-120 – для дополнительного контроля дискретных параметров;
- ИПК (счетчик Альфа) – измеритель входного напряжения.

На рис. 1 для примера представлена принципиальная схема ТРЦ ЗП на станции «Парнас», где средства технического диагностирования и мониторинга указаны жирными линиями – это измерительные контроллеры ПМИ-РЦ, ADAM-3012, ADAM-4017+ и ИСИ.

Вся дискретная информация о состоянии объектов диагностирования была расшифрована и выведена на основное технологическое окно (рис. 2): здесь в выбранных условных обозначениях изображены путевое развитие станции, ячейки технологического назначения (например, для контроля срабатывания автостопов, реле задания маршрутов, сигнальных и маршрутных реле и т. д.), отдельно выведены ячейки контроля состояния системы КАС ДУ [37].

Для максимально точного установления диагноза, что крайне важно и для решения задачи прогнозирования, работа каждого реального объекта диагностирования была детально проанализирована, отмечены особенности функционирования, а также выделены уникальные параметры – атрибуты. Например, в табл. 2 показаны уникальные параметры рельсовой цепи 4 П на станции «Парнас». От значений этих параметров зависит работа алгоритмов диагностирования. Таким образом, процесс диагностирования и мониторинга является «привязанным» не только к типам объектов диагностирования и их состояниям, но и к их реальным параметрам с учетом конкретной технической реализации. Ранее использовался другой подход: устанавливались предельно допустимые нормы параметров (нормали) объектов диагностирования для всех типовых устройств без учета реальных условий.

Технические решения по мониторингу параметров устройств СЦБ на станции «Спасская» на первом этапе включают в себя только контроль параметров рельсовых цепей, которых здесь и на прилегающих перегонах со стороны станции «Достоевская» 47. Все рельсовые цепи – это ТРЦ второго поколения. Для организации контроля параметров ТРЦ разработчиками выполнена увязка данных с системой КОМАГ-Б.

При разработке программного обеспечения подсистемы технического диагностирования и мониторинга объектов управления движением на линиях Петербургского метрополитена в базу данных был внесен значительный объем информации. В табл. 3 представлены контролируемые элементы и количество датчиков, внесенных в программное обеспечение.

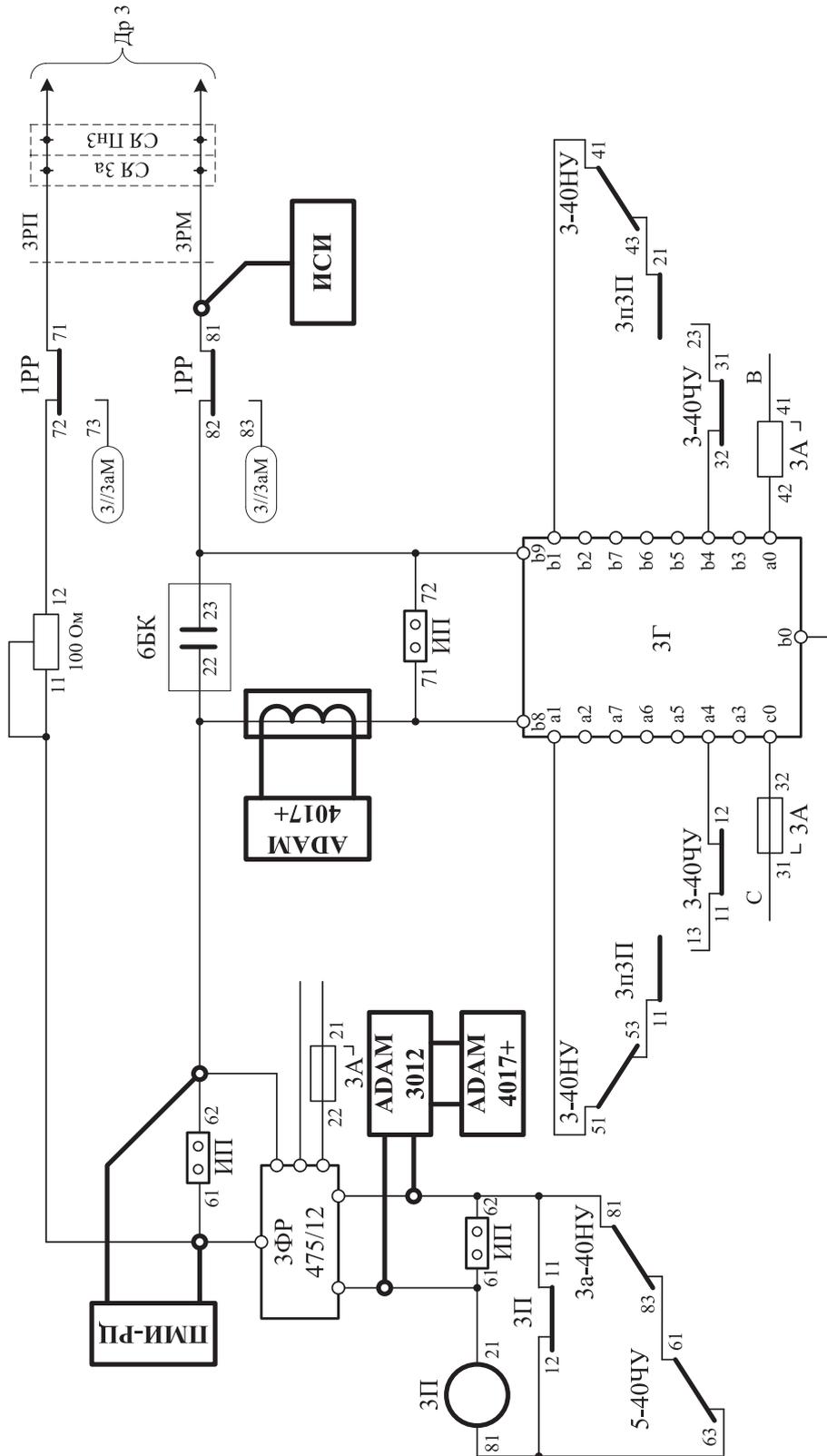


Рис. 1. Подключение измерительных контроллеров к контрольным точкам схемы релейной цепи станции «Парнас»

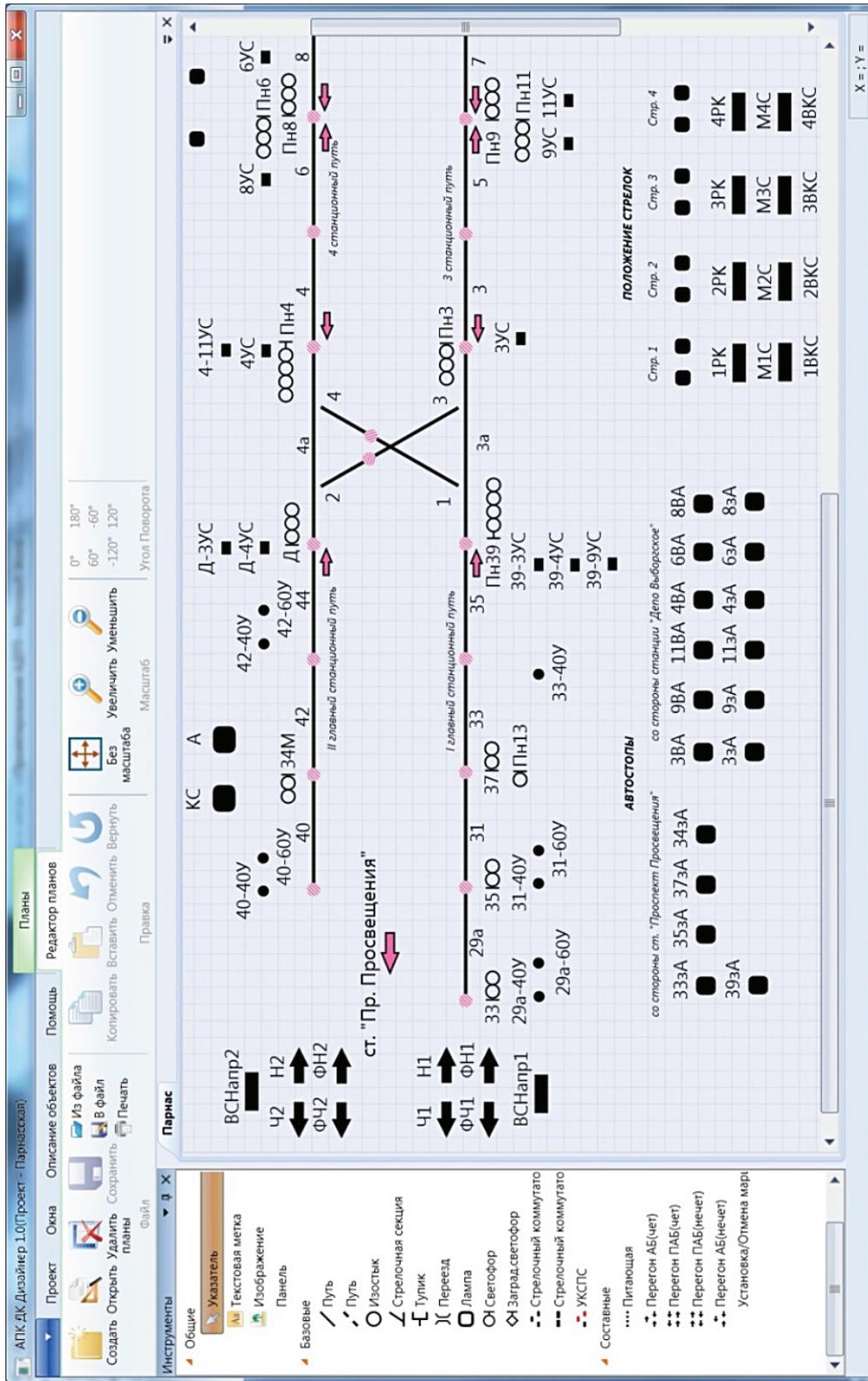


Рис. 2. Технологическое окно АРМ проектировщика подсистемы технического диагностирования и мониторинга

Таблица 2. Атрибуты рельсовой цепи 4 П станции «Парнас»

Параметр	Значение	Единица измерения
Тип рельсовой цепи	Тональная	–
Несущая частота	725	Гц
Частота модуляции	8	Гц
Верхняя нормаль рабочего напряжения на входе путевого приемника	8	мВ
Нижняя нормаль рабочего напряжения на входе путевого приемника	6	мВ
Верхняя нормаль остаточного напряжения при наложении испытательного шунта	2,8	мВ
Нижняя нормаль сопротивления изоляции	2	МОм
Нижняя нормаль сопротивления изоляции дополнительной обмотки дроссель-трансформатора	2	МОм
Нижняя нормаль сопротивления изоляции дополнительной обмотки дроссель-трансформатора	2	МОм
Нижняя нормаль сопротивления изоляции основной обмотки дроссель-трансформатора	10	кОм
$L_{\text{кф}}$ (передающий конец)	240	км
$L_{\text{рк}}$ (принимающий конец)	140	км
$R1+R_{\text{каб}}$	120	Ом
$R1_{\text{уст}}$	116	Ом
$L_{\text{рц}}$	87	м
$L_{\text{сп}}$	69	м
$U_{\text{ушг}}$	20,1	В
Нижняя нормаль значения тока на путевом приемнике	6	мА
Верхняя нормаль значения тока на путевом приемнике	8	мА

Между измерительными контроллерами и измеряемыми параметрами на этапе проектирования организована увязка, что и позволяет «оживить» картинку на экранах отображения результатов технического диагностирования и мониторинга (рис. 3). По каналу технологической сети связи метрополитена данные мониторинга также передаются диспетчеру службы автоматики и телемеханики Петербургского метрополитена, расположенному на удалении от объектов диагностирования (вблизи станции «Технологический институт»). Вывод данных возможен как в табличной, так и в графической формах. Результаты диагностирования протоколируются и архивируются за период не менее 30 календарных дней с последующим автоматическим обновлением.

Таблица 3. Датчики контроля на объектах Петербургского метрополитена

Устройство	Тип контролируемых данных	Объекты контроля	Число датчиков
Станция «Парнас»			
КАС ДУ	Дискретные	Контроль поездного положения и технического состояния реле схем	420
АДАМ-4017	Аналоговые	Напряжения и токи	88
ПМИ-РЦ	Дискретные	Самодиагностирование ПМИ-РЦ	288
	Аналоговые	Напряжения АРС и ТРЦ	972
КДУПС	Аналоговые	Стрелки и автостопы	80
ИСИ	Аналоговые	Сопrotивления изоляции кабеля	128
ПИК120/32	Дискретные	Дополнительный контроль выключателей	32
ССО	Дискретные	Самодиагностирование ССО	720
	Аналоговые	Аналоговые данные от ССО	80
АРМ КОМАГ-Б	Дискретные	Самодиагностирование КОМАГ-Б	616
	Аналоговые	Параметры ТРЦ	428
УКСДП	Аналоговые	Контроль скорости подвижного состава	12
ИПК	Аналоговые	Входное напряжение	11
ИБП1	Дискретные	Дискретные параметры ИБП	40
	Аналоговые	Аналоговые параметры ИБП	31
ИБП2	Дискретные	Дискретные параметры резервного ИБП	40
	Аналоговые	Аналоговые параметры резервного ИБП	31
Станция «Спасская»			
АРМ КОМАГ-Б	Дискретные	Самодиагностирование КОМАГ-Б	2220
	Аналоговые	Параметры ТРЦ	1740

### 3 Логический анализ диагностической информации

Одной из центральных задач современных подсистем технического диагностирования и мониторинга устройств СЦБ является создание модулей логического анализа диагностической информации. Как известно, в дистанциях СЦБ на магистральных железных дорогах и в центрах мониторинга огромное количество технического персонала занимается анализом

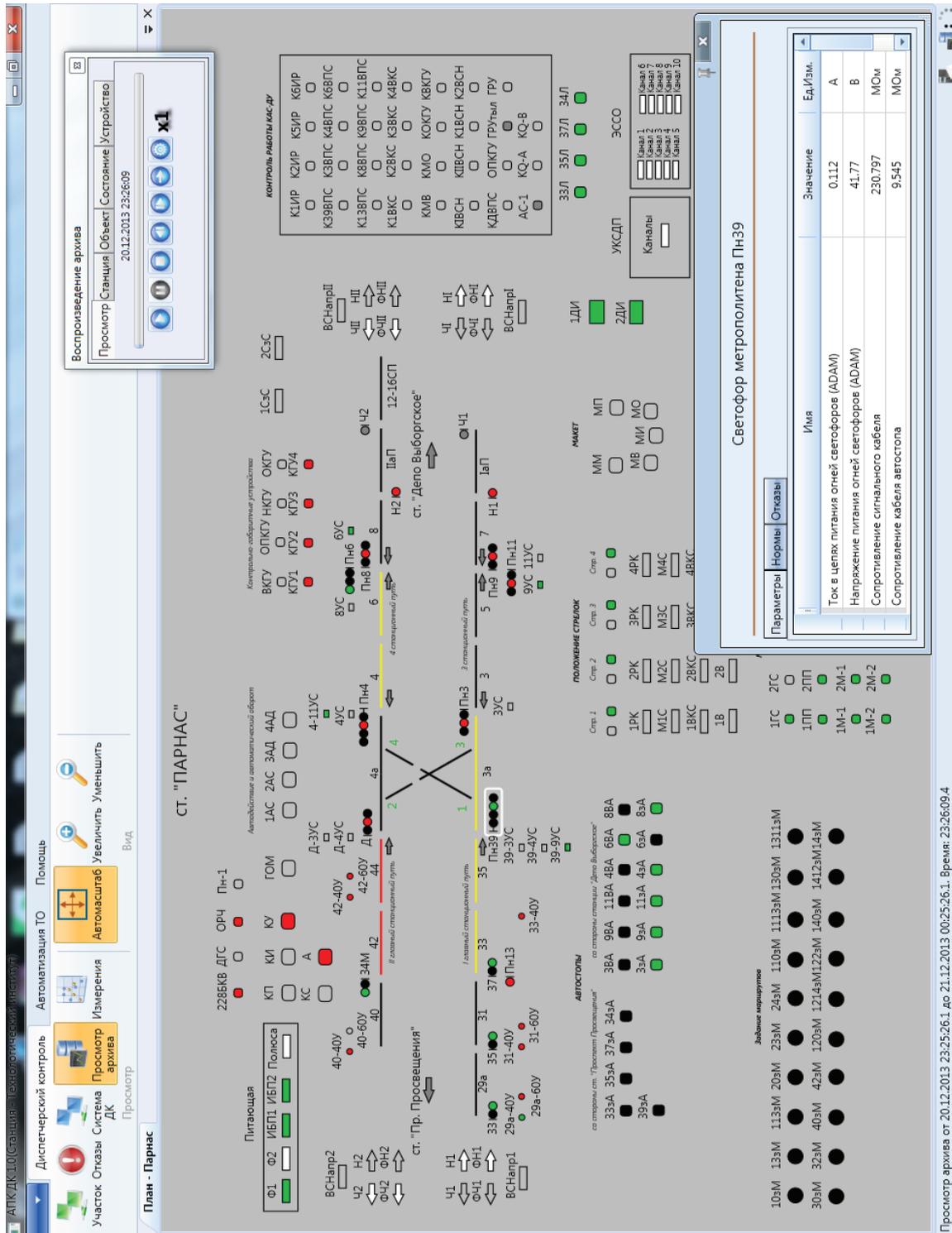


Рис. 3. Внешний вид программы отображения результатов мониторинга

получаемой информации [38, 39]. Уровень поддержки принятия решений крайне низок и заключается в занесении записи в архив и выдаче информационных сообщений о технологических ситуациях различной степени негативного влияния (отказах, предостказах и т. п.) [40]. Для многих объектов диагностирования строятся графики изменения их параметров, и уже по ним эксперт дает оценку технического состояния [41, 42].

Естественно, реализация возможности автоматического анализа диагностической информации с выдачей информационных сообщений о диагнозе и прогнозе является крайне необходимой: важно не просто получить диагностические данные, а научиться их обрабатывать автоматически. Решению данной задачи посвящена не одна работа [43–47].

Поскольку в процессе функционирования системы управления движением поездов задействовано много элементов, обладающих некоторым набором состояний и параметров, при автоматизации невозможно учесть их полную совместную работу (потребовалось бы проанализировать миллионы вариантов технических состояний; по этой причине, к слову, трудно описать работу систем железнодорожной автоматики и телемеханики в виде конечных автоматов). С целью упрощения процесса автоматизации анализа диагностической информации разработчиками подсистемы технического диагностирования и мониторинга было принято решение действовать последовательно, наращивая сложность алгоритмов автоматизации.

*Общий алгоритм автоматизации анализа диагностической информации:*

1. Определяется набор технологических алгоритмов, реализуемых системой управления движением поездов.
2. Определяются объекты диагностирования, участвующие в реализации конкретного технологического алгоритма.
3. Устанавливаются состояния и параметры объектов диагностирования, соответствующие «нормальной работе» (штатному режиму) системы управления движением поездов.
4. Процесс алгоритмируется, создаются логико-временные модели реализации технологических алгоритмов.
5. Логико-временные модели «расширяются» с учетом возможностей изменения параметров объектов диагностирования и их состояний (при этом анализируются допустимые отклонения параметров от установленных норм).

Например, одним из первых алгоритмов автоматизации процесса анализа диагностической информации, внедренных в программное обеспечение подсистемы мониторинга на станциях «Парнас» и «Спаская», стал алгоритм штатного функционирования рельсовых цепей. Он был создан сначала с учетом только дискретной диагностической информации, а затем последовательно расширен для возможности логического анализа получаемой информации [48].

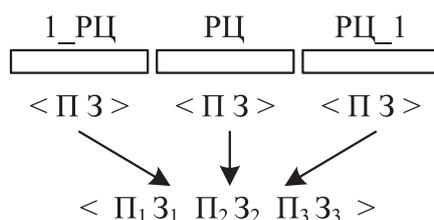
Например, в качестве дискретной информации о состоянии неразветвленной рельсовой цепи на станции «Парнас» использованы два датчика – свободы секции и замкнутости секции в маршруте (датчики П и З). Логика работы системы каждой рельсовой цепи, исходя из дискретной информации, может быть описана таблицей 4. 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. Все реально возникающие технологические события указаны в табл. 4 (знаками «х» отмечены значения «2» и «3» соответствующих датчиков). На основании значений, непрерывно поступающих с датчиков, в программном обеспечении подсистемы технического диагностирования и мониторинга в установленной цветовой гамме осуществляется вывод соответствующей смысловой нагрузки на АРМ технолога.

**Таблица 4.** 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

Алгоритм процесса диагностирования описан в [48]. К объекту диагностирования – рельсовой цепи (РЦ) – справа и слева примыкают смежные рельсовые цепи (РЦ\_1 и 1\_РЦ соответственно). Другие случаи расположения РЦ опустим (процесс автоматизации для них аналогичен). Для оценки корректности работы данной РЦ достаточно анализировать ее работу и работу смежных рельсовых цепей, без проверки работы всех остальных рельсовых цепей (рис. 4).

Каждая из РЦ дает двузначный логический вектор значений от датчиков П<sub>*i*</sub> и З<sub>*i*</sub>: < П<sub>*i*</sub> З<sub>*i*</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



**Рис. 4.** Выбор объектов диагностирования и кодирование данных

ситуации, связанной с работой диагностируемой РЦ. Под логической ситуацией здесь понимается событие, связанное с изменением состояний устройств автоматики при их взаимном функционировании: корректная (нормальная) работа РЦ или наличие неисправности в ней (список логических ситуаций может быть и расширен за счет учета аналоговых параметров устройств автоматики [49, 50]).

По логике смены значений в векторе  $\langle \Pi_1 \text{ } \mathcal{Z}_1 \text{ } \Pi_2 \text{ } \mathcal{Z}_2 \text{ } \Pi_3 \text{ } \mathcal{Z}_3 \rangle$  с течением времени можно судить о правильности работы РЦ. При этом, поскольку длина информационного вектора  $m = 6$ , существуют  $2^6$  различных векторов, соответствующих логическим ситуациям, присущим объекту диагностирования, а также один вектор, которому соответствует набор значений  $\langle x \text{ } x \rangle$ , присущий нарушениям в работе системы функционального контроля (например, потере данных в результате отказа измерительного контроллера или отказу каналобразующей аппаратуры). Из анализа значений информационного вектора  $\langle \Pi_1 \text{ } \mathcal{Z}_1 \text{ } \Pi_2 \text{ } \mathcal{Z}_2 \text{ } \Pi_3 \text{ } \mathcal{Z}_3 \rangle$ , например, следует, что при формировании в некоторый момент времени двух векторов –  $\langle 11 \text{ } 10 \text{ } 11 \rangle$  и  $\langle 11 \text{ } 00 \text{ } 11 \rangle$  – возникает нарушение в работе РЦ. Первый вектор соответствует замыканию рассматриваемой РЦ в маршруте при свободности обеих смежных РЦ, а второй – занятости и замкнутости РЦ в маршруте при свободности обеих смежных РЦ. Кроме того, можно выделить еще две логические ситуации: появление вектора  $\langle 11 \text{ } 01 \text{ } 11 \rangle$  после того, как был сформирован вектор  $\langle 11 \text{ } 11 \text{ } 11 \rangle$ , и появление вектора  $\langle 01 \text{ } 11 \text{ } 01 \rangle$  после того, как был сформирован вектор  $\langle 01 \text{ } 01 \text{ } 01 \rangle$ . Первая логическая ситуация соответствует защитному отказу типа «ложная занятость», а вторая – опасному отказу типа «ложная свободность».

На рис. 5 изображен граф переходов 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.

Помимо введенных обозначений, на графе рис. 5 сплошными стрелками указаны переходы, соответствующие логическим ситуациям нарушения логики работы РЦ, пунктирными – логические ситуации, связанные с отказом средств диагностирования, пунктирными стрелками с точками – переходы, связанные с восстановлением нормального режима работы.

Отметим актуальность учета рассмотренных логических ситуаций. В процессе функционирования средств автоматики нередко встречаются случаи кратковременной ложной занятости, которая может быть не замечена человеком в момент первого проявления. Запись данных о возникающих нарушениях в работе средств автоматики с сохранением в архиве позволяет при дальнейшем детальном анализе установить события, при которых возникла данная логическая ситуация, а также найти причину ее возникновения. Это

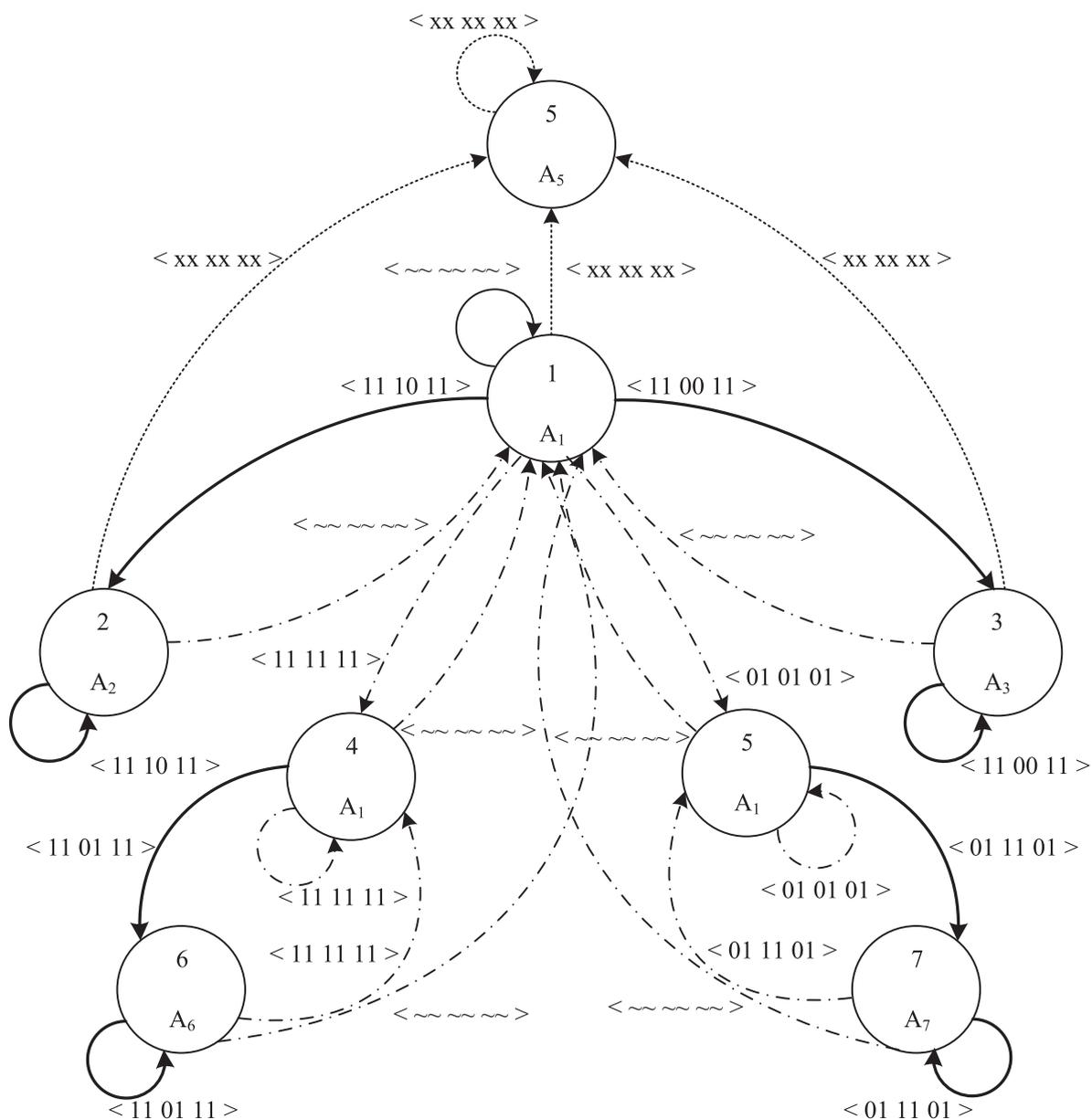


Рис. 5. Автомат Мура для фиксации некорректной работы устройств автоматике

позволяет предотвращать отказы на стадии их зарождения – на стадии предотказных состояний [51].

Конечные автоматы в виде графов (см. рис. 5), описанные последовательностями состояний и переходов между ними, внедряются в программное обеспечение подсистем технического диагностирования и мониторинга и могут применяться без дополнительных установок и работ по привязке датчиков диагностической информации ко всем однотипным объектам. Для повышения надежности работы программного модуля информационные векторы могут быть закодированы каким-либо помехоустойчивым кодом [52–55].

## Заключение

Внедрение на линиях Петербургского метрополитена подсистем технического диагностирования и мониторинга устройств и систем управления движением поездов повышает их надежность и безопасность. Кроме того, создается возможность автоматизированного обслуживания устройств по их фактическому состоянию с прогнозированием изменений рабочих параметров. Все это положительно сказывается на работе метрополитена.

Следует, однако, отметить ряд недостатков средств технического диагностирования и мониторинга, пути их ликвидации и перспективы совершенствования. Прежде всего, внедрение системы «наблюдения» за техническим состоянием системы за счет использования большого количества оборудования (измерительных контроллеров, каналобразующей аппаратуры, трактов передачи данных и т. д.) является достаточно дорогим. Стоимость средств диагностирования не может быть соизмерима со стоимостью самой системы управления. Задачу сокращения стоимости оборудования можно решать за счет использования одного универсального измерительного контроллера, последовательно подключаемого к нескольким объектам диагностирования с некоторым периодом [56, 57]. Другим недостатком подсистем технического диагностирования и мониторинга устройств автоматики на железных дорогах до сих пор является неполнота и недостаточная глубина диагностирования: не всегда обоснованы и верно установлены контрольные точки схемных узлов. Кроме того, до сих пор велика роль «человеческого фактора» в процессе работы с АРМ подсистем технического диагностирования и мониторинга.

Пути развития технического диагностирования и мониторинга на магистральных железных дорогах и метрополитенах связаны с ликвидацией их недостатков, снижением стоимости оборудования, с совершенствованием методик установления диагноза и прогноза. В чуть более далекой перспективе подсистемы технического диагностирования и мониторинга должны составлять единое целое с управляющими комплексами и осуществлять функции адаптивного управления.

## Библиографический список

1. Гавзов Д. В. Методы обеспечения безопасности дискретных систем / Д. В. Гавзов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 8. – С. 3–50.
2. Сапожников Вал. В. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Х. А. Христов, Д. В. Гавзов. – М. : Транспорт, 1995. – 272 с.
3. Сапожников Вал. В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. И. Шаманов. – М. : Маршрут, 2003. – 263 с.

4. Domingues Jose Luis M. Diagnostic Levels in Railway Applications / Jose Luis M. Domingues // Signal + Draht. – 2004. – № 1/2. – Pp. 31–34.
5. Railway Signalling & Interlocking / G. Theeg, S. Vlasenko // DW Media Group GmbH | Eurailpress. – Hamburg, 1st Edition, 2009. – 448 p.
6. Ефанов Д. В. Обеспечение безопасности движения за счет технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов, П. А. Плеханов // Транспорт Урала. – 2011. – № 3. – С. 44–48.
7. Лыков А. А. Техническое диагностирование и мониторинг состояния устройств ЖАТ / А. А. Лыков, Д. В. Ефанов, С. В. Власенко // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 5. – С. 67–72.
8. Микропроцессорные системы централизации : учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / Вл. В. Сапожников, В. А. Кононов, С. А. Куренков, А. А. Лыков, О. А. Наседкин, А. Б. Никитин, А. А. Прокофьев, М. С. Трясов ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2008. – 398 с.
9. Молодцов В. П. Системы диспетчерского контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : учеб. пособие / В. П. Молодцов, А. А. Иванов. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2010. – 140 с.
10. Ефанов Д. В. Основы построения и принципы функционирования систем технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : учеб. пособие / Д. В. Ефанов, А. А. Лыков. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2012. – 59 с.
11. Лыков А. А. Обнаружение и предотвращение неисправностей в ТРЦ / А. А. Лыков, Н. А. Богданов // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 10. – С. 17–21.
12. Иваникин М. С. Выбор ультразвукового датчика для организации контроля расстояний между подвижными элементами стрелочного перевода / М. С. Иваникин, Д. В. Ефанов // Сборник трудов научно-практической конференции «Проблемы безопасности и надежности микропроцессорных комплексов» ; под ред. Вал. В. Сапожникова. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – С. 150–157.
13. Жилин Д. В. Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте / Д. В. Жилин // Промышленный транспорт Урала. – 2007. – № 9. – С. 32–33.
14. Šmejda A. Analysis of Behavior of Railways Track Substructure / A. Šmejda, F. Ševčík // Scientific Papers of the University of Pardubice, Series B – The Jan Perner Transport Faculty 18, 2012. – Pp. 85–94.
15. Горбунов Б. Л. Аппаратные средства диспетчерского комплекса АПК-ДК / Б. Л. Горбунов // Автоматика, связь, информатика. – 2000. – № 9. – С. 19–21.
16. Аверкиев С. А. АСДК: Развитие и совершенствование системы / С. А. Аверкиев, С. С. Морозов // Автоматика, связь, информатика. – 2003. – № 7. – С. 35–36.
17. Нестеров В. В. Центр диагностики и мониторинга устройств ЖАТ / В. В. Нестеров, Д. С. Першин // Автоматика, связь, информатика. – 2009 – № 1. – С. 29–31.

18. Годяев А. И. Система автоматизированного мониторинга параметров физических величин, оказывающих непосредственное влияние на функционирование систем обеспечения безопасности движения / А. И. Годяев, А. А. Онищенко // Вестник транспорта Поволжья. – 2012. – № 2. – С. 29–34.
19. 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.
20. Ефанов Д. В. Техническое диагностирование и мониторинг устройств автоматики в метрополитенах / Д. В. Ефанов // Автоматизация в промышленности. – 2014. – № 3. – С. 4–8.
21. Горбунов Б. Л. 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.
22. Ефанов Д. В. Функциональное диагностирование стрелочных электроприводов переменного тока / Д. В. Ефанов, Е. В. Басалаев, В. Г. Алексеев // Транспорт Урала. – 2012. – № 4. – С. 26–29.
23. Иванов А. А. Новые приборы регистрации параметров устройств железнодорожной автоматики в системе АПК-ДК (СТДМ) / А. А. Иванов, А. К. Легоньков, В. П. Молодцов // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 3. – С. 282–297.
24. Bennets R. G. CAMELOT: A Computer Aided Measure for Logic Testability / R. G. Bennets, C. M. Maunder, G. D. Robinson // Proc. of the IEEE. – 1981. – Vol. 128. – Issue 5. – Pp. 177–189.
25. Ярмолик В. Н. Контроль и диагностика цифровых узлов ЭВМ / В. Н. Ярмолик. – Минск : Наука и техника, 1988. – 240 с.
26. Беннетс Р. Дж. Проектирование тестопригодных логических схем / Р. Дж. Беннетс. – М. : Радио и связь, 1990. – 176 с.
27. Пархоменко П. П. Теория вопросников / П. П. Пархоменко // Автоматика и телемеханика. – 1970. – № 4. – С. 140–159.
28. Гаскаров Д. В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры / Д. В. Гаскаров, Т. А. Голинкевич, А. В. Мозгалевский – М. : Советское радио, 1974. – 224 с.
29. Пархоменко П. П. Основы технической диагностики (оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства) / П. П. Пархоменко, Е. С. Согомонян. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 320 с.
30. Аржененко А. Ю. Оптимальные бинарные вопросники / А. Ю. Аржененко, Б. Н. Чугаев. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 128 с.
31. Лаврик В. В. Электрическая централизация стрелок и сигналов метрополитенов / В. В. Лаврик. – М. : Транспорт, 1984. – 239 с.
32. Махмутов К. М. Устройства интервального регулирования движения поездов на метрополитене. – М. : Транспорт, 1986. – 351 с.
33. Никитин А. Б. Реализация комплексной автоматизированной системы диспетчерского управления линией метрополитена / А. Б. Никитин, М. Ю. Королев // Наука и транспорт: метрополитены будущего. – 2010. – С. 39–41.

34. Правила технической эксплуатации метрополитенов Российской Федерации / Г. И. Минаев, С. Б. Сухов, А. Г. Федоров, М. В. Фурсаев, С. Н. Мизгирев. – М. : ЗАО «Издательский центр ТА «Инжиниринг»», 2003. – 110 с.
35. Инструкция по сигнализации на метрополитенах Российской Федерации / Г. И. Минаев, С. Б. Сухов, А. Г. Федоров, М. В. Фурсаев, С. Н. Мизгирев. – М. : ЗАО Издательский центр ТА Инжиниринг, 2003. – 96 с.
36. СТО РЖД 1.19.005–2008. Системы и устройства железнодорожной автоматики и телемеханики. Условные графические обозначения. – Введ. 2008-12-30. – М. : ПКТБ ЦШ ОАО «РЖД», 2008. – 32 с.
37. Алексеев А. В. Система диагностирования технических средств комплексной автоматизированной системы диспетчерского управления // Сборник трудов научно-практической конференции «Проблемы безопасности и надежности микропроцессорных комплексов» ; под ред. Вал. В. Сапожникова. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – С. 70–74.
38. Вотолевский А. Л. Проектирование дорожных центров мониторинга устройств ЖАТ / А. Л. Вотолевский // Автоматика, связь, информатика – 2012. – № 6. – С. 10–11.
39. Москвина Е. А. Опыт организации ЦУСИ / Е. А. Москвина // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 9. – С. 22–25.
40. Белов А. Г. Определение места короткого замыкания в тональных рельсовых цепях // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 5. – С. 33–34.
41. Волков А. А. Выявление предотказов стрелочных электроприводов / А. А. Волков, Д. С. Першин, С. Н. Григорьев // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 4. – С. 16–18.
42. Ефанов Д. В. Мониторинг параметров рельсовых цепей тональной частоты / Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Транспорт Урала. – 2013. – № 1. – С. 36–42.
43. Горишний Д. В. Алгоритм выявления зависимостей между сбоями устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Горишний, Э. А. Мамаев // Наука и техника транспорта. – 2010. – № 2. – С. 57–65.
44. Ефанов Д. В. О методе выявления логических ситуаций в системах технической диагностики и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2010. – № 4. – С. 66–71.
45. Бушуев С. В. Особенности измерений сигналов тональных рельсовых цепей / С. В. Бушуев, А. Н. Попов, К. В. Гундырев // Вестник транспорта Поволжья. – 2014. – № 5. – С. 94–97.
46. Ефанов Д. В. Метод автоматизации проверки логики функционирования объектов диагностирования в системах удаленного контроля и мониторинга / Д. В. Ефанов // Транспорт Урала. – 2014. – № 3. – С. 58–62.
47. Бочкарев С. В. Совершенствование методов диагностирования стрелочного переводного устройства / С. В. Бочкарев, А. А. Лыков, Д. С. Марков // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 40–50.
48. Ефанов Д. В. Некоторые аспекты развития систем функционального контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Транспорт Урала. – 2015. – № 1. – С. 35–40.

49. Ефанов Д. В. Автоматизация функций анализа диагностируемых объектов / Д. В. Ефанов // Автоматика и телемеханика железных дорог России. Техника, технология, сертификация : сб. науч. тр. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2011. – С. 75–82.
50. Ефанов Д. В. О достоверности фиксации предотказных состояний в системах непрерывного контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Транспорт : наука, техника, управление. – 2012. – № 2. – С. 27–30.
51. Сапожников Вл. В. Понятие предотказного состояния / Вл. В. Сапожников, А. А. Лыков, Д. В. Ефанов // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 12. – С. 6–8.
52. Согомоян Е. С. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомоян, Е. В. Слабаков. – М. : Радио и связь, 1989. – 208 с.
53. Fujiwara E. Code Design for Dependable Systems: Theory and Practical Applications / E. Fujiwara. – John Wiley & Sons, 2006. – 720 p.
54. Мехов В. Б. Контроль комбинационных схем на основе модифицированных кодов с суммированием / В. Б. Мехов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2008. – № 8. – С. 153–165.
55. 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.
56. Бушуев С. В. Система технической диагностики и удаленного мониторинга на базе микроЭВМ и программируемых контроллеров СТД-МПК / С. В. Бушуев, К. В. Гундырев // Наука и транспорт: метрополитены будущего. – 2010. – С. 46–48.
57. Средства технической диагностики и удаленного мониторинга СТД-МПК / А. Б. Никитин, С. В. Бушуев, К. В. Гундырев, А. В. Алексеев, С. В. Гребель, А. Н. Попов // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 10. – С. 6–8.

*Dmitry V. Efanov*

«Automation and remote control on railways» department,  
Petersburg state transport university

### **Organization of technical diagnostics and monitoring of train control systems at Petersburg subway lines**

Creation of subsystems for technical diagnostics and monitoring is a popular way for providing a high level of reliability and safety of supervisory systems. Similar systems are actively developed during the first half of the XXI century: new measuring controllers are being created, with mode of operation based on different physical effects, the degree of automation of the diagnostic information analysis are increasing, and the field of implementation are being expanded. The paper reviews the problems of organization of subsystems for technical diagnostics

and monitoring of automation and remote control devices of St. Petersburg subway lines – «Parnas» and «Spasskaya» stations and adjacent spans. The subsystem of technical diagnostics and monitoring was created by modernization of the known system «Hardware and software complex of supervisory control» and is one of the first systems operating at the subway facilities. The article describes the features of upgraded system, the sequence of actions for its design on selected facilities of St. Petersburg subway, as well as the features of automation of the analysis process of diagnostic information by the example of the logical analysis of adjacent track circuits. It also includes the disadvantages of the new system of health monitoring of a technical condition, as well as methods to improve it.

metro; automation; remote control; reliability; safety; technical diagnostics; monitoring; prediction; diagnostics information; pre-failure condition; logical analysis

### References

1. Gavzov D. V. , Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (1994). Safety methods for discrete systems [Metody obespecheniya bezopasnosti diskretnykh sistem], Automation and remote control (Avtomatika i telemekhanika), issue 8, pp. 3–50.
2. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Khristov Kh. A., Gavzov D. V. (1995). Methods of building of reliable microelectronic systems for railway automation [Metody postroyeniya bezopasnykh mikroelektronnykh sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki], Moscow, Transport, 272 p.
3. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Shamanov V. I. (2003). Reliability of railroad automation, remote control and communication systems [Nadezhnost' sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki, telemekhaniki i svyazi], Moscow, Route (Marshrut), 263 p.
4. Domingues Jose Luis M. (2004). Diagnostic Levels in Railway Applications, Signal + Draht, issue 1/2, pp. 31–34.
5. Theeg G., Vlasenko S. (2009). Railway signalling & interlocking / DW Media Group GmbH | Eurailpress, Hamburg, 1st Edition, 448 p.
6. Efanov D. V., Plekhanov P. A. (2011). Transport safety precautions due to technical diagnostics and monitoring of railway automation and remote control devices [Obespecheniye bezopasnosti dvizheniya za schet tekhnicheskogo diagnostirovaniya i monitoringa ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki], Transport of the Ural (Transport Urala), issue 3, pp. 44–48.
7. Lykov A. A., Efanov D. V., Vlasenko S. V. (2012). Technical diagnosis and monitoring of ZhAT devices state [Tekhnicheskoye diagnostirovaniye i monitoring sostoyaniya ustroystv ZhAT], Transport of the Russian Federation (Transport Rossiyskoy Federatsii), issue 5, pp. 67–72.
8. Sapozhnikov Vl. V., Kononov V. A., Kurenkov S. A., Lykov A. A., Nasedkin O. A., Nikitin A. B., Prokof'ev A. A., Tryasov M. S. (2008). Microprocessor-based systems of centralization: textbook for vocational training and colleges of railway transport [Mikroprotsessornyye sistemy tsentralizatsii: Uchebnik dlya tekhnikumov i kolled-

- zhey zheleznodorozhnogo transporta] / Under the editorship of Vl. V. Sapozhnikov, Moscow, GOU «Training center for railway transport education» (GOU «Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte»), 398 p.
9. Molodtsov V.P., Ivanov A. A. (2010). Dispatching control and railway automation and remote control monitoring systems [Sistemy dispetcherskogo kontrolya i monitoringa ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki], textbook. St. Petersburg, Petersburg State Transport University (Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya), 140 p.
  10. Efanov D. V., Lykov A. A. (2012). Fundamentals of architecture and principles of operations of technical diagnosis and monitoring systems for railway automation and remote control devices [Osnovy postroyeniya i printsipy funktsionirovaniya sistem tekhnicheskogo diagnostirovaniya i monitoringa ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki], textbook. St. Petersburg, Petersburg State Transport University (Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya), 59 p.
  11. Lykov A. A., Bogdanov N. A. (2010). Detection and prevention of TRTs faults [Obnaruzheniye i predotvrashcheniye neispravnostey v TRTs], Automation, communication, information science (Avtomatika, svyaz', informatika), issue 10, pp. 17–21.
  12. Ivanikin M. S., Efanov D. V. (2015). Selection of ultrasonic sensor for checking the distance between moving components of point switch [Vybor ul'trazvukovogo datchika dlya organizatsii kontrolya rasstoyaniy mezhdu podvizhnymi elementami strelochnogo perevoda]. Proceedings of science and practical conference «Safety and reliability problems of microprocessor-based complexes» (Sbornik trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii: «Problemy bezopasnosti i nadezhnosti mikroprotsessornykh kompleksov»); under the editorship of Vl. V. Sapozhnikov, St. Petersburg, PSTU (PGUPS), pp. 150–157.
  13. Zhilin D. V. (2007). Resource-saving technologies for railway transport [Resursoberegayushchiye tekhnologii na zheleznodorozhnom transporte], Industrial Ural Transport (Promyshlennyy Transport Urala), issue 9, pp. 32–33.
  14. Šmejda A., Ševčík F. (2012). Analysis of Behavior of Railways Track Substructure, Scientific Papers of the University of Pardubice, Series B – The Jan Perner Transport Faculty 18, pp. 85–94.
  15. Gorbunov B. L. (2000). Hardware of APK-DK dispatching complex [Apparatnyye sredstva dispetcherskogo kompleksa APK-DK], Automation, communication, information science (Avtomatika, svyaz', informatika), issue 9, pp. 19–21.
  16. Averkiev S. A., Morozov S. S. (2003). ASDK: System development and improvement [ASDK: Razvitiye i sovershenstvovaniye sistemy], Automation, communication, information science (Avtomatika, svyaz', informatika), issue 7, pp. 35–36.
  17. Nesterov V. V., Pershin D. S. (2009). Diagnostics and monitoring center for ZhAT devices [Tsentr diagnostiki i monitoringa ustroystv ZhAT], Automation, communication, information science (Avtomatika, svyaz', informatika), pp. 29–31.
  18. Godyaev A. I., Onishchenko A. A. (2012). System of automated monitoring of physical parameters, that directly influence on operation of traffic safety system [Sistema avtomatizirovannogo monitoringa parametrov fizicheskikh velichin, okazyvayushchikh neposredstvennoye vliyaniye na funktsionirovaniye sistem obespecheniya

- bezopasnosti dvizheniya], Bulletin of Volga region transport (Vestnik transporta Povolzh'ya), issue 2, pp. 29–34.
19. Sepety A. A., Fedorchuk A. E. (2013). Diagnostics and monitoring technology of ZhAT devices at the distance level for automation and remote control [Tekhnologiya diagnostirovaniya i monitoringa ustroystv ZHAT na urovne distantsiy avtomatiki i telemekhaniki], Informatization and communication (Informatizatsiya i svyaz'), issue 2, pp. 71–76.
  20. Efanov D. V. (2014). Technical diagnostics and monitoring of subway automation devices [Tekhnicheskoye diagnostirovaniye i monitoring ustroystv avtomatiki v metropolitenakh], Industrial automation (Avtomatizatsiya v promyshlennosti), issue 3, pp. 4–8.
  21. Gorbunov B. L., Basalaev E. V., Efanov D. V., Fedorov A. E. (2014). APK-DK software improvement [Sovershenstvovanie programmnyh sredstv APK-DK], Automation, communication, information science (Avtomatika, svyaz', informatika), issue 4, pp. 9–10.
  22. Efanov D. V., Basalaev E. V., Alekseev V. G. (2012). Operational diagnostics of AC electric motors of points [Funktsional'noye diagnostirovaniye stroelchnykh elektroprivodov peremennogo toka], Ural Trasport (Transport Urala), issue 4, pp. 26–29.
  23. Ivanov A. A., Legon'kov A. K., Molodtsov V. P. (2015). New railway automation parameter register devices in APK-DK system (STDM) [Novyye pribory registratsii parametrov ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki v sisteme APK-DK (STDM)], Transport automation (Avtomatika na transporte), vol. 1, issue 3, pp. 282–297.
  24. Bennets R. G., Maunder C. M., Robinson G. D. (1981). CAMELOT: A Computer Aided Measure for Logic Testability, Proceedings of the IEEE, vol. 128, issue 5, pp. 177–189.
  25. Yarmolik V. N. (1988). Control and diagnostics of computer digital assembly [Kontrol' i diagnostika tsifrovyykh uzlov EVM], Minsk, Science and technology (Nauka i tekhnika), 240 p.
  26. Bennets R. G. (1990). Design of testable logic circuits [Proyektirovaniye testoprihodnykh logicheskikh skhem], Moscow, Radio and communication (Radio i svyaz'), 176 p.
  27. Parkhomenko P. P. (1970). Theory of questionnaires [Teoriya voprosnikov], Automation and remote control (Avtomatika i telemekhanika), issue 4, pp. 140–159.
  28. Gaskarov D. V., Golinkevich T. A., Mozgalevsky A. V. (1974). Predicting of technical state and reliability of radio and electronic equipment [Prognozirovaniye tekhnicheskogo sostoyaniya i nadezhnosti radioelektronnoy apparatury], Moscow, Sovetskoye radio, 224 p.
  29. Parkhomenko P. P., Sogomonyan E. S. (1981). Basics of technical diagnostics (optimization of diagnostic algorithms and equipment) [Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki (optimizatsiya algoritmov diagnostirovaniya, apparaturnyye sredstva)], Moscow, Energoatomizdat, 320 p.
  30. Arzhenenko A. Yu., Chugaev B. N. (1989). Optimal binary questionnaires [Optimal'nyye binarnyye voprosniki], Moscow, Energoatomizdat, 128 p.

31. Lavrik V.V. (1984). Electric interlocking of subway switches and signals [Elektricheskaya tsentralizatsiya strelok i signalov metropolitenov], Moscow, Transport, 239 p.
32. Makhmutov K.M. (1986). Subway train separation devices [Ustroystva interval'nogo regulirovaniya dvizheniya poyezdov na metropolitene], Moscow, Transport, 351 p.
33. Nikitin A.B., Korolev M. Yu. (2010). Implementation of complex automated dispatching control system for subway line [Realizatsiya kompleksnoy avtomatizirovannoy sistemy dispetcherskogo upravleniya liniyey metropolitena], Science and transport. Subway of the future (Nauka i transport. Metropoliteny budushchego), pp. 39–41.
34. Minaev G.I., Sukhov S.B., Fedorov A.G., Fursaev M.V., Mizgirev S.N. (2003). Rules of subway technical operation of the Russian Federation [Pravila tekhnicheskoy ekspluatatsii metropolitenov Rossiyskoy Federatsii], Moscow, Ltd. Publishing center TA Inzhiniring (ZAO Izdatel'skiy tsentr TA Inzhiniring), 110 p.
35. Minaev G.I., Sukhov S.B., Fedorov A.G., Fursaev M.V., Mizgirev S.N. (2003). Manual for subway signalling of the Russian Federation [Instruktsiya po signalizatsii na metropolitenakh Rossiyskoy Federatsii], Moscow, Ltd. Publishing center TA Inzhiniring (ZAO Izdatel'skiy tsentr TA Inzhiniring), 96 p.
36. STO RZhD 1.19.005–2008. Railway automation and remote control systems and devices. Symbols [Sistemy i ustroystva zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki. Uslovnnyye graficheskiye oboznacheniya], Put into force 30.12.2008, Moscow, PKTB TsSh JSC «RZD», 32 p.
37. Alekseev A.G. (2015). Diagnostics system for technical facilities of complex automated dispatching system [Sistema diagnostirovaniya tekhnicheskikh sredstv kompleksnoy avtomatizirovannoy sistemy dispetcherskogo upravleniya], Proceedings of science and practical conference «Safety and reliability problems of microprocessor-based complexes» (Sbornik trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii: «Problemy bezopasnosti i nadezhnosti mikroprotsessornykh kompleksov»); under the editorship of Vl. V. Sapozhnikov, St. Petersburg, PSTU (PGUPS), pp. 70–74.
38. Votolevsky A.L. (2012). Design of road centres for ZhAT devices monitoring [Proyektirovaniye dorozhnykh tsentrov monitoringa ustroystv ZhAT], Automation, communication, information science (Avtomatika, svyaz', informatika), issue 6, pp. 10–11.
39. Moskvina E.A. (2013). Organization of TsUSI. Experience [Opyt organizatsii TsUSI], Automation, communication, information science (Avtomatika, svyaz', informatika), issue 9, pp. 22–25.
40. Belov A.G. (2014). Determination of short cut location in audio frequency track circuits [Opredeleniye mesta korotkogo zamykaniya v tonal'nykh rel'sovykh tsepyakh], Automation, communication, information science (Avtomatika, svyaz', informatika), issue 5, pp. 33–34.
41. Volkov A.A., Pershin D.S., Grigor'ev S.N. (2014). Determination of pre-failures for points electric motors [Vyyavleniye pri otkazov strelochnykh elektroprivodov], Automation, communication, information science (Avtomatika, svyaz', informatika), issue 4, pp. 16–18.

42. Efanov D. V., Bogdanov N. A. (2013). Monitoring of audio-frequency track circuits parameters [Monitoring parametrov rel'sovykh tsepey tonal'noy chastoty], *Transport of the Ural (Transport Urala)*, issue 1, pp. 36–42.
43. Gorishny D. V., Mamaev E. A. (2010). Algorithm for detection of dependencies between failures of railway automation and remote control devices [Algoritm vyyavleniya zavisimostey mezhdu sboiyami ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki], *Transport science and technology (Nauka i tekhnika transporta)*, issue 2, pp. 57–65.
44. Efanov D. V. (2010). On method of detection of logical cases in technical diagnostics and monitoring systems of railway automation and remote control [O metode vyyavleniya logicheskikh situatsiy v sistemakh tekhnicheskoy diagnostiki i monitoringa ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki, *Proceedings of Rostov State Transport University (Trudy Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya)*, issue 4, pp. 66–71.
45. Bushuev S. V., Popov A. N., Gundyrev K. V. (2014). Particularities of signal measuring of audio frequency track circuits [Osobennosti izmereniy signalov tonal'nykh rel'sovykh tsepey], *Bulletin of Volga region transport (Vestnik transporta Povolzh'ya)*, issue 5, pp. 94–97.
46. Efanov D. V. (2014). Method for automation of operational logic checking of objects under diagnostics in remote control and monitoring systems [Metod avtomatizatsii proverki logiki funktsionirovaniya ob'yektov diagnostirovaniya v sistemakh udalennogo kontrolya i monitoringa], *Transport of the Ural (Transport Urala)*, issue 3, pp. 58–62.
47. Bochkarev S. V., Lykov A. A., Markov D. S. (2015). Improving of methods for point switch diagnostics [Sovershenstvovaniye metodov diagnostirovaniya strelochnogo perevodnogo ustroystva], *Transport automation (Avtomatika na transporte)*, vol. 1, issue 1, pp. 40–50.
48. Efanov D. V. (2015). Some aspects of developing of concurrent error detection (CED) systems of railway automation and remote control devices [Nekotoryye aspekty razvitiya sistem funktsional'nogo kontrolya ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki], *Transport of the Ural (Transport Urala)*, issue 1, pp. 35–40.
49. Efanov D. V. (2011). Automation of analysis functions of objects under diagnostics [Avtomatizatsiya funktsiy analiza diagnostiruyemykh ob'yektov], *Automation and remote control of Russian railways. Engineering, technology, certification. Collection of scientific papers (Avtomatika i telemekhanika zheleznnykh dorog Rossii. Tekhnika, tekhnologiya, sertifikatsiya. Sbornik nauchnykh trudov)*, St. Petersburg, PSTU (PGUPS), 2011, pp. 75–82.
50. Efanov D. V., Bogdanov N. A. (2012). On accuracy of pre-failure conditions determination within continuous control systems for railway automation and remote control devices [O dostovernosti fiksatsii predotkaznykh sostoyaniy v sistemakh nepreryvnogo kontrolya ustroystv zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki], *Transport: science, technology, management (Transport: nauka, tekhnika, upravleniye)*, issue 2, pp. 27–30.
51. Sapozhnikov V. V., Lykov A. A., Efanov D. V. (2012). Concept of pre-failure condition [Ponyatiye predotkaznogo sostoyaniya], *Automation, communication, information science (Avtomatika, svyaz', informatika)*, issue 12, pp. 6–8.

52. Sogomonyan E. S., Slabakov E. V. (1989). Self-checking devices and fault-tolerant systems [Samoproveryayemyye ustroystva i otkazoustoychivyye sistemy], Moscow, Radio and communication (Radio i svyaz'), 208 p.
53. Fujiwara E. (2006). Code Design for Dependable Systems: Theory and Practical Applications. John Wiley & Sons, 720 p.
54. Mekhov V. B., Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V. (2008). Checking of combinational circuits, based on modified sum codes [Kontrol' kombinatsionnykh skhem na osnove modifitsirovannykh kodov s summirovaniyem], Automation and remote control (Avtomatika i telemekhanika), issue 8, pp. 153–165.
55. Ubar R., Raik J., Vierhaus H.-T. (2011). Design and Test Technology for Dependable Systems-on-Chip (Premier Reference Source), Information Science Reference, Hershey, N. Y., IGI Global, 578 p.
56. Bushuev S. V., Gundyrev K. V. (2010). Technical diagnostics and remote monitoring system, based on micro-computer and programmable controllers STD-MPK [Sistema tekhnicheskoy diagnostiki i udalennogo monitoringa na baze mikroEVM i programmiruyemykh kontrollerov STD-MPK], Science and transport. Metro of the future (Nauka i transport. Metropoliteny budushchego), pp. 46–48.
57. Nikitin A. B., Bushuev S. V., Gundyrev K. V., Alekseev A. V., Grebel' S. V., Popov A. N. (2012). Hardware for remote monitoring and technical diagnostics of STD-MPK [Sredstva tekhnicheskoy diagnostiki i udalennogo monitoringa STD-MPK], Automation, communication, information science (Avtomatika, svyaz', informatika), issue 10, pp. 6–8.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Вал. В. Сапожниковым  
Поступила в редакцию 03.07.2015, принята к публикации 15.07.2015*

*ЕФАНОВ Дмитрий Викторович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.  
e-mail: TrES-4b@yandex.ru

© Ефанов Д. В., 2016