

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»
(ФГБОУ ВПО ПГУПС)



Проблемы безопасности и надежности микропроцессорных комплексов

Сборник трудов
научно-практической конференции

*Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»
Петербургского государственного университета путей сообщения
Императора Александра I,
27–28 мая 2015 года, Санкт-Петербург*

Санкт-Петербург
2015

УДК 656.25+681.518.22
ББК 32.965
П78

П78 Проблемы безопасности и надежности микропроцессорных комплексов : сб. трудов научно-практической конференции / Под ред. Вал. В. Сапожникова. – СПб. : ПГУПС, 2015. – 187 с.

ISBN 978-5-7641-0791-2

В настоящем издании рассматриваются вопросы построения и эксплуатации современных систем управления движением поездов на магистральных железных дорогах и в метрополитенах на микроэлектронной и микропроцессорной основе. Освещаются проблемы в области автоматизированного проектирования систем автоматики, электронного документооборота, стандартизации и сертификации, обеспечения отказоустойчивости и контролепригодности логических схем.

Сборник предназначен для специалистов в области железнодорожной автоматики, телемеханики и связи, также может быть полезен студентам и аспирантам соответствующих специальностей.

УДК 656.25+681.518.22
ББК 32.965

ISBN 978-5-7641-0791-2

© ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015
© Босов С. А., дизайн обложки, 2015

**Научно-практическая конференция
«Проблемы безопасности и надежности
микропроцессорных комплексов»**

Сопредседатели оргкомитета

Сапожников Вал. В. – ФГБОУ ВПО ПГУПС, доктор технических наук, профессор

Титова Т. С. – ФГБОУ ВПО ПГУПС, доктор технических наук, профессор

Члены оргкомитета

Никитин А. Б. – ФГБОУ ВПО ПГУПС, доктор технических наук, профессор

Лыков А. А. – ФГБОУ ВПО ПГУПС, кандидат технических наук, доцент

Ответственный секретарь конференции

Ефанов Д. В.

тел./факс: 8(812) 457-8579

email: tres-4b@yandex.ru

Программный комитет конференции

Бестемьянов П. Ф. – ФГБОУ ВПО МГУПС (Москва), доктор технических наук, профессор

Бочков К. А. – БелГУТ (Гомель), доктор технических наук, профессор

Василенко М. Н. – ФГБОУ ВПО ПГУПС (Санкт-Петербург), доктор технических наук, профессор

Годяев А. И. – ФГБОУ ВПО ДвГУПС (Хабаровск), доктор технических наук, профессор

Горелик А. В. – ФГБОУ ВПО МГУПС (Москва), доктор технических наук, профессор

Гуменников В. Б. – ФГБОУ ВПО СамГУПС (Самара), доктор технических наук, профессор

Долгий И. Д. – ФГБОУ ВПО РГУПС (Ростов-на-Дону), доктор технических наук, профессор

Ефанов Д. В. – ФГБОУ ВПО ПГУПС (Санкт-Петербург), кандидат технических наук

Канаев А. К. – ФГБОУ ВПО ПГУПС (Санкт-Петербург), доктор технических наук, доцент

Коваленко В. Н. – ФГБОУ ВПО УрГУПС (Екатеринбург), кандидат технических наук, доцент

Кокурин И. М. – ИПТ РАН (Санкт-Петербург), доктор технических наук, профессор

Кравцов Ю. А. – ФГБОУ ВПО МГУПС (Москва), доктор технических наук, профессор

Кудряшов В. А. – ФГБОУ ВПО ПГУПС (Санкт-Петербург), кандидат технических наук, профессор
Кустов В. Ф. – УкрГАЖТ (Харьков), кандидат технических наук, доцент
Леушин В. Б. – ФГБОУ ВПО СамГУПС (Самара), кандидат технических наук, профессор
Мезитис М. – RTU (Рига), доктор наук, доцент
Митрохин В. Е. – ФГБОУ ВПО ОмГУПС (Омск), доктор технических наук, профессор
Наседкин О. А. – ФГБОУ ВПО ПГУПС (Санкт-Петербург), кандидат технических наук, доцент
Никищенко С. А. – ФГБОУ ВПО СамГУПС (Самара), доктор технических наук, профессор
Пультяков А. В. – ФГБОУ ВПО ИрГУПС (Иркутск), кандидат технических наук, доцент
Сапожников Вл. В. – ФГБОУ ВПО ПГУПС (Санкт-Петербург), доктор технических наук, профессор
Тринкауф Й. – TUD (Дрезден), доктор наук, профессор
Шаманов В. И. – ФГБОУ ВПО МГУПС (Москва), доктор технических наук, профессор
Швалов Д. В. – ФГБОУ ВПО РГУПС (Ростов-на-Дону), кандидат технических наук, доцент
Яшин М. Г. – ВИ(ИТ)ВАМТО им. генерала А. В. Хрулева (Санкт-Петербург), кандидат технических наук, доцент

СОДЕРЖАНИЕ

Системы и устройства автоматики и телемеханики

<i>Никитин А. Б., Королев И. Н.</i>	
Особенности управления поездами по радиоканалу	7
<i>Федосеев А. А., Воронин С. Ю.</i>	
Особенности компьютерных систем управления на железнодорожном транспорте и в метрополитенах	10
<i>Ковкин А. Н.</i>	
Бесконтактное управление электродвигателями в системах автоматики железных дорог и метрополитенов	18
<i>Идуков А. Ю., Гавзов А. Д., Коваленко А. Н.</i>	
Принципы синхронизации комплектов микропроцессорных централизаций	24
<i>Кондратенко С. Л., Селезнев Р. И.</i>	
Бесконтактное реверсирующее реле	28

Системы автоматики в метрополитенах

<i>Никульчиков П. М.</i>	
Системы автоматического управления поездами метрополитена	32
<i>Шатохин В. А.</i>	
Системы электропитания микропроцессорных комплексов метрополитенов	40
<i>Шумаков К. А.</i>	
Автоматизация функций управления электроснабжением станций метрополитенов	49
<i>Никулин Д. Г., Бутузов К. А.</i>	
Обеспечение требований по информационной безопасности для Комплексной автоматизированной системы диспетчерского управления: создание демилитаризованной зоны	59
<i>Кононов С. В.</i>	
Организация канала связи между поездной и станционной аппаратурой автоведения на основе устройств «Моха»	63
<i>Лазарев В. А., Лазарев А. А., Лазарева Н. В.</i>	
Обработка данных архивов комплексной автоматизированной системы диспетчерского управления	66
<i>Алексеев А. В.</i>	
Система диагностирования технических средств комплексной автоматизированной системы диспетчерского управления	70
<i>Идуков А. Ю.</i>	
Тренажерный комплекс диспетчера движения	75

Стандартизация и сертификация

<i>Васильев Д. А., Гизлер С. В., Наседкин О. А., Шайфер М. П.</i>	
Представление данных в модели полигона управления экспертной программы для испытаний программного обеспечения систем микропроцессорных централизаций	80

<i>Хорьков А. Н., Рябов В. С.</i>	
Методика тестирования микропроцессорной централизации МПЦ-МПК ...	84
<i>Блюдов А. А.</i>	
Особенности разработки безопасной микроэлектронной аппаратуры кодирования рельсовых цепей	88

Системы менеджмента качества

<i>Плеханов П. А.</i>	
Проблема интеграции качества и безопасности железнодорожных перевозочных услуг	95

Техническая диагностика и прогнозирование

<i>Иванов А. А., Легоньков А. К., Молодцов В. П.</i>	
Автомат диагностики силовых параметров стрелочного электропривода ...	110
<i>Ефанов Д. В., Богданов Н. А.</i>	
Контроль параметров стрелочных электроприводов	118
<i>Рубцова С. В.</i>	
Применение дефектоскопных датчиков для расширения функциональных возможностей систем технического диагностирования и мониторинга устройств автоматики	129
<i>Зозуля А. Р.</i>	
Предупреждение неисправностей в системах технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики	136
<i>Иваникин М. С., Ефанов Д. В.</i>	
Выбор ультразвукового датчика для контроля расстояний между подвижными элементами стрелочного перевода	150

Проектирование и тестирование логических устройств

<i>Дмитриев В. В.</i>	
Особенности синтеза генераторов кодов с суммированием взвешенных переходов при различной полноте информации о контролируемой логической схеме	158
<i>Черкасова Т. Х.</i>	
Обнаружение ошибок в системах автоматики и вычислительной техники с помощью кодов Бергера и его модификаций	167
<i>Сапожников Вал. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В., Черепанова М. Р.</i>	
Влияние правил модификации классических кодов Бергера на сложность технической реализации систем функционального контроля	173

Проблемы подготовки квалифицированных кадров

<i>Ефанов Д. В., Дмитриев В. В.</i>	
Научно-практический семинар «Автоматика и дискретная математика»	180
Авторский указатель	187

Системы и устройства автоматики и телемеханики

УДК 656.25

**А. Б. Никитин, д-р техн. наук,
И. Н. Королев**

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

ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЕЗДАМИ ПО РАДИОКАНАЛУ

Введение

Передача данных по радиоканалу активно используется для систем железнодорожного транспорта. Наибольшее развитие получили информационные системы, которые позволяют передавать данные о местоположении локомотива, диагностическую информацию о работе бортового оборудования. Среди подобных российских разработок можно выделить систему СВЛ ТР компании «НПО «ТрансИнфоПроект»», позволяющую контролировать техническое состояние, дислокацию, параметры движения тягового подвижного состава и передавать технологическую информацию на борт. Компания ЗАО «ОЦВ» предлагает единую систему мониторинга тягового подвижного состава, где каждый локомотив, оснащенный оборудованием радиосвязи, должен передавать данные местоположения, расхода топлива или электроэнергии, диагностические данные. Система АСУ-Д компании ОАО «НИИАС» используется для передачи на бортовые устройства расписания движения поездов. Можно считать, что на сегодняшний день в ОАО «РЖД» цифровой радиоканал в основном используется для информационных задач, поэтому сбой связи не оказывает влияния на нарушение графика движения поездов и работу железнодорожного транспорта.

Другие требования предъявляются к сбоям в работе радиосвязи в управляющих системах [1, 2]. Наиболее общим принципом является контроль наличия связи, причем при потере соединения часто выполняется остановка локомотива. Среди управляющих систем с применением радиоканала наибольшее распространение получили ETCS (European Train Control System), ITCS (Incremental Train Control System), ATACS, CBTS, CTCS и др. Из отечественных систем управления можно выделить МАЛС и ITA-RUS-ATC.

В системе ETCS при потере соединения спустя время, задаваемое переменной $T_NVCONTACT$, включается служебное торможение (на итальянских ж. д., к примеру, значение $T_NVCONTACT$ составляет 7 секунд), после чего машинист может двигаться дальше в заданном режиме под свою ответственность и с ограничением скорости. Аналогичный способ управления применяется и в системах ITCS, ATACS, CBTS, CTCS, МАЛС. В системе ITARUS-ATC при потере связи спустя время $T_NVCONTACT$ осуществляется переход на движение по сигналам автоматической локомотивной сигнализации, что позволяет избежать лишних остановок и задержек.

Рассмотрим основные принципы контроля наличия соединения по радиоканалу. В системе ETCS на локомотив каждые 5 секунд посылается специальное сообщение № 24, при получении которого бортовое оборудование сбрасывает счетчик времени на ноль. В случае неполучения сообщения счетчик времени превышает значение $T_NVCONTACT$, приводящее к служебному торможению. Стационарное оборудование осуществляет контроль соединения на основе периодического получения от локомотива сообщения о местоположении.

Важно учитывать, что информация, передаваемая по радиоканалу, имеет малое время активности в связи с изменениями состояния объектов инфраструктуры. Поэтому в некоторых системах в протокол вносится дополнительное поле «штамп времени», которое позволяет оценить актуальность информации. При использовании поля «штамп времени» необходимо обеспечить синхронизацию времени бортового и стационарного оборудования. На борту данная задача решается за счет информации, получаемой от спутникового навигационного оборудования. Синхронизация времени стационарного оборудования производится либо с помощью специализированного спутникового навигационного оборудования, либо за счет применения протокола NTP (Network Time Protocol).

Исходя из обязательного требования контроля наличия радиосвязи для систем управления, необходимо оценить, с какой периодичностью осуществлять проверку радиосвязи и какое время допускается на восстановление радиосвязи при потере соединения. Цикличность проверки является дополнительным временем.

Для систем управления движением поездов необходимо контролировать наличие радиосвязи. Периодичность контроля и время отсутствия связи определяется в зависимости от используемой системы управления и скорости изменения состояния объектов инфраструктуры.

При следовании поезда по перегону в соответствии с полученным разрешением на движение (расстоянием до точки остановки и профилем скорости) потеря радиосвязи может привести к опасной ситуации в един-

ственном случае – скатывания отцепившихся вагонов от впереди идущего состава. При условии следования поезда лишь в соответствии с полученным до потери связи разрешением на движение необходимо останавливать поезд лишь при наличии подъема по ходу следования. В остальных случаях возможно проследовать до переданных ранее координат точки остановки. С учетом разрешения на движение в несколько километров и скорости движения грузового поезда допускается следование при потере радиосвязи в течение 2–3 минут.

На станции изменение ситуации зависит от скорости работы системы электрической централизации. Расчет допустимого времени потери связи можно определить исходя из времени, требуемого на отмену маршрута. Следует учитывать, что маршрут управляемого поезда должен быть защищен от враждебных маршрутов с помощью улавливающих тупиков и спаренных стрелок. Отмена предварительно замкнутого маршрута осуществляется в течении 6 секунд, отмена окончательно замкнутого маршрута – за 3 минуты 15 секунд. Поэтому логично разрешить сокращение движение при потере связи на перегоне до входного светофора. При потере связи на приемоотправочном пути станции возможно продолжать движение до полученных ранее координат точки в течение трех минут. Следует учитывать, что если при входе поезда на станцию задан составной маршрут, состоящий из нескольких элементарных, то первый является окончательно замкнутым, а последующие предварительно замкнутыми. Поэтому движение при потере связи должно быть разрешено до конца первого элементарного маршрута.

Заключение

В целом, при создании систем управления по радиоканалу необходимо контролировать состояние соединения по цифровому радиоканалу, например посредством использования специализированного протокола. Расчет допустимого времени разрыва соединения и алгоритмы бортовой системы должны учитывать фактическое местоположение и временные характеристики работы систем железнодорожной автоматики.

Библиографический список

1. 3GPP TR 23.910 V5.5.0. 2005. – URL: <http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/23910-491.pdf> (дата обращения 10.03.2014).
2. WISMO228 WIREless Standard MOdem AT Command Manual. 2009. – URL: <https://www.terraelectronica.ru/ds/pdf/w/wismo228atcommandmanualrev001.pdf> (дата обращения 10.03.2014).

E-mail: nikitin@crtc.spb.ru

**А. А. Федосеев,
С. Ю. Воронин**

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

ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ И В МЕТРОПОЛИТЕНАХ

Введение

Современный подход к организации процесса оперативного управления предусматривает использование новых технических средств и передовых технологий для обеспечения высоких показателей функционирования транспортного комплекса в целом и сведения к минимуму любых производственных потерь [1]. Практическая реализация этой задачи возможна при условии повышения качества управления, связанного с применением высокоэффективных методов и систем управления.

1. Классификация систем управления

Для того чтобы определить класс систем, используемых для оперативного управления, воспользуемся классификацией К. Боулдинга [2], интересной тем, что она определяет иерархию систем по их отношению к информации.

Первый уровень – уровень статической структуры. Описание этой структуры служит началом систематизированных теоретических знаний, так как невозможно создать точную функциональную или динамическую теорию, не имея достоверного описания статических взаимоотношений.

Второй уровень иерархии систем представляет собой уровень простой динамической системы с predetermined, обязательными движениями. Он может быть назван уровнем «часового механизма».

Третьим является уровень механизма управления или, другими словами, системы с управляемыми циклами обратной связи, причем его можно назвать уровнем «термостата».

Четвертый уровень – «открытая система», самосохраняющаяся структура. Уровень, на котором живое начинает отличаться от неживого, может быть назван уровнем «клетки».

5. Пятый уровень можно назвать «генетически-общественным» или уровнем «растения».

6. Шестой уровень – уровень «животных».

7. Седьмой уровень рассматривает отдельного человека как систему и называется «человеческий».

8. Восьмой уровень составляют общественные (социальные) институты.

9. Последний уровень – трансцендентные системы. Уровень, указывающий на потенциальную возможность существования еще более высокого класса систем.

Классификация К. Боулдинга указывает на процесс непрерывного повышения значимости информационной составляющей по мере роста организационной и поведенческой сложности систем вплоть до трансцендентного уровня.

В рассмотренной иерархии первый и второй уровни определяют системы, существование которых не связано с переработкой информации. Третий уровень отличается от простой системы устойчивого равновесия главным образом тем, что передача и анализ информации составляют существенную часть системы. Начиная с четвертого уровня и выше у систем появляется собственное отношение к входной информации, адаптация, реакция на входные воздействия с учетом знаний или образов, самосознание.

Используя предложенную классификацию, можно сказать, что системы оперативного управления в целом представляют собой взаимодействие систем третьего, седьмого и восьмого уровней. Иными словами, представляют собой комплекс, состоящий из технических средств управления, человека-оператора (диспетчера), использующего эти технические средства, и множества других заинтересованных участников, оказывающих влияние на процесс управления (пассажиры, руководство, диспетчеры различных служб, дежурные по станции, машинисты, обслуживающий персонал и др.).

Процесс управления в общем виде представляет собой взаимодействие внешней среды, объекта и системы управления, его структурная схема представлена на рис. 1.

С помощью датчиков (Д) система управления получает информацию о состоянии объекта и внешней среды. На основании полученных данных, при использовании модели знаний (М) об объекте и целей управления система с помощью формирователя решений (Р) вырабатывает выходное воздействие, которое посредством исполнительных органов (ИО) передается на объект.

2. Аспекты развития систем управления

В первых релейных системах электрической централизации (ЭЦ) в основном преобладало раздельное управление стрелками, степень автоматизации была невелика и заключалась в сборе данных о состоянии объектов управления и контроля для создания информационной модели процесса управления и обеспечении условий безопасности [3]. В дальнейшем

развитие релейных систем ЭЦ в основном характеризовалось усилением зависимостей для повышения безопасности движения поездов и внедрения дополнительных функций, позволяющих исключить в работе оперативного персонала монотонные, часто повторяющиеся операции, на которые, по статистике, приходится наибольшее число ошибок. В системах ЭЦ стали применять маршрутное управление стрелками, накопление маршрутов, автоматические режимы управления сигналами, автоматический оборот (в метрополитенах) и др. Другими словами, осуществлялись мероприятия, направленные на улучшение труда оперативного персонала и исключение ошибочных действий в штатных режимах. Однако сама структура системы управления оставалась неизменной – это человек, который имеет информацию об объекте управления, знает цели управления и способен принимать решения для достижения требуемых целей, и технические средства, с помощью которых воздействуют на объект управления и получают данные о его состоянии. Технические средства функционируют по жестко заданным алгоритмам, заложенным в схемные решения.

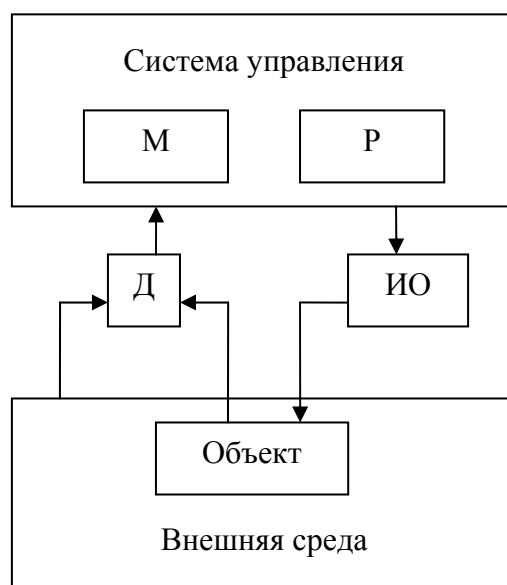


Рис. 1. Структурная схема процесса управления

Важный аспект в структуре управления – наличие или отсутствие обратной связи. Это обстоятельство определяет замкнутый и разомкнутый характер системы управления. Замкнутые системы с позиции автоматизированного управления считаются более эффективными. Традиционные системы ЭЦ и ДЦ, используемые на железнодорожном транспорте и в метрополитенах, с технической точки зрения являются разомкнутыми системами, хотя и содержат, при наличии автоматических режимов, локальные замкнутые подсистемы. Для организации замкнутой системы необходимо

включение человека в контур управления. Структурная схема замкнутой системы управления с автоматическими режимами (локальной замкнутой подсистемой) показана на рис. 2. Наличие автоматических режимов позволяет минимизировать количество управляющих воздействий от человека, стоящего на более высоком уровне иерархии. Подсистема управления замещает собой определенную последовательность действий, которую требуется выполнить системе более высокого управления для достижения поставленной цели.

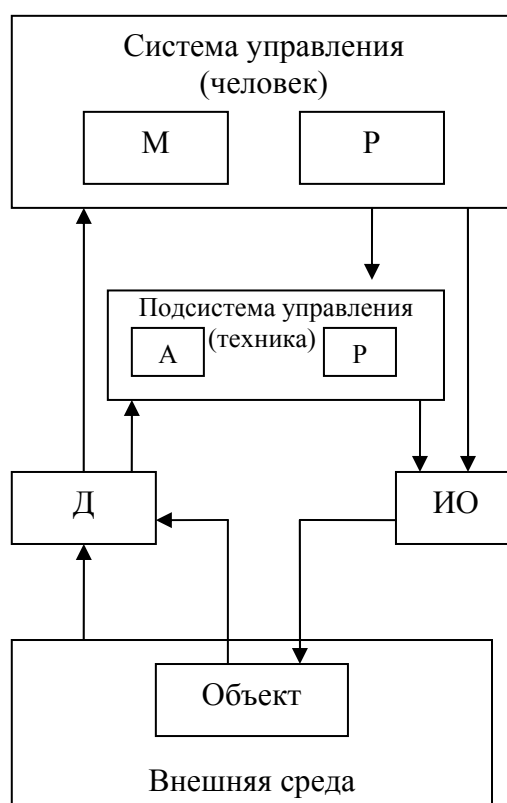


Рис. 2. Структурная схема системы управления с автоматическими режимами

Примером локальной замкнутой подсистемы может также служить подсистема установки маршрута, когда при получении двух входных воздействий, определяющих начало и конец маршрута, подсистемой осуществляется целый комплекс мероприятий (перевод стрелок, замыкание, выбор сигнального показания и др.). Другим примером является автоматический оборот составов в метрополитенах, заключающийся в передаче состава с одного пути на другой со сменой направления движения. При включении этого режима установка маршрутов приема и отправления с пути оборота осуществляется автоматически. Эти действия повторяются циклически до их отмены вышестоящей системой управления.

В процессе функционирования подсистема управления управляется извне и изнутри. Внешнее управление исходит от вышестоящей системы и представляет собой минимальный набор входных воздействий, необходимый для выбора требуемого алгоритма функционирования или активизации его деятельности. Внутреннее управление осуществляется согласно заложенным в подсистему алгоритмам (А), которые используют для своей работы данные от объекта управления и данные о внутреннем состоянии подсистемы. Результатом работы подсистемы управления будут определенные решения (Р) по воздействию на объект управления. Набор этих решений является фиксированным, т. е. на каждом отрезке работы имеется однозначное соответствие, определяемое алгоритмом, между набором входных воздействий, внутренних состояний подсистемы и набором выходных воздействий.

Большинство эксплуатируемых в настоящее время систем релейной автоматики построено по изложенным выше принципам; забегая вперед, можно сказать, что и современные компьютерные системы управления используют аналогичный подход.

В целом релейные системы решали поставленные перед ними задачи, тем не менее возникновение нештатной ситуации приводило к резкому увеличению роли человеческого фактора при разрешении проблемы. Техническая реализация и элементная база не позволяли создать собственную систему выработки решений или выдачи рекомендаций оперативному персоналу при возникновении проблемы, а сводились только к исключению, с помощью схемных решений, действий оператора, нарушающих условия безопасности в штатных режимах функционирования. Перед разработчиками релейных систем и не ставилась подобная задача, так как выработке решений всегда сопутствует анализ и определенный объем вычислений, что практически нереализуемо на релейной элементной базе. Концепция построения релейных систем железнодорожной автоматики, в отличие, например, от систем авиационной или космической отрасли, где при возникновении неисправности все действия ориентированы на обеспечение живучести системы и продолжение ее функционирования, направлена, при возникновении отказа, на перевод системы в защитное состояние. А это, в контексте перевозочного процесса, означает прекращение движения либо исключает возможность его начала. В такой ситуации организация работ по восстановлению системы, принятие решений и управление при неисправных технических средствах возлагается на человека. Качество этого управления напрямую зависит от знаний, опыта и психофизиологических особенностей человека-оператора.

3. Способы использования компьютерных систем управления

Компьютерные системы обладают способностью накапливать информацию и в зависимости от этого менять выполняемые ими действия, т. е. могут запоминать и преобразовывать информацию. Свойство памяти реализуется за счет изменения состояний элементов системы или за счет изменения ее структуры, возможно сочетание этих вариантов. Релейные системы управления, ввиду специфики элементной базы, имеют малый объем памяти, а перенастройка на различные задачи осуществляется с помощью изменения системы связей между элементами, которая определяется схемными решениями. Компьютеры не имеют подобных ограничений, являясь универсальными преобразователями информации. Большие объемы памяти, высокое быстродействие и способность перенастраиваться на различные задачи с помощью программ создают реальные предпосылки для смещения роли управления в сторону технических средств, уменьшая влияние человеческого фактора.

Средства вычислительной техники в зависимости от поставленных задач и конкретных целей автоматизации включаются в контур управления различными способами. Отметим три из них, представляющих наибольший интерес с точки зрения применения на железнодорожном транспорте и в метрополитенах.

1. Системы *прямого программного управления*: управляющие воздействия формируются компьютерной системой управления (КСУ) и передаются непосредственно к исполнительным органам, что позволяет исключить схемы локальной автоматики.

2. Системы *супервизорного управления*: управляющие воздействия (критерии, параметры) от КСУ более высокого уровня передаются системе более низкого уровня иерархии, осуществляющей непосредственное взаимодействие с объектом управления. Роль оператора и в первом и во втором случае сводится к наблюдению за процессом и корректировке в случае необходимости.

3. Системы *поддержки принятия решений* (ППР): в таких системах, кроме сбора и обработки информации, осуществляется анализ развития технологического процесса и определение возможных управляющих воздействий для обеспечения оптимального управления. Полученные решения предлагаются оператору, который на основе собственных знаний о технологическом процессе и опыта может воспользоваться ими или оставить их без внимания. Системы ППР используются, когда существуют сложности с формализацией процесса управления, при неполном информационном обеспечении или отсутствии четкой математической модели.

Если процесс управления подлежит формализованному описанию, используются средства контроля состояния управляемых объектов и определенный порядок действий при неисправностях, возможна полная автоматизация управления с помощью технических средств. Примером, напрямую не связанным с движением поездов, может служить система обеспечения жизнедеятельности станции метрополитена, реализованная с помощью средств вычислительной техники в рамках комплексной автоматизированной системы диспетчерского управления (КАС ДУ) [4–6]. В данной системе реализовано большое количество автоматических режимов. Например, автоматическое управление освещением на станции, с учетом утвержденного графика и данных от фотодатчиков. В автоматическом режиме подаются аварийно-оповестительные сигналы с помощью тоннельного освещения. При этом всегда сохраняется возможность прямого управления человеком-оператором. На уровне диспетчера электромеханической службы организовано автоматическое управление мощной тоннельной вентиляцией линии метрополитена. На уровне энергодиспетчера реализуются плановая подача и снятие напряжения с контактного рельса на линии. На АРМ поездного диспетчера внедрены автоматические режимы: автооборот, зонный оборот, автоследование и другие специфические авторежимы.

Заключение

При проектировании компьютерных систем управления необходимо учитывать не только объем управления (количество объектов управления), но и требования к его качеству (принятие тех или иных решений), а также соизмерять количество объектов управления, интенсивность процессов управления и нагрузку на человека-оператора как в нормальном режиме, так и при возникновении нештатной ситуации, поскольку любая из систем – лишь механизм для повышения эффективности управления, принятия правильных стратегических и тактических решений на основе своевременной и достоверной информации.

Библиографический список

1. Никитин А. Б. Управление стрелочными электроприводами в компьютерных системах горочной централизации / А. Б. Никитин, А. Н. Ковкин // Автоматика на транспорте. – 2015. – Том 1. – № 1. – С. 51–62.
2. Боулдинг К. Общая теория систем – скелет науки / К. Боулдинг // Исследования по общей теории систем. – М., 1969. – С. 79.
3. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира / Под ред. Г. Теега, С. Власенко. – М. : Интекст, 2010. – С. 287.

4. Бушуев С. В. Комплекс систем, обеспечивающих безопасность и непрерывность перевозок железнодорожным транспортом / С. В. Бушуев, С. Ю. Воронин [и др.] // Промышленный транспорт Урала. – Тематический выпуск № 9 (17). – 2007. – С. 16–18.

5. 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.

6. Комплексная автоматизированная система диспетчерского управления работой линии метрополитена. КАС ДУ. ЦКЖТ ПГУПС, 2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://crtc.ru/kas.php>. – Загл. с экрана.

E-mail: voronin@crtc.spb.ru

А. Н. Ковкин, канд. техн. наук

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

БЕСКОНТАКТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ И МЕТРОПОЛИТЕНОВ

Введение

Безопасное управление напольными объектами в компьютерных системах автоматики железных дорог и метрополитенов требует использования специальных устройств сопряжения, обладающих несимметричной характеристикой отказов [1]. Такие устройства могут создаваться на основе элементов с несимметричным отказом, в качестве которых чаще всего рассматриваются электромагнитные реле первого класса надежности. Однако более прогрессивным решением является использование бесконтактных схем на основе полупроводниковой элементной базы. Безопасность в этом случае обеспечивается либо за счет применения функциональных преобразователей с несимметричным отказом, обеспечивающих активизацию исполнительного объекта только при условии динамической работы полупроводниковых элементов, либо путем периодической проверки исправности полупроводниковых ключей и отключения питания от исполнительных объектов в случае обнаружения отказа.

Электрические приводы допускают использование всех перечисленных выше принципов безопасного управления. В настоящее время наибольшее распространение получают приводы на основе трехфазных асинхронных двигателей переменного тока. Важным свойством таких двигателей является то, что вращение ротора возможно лишь при подаче на обмотки двигателя переменного напряжения. Более того, вращение таких двигателей под нагрузкой возможно только при наличии трехфазного напряжения, создающего в обмотках двигателя вращающееся магнитное поле. Указанные особенности трехфазных асинхронных двигателей делают весьма привлекательным использование для управления электроприводами функциональных преобразователей с несимметричным отказом. Схемное решение функциональных преобразователей для таких двигателей представляет собой обычный инвертор, преобразующий постоянное напряжение источника питания в переменное трехфазное напряжение, необходимое для работы двигателя.

В данной статье рассматриваются особенности построения и работы силовой схемотехники функциональных преобразователей, предназначенных для управления трехфазными асинхронными двигателями электроприводов автоматики на железных дорогах и метрополитенах.

1. Особенности функционирования мостовых преобразователей при управлении двигателями в системах железнодорожной автоматики

Преобразователи для асинхронных двигателей переменного тока обычно строятся с использованием трехфазной мостовой схемы преобразования [2]. Асинхронный двигатель может подключаться к выходу схемы без использования трансформатора (рис. 1). В этом случае при определении коэффициента полезного действия (КПД) учитываются только потери мощности на силовых ключах. При оценке величины КПД принято отдельно рассматривать статические потери (потери проводимости) и динамические потери (потери переключения) [2, 3]. Потери проводимости возникают во время нахождения силовых ключей в открытом состоянии и определяются падением напряжения на ключах при протекании через них тока. Потери переключения возникают в периоды открывания и закрывания ключей, и их величина находится в прямой зависимости от частоты переключения.

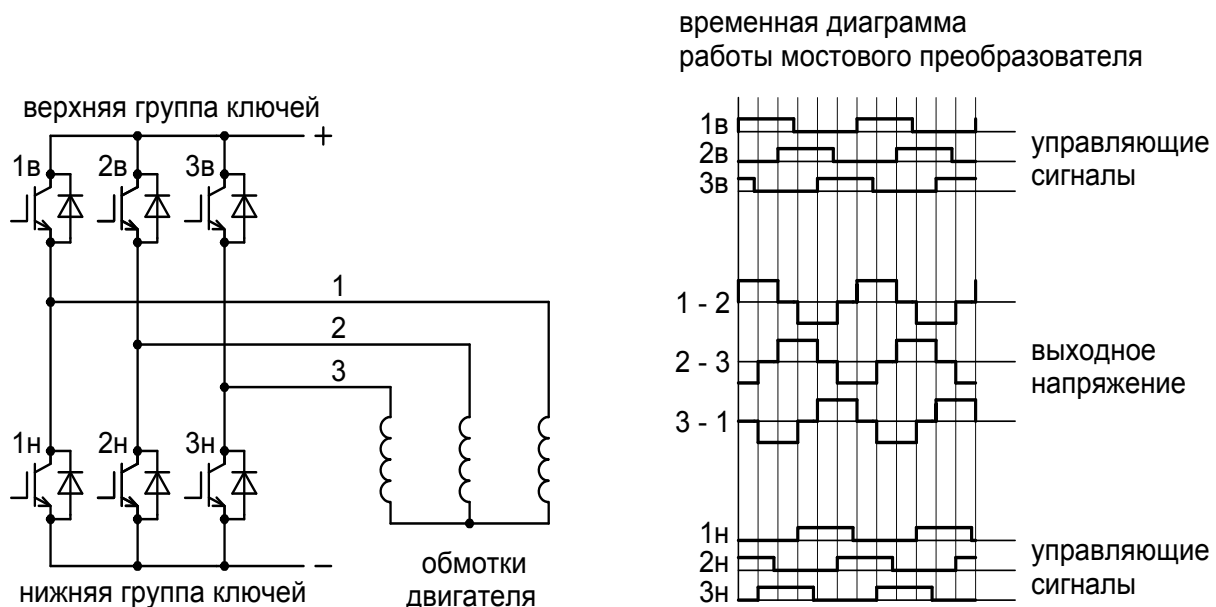


Рис. 1. Управление трехфазным асинхронным двигателем с помощью мостового преобразователя

Особенностью использования преобразователей для управления двигателями является отсутствие необходимости в обеспечении синусоидальной формы выходного напряжения. Кроме того, при разработке устройств сопряжения для управления приводами в системах централизации, как правило, не ставится задача регулирования частоты вращения и величины напряжения на двигателе. Это означает, что в данной области применения можно отказаться от использования широтно-импульсной модуляции и реализовать низкочастотный режим работы силовых ключей, при котором частота переключения будет иметь величину 50 Гц. При такой частоте динамическими потерями можно пренебречь и КПД мостовой схемы будет определяться исключительно потерями проводимости. Это дает возможность создавать преобразователи, имеющие КПД выше 95 %. Такой высокий КПД в сочетании с повторно-кратковременным режимом работы электроприводов позволяет существенно снизить требования к отводу тепла от силовых компонентов преобразователя. Это означает, что радиаторы в таких устройствах могут иметь незначительные размеры, что, наряду с отсутствием трансформатора, способствует существенному уменьшению габаритов изделия в целом. Таким образом, функциональный преобразователь для управления трехфазными асинхронными двигателями электроприводов представляет собой относительно технологичное и компактное электронное изделие, которое может составить достойную конкуренцию устройствам сопряжения, в которых используются иные принципы безопасного управления.

2. Реализация многопроводных схем управления двигателями

При использовании трехфазной мостовой схемы для управления стрелочными электроприводами двигатель подключается к преобразователю без использования контактов автопереключателя. Остановка двигателя происходит путем прекращения подачи управляющих сигналов на силовые ключи преобразователя по факту получения контроля крайнего положения стрелки. Реверсирование двигателя осуществляется путем изменения порядка подачи управляющих сигналов на ключевые элементы преобразователя. Недостатком данного решения является отсутствие возможности последовательного перевода спаренных стрелок с помощью одного комплекта аппаратуры, поскольку для этого требуется наличие пятипроводной рабочей цепи [4]. Кроме того, существуют приводы, которые в силу своих особенностей требуют обязательного использования многопроводных схем. Таковым, например, является привод электромеханического автостопа в метрополитенах [5]. Использование в типовых схемах для данного привода пяти проводов рабочей цепи связано с наличием в его составе токоограничивающих дросселей, которые включаются в цепь после открытия автостопа для снижения потребляемой мощности в режиме удержания. Удачным

решением для управления подобными приводами является использование многофазных преобразовательных схем. Так, для управления электромеханическим автостопом предложена пятифазная мостовая схема преобразования (рис. 2).

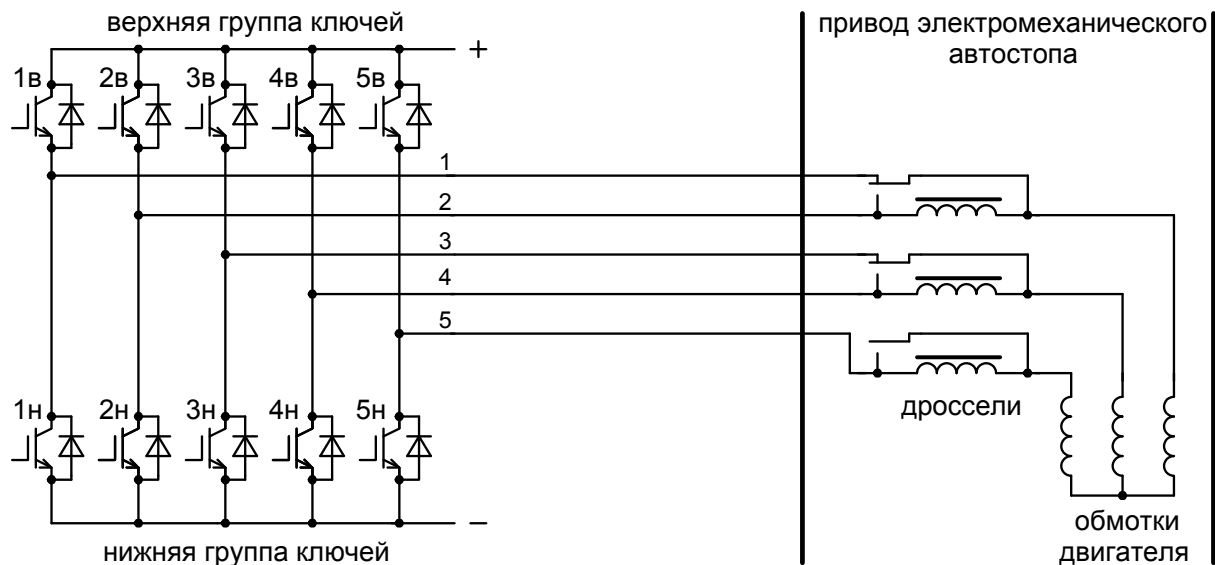


Рис. 2. Использование пятифазной схемы преобразования для управления электромеханическим автостопом

Особенностью функционирования данной схемы является то, что в процессе формирования трехфазного переменного напряжения для двигателя работают три из пяти пар ключей. При этом пара ключей 5 является общей для обоих направлений вращения двигателя, а остальные пары используются в зависимости от нужного направления. При открытии и удержании автостопа задействованы пары 2 и 4. При закрытии автостопа работают пары 1 и 3, осуществляющие питание двух обмоток двигателя в обход токоограничивающих дросселей.

3. Элементная база мостовых схем преобразования

В качестве коммутационных приборов в современных схемах преобразователей мощностей до нескольких десятков киловатт используются полевые транзисторы с изолированным затвором (МОП-транзисторы) или биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT-транзисторы) [2, 3]. Основным достоинством транзисторов с изолированным затвором является незначительное потребление мощности от источника управляющих сигналов, что позволяет использовать для формирования сигналов управления относительно несложные схемотехнические решения, реализу-

емые, как правило, в микроэлектронном исполнении. При разработке преобразователей для электрических приводов предпочтительным является использование IGBT-транзисторов. Эти транзисторы сочетают в себе положительные качества полевых и биполярных приборов и при величинах рабочего напряжения порядка нескольких сотен вольт имеют меньшую, чем у МОП-транзисторов, величину статических потерь. Диоды, включенные параллельно транзисторам, предназначены для рекуперации энергии, накапливаемой в индуктивной составляющей нагрузки преобразователя. Указанные диоды, как правило, входят в состав современных силовых транзисторов, разработанных для использования в преобразовательных схемах.

Преобразователи часто выполняются не на отдельных транзисторах, а в виде микросборок, включающих в себя необходимый набор силовых компонентов [2]. В ряде случаев в состав таких микросборок входят схемы формирования управляющих сигналов и схемы защиты преобразователя при аварийных режимах работы. Такие микросборки принято называть интеллектуальными силовыми модулями (IPM). Применение IPM вместо отдельных транзисторов и микросхем является прогрессивным вариантом, поскольку упрощает схемотехнику изделия и уменьшает его габариты. Вместе с тем необходимо учитывать, что на сегодняшний день конструктивное и схемотехническое исполнение подобных микросборок не стандартизировано. Указанный фактор существенно усложняет подбор аналогов для силовых элементов преобразователей. Поэтому, по мнению автора статьи, использование отдельных силовых ключей сохраняет актуальность, поскольку позволяет уменьшить зависимость разработчиков от продукции конкретных производителей электронных компонентов.

Заключение

В данной статье рассмотрены особенности использования мостовых преобразовательных схем для управления двигателями в системах автоматики железных дорог и метрополитенов. При этом показано, что использование низкочастотных режимов работы силовых ключей позволяет существенно повысить эффективность использования преобразовательных схем в данной области. Предложено техническое решение для реализации пятипроводных схем управления двигателями, представляющее собой пятифазную мостовую схему преобразования. Произведен краткий обзор современной элементной базы, дана оценка электронных компонентов с точки зрения возможности подбора аналогов, что может быть особенно актуально в условиях необходимости импортозамещения.

Библиографический список

1. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Методы и принципы обеспечения безопасности микроэлектронных СЖАТ. РТМ 32 ЦШ 1115842.01–94. – СПб. : ПГУПС, 1994. – 120 с.
2. Воронин П. А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение / П. А. Воронин. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2001. – 384 с.
3. Семенов Б. Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов / Б. Ю. Семенов. – М. : СОЛОН-Р, 2001. – 327 с.
4. Переборов А. С. Телеуправление стрелками и сигналами : учебник для вузов ж.-д. транспорта / А. С. Переборов, А. М. Брылеев, В. Ю. Ефимов, И. М. Кокурин, Л. Ф. Кондратенко ; под ред. А. С. Переборова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1981. – 390 с.
5. Лаврик В. В. Электрическая централизация стрелок и сигналов метрополитенов / В. В. Лаврик. – М. : Транспорт, 1984. – 239 с.

Email: akovkin@yandex.ru

**А. Ю. Идуков,
А. Д. Гавзов,
А. Н. Коваленко**

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

ПРИНЦИПЫ синхронизации комплектов МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЦЕНТРАЛИЗАЦИЙ

Введение

Современные микропроцессорные системы электрической централизации (МПЦ) представляют собой сложный комплекс устройств, сердцем которого является вычислительная система (ВС), выполняющая ряд функций. Основной функцией ВС является принятие решений, обеспечивающих безопасное движение поездов. Для обеспечения надежности при вычислении логических состояний сердцем МПЦ является не один компьютер, а комплекс машин, связанных между собой определенным образом. Например, в системе МПЦ-МЗ-Ф используются 3 компьютера [1], МПЦ-МПК – 4 [2], в EBILock-950 – 6 [3]. Все системы разнятся не только на техническом и интеллектуальном уровне, но и на уровне синхронизации данных. Синхронизация данных позволяет обеспечивать непрерывную бесперебойную работу системы при выходе из строя одного из комплектов.

1. Принципы работы и синхронизаций данных систем МПЦ

Принципы синхронизации данных для разных систем обусловлены аппаратной и программной структурой вычислительной системы.

Система ЭЦ-ЕМ строится на принципе «2 из 3» [4]. Для обеспечения безопасности дальнейшая обработка информации осуществляется только в том случае, если как минимум два вычислительных канала выдают одинаковые результаты. Это позволяет зафиксировать сбой в работе любого из трех процессорных модулей. Синхронизация данных осуществляется по кольцу от одного комплекта к другому, сначала в одну сторону, затем в другую.

Работа ВС МПЦ-И осуществляется по структуре «2 из 2». В каждом цикле работы управляющей программы КЦ1 и КЦ2 выполняют опрос состояния объектов контроля, после чего производится взаимный обмен информацией между вычислительными каналами. Решение о включенном состоянии какого-либо объекта контроля каждым из вычислительных каналов принимается только в том случае, когда в парном вычислительном

канале будет зафиксировано такое же состояние данного объекта. В противном случае будет принято решение о выключенном состоянии данного объекта контроля [5]. Аналогично работает система при принятии управляющего решения.

Схожий алгоритм работы имеет ВС МПЦ-МПК. В ней реализован принцип «2 из 2 или 2 из 2» [2]. Избыточностью вычислительных средств (рис. 1) достигается безопасность, а решение принимается БКК (безопасный контроллер комплектов) активной пары, который анализирует данные от двух контроллеров логики централизации (КЛЦ). Пассивная находится в постоянном горячем резерве, при этом на ней, как и на активной, производятся вычисления. На каждом такте происходит сравнение параметров в активном и пассивном комплектах. В случае расхождения по одному из параметров происходит принудительное обновление параметров пассивной пары до состояния активной пары. Все это обеспечивает мгновенное безопасное переключение на резервный комплект при выходе из строя активного (основного).

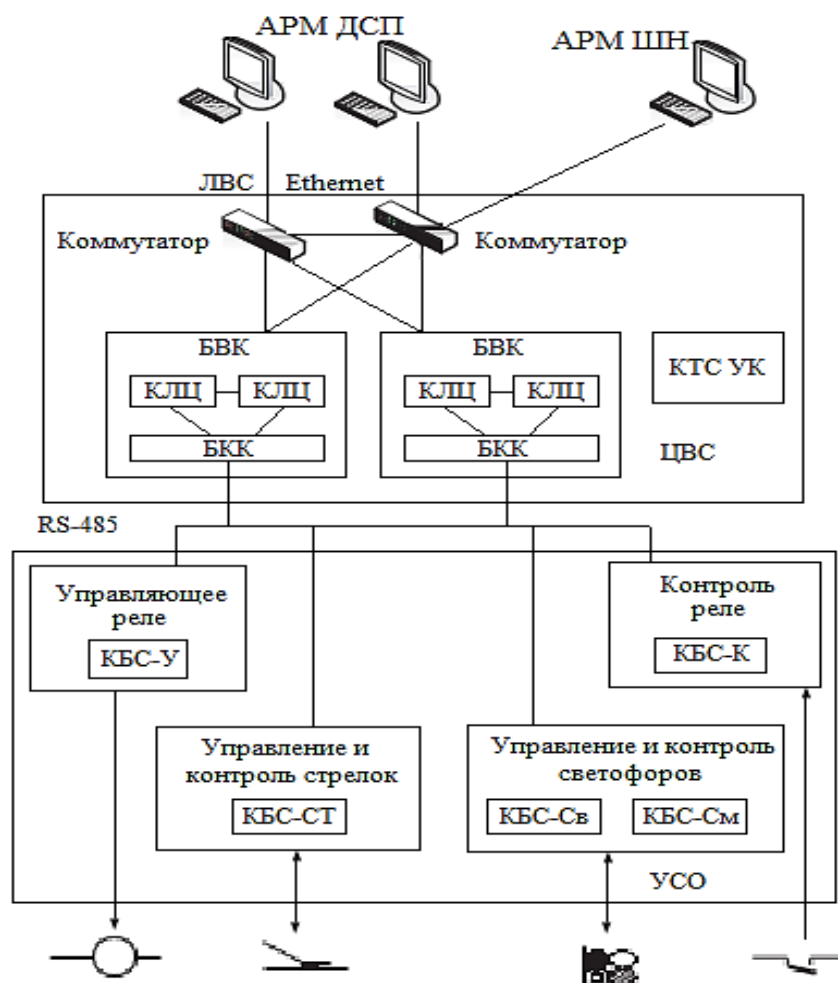


Рис. 1. Структурная схема МПЦ-МПК

Система EBILock-950 имеет схожую структуру с МПЦ-МПК. Роль БКК здесь выполняет третий компьютер комплекта (рис. 2), анализирующий данные от основных А и В. Сам комплект состоит из трех компьютеров. Резервный комплект находится в номинальном горячем резерве. Он не производит вычислений, но при этом на каждом такте получает данные, необходимые для работы, от активного комплекта.

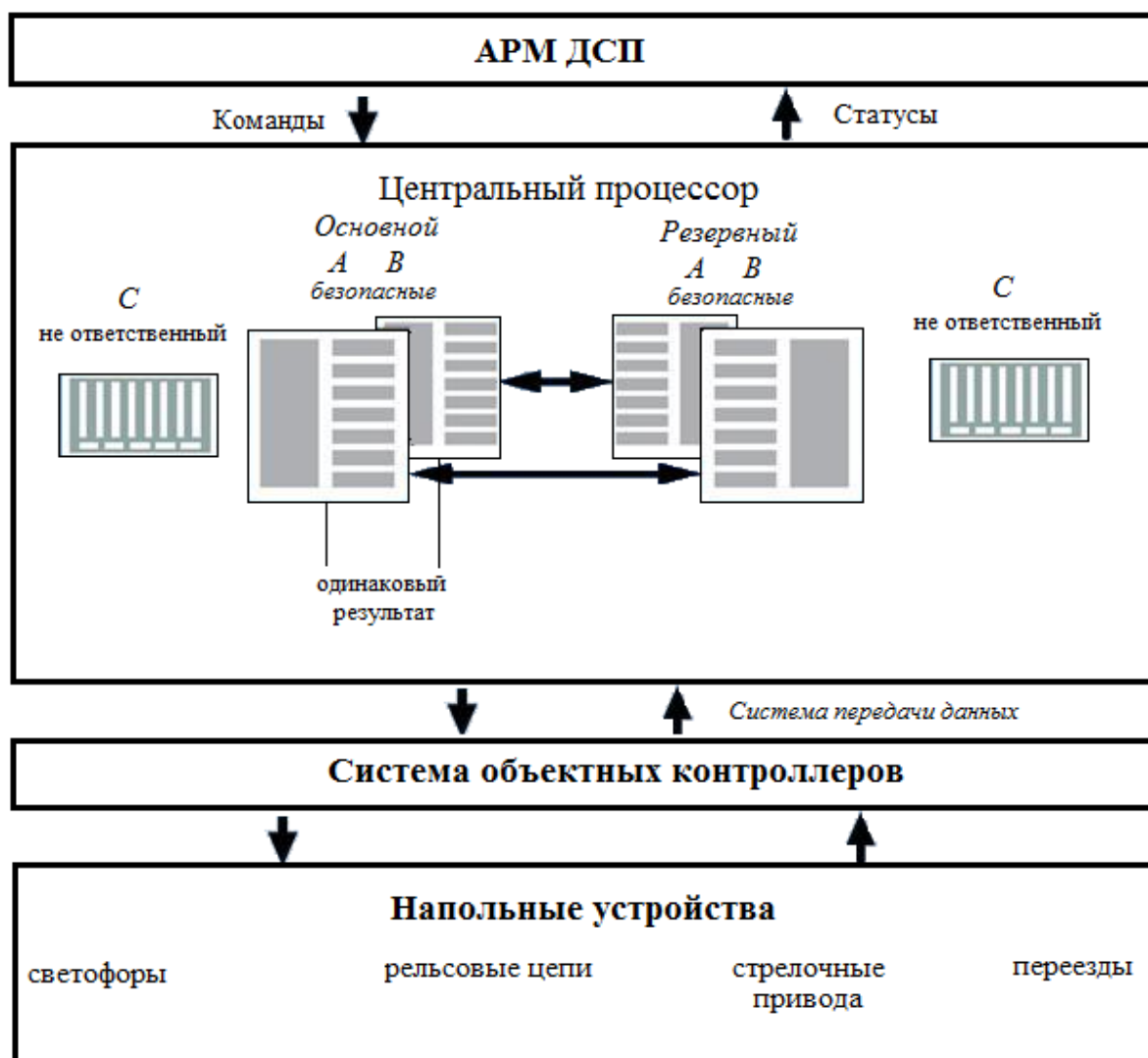


Рис. 2. Структурная схема EBILock-950

2. Общие принципы синхронизации данных

Все системы МПЦ имеют отличную друг от друга структуру и, как следствие, синхронизацию данных. При этом можно выделить два основных принципа, присущих всем системам:

- контроль данных;
- минимальный объем данных, необходимый для работы системы.

Контроль данных необходим для обеспечения бесперебойности работы, правильности принятия решений.

Минимальный объем данных позволяет выполнять синхронизацию каждого такта и передавать его в любом направлении (внутри комплекта или между комплектами). Это, в первую очередь, позволяет поддерживать в горячем резерве дополнительный комплект аппаратуры. В таких системах, как ЭЦ-ЕМ и МПЦ-МПК это выполнено. Реализация ЭЦ-ЕМ была рассмотрена выше. В МПЦ-МПК необходимый объем данных позволяет произвести синхронизацию пассивного комплекта в том же такте, когда было обнаружено расхождение в проверяемых параметрах.

Система должна учитывать, что синхронизация данных выполняется для обеспечения надежности системы и безопасности принимаемых решений. Надежность обеспечивает поддержание резервных комплектов в готовом для работы состоянии.

Заключение

Несмотря на разницу технической реализации и интеллектуальной обработки данных, у всех систем МПЦ есть общие принципы синхронизации данных. Каждая система обеспечивает контроль данных и их минимальный объем, необходимый для работы. Способы реализации у каждой системы свои, но результат у всех одинаковый – обеспечение надежности и безопасности принимаемых решений.

Библиографический список

1. Система микропроцессорной централизации МПЦ-МЗ-Ф на основе платформы Simis для Российских железных дорог / С. Протцнер (S. Protzner), С. В. Власенко (Siemens); Ю. С. Смагин, О. Ю. Шатковский (ЗАО «Форатек АТ»), 2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.foratec-at.com/common/upload/File/2010%2010%20ZhDM%20Foratec.pdf>. – Загл. с экрана.
2. Система микропроцессорной централизации. МПЦ-МПК. ЦКЖТ ПГУПС, 2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.crtc.ru/mpc_saf.php. – Загл. с экрана.
3. Продукты и решения для железнодорожного транспорта. «Бомбардье Транспортешн (Сигнал)». [Электронный ресурс], 2015. – Режим доступа: http://ru.bombardier.com/ru/pdf/BT-RCS-Products-Book_ru.pdf, свободный. – Загл. с экрана.
4. Описание системы ЭЦ-ЕМ. Радиоавионика, 2015. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.radioavionica.ru/activities/ustroystva-zheleznodorozhnoy-avtomatiki-i-telemekhaniki/sistema-ets-em/244>. – Загл. с экрана.
5. Типовые материалы по проектированию устройств автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте 424359-ТМП. Микропроцессорная централизация стрелки сигналов МПЦ-И / НПЦ Промэлектроника, 2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://static.scbist.com/scb/uploaded/1_1391274098.pdf. – Загл. с экрана.

E-mail: kovaleniko@mail.ru

**С. Л. Кондратенко, канд. техн. наук,
Р. И. Селезнев**

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

БЕСКОНТАКТНОЕ РЕВЕРСИРУЮЩЕЕ РЕЛЕ

Введение

В настоящее время на российских железных дорогах для управления стрелками применяются стрелочные электроприводы, более 50 % из которых оборудованы двигателями постоянного тока [1]. Для управления этими электроприводами в системах релейной электрической централизации применяется двухпроводная схема [2].

Двухпроводная схема управления стрелочным электроприводом получила широкое распространение на сети железных дорог. Схема экономична по расходу кабеля, прокладываемого между постом электрической централизации и стрелочным электроприводом. Управление стрелкой и контроль ее положения осуществляется по двум проводам благодаря применению напольного реверсирующего поляризованного реле.

Многолетний опыт эксплуатации этой схемы выявил недостатки, которые по данным официальной статистики ведут к ежегодно повторяющимся отказам [3]. Авторы данной статьи поставили задачу устранить данные недостатки, чтобы повысить надежность работы типовой двухпроводной схемы управления стрелочным электроприводом.

1. Типовая двухпроводная схема

Типовая двухпроводная схема управления стрелочным электроприводом изображена на рис. 1.

Основными недостатками применяемой схемы являются:

- отключение двигателя по окончании перевода стрелки производится контактами автопереключателя, которые при этом искрят, обгорают, индевеют, что приводит к потере контакта, т. е. к нарушению нормальной работы схемы [4];
- двигатель постоянного тока имеет щеточный узел, отказ которого приводит к невозможности дистанционного перевода стрелки;
- наличие напольного электромагнитного реверсирующего поляризованного реле, контакты которого искрят при пуске и переводе стрелки из среднего положения, что приводит к их отказу [5];

- наличие искрогасящих конденсаторов, которые недостаточно эффективно справляются со своей задачей, а их обрыв не контролируется;
- необходимость обогрева контактов автопереключателя привода из-за того, что нагрев контактов при искрении и последующее их остывание приводит к конденсации влаги на их поверхности, что в холодное время года ведет к их заиндевению и потере контакта [6].

Для решения вышеописанной проблемы в существующей схеме предусмотрена цепь обогрева контактов автопереключателя. Такое решение требует дополнительного расхода кабеля и выделения мощности постового источника питания.



Рис. 1. Функциональная схема управления стрелочным электроприводом с двигателем постоянного тока

Многолетний опыт эксплуатации этой схемы выявил недостатки, которые ежегодно повторяются по данным официальной статистики [3]. Авторами статьи была поставлена задача устранить эти недостатки, чтобы повысить надежность работы типовой схемы.

2. Новое техническое решение

Для устранения недостатков типовой схемы управления авторами статьи было разработано техническое решение, которое повышает надежность схемы управления стрелочным электроприводом с двигателем постоянного тока. На рис. 2 представлена функциональная схема.

Взамен реверсирующего реле (ППРЗ-5000) было разработано бесконтактное реверсирующее реле, которое состоит из электронного силового ключа и узла гальванической развязки.

Электронный силовой ключ управляется рабочими контактами автопереключателя по слаботочной цепи, а коммутация электродвигателя осуществляется силовыми тиристорами.

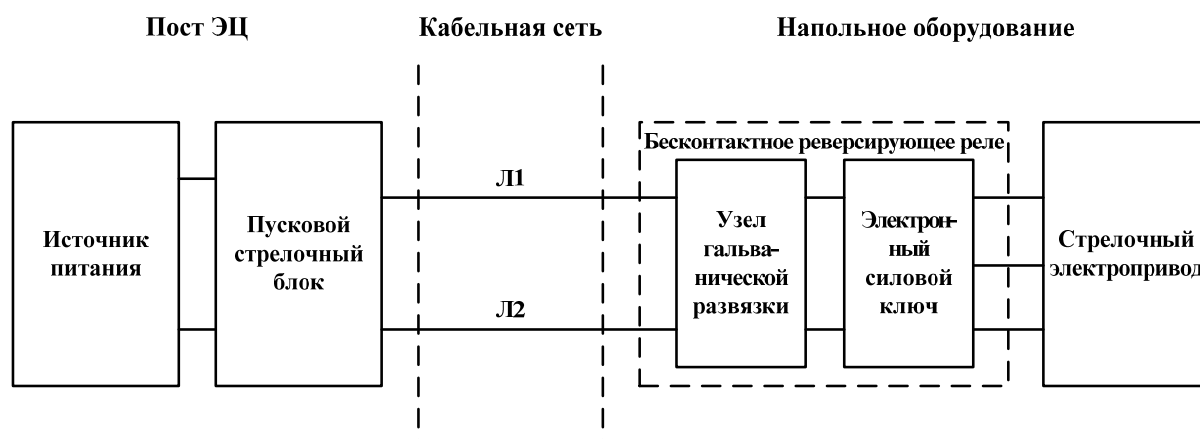


Рис. 2. Функциональная схема управления стрелочным электроприводом с двигателем постоянного тока, основанная на применении бесконтактного реверсирующего реле

Узел гальванической развязки фиксирует наличие рабочего напряжения источника питания в линейных проводах Л1, Л2 и подключает к ним электронный силовой ключ.

В зависимости от полярности рабочего напряжения источника питания в линейных проводах и состояния рабочих контактов автопереключателя электронный силовой ключ подключает соответствующую обмотку электродвигателя.

По окончании перевода стрелки рабочий контакт автопереключателя размыкается и посылает команду электронному ключу на остановку электродвигателя, а пусковой стрелочный блок поста ЭЦ отключает источник рабочего напряжения от линейных проводов и подключает к ним контрольную цепь.

Узел гальванической развязки фиксирует отсутствие рабочего напряжения в линейных проводах и отключает электронный силовой ключ от кабельной сети в контрольном режиме работы схемы. Это необходимо для защиты схемы от ложного контроля положения стрелки при вероятном отказе и преобразовании элементов электронного ключа в выпрямительный элемент.

Исключение рабочих контактов автопереключателя привода из цепи включения/отключения обмоток электродвигателя, а также управление электронным силовым ключом по слаботочной цепи позволяет значительно повысить ресурс контактов автопереключателя, а также исключить цепь обогрева контактов.

Применение полупроводниковых элементов позволяет осуществлять безыскровую коммутацию электродвигателя, что повышает ресурс реверсирующего устройства и позволяет отказаться от искрогасящих конденсаторов.

Переход от типовой схемы управления к предложенной осуществляется без изменений в постовой части аппаратуры и кабельной сети.

Заключение

Таким образом, применение данной схемы решает комплекс задач по обслуживанию и повышению надежности схемы управления стрелочным электроприводом с двигателем постоянного тока. К достоинствам схемы можно отнести ее совместимость с любыми типами электрической централизации, а также возможность применения электроприводов с любыми типами автопереключателя – ножевого (СП-6М), на микропереключателях (ВСП-150), на герконах (СП-6МГ), на контакторах (СП-10) и т. п.

Библиографический список

1. 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.
2. Станционные системы автоматики и телемеханики / Вл. В. Сапожников, Б. Н. Елкин, И. М. Кокурин, Л. Ф. Кондратенко, В. А. Кононов. – М. : Транспорт, 1997. – 432 с.
3. Статистический отчет о работе железных дорог за 1999 год. – М. : МПС, Управление статистики. – 2000. – 60 с.
4. Валиев Р. Ш. Двухпроводная схема управления стрелкой с пусковым блоком ПС с центральным питанием / Р. Ш. Валиев, Ш. К. Валиев. – Екатеринбург : ООО «Вебстер», 2011. – 15 с.
5. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики / А. С. Переборов, А. М. Брылеев, Вал. В. Сапожников, А. В. Смирнова, А. А. Эйлер ; под ред. А. С. Перебора. – 3-е изд., перераб и доп. – М. : Транспорт, 1984. – 384 с.
6. Резников Ю. М. Электроприводы железнодорожной автоматики и телемеханики / Ю. М. Резников. – М. : Транспорт, 1985. – 274 с.

E-mail: russel_07@mail.ru

УДК 625.42

П. М. Никульчиков

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

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЕЗДАМИ МЕТРОПОЛИТЕНА

Введение

Системы автоматического управления поездами метрополитена (САУП М) предназначены для автоматизации процесса управления поездом, включая пуск, разгон, выбор режима ведения на перегонах, торможение у платформ с целью повышения точности выполнения графика движения [1].

Первая в мире САУП М была разработана и внедрена на Victoria line Лондонского метрополитена в 1967 г. [2].

По классификации Международной ассоциации общественного транспорта (International Association of Public Transport) САУП М подразделяются на 5 уровней автоматизации (Grade of Automation):

1. GoA0 – полностью ручное управление подвижным составом.
2. GoA1 – ручное управление подвижным составом. Машинист управляет остановкой и началом движения, положением дверей и другими элементами.
3. GoA2 – полуавтоматическое управление подвижным составом. Машинист управляет началом движения и закрытием дверей. Автоматическое проследование перегонов, остановка на станции и открытие дверей. Возможен переход в режим ручного управления.
4. GoA3 – автоматическое управление без машиниста, но с присутствием на составе персонала, управляющего дверями и способного взять на себя управление в случае возникновения нештатных ситуаций.
5. GoA4 – полностью автоматическое управление подвижным составом без участия какого-либо персонала на борту.

Большинство существующих в мире на данный момент САУП М представляет собой системы уровня GoA2 [3].

Первой реализацией САУП М уровня GoA4 стала линия М1 Копенгагенского метрополитена, открытая в 2002 г. На линии эксплуатируется подвижной состав фирмы AnsaldoBreda. Дизайн подвижного состава линии разработан Giugaro Design of Italy [4].

В СССР и впоследствии в России с 70-х гг. XX в. в двух крупнейших метрополитенах ведутся работы по созданию САУП М. На данный момент все внедренные в России САУП М по уровню автоматизации соответствуют GoA 2 [1].

Кроме классификации САУП М по уровню автоматизации, существует также их разделение на системы с центральным постом автоведения (ЦПА) и автономные системы. В системах с центральным постом расчет параметров осуществляется специализированным программным обеспечением ЦПА с учетом:

- планового графика движения поездов;
- оперативных коррекций, внесенных поездным диспетчером (ДЦХ) в плановый график;
- межпоездных интервалов;
- минимальных и максимальных значений регулирующего воздействия;
- других специализированных параметров.

САУП М бывают с регулированием длительности стоянок и времени проследования перегонов. Регулирование времени проследования перегонов (реализация функции «нагон») является сложным технологическим процессом и реализуется далеко не на каждом перегоне. Возможности нагона ограничиваются длиной перегона и профилем пути. Упрощенная модель реализации нагона показана на рис. 1.

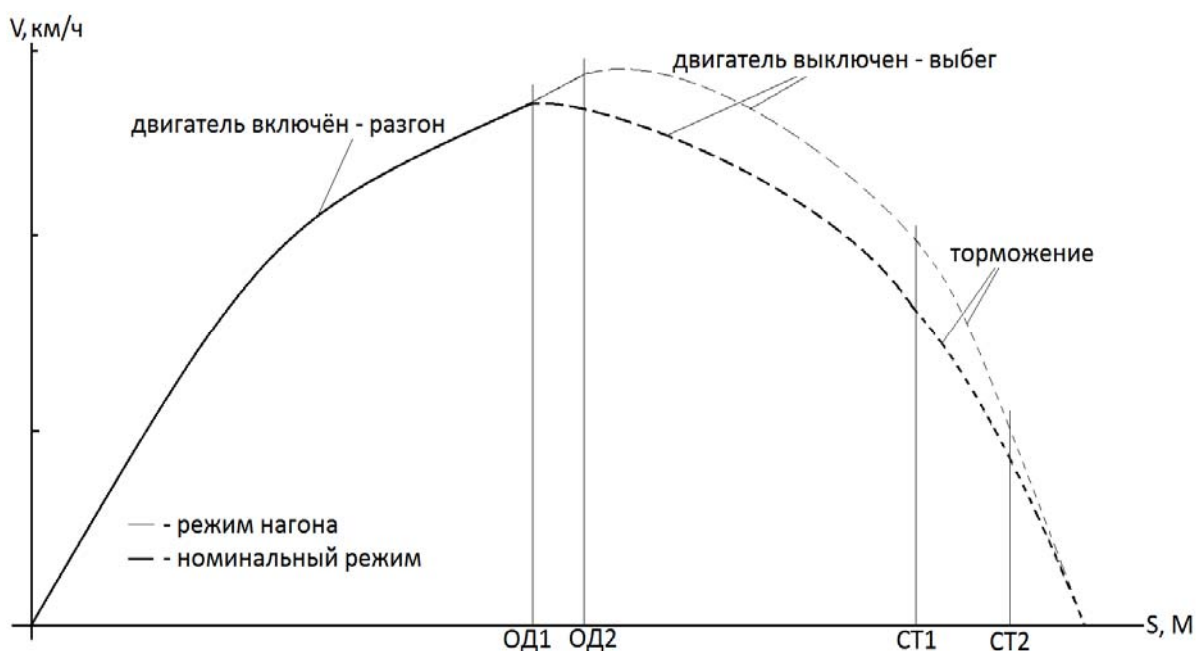


Рис. 1. Реализация функции нагона

Кроме того, САУП М подразделяются на два типа систем. Первые системы – с преимущественно графиковым регулированием, при котором выбор управляющего воздействия на основе планового графика движения поездов имеет приоритет над параметрами, рассчитанными на основе межпоездных интервалов. Вторые – с преимущественно интервальным регулированием, при котором выбор управляющего воздействия на основе межпоездных интервалов имеет приоритет над теми же параметрами, рассчитанными на основе планового графика.

1. Внедрение САУП М в Петербургском метрополитене

На пяти линиях Петербургского метрополитена внедрены и эксплуатируются различные САУДП М, технические решения которых определялись уровнем технологий, доступных создателям на момент внедрения системы, и требованиями заказчика.

На первой линии Петербургского метрополитена внедрена и эксплуатируется комплексная система автоматического управления поездами метрополитена КСАУП М. Регулирование движения поездов осуществляется программным обеспечением центрального поста автоведения на основе планового графика движения поездов.

На поездах второй линии установлена поездная аппаратура комплексной системы «Движение» (ПА КСД), работающая без привязки к центральному посту автоведения, что отрицательно сказывается на выполнении графика движения поездов. Поездная аппаратура никак не взаимодействует с ЦПА, не имеет сведений о текущем отклонении маршрута от графика, положении соседних маршрутов. Поезда следуют в номинальном режиме, выполняя предписанное время проследования перегонов и номинальные стоянки на платформах.

На третьей линии автоведение не реализовано. Управление подвижным составом осуществляется машинистом с учетом показаний путевых устройств индикации (ПУИ), расположенных около знака ОПВ. На ПУИ отображается рассчитанное ЦПА время стоянки поезда в режиме обратного отсчета. Данный режим работы линии позволяет обеспечить четкое выполнение графика движения поездов и соблюдение межпоездных интервалов.

На четвертой линии реализована наиболее современная версия автоведения, основанная на системе бесконтактной привязки к пути (СБПП). В основе СБПП лежит использование технологии радиочастотной идентификации (РЧИ). На стенках тоннелей перегонов и платформ наклеены радиочастотные метки, содержащие информацию о точках изменения режима работы поездной аппаратуры. Этих точек может быть несколько типов: точка отключения двигателя, точка подтормаживания на перегоне, точка начала прицельного торможения на станции и др.

На подвижном составе пятой линии установлена следующая версия поездной аппаратуры ПА КСД, установленной на второй линии, – ПА М, работающая в режиме частичного взаимодействия с ЦПА.

2. Перспективы развития САУП М

Стремительное развитие технологий, повышение надежности технических средств создает предпосылки для развития современных САУП М. Направления развития современных САУП М: повышение уровня автоматизации до GoA4, повышение уровня надежности оборудования и точности его работы.

Существенным ограничением для полного отказа от нахождения на борту персонала метрополитена, управляющего движением поездов, является угроза актов несанкционированного вмешательства (АНВ) в работу метрополитена. В случае возникновения подобных ситуаций необходимо присутствие на составе сотрудника метрополитена, действия которых должны быть направлены на минимизацию последствий АНВ.

Другим направлением развития САУП М является использование новых технологических решений, призванных улучшить качественные характеристики существующих и вновь разрабатываемых систем. Так, для передачи данных между станционной и поездной аппаратурой используется радиосвязь, в том числе радиомодемы, позволяющие передавать информацию в обоих направлениях. Кроме собственно передачи информации, радиомодемная связь используется для решения задач привязки к пути: получая код платформы, программное обеспечение поездной аппаратуры выбирает режим для проследования перегона [5].

Широко используются оптические датчики для определения точного положения поезда при въезде на платформу и прицельного торможения.

Повышение надежности реверсивных датчиков скорости сделало возможным их использование для определения координат отключения двигателей, зоны начала подтормаживания на перегоне, торможения перед платформой станции и других точек.

На рис. 2 представлен алгоритм поездной аппаратуры и радиомодемов. На рис. 3 представлен алгоритм работы датчика проследования точки СТ2 и поездной аппаратуры. На рис. 4 показан алгоритм проследования перегона (без второго подключения двигателя и с одним подтормаживанием на перегоне).

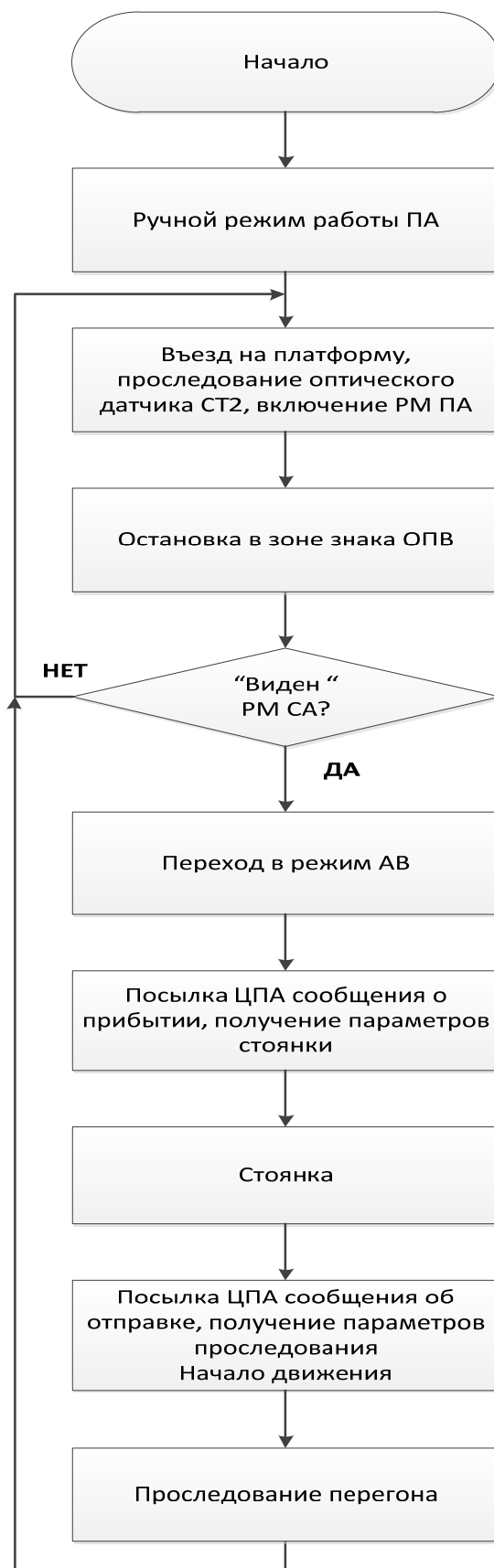


Рис. 2. Алгоритм работы поездной аппаратуры и радиомодемов

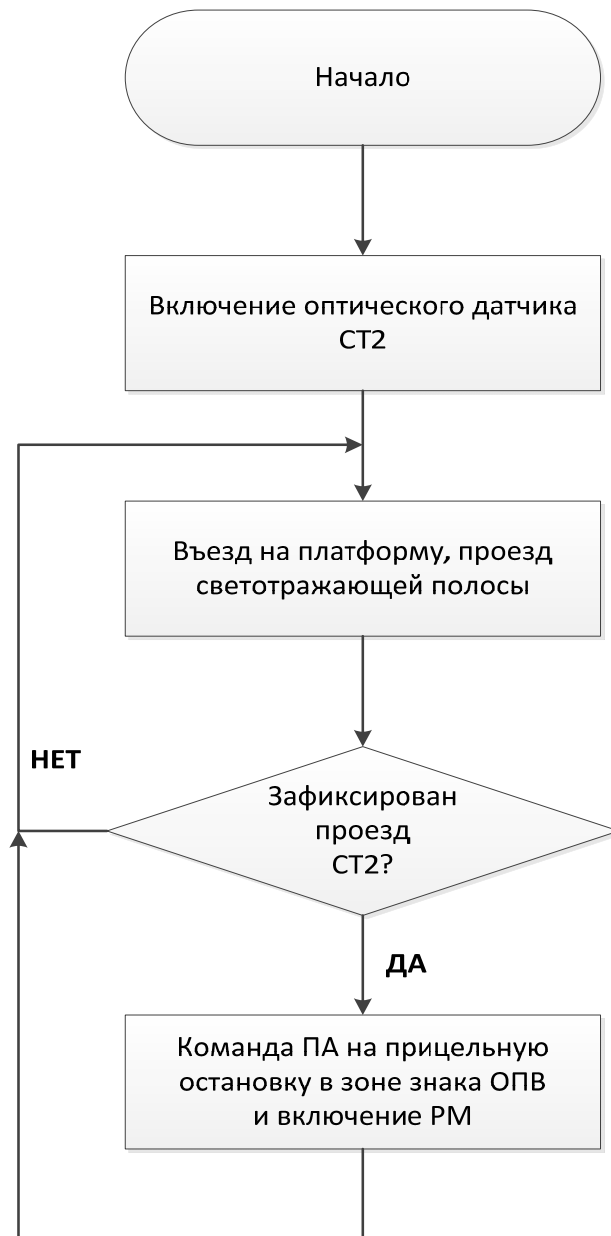


Рис. 3. Алгоритм работы датчика проследования точки СТ2 (прицельное торможение)

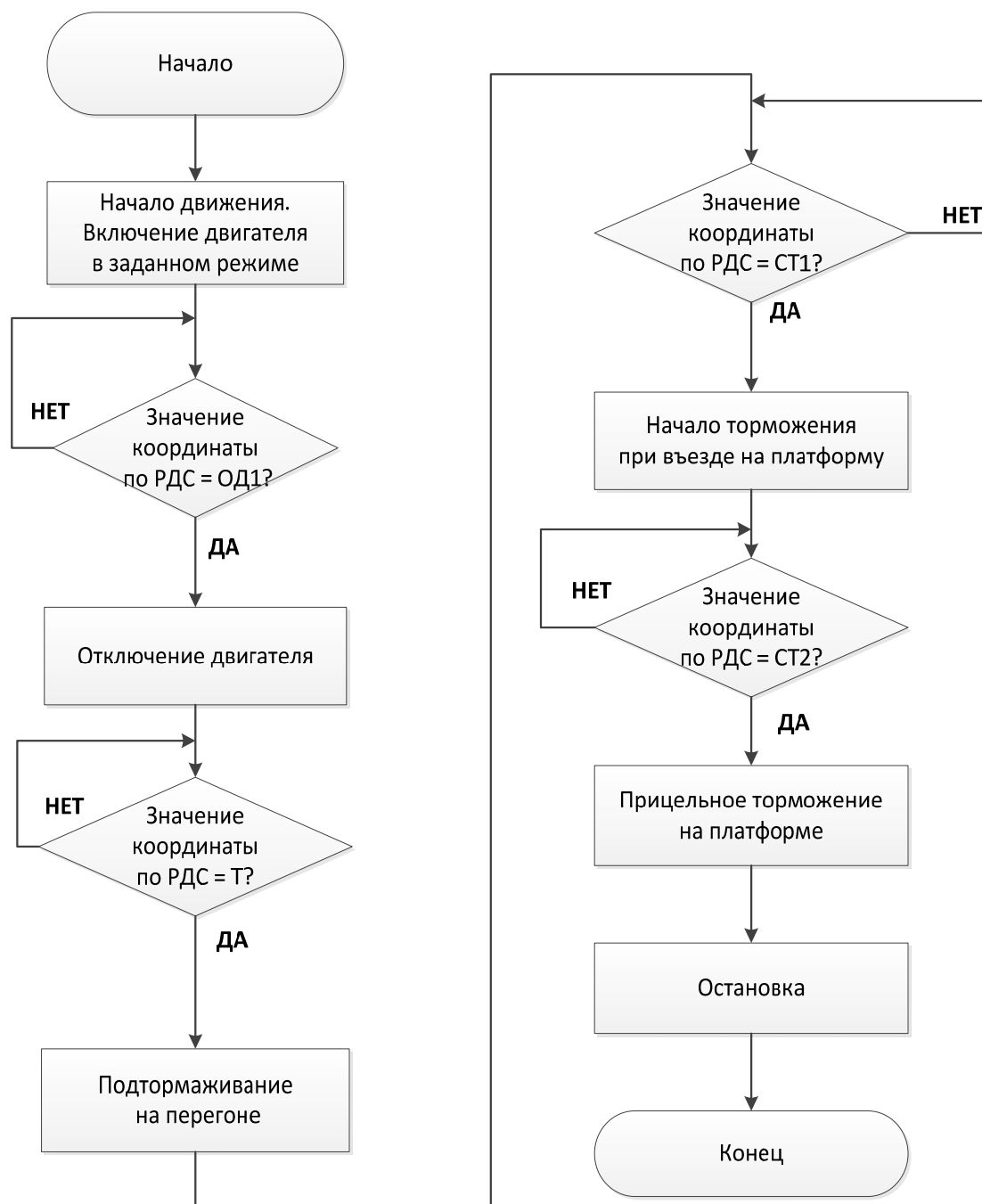


Рис. 4. Алгоритм проследования перегона

Заключение

На данный момент САУП М активно развиваются и внедряются в метрополитенах мира. Развитие САУП М технологически и экономически обосновано и осуществляется в направлениях повышения уровня автоматизации и надежности работы технических средств.

Библиографический список

1. Баранов Л. А. Системы автоматического и телемеханического управления электроподвижным составом / Л. А. Баранов, Е. В. Ерофеев. – М. : Транспорт, 1984. – 311 с.
2. L'Union internationale des transports publics. – URL: <http://www.uitp.org>.
3. Automatic train operation. – URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_train_operation.
4. Copenhagen metro. – URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Copenhagen_metro.
5. List of automated urban subway systems – URL: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_automated_urban_subway_systems.

Email: nikulchikov@mail.ru

В. А. Шатохин, канд. техн. наук

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

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ МЕТРОПОЛИТЕНОВ

Введение

При перерывах энергоснабжения, вызывающих задержки в перевозочном процессе и снижающих пропускную способность линий, значительно увеличивается цена потерь. Особую актуальность проблема бесперебойности энергоснабжения приобретает для метрополитенов, где из-за малого интервала попутного следования поездов и плотного пассажиропотока, да еще в ограниченном пространстве, возникает угроза безопасности пассажиров.

Данная работа посвящена проблемам обеспечения живучести систем электропитания микропроцессорных комплексов при их в функционировании в условиях, не отвечающих требованиям, установленным в стандартах и технических заданиях на данные системы. На практике результаты исследования были реализованы на ряде станций Петербургского и Екатеринбургского метрополитенов и на магистральном транспорте ОАО «РЖД» и положительно зарекомендовали себя.

1. Хронология исследований

С 2000 г. в Центре компьютерных железнодорожных технологий (ЦКЖТ) Петербургского государственного университета путей сообщения (ПГУПС) ведутся научно-исследовательские работы по совершенствованию устройств электропитания микропроцессорных комплексов железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). В 2002 г. централизованной системой бесперебойного питания (СБП) разработки ЦКЖТ был оборудован Центр диспетчерского управления (ЦДУ) Петербургского метрополитена. В 2004 г. были приняты в эксплуатацию на железнодорожном узле Петербург-Московский Сортировочный Октябрьской железной дороги устройства электропитания микропроцессорного комплекса (УЭП-МПК) с СБП на основе моноблочных устройств бесперебойного питания (УБП). В настоящее время данная система широко тиражируется на магистральном транспорте ОАО «РЖД». В 2006 г. УЭП-МПК была интегрирована с микропроцессорной централизацией МПЦ-МЗ-Ф на элементной базе фирмы «Сименс» и пущена в экс-

плуатацию на Юго-Восточной железной дороге. В 2008 г. на Красноярской железной дороге были внедрены устройства электропитания микропроцессорных комплексов на основе шины постоянного тока (УЭП-МПК-ШПТ). В 2009 г. УЭП-МПК-ШПТ были адаптированы для станций Девяткино и Удельная Петербургского метрополитена с учетом специфики работы в метрополитене и в конце обозначения получили индекс «М»: УЭП-МПК-М. Данная система может быть с успехом применена для любой системы ЭЦ: релейной, релейно-процессорной, микропроцессорной. Благодаря применению УЭП-МПК-М было экономично и компактно и в то же время независимо друг от друга организовано электропитание комплексной автоматизированной системы диспетчерского управления (КАС ДУ) и электрической централизации и прочего оборудования от одной и той же установки, что сократило капитальные вложения на 40 %. В 2010 г. была разработана и введена в эксплуатацию система электропитания для горочной автоматической централизации УЭП-МПК-ГАЦ на третьей горке Петербург-Московского Сортировочного узла Октябрьской железной дороги.

2. Постановка задачи

В последнее время наблюдается тенденция к ухудшению качества и надежности энергоснабжения от внешних электрических сетей. Это вызвано тем, что скорость увеличения количества и мощности потребителей электроэнергии превышает скорость модернизации значительно изношенной, а в большинстве случаев давно исчерпавшей свой ресурс энергоснабжающей инфраструктуры. Несмотря на то что в РФ принят государственный стандарт [1], регламентирующий качество напряжения, на большинстве объектов эксплуатации ЖАТ напряжение фидеров питания не соответствует этому стандарту, а обеспечить соответствие не позволяет устаревшая инфраструктура энергохозяйства. Эти обстоятельства вынуждают применять для ЖАТ системы бесперебойного питания потребителей, непосредственно влияющих на безопасность и непрерывность перевозочного процесса. Перед ЦКЖТ была поставлена задача синтеза электропитающей установки микропроцессорных комплексов с учетом обеспечения живучести оборудования при его эксплуатации в условиях, не соответствующих стандартизованным в нормативной документации.

3. Анализ применяемых технических решений

Анализ применяемых в настоящее время на метрополитенах технических решений показал наличие серьезных ошибок в выборе структуры СБП и аппаратной реализации ее элементов. За основу ошибочно были взяты моноблочные источники бесперебойного питания (ИБП) общего применения, предназначенные для работы в глухозаземленных сетях, не

принята во внимание необходимость осуществления электроснабжения изолированно от земли. Это решение было принято отчасти из-за некомпетентности людей, отчасти из-за недобросовестности продавцов оборудования, навязывающих потребителю тот товар, который легче продать. Моноблочный ИБП, как конструктивно законченный агрегат широкого применения, дешевле и его легче перепродать, чем систему, которую нужно комплектовать и адаптировать под нужды конкретного заказчика с относительно малым объемом реализаций. Кроме того, периодическое обслуживание моноблочных агрегатов осуществляет, как правило, продавец, что приносит ему прибыль длительное время и после продажи агрегата. Это отчасти повлияло на появление более глобальной ошибки – принятие безответственного решения о переводе потребителей, непосредственно влияющих на безопасность и непрерывность перевозочного процесса, на глухозаземленное электроснабжение с отказом от изолированного. Основным аргументом принятия этого решения было желание соответствовать Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) [2] для обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала.

Решение о переходе с изолированной системы энергоснабжения на глухозаземленную ошибочно по следующим причинам. Электроустановки ЖАТ относятся к специальным электроустановкам и должны регламентироваться отраслевыми нормативными документами, а не ПУЭ. Для электроустановок, не связанных с производством и сбытом электроэнергии, ПУЭ регламентируют правила построения исходя из того, что с этими электроустановками могут работать люди, не подготовленные в области электробезопасности, а электроустановки ЖАТ эксплуатирует персонал, который должен в обязательном порядке иметь допуск не ниже, чем по 3-й группе электробезопасности, и доступ к этим электроустановкам ограничен. При возникновении неисправности в электроустановке с глухозаземленным электроснабжением происходит срабатывание устройств защиты, которые прерывают подачу электроэнергии и производственный процесс останавливается, возобновляясь только после устранения неисправности. Это недопустимо для ответственных технологических процессов (в медицине, судовой и атомной технике, железнодорожной автоматике и т. п.), поэтому для них применяется изолированное электроснабжение. При неисправности в электроустановке с изолированным электроснабжением устройствами контроля включается аварийная сигнализация, но подача энергии не прерывается, решение об остановке производственного процесса принимает уполномоченный оператор, а у обслуживающего персонала, как правило, есть возможность и время для устранения неисправности без прерывания технологического процесса. При этом безопасность обслуживающего персонала, работающего на неисправной электроустановке, находящейся

под напряжением, решается организационными (обучение, допуск к работе, порядок работы, использование средств групповой и индивидуальной защиты от поражения электрическим током и т. п.) и техническими (применение системы уравнивания потенциалов, контроль и сигнализация, диагностика, мониторинг и т. п.) мероприятиями.

Решение о переходе с изолированной системы энергоснабжения на глухозаземленную безответственно по следующим причинам. Глухозаземленные системы более пожароопасны, чем изолированные, так как токи короткого замыкания на землю в последней пренебрежимо малы, а в глухозаземленной системе могут превышать несколько тысяч ампер. Также безответственно защищать электрика от электрического тока, при этом ставя под угрозу безопасность тысячи незащищенных пассажиров.

4. Установление требований к синтезируемой системе электропитания

В результате научных исследований были сформулированы основные требования, которым должна соответствовать электроустановка (ЭУ), осуществляющая электропитание систем ЖАТ метрополитена:

- 1) иметь изоляцию от земли на всем протяжении от фидеров до питаемого оборудования;
- 2) иметь контроль изоляции всех изолированных источников с выводом сигнала тревоги локально и в системы верхнего уровня;
- 3) быть масштабируемой – допускать увеличение мощности при изменении потребления путем добавления компонентов без замены или ремонта эксплуатируемой части;
- 4) реализовывать принцип унификации, заключающийся в однотипности оборудования для разных категорий станций;
- 5) иметь открытую архитектуру, позволяющую использовать компоненты разных производителей и разработчиков для исключения монополизации;
- 6) позволять перейти от регламентного технического обслуживания к техническому обслуживанию по состоянию;
- 7) иметь время восстановления полностью исправного состояния после отказа не более одного часа силами эксплуатирующего персонала с квалификацией электромеханика;
- 8) допускать «горячую» замену электронных блоков и узлов без прерывания электроснабжения потребителя;
- 9) состоять из заменяемых элементов, вес которых не должен превышать 20 кг – норму поднятия тяжестей на одного человека согласно требованиям нормативных документов по охране труда;

10) не иметь напряжений на открытых токоведущих частях, доступных обслуживающему персоналу при ремонте превышающих пороговые значения низких безопасных напряжений (110 В постоянного тока и 50 В переменного);

11) аккумуляторные батареи должны резервироваться;

12) содержать в своем составе герметичные аккумуляторные батареи, не требующие долива воды;

13) должно предусматриваться резервирование по технологии N+1, заключающейся в параллельном включении нескольких элементов (АКБ, выпрямителей, инверторов, конверторов) с избыточностью на один элемент по сравнению с расчетными значениями;

14) иметь корректор мощности для снижения реактивности входных цепей;

15) осуществлять бестоковую коммутацию входных силовых цепей для увеличения ресурса коммутируемого оборудования;

16) позволять работать с неодинаковыми фидерами (одно-, двух-, трех- и многофазными) в любом сочетании и с равномерной прогрузкой последних;

17) отвечать требованиям нормативных документов по электромагнитной совместимости [3–5] и быть защищенными от воздействий внешних дестабилизирующих факторов [6];

18) обеспечивать защиту от пыли и влаги не ниже IP45 [7];

19) при одинаковом напряжении и способе заземления по входу и выходу иметь возможность организации обходной линии (байпас);

20) соответствовать требованиям функциональной безопасности [6].

Последнее требование необходимо прокомментировать. Важным аспектом применения ЭУ ЖАТ является обеспечение ее функциональной безопасности. Суть его состоит в том, что при любых отказах аппаратно-программных средств ЭУ ЖАТ она не должна допускать превышения напряжения и генерировать частоты, совпадающие с рабочими частотами рельсовых цепей, цепей кодирования, цепей АЛС-АРС и функциональных преобразователей управления стрелок и сигналов [8]. Системы бесперебойного питания (СБП), применяемые в ЭУ, являются мощными программно-управляемыми генераторами. При превышении 280 В на выходе СБП, при отказе ее элементов или сбое программного обеспечения может не выполняться шунтовой режим рельсовой цепи, а это опасный отказ. При генерации частот, совпадающих с рабочими частотами рельсовых цепей и цепей кодирования, возможно включение путевого приемника от этих паразитных частот в обход рельсовой цепи – это тоже опасный отказ. В рамках научно-исследовательских работ ЦКЖТ в первом десятилетии 2000-х гг. проводил исследование соответствия требованиям функциональной безопас-

ности различных типов СБП и инверторов различных производителей для ОАО «РЖД». В результате этих исследований были выработаны рекомендации, на основании которых в настоящее время построены все установки бесперебойного питания на ОАО «РЖД». Но из-за разобщенности с магистральным транспортом метрополитены этим серьезным вопросам до сих пор не уделяют должного внимания и применяют для электропитания ЖАТ непроверенные СБП.

5. Синтез системы электропитания

Для выполнения перечисленных выше требований наиболее подходящей является СБП на основе шины постоянного тока (ШПТ), которую на протяжении нескольких десятилетий используют для электропитания телекоммуникационных систем. Обобщенная структурная схема СБП на основе ШПТ приведена на рис. 1. Принцип работы СБП ШПТ заключается в следующем. Одно-, двух- или трехфазное входное напряжение равномерно распределяется между комплектом выпрямителей (КВ). Выходы выпрямителей объединяются ШПТ. Нагрузки постоянного тока с напряжением, совпадающим с напряжением ШПТ (1-я группа нагрузок), питаются непосредственно от ШПТ через элементы токовой защиты (АВ). Нагрузки переменного тока (2-я группа нагрузок) получают электропитание от комплекта инверторов (КИ), который питается от ШПТ через элементы токовой защиты (АВ). Нагрузки постоянного тока с напряжением, отличным от напряжения ШПТ (3-я группа нагрузок), получают питание от DC/DC-конверторов, образующих комплекты преобразователей (КП). Контроль и управление осуществляет контроллер, основными функциями которого является равномерное распределение мощности между резервируемыми элементами и обеспечение диагностики и мониторинга работы системы. При отказе контроллера система питания способна работать самостоятельно длительное время, обеспечивая нагрузку необходимым питанием, а также заряжать батарею. Сигнализация состояния системы может выдаваться различными интерфейсами, а также безпотенциальными «сухими» контактами.

В УЭП-МПК-М на автоматизированное рабочее место дежурной по станции (АРМ ДСП) передается обобщенный сигнал «Авария питающей», а детализированные сигналы, необходимые для поиска и устранения повреждения, отображаются на мнемосхеме рабочего места дежурного электромеханика (АРМ ШН). Система выполнена по архитектуре N+1. Все блоки и аккумуляторные линейки меняются в «горячем» режиме. Кроме того, значительно снижен вес и габариты за счет отказа от трансформаторов, работающих на частоте 50 Гц, и применения преобразователей и конверторов с гальванической развязкой на высокочастотных трансформаторах.

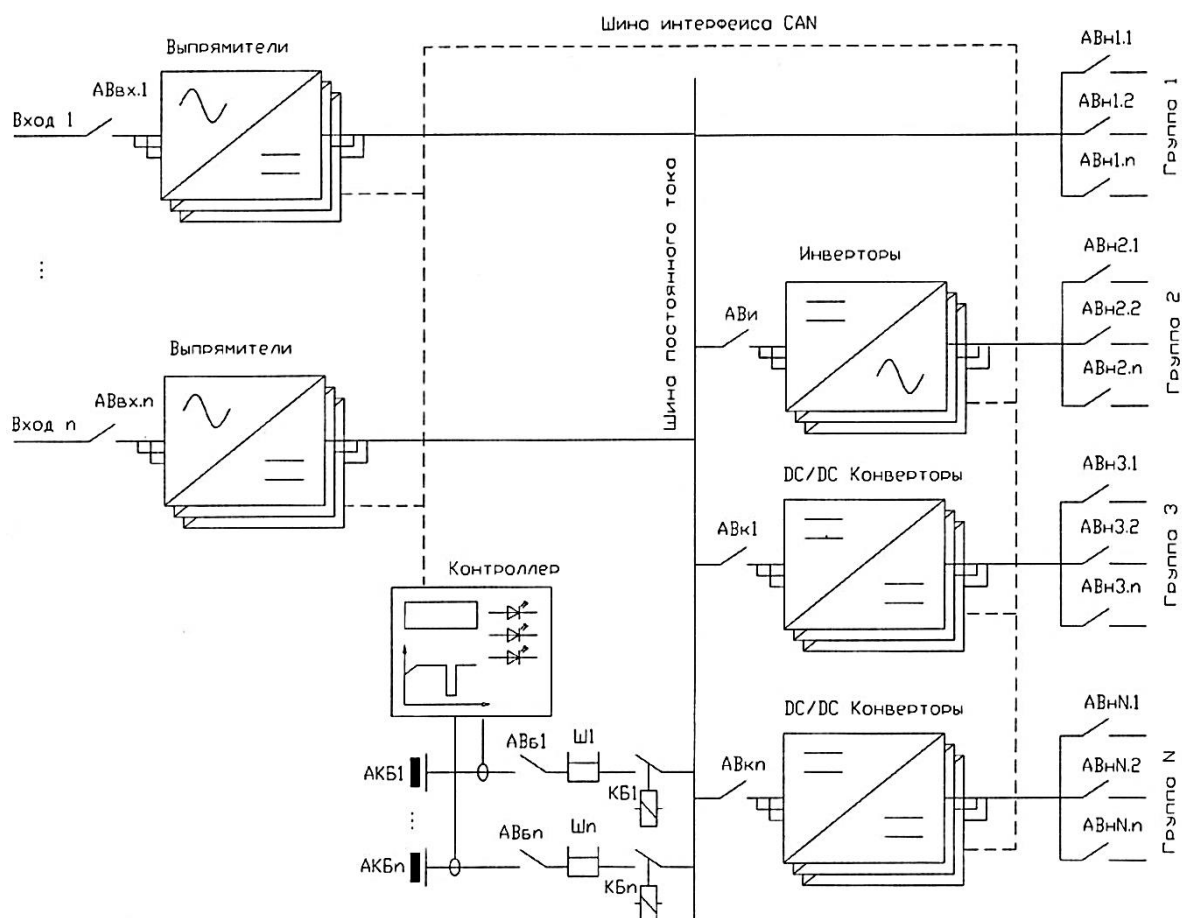


Рис. 1. Обобщенная структурная схема СБП на основе ШПТ

6. Практическая реализация

Структура системы электропитания, адаптированной для станции Де-вяткино Петербургского метрополитена, приведена на рис. 2. В ранее реализованных в Петербургском метрополитене проектах электроснабжения на моноблочных агрегатах предусматривалась отдельная установка из двух параллельно работающих УБП для КАС ДУ и отдельная установка для электрической централизации. При этом на входе каждого ИБП устанавливался изолирующий трансформатор. Применение УЭП-МПК-ШПТ-М позволило от одной установки осуществить независимое питание как КАС ДУ, так и МПЦ-МПК и отказаться от громоздких трансформаторов.

Особенностью также является то, что электропитание средств вычислительной техники (СВТ) осуществляется изолированно от земли. Для электропитания СВТ, использующей в своем составе импульсные источники питания с симметричными фильтрами по входу, больше подходит симметрично изолированная от земли сеть электропитания, а питание компьютерной техники глухозаземленным напряжением снижает эффективность помехозащитных средств, ухудшая ее помехоустойчивость [9].

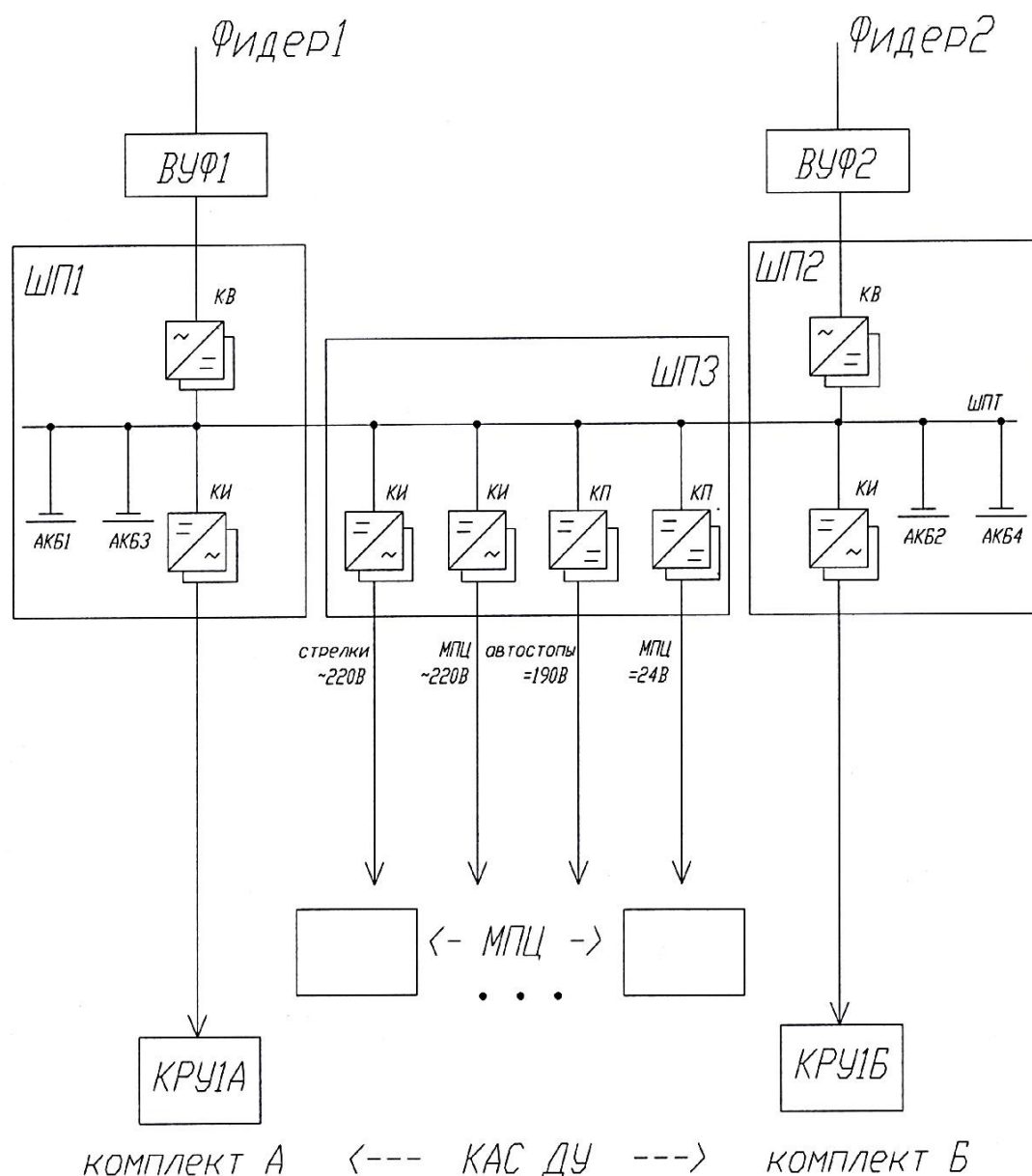


Рис. 2. Структура системы электропитания

Заключение

В ЦКЖТ продолжаются работы по совершенствованию устройств электропитания ЖАТ. В установках электропитания разработки ЦКЖТ используются только качественные компоненты, прошедшие испытания на функциональную безопасность и электромагнитную совместимость. Приоритетным направлением является не продвижение какого-либо типа оборудования определенного производителя, а разработка оптимальной структуры электроустановки для нужд конкретного объекта электропитания с использованием оборудования различных производителей.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 54149-2010 (EN 50160:2010) Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М. : Стандартинформ, 2012. – 16 с.
2. Правила устройства электроустановок (с изменениями, принятыми в 1999–2003 гг.). – М. : ЗАО «Энергосервис», 1998. – 549 с.
3. ГОСТ Р 55176.4.1–2012. Совместимость технических средств электромагнитная. Системы и оборудование железнодорожного транспорта. Ч. 4–1. Устройства и аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. Требования и методы испытаний. – М. : Стандартинформ, 2013. – 18 с.
4. ГОСТ 32133.2–2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Системы бесперебойного питания. Требования и методы испытаний. – М. : Стандартинформ, 2014. – 36 с.
5. ГОСТ Р 51179–98 (МЭК 870-2-1–95). Устройства и системы телемеханики. Ч. 2. Условия эксплуатации. – М. : ИПК «Издательство стандартов», 1998. – 16 с.
6. ГОСТ Р 55369–2012. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. Общие технические требования. – М. : Стандартинформ, 2014. – 57 с.
7. ГОСТ 14254–96. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками. – М. : Стандартинформ, 2007. – 36 с.
8. Манаков А. Д. Нормы опасного и мешающего влияния помех на устройства АЛС-АРС системы БАРС Петербургского метрополитена / А. Д. Манаков, А. А. Блюдов, А. Г. Кабецкий, А. А. Трошин // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 28–39.
9. Компьютер и система электроснабжения в офисе: современные аспекты безопасной эксплуатации / Под ред. О. А. Григорьева. – М. : Изд-во РУДН, 2003. – 107 с.

Email: vital@crtc.spb.ru

УДК 625.42

К. А. Шумаков

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

АВТОМАТИЗАЦИЯ ФУНКЦИЙ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ СТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНОВ

Введение

Электроснабжение – ключевая система в структуре метрополитена. Диспетчер участка энергоснабжения (ЭД) осуществляет контроль и управление устройствами электроснабжения метрополитена. Оперативная работа ЭД:

- технологический процесс работы электроустановок;
- допуск персонала на рабочие места;
- контроль за соблюдением техники безопасности при работе с установками и т. д.;

Эта работа четко формализована должностными инструкциями.

Выполнение поставленных перед ЭД задач требует концентрации внимания и быстроты принятия решения.

Для повышения качества работы ЭД были разработаны и внедрены на метрополитене алгоритмы автоматизации управления, в основном касающиеся работы с устройствами электротяговой сети.

Рассмотрим реализацию и особенности части алгоритмов автоматизации работы ЭД с контактной сетью.

1. Устройства электроснабжения

Устройства электроснабжения метрополитена должны обеспечивать [1, 2]:

- надежное электроснабжение подвижного состава;
- надежное электропитание всех потребителей в метрополитене;
- иметь необходимый резерв.

Основными потребителями электрической энергии в метрополитене являются [1, 2]:

- тяга поездов – самый емкий потребитель, доля расхода электроэнергии для движения поездов составляет около 67 % от общего ее потребления;
- электроприводы эскалаторов, потребляющие около 6 % от общего расхода электроэнергии;

- устройства автоматики и телемеханики движения поездов, чья нагрузка и расход энергии сравнительно малы, но значение их для обеспечения графика и безопасности движения велико;
- осветительные приборы станций, вестибюлей, переходов, служебных помещений, на которое расходуется примерно 10 % электроэнергии;
- вентиляционные и насосные установки, потребляющие около 10 % электроэнергии;
- предприятия, обеспечивающие содержание и ремонт сооружений и устройств хозяйства метрополитена, потребляющие около 4 % электроэнергии;
- силовые нагрузки на станциях и в тоннелях (уборочные машины, электроинструменты, сварочные аппараты, механизмы для путевых и других работ и т. д.).

Все без исключения потребители получают электроэнергию от подстанций метрополитена, которые, в свою очередь, подключены к подстанциям или электростанциям городской электрической сети. Тяговые подстанции питают тяговую сеть 825 В, а понизительные подстанции – остальных потребителей. На метрополитене тяговые подстанции объединены с понизительными и образуют совмещенные тягово-понижительные подстанции (СТП). Имеются отдельно стоящие понизительные подстанции: вестибюльные (ВПП), тоннельные (ТПП), деповские (ДПП). Существуют два варианта реализации схемы питания тяговой сети:

- централизованная;
- децентрализованная (распределенная) система.

При централизованной системе тяговые подстанции размещаются на максимально возможном расчетном расстоянии друг от друга. Каждая тяговая подстанция питает контактную сеть нескольких перегонов.

В метрополитене применена децентрализованная система электроснабжения тяги поездов, при которой СТП сооружаются, как правило, непосредственно на каждой станции. Надежность децентрализованной системы питания оценивается выше, чем централизованной, за счет приближения подстанций к потребителю электроэнергии и сокращения протяженности питающих его кабельных линий, а значит, и снижения потерь электроэнергии [1].

В метрополитене применяется система телеуправления и производится непрерывный контроль за состоянием объектов СТП на всех линиях. Осуществляется это с диспетчерского пункта, который оборудован рабочим местом диспетчера (АРМ-ЭД). АРМ-ЭД представляет собой совокупность программных и аппаратных средств, выполняющих следующие функции:

- телеуправление (ТУ) по каналам ВРТФ-3, МКТ, ЛИСНА, КАС ДУ объектами СТП;

- отображение всех мнемосхем СТП линии метрополитена на одном уровне управления и контроля;
- телесигнализация (ТС) и индикация актуального состояния объектов СТП на мнемосхемах;
- телеизмерения (ТИ) токов и напряжений объектов СТП;
- протоколирование поступивших в АРМ-ЭД «телесигналов» и действий диспетчера по телеуправлению;
- самодиагностирование – определение корректного состояния функционирования АРМ-ЭД, оборудования КАС ДУ и технологических каналов ТУ, ТС и ТИ;
- автоматизация работы диспетчера – осуществление планового снятия и подачи напряжения на контактный рельс, экстренного снятия напряжения с контактного рельса [3];
- вспомогательное информирование диспетчера: определение правильности схемы 825 В, наличия напряжения на разъединителях 825 В, счетчиках автоматических повторных включений фидеров 825 В, цветовая индикация коммутационной схемы, количества поездов, находящихся на фидерной зоне.

2. Электротяговая сеть

Для облегчения понимания описанных алгоритмов расскажем о контактной сети метрополитена (рис. 1).

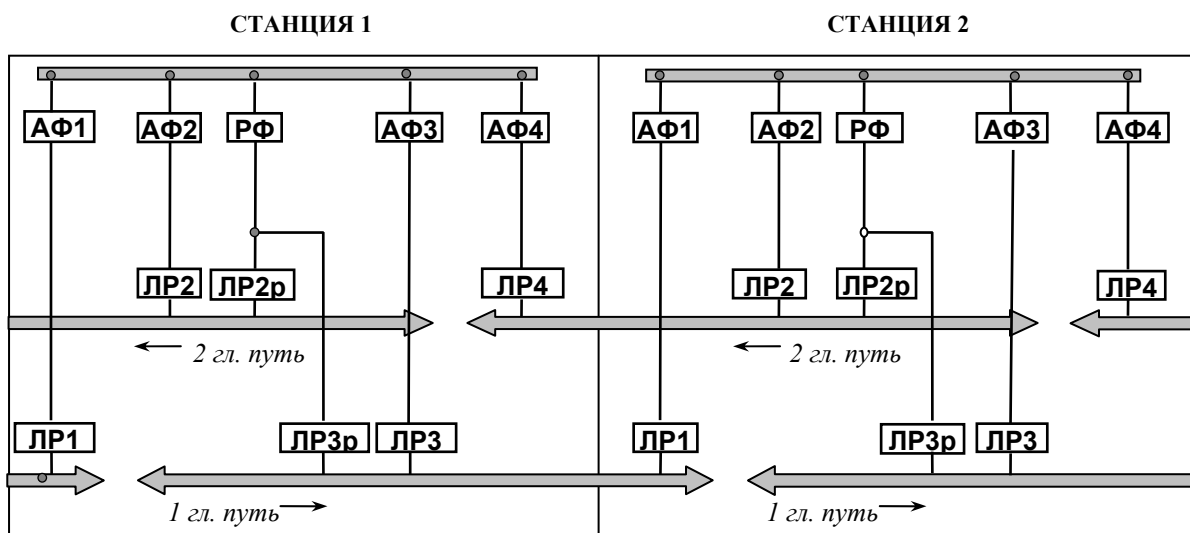


Рис. 1. Тяговая сеть

Контактный рельс каждого главного пути перегона получает питание от двух СТП, своей и соседней. Таким образом, при потере напряжения на одной СТП контактный рельс остается под напряжением (питание по консоли). Для разделения контактных рельсов между собой на главном пути

перегона перед платформой каждой станции по ходу движения поезда имеется «неперекрываемый» промежуток длиной не менее 14 м. Контактный рельс, ограниченный «неперекрываемыми» промежутками и запитанный посредством двух фидерных автоматов (АФ825В) и соответствующих линейных разъединителей (ЛР825В), называется фидерной зоной. Принято считать, что фидерный автомат, находящийся в начале зоны, называется пусковым, в конце – подпитывающим. Резерв питания осуществляется посредством резервного фидерного автомата (РФ825В), который может подключаться к первому или второму главному пути станции, имеет два линейных разъединителя. Все автоматы подключены к шине 825 В, которая, в свою очередь, запитана через катодный автомат (КВА) от высоковольтной части СТП. В зависимости от загруженности станции количество КВА варьируется от двух до четырех [1].

Основной задачей разработки и внедрения алгоритмов управления СТП является автоматизация трудоемких и критичных к времени исполнения процессов. Такими задачами являются:

- плановая подача и снятие напряжения с контактного рельса; для проведения необходимых ремонтных и технологических работ в тоннеле нужно обеспечить отсутствие напряжения на контактном рельсе в ночное «окно»;
- экстренное снятие напряжения с контактного рельса при возникновении аварийных ситуаций в дневное время.

Для решения этих задач совместно со службой «Э» Петербургского метрополитена были разработаны соответствующие алгоритмы, которые предоставляют возможность одновременного управления объектами при подаче и снятии напряжения с контактного рельса на СТП управляемой линии метрополитена.

3. Алгоритм плановой подачи и снятия напряжения

Алгоритм плановой подачи и снятия напряжения обеспечивает [4, 5]:

- проверку условий;
 - диалог с диспетчером;
 - подачу команд ТУ на объекты, находящиеся под нагрузкой 825 В;
 - контроль за прохождением команд телеуправления с использованием данных телесигнализации;
 - выдачу сообщений диспетчеру о состоянии системы управления;
 - автоматическое формирование записей для протокола работы системы.
- Исходные условия для работы алгоритма:
- все СТП линии находятся в режиме телеуправления;
 - все объекты телеуправления находятся в режиме телеуправления;
 - каналы и цепи телеуправления и телесигнализации исправны.

Снятие напряжения может осуществляться как полностью со всей линии, так и поэтапно с участков, для обеспечения безопасности работ на смежных линиях. При поэтапном снятии, для облегчения работы диспетчера, алгоритмом предусмотрен выбор по умолчанию участков для снятия. Считается, что со станции снято напряжение, если на СТП имеется телесигнализация включенного положения защитного заземлителя 825 В (33825В) и сигнализация отсутствия напряжения на шине 825 В. Снятие напряжения с линии начинается с отключения всех включенных КВА на каждой СТП особо. После получения соответствующего подтверждения об отключенном положении всех КВА алгоритм ожидает телесигнала отсутствия напряжения на секциях шин (КНШ) по всем СТП линии. Далее отключаются все включенные АФ825В на каждой СТП особо. Стандартная СТП имеет пять АФ825В – для ускорения процесса отключения используется групповая команда телеуправления автоматами, которая позволяет одним приказом отключить все автоматы. Последним шагом алгоритма является команда на включение 33825В. Снятие напряжения с участка имеет отличия от общего алгоритма (рис. 2):

- КНШ ожидается только с СТП, участвующих в снятии;
- необходимо отключить подпитывающие АФ825В на «пограничных» СТП для обеспечения отсутствия напряжения.

Подача напряжения осуществляется в два этапа (рис. 3). Сначала необходимо отключить 33825В по все линии. Далее, по алгоритму, учитывающему текущую дату и количество КВА на СТП, включаются агрегаты. После их включения включаются все АФ825В.

4. Алгоритм экстренного снятия напряжения с контактного рельса

В данном случае программа позволяет обеспечить снятие напряжения с фидерной зоны, на которой это необходимо (падение пассажира, поломка состава, возгорание и т. д.). В процессе выполнения программы учитываются все необходимые условия для обеспечения снятия напряжения и соблюдения технологического процесса. Для каждой станции условия алгоритма свои – это связано с особенностью путевого развития и схем питания контактного рельса.

На рис. 4 представлен обобщенный алгоритм снятия напряжения с контактного рельса.

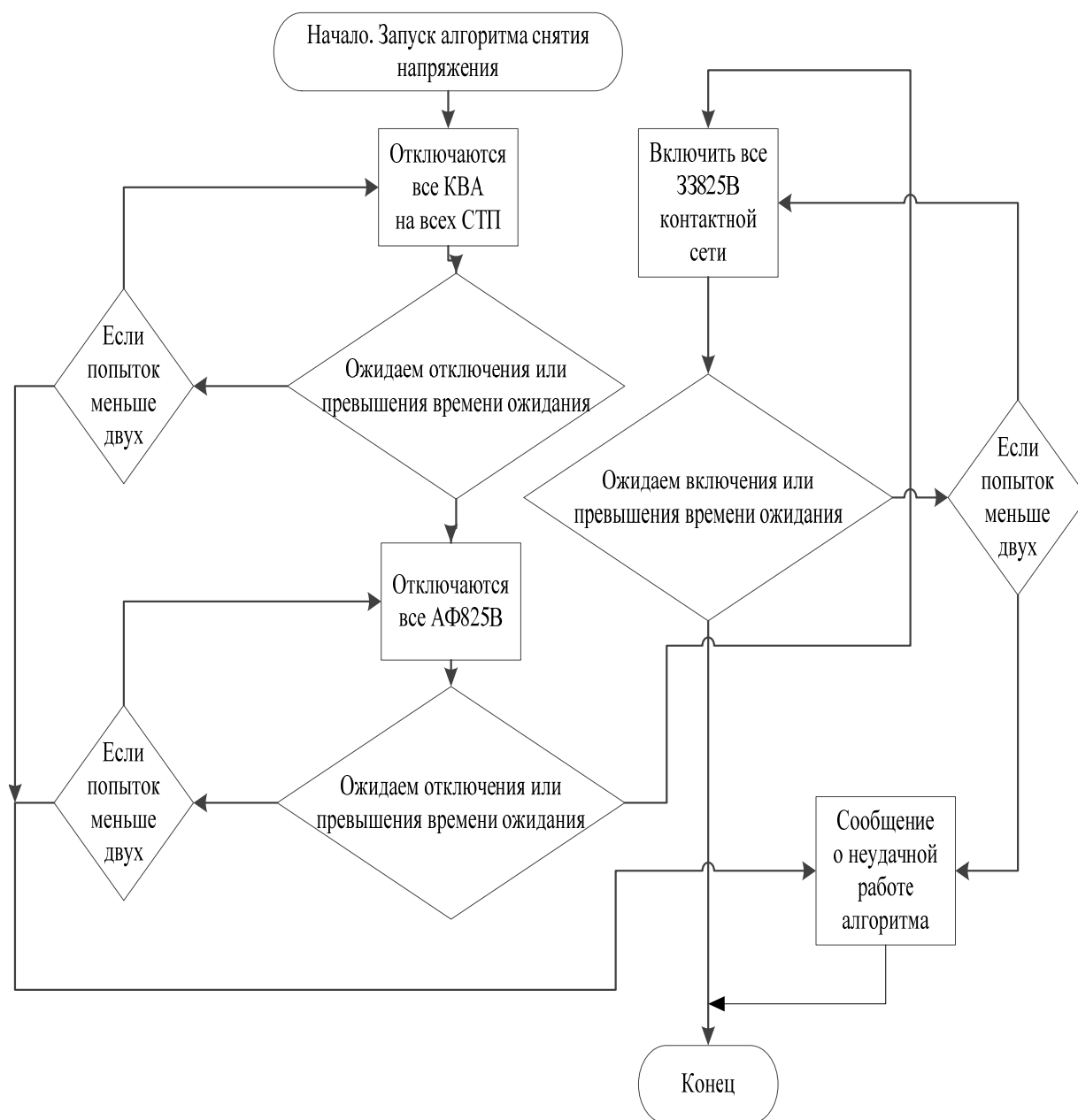


Рис. 2. Алгоритм снятия напряжения в ночное «окно»

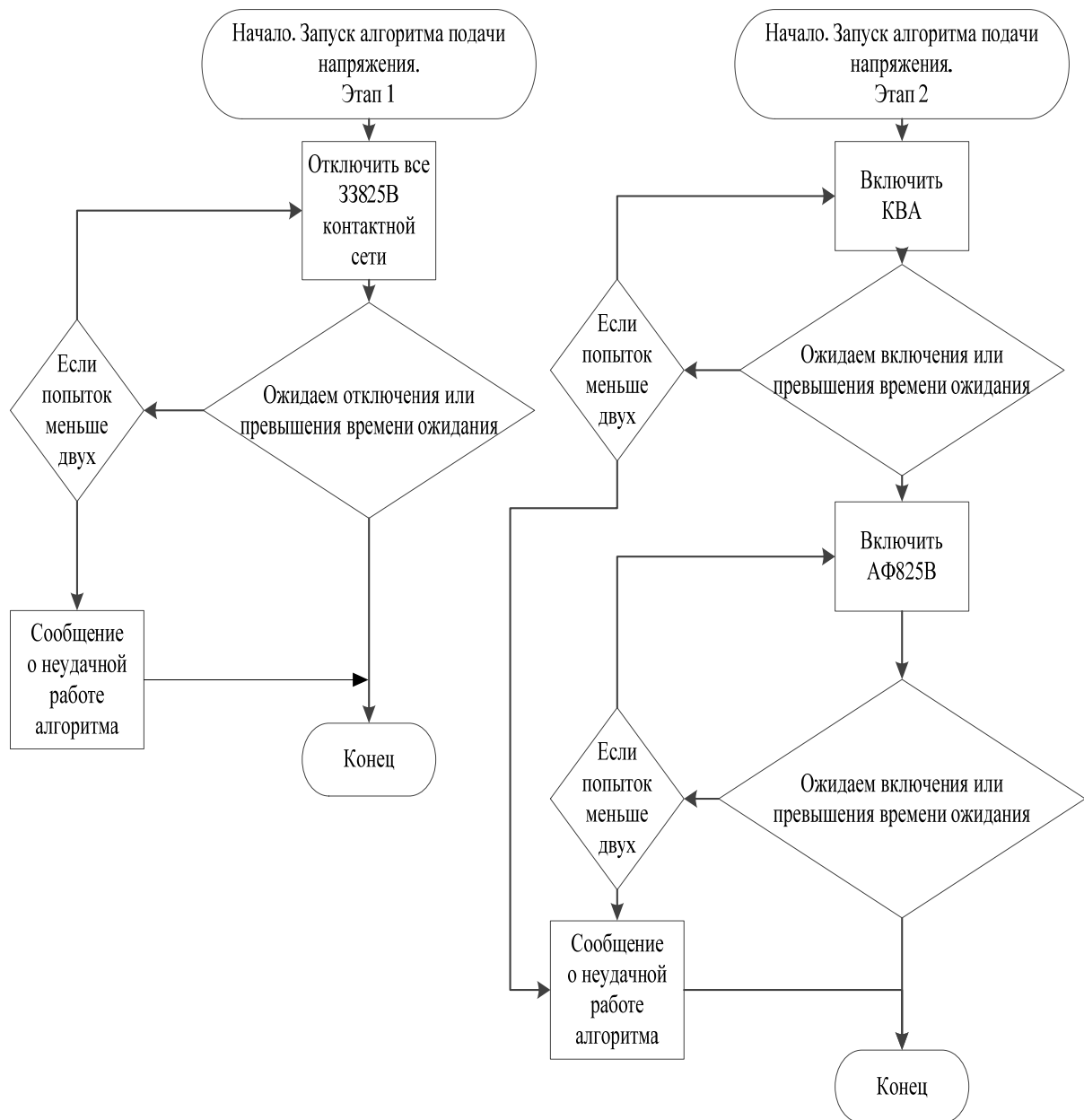


Рис. 3. Алгоритм подачи напряжения в ночное «окно»

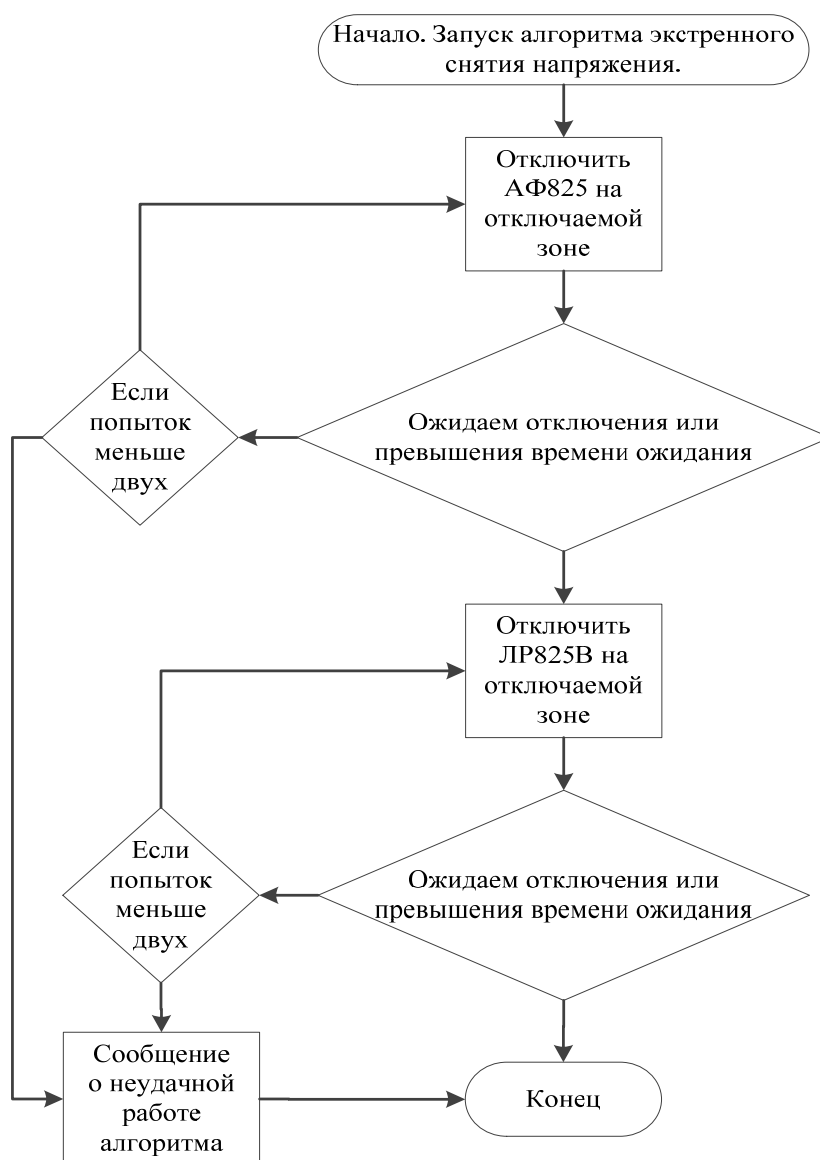


Рис. 4. Алгоритм экстренного снятия напряжения

5. Поездная обстановка

Задача алгоритма анализа поездной обстановки – определить количество поездов на фидерной зоне и отобразить эту информацию для диспетчера в удобном виде. На базе алгоритмов построения исполненного графика движения поездов был разработан компонент, позволяющий рассчитывать количество поездов на заданном участке. Таким образом, определив принадлежность рельсовых цепей к фидерной зоне, можно информировать диспетчера о количестве поездов на ней. Важно уточнять положение поезда при переходе с одной фидерной зоны на другую. В случае, если границы рельсовых цепей приходятся на 14-метровый разрыв, то наличие поезда на фидерной зоне будет определяться по факту занятия двух рельсовых

цепей (рис. 5). Данная информация помогает диспетчеру оперативно принять правильное решение при экстренном снятии напряжения и при аварийном самопроизвольном отключении АФ825В. Алгоритм отображения поездной обстановки изображен на рис. 5. Из рисунка видно, что около изображения каждого контактного рельса имеется индикатор, разделенный на три ячейки:

- средняя ячейка информирует о количестве поездов на фидерной зоне, без учета границ переходов с одной зоны на другую;
- левая и правая ячейки учитывают только граничные значения.

Таким образом, при переходе подвижного состава с одной фидерной зоны на другую диспетчер увидит его на двух фидерных зонах.

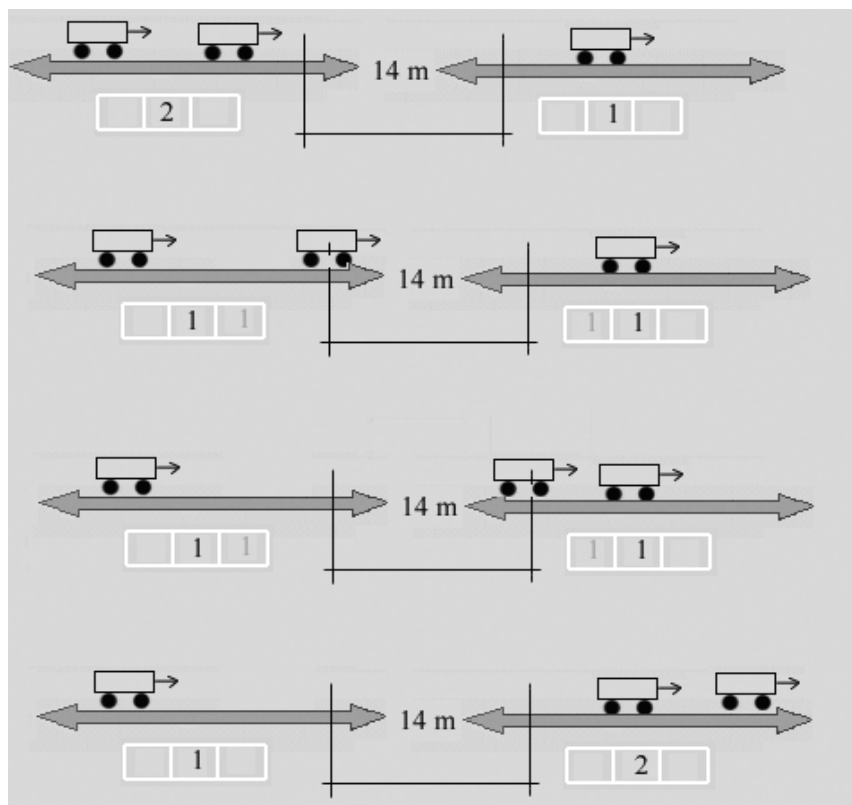


Рис. 5. Поездная обстановка

При отображении коммутационной схемы СТП используется цветовая индикация, которая зависит от наличия напряжения и принадлежности к коммутируемому напряжению. Для решения этой задачи строится граф коммутационных элементов с описанием всех зависимостей между ними. С заданным периодом происходит обход графа и назначаются признаки наличия напряжения на каждом его элементе. Граф строится для каждой СТП, далее описываются связи между графами всех станций линии и смежными станциями соседних линий.

Заключение

Алгоритмы автоматизации позволяют ускорить время выполнения технологических процессов, проконтролировать выполнение переключений, повысить информативность имеющихся мнемосхем.

Реализация и внедрение алгоритмов автоматизации свидетельствуют об эффективности их использования в работе ЭД. Например, снятие напряжения в ночное «окно» с 19 СТП занимает менее двух минут, при этом диспетчер контролирует весь процесс и имеет возможность воздействовать на него. Алгоритмы позволяют быстро и правильно обеспечить экстренное снятие напряжения, когда время и правильность действий диспетчера являются крайне важными параметрами, и снятие напряжения с контактного рельса.

Автоматизация четко формализованных технологических процессов снижает количество ошибок, уменьшает время выполнения работы и сводит к минимуму «человеческий фактор».

Библиографический список

1. Фролов Ю. С. Метрополитены : учебник для вузов / Ю. С. Фролов, Д. М. Голицынский, А. П. Ледяев. – М. : Желдориздат, 2001.
2. Манаков А. Д. Нормы опасного и мешающего влияния помех на устройства АЛС-АРС системы БАРС Петербургского метрополитена / А. Д. Манаков, А. А. Блюдов, А. Г. Кабецкий, А. А. Трошин // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 28–39.
3. 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.
4. Инструкция о порядке производства работ сторонними организациями в эксплуатируемых сооружениях Петербургского метрополитена I-38. – СПб. : ГУП «Петербургский метрополитен», 2010.
5. Инструкция о порядке снятия и подачи напряжения на контактный рельс Петербургского метрополитена. – СПб. : ГУП «Петербургский метрополитен», 2010.

Email: shumakov.kostya@gmail.com

УДК 625.42

**Д. Г. Никулин,
К. А. Бутузов**

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

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ПО ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ: СОЗДАНИЕ ДЕМИЛИТАРИЗОВАННОЙ ЗОНЫ

Введение

Исторически система КАС ДУ создавалась без учета требований информационной безопасности. Начиная с 2013 г., в соответствии с приказом Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК России) от 11 февраля 2013 г. № 17 «Об утверждении требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах» [1], системе КАС ДУ был присвоен 4-й класс защищенности и разработано техническое задание (ТЗ) [2] на мероприятия обеспечения безопасности для соответствия этому классу.

Часть мероприятий на момент публикации уже реализованы. Часть находится в разработке. В данной статье рассматривается одно из пока не реализованных мероприятий по обеспечению информационной безопасности.

1. Создание демилитаризованной зоны

На данный момент серверы системы КАС ДУ напрямую соединены с сетью КАС ДУ и через межсетевой экран – с сетью метрополитена [2, 3] (рис. 1). Помимо специфичных собственных серверов, работающих с внутренней сетью КАС ДУ, есть также web-серверы, которые отображены в сети метрополитена. Следует отметить, что все серверы реализованы в виде виртуальных машин, запущенных под управлением ОС VM Ware на одном блэйд-сервере.

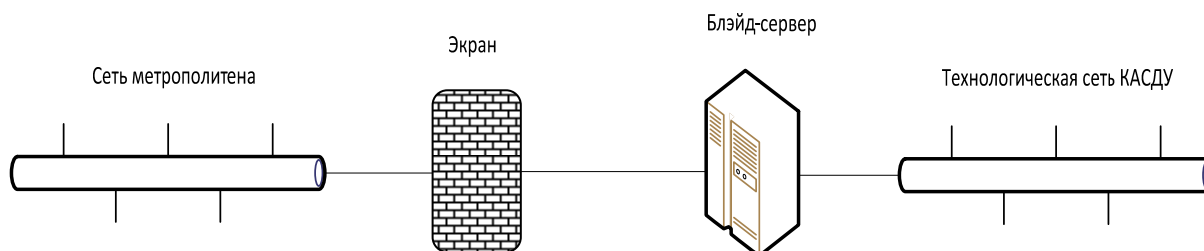


Рис. 1. Существующая схема сети КАС ДУ

Такая структура, согласно современным требованиям безопасности, является потенциально опасной. Независимо от того, как защищен web-сервер, рано или поздно он подвергнется атаке. А если атакующий получит возможность управления web-сервером, он сможет нарушить как работу как внешних служб КАС ДУ, таких как АСУАРЛМ, так и внутренних технологических процессов. Следовательно, необходимо защитить сервер от атак, минимизировать ущерб от возможного вторжения и обеспечить быстрое его восстановление.

В соответствии с требованиями нормативных документов сервер (серверы) системы КАС ДУ необходимо поместить в так называемую демилитаризованную зону (ДМЗ). ДМЗ – сегмент сети, содержащий общедоступные сервисы и отделяющий их от частных [4]. В качестве общедоступного сервиса в данном случае выступают серверы КАС ДУ, предоставляющие web-сервис для сети метрополитена.

При формировании ДМЗ КАС ДУ создаются две физически разделенные сети: одна для серверов, доступных из внешней сети (в данном случае сеть метрополитена), другая – для внутренних серверов и других компонентов КАС ДУ. Существуют несколько схем ДМЗ. В зависимости от типа ДМЗ и числа используемых сетевых экранов применяется та или иная политика маршрутизации для каждой из сетей. В КАС ДУ необходимо контролировать доступ между:

- сетью метро и ДМЗ;
- ДМЗ и внутренней сетью КАС ДУ.

Главное преимущество использования ДМЗ вместо классического межсетевого экрана состоит в том, что при атаке на web-сервер из сети метро риск компрометации внутренних серверов снижается, поскольку общедоступные и внутренние серверы отделены друг от друга. Если скомпрометированный сервер находится в ДМЗ, злоумышленник не сможет напрямую атаковать другие серверы и объекты, расположенные во внутренней сети. Второй межсетевой экран блокирует любые попытки компьютеров из ДМЗ подключиться к компьютерам внутренней сети, за исключением специально разрешенных соединений.

Кроме того, применение ДМЗ дает ряд преимуществ при обеспечении безопасности:

1. ДМЗ позволит контролировать исходящий трафик так, что можно будет остановить распространение различных «червей», которые используют web-сервер для взлома других компьютеров, и атакующие не смогут задействовать Trivial FTP (TFTP) на web-сервере.

2. Появляется возможность обнаружения вторжений, фильтрации содержимого и мониторинга на уровне приложений. Это возможно реализовать на сетевых экранах нового поколения. Таким образом, сетевой экран

обеспечивает защиту внутренней сети от атак не только из внешней сети, но и с подвергшихся нападению компьютеров из ДМЗ. Если скомпрометированный компьютер находится в ДМЗ, а не во внутренней сети, атакующий попытается пройти брандмауэр вновь для получения доступа к внутренней сети.

3. ДМЗ обеспечивает дополнительный уровень защиты от атак, при которых злоумышленники пытаются получить доступ через любые порты, оставленные открытыми на общедоступных серверах.

4. ДМЗ защищает серверы от атак типа подмены адресов (spoofing) с использованием протокола Address Resolution Protocol (ARP).

Несмотря на все преимущества, ДМЗ обладает и рядом очевидных недостатков. Это, в первую очередь, снижение общей производительности вследствие медленной работы межсетевых экранов. Данный недостаток может и не проявляться при низкой загрузке системы, а может стать «узким местом» при высокой. На выбор более производительного сетевого экрана влияет стоимость.

2. Проблема безопасности

Какие же трудности существуют при создании ДМЗ в системе КАС ДУ? При создании системы КАС ДУ не произведено разделение на внутренние и внешние серверы, т. е. не была учтена проблема безопасности. Кроме того, база данных (системы АСУАРЛМ) является общей для внутренних и внешних серверов. Пополнение базы осуществляется в реальном времени из внутренней сети КАС ДУ. Успешная атака на базу данных выведет из строя систему АСУАРЛМ и может уничтожить архивные данные. С учетом сказанного и других требования обеспечения безопасности [2], таких как необходимость внедрения системы обнаружения вторжений (СОВ) [5], предлагается следующая схема организации ДМЗ для КАС ДУ (рис. 2).

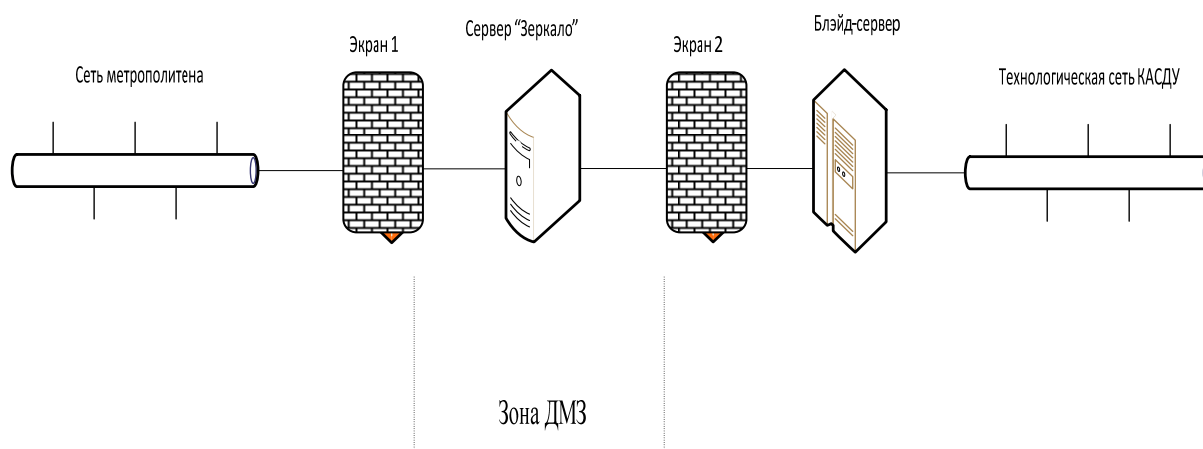


Рис. 2. Схема организации ДМЗ для КАСДУ

В данной структуре предусматривается разделение серверов на внутренние и внешние. Создается новый сервер, условно называемый «Зеркало». На этом сервере создается копия базы данных с основного сервера АСУАРЛМ, ее актуальность поддерживается с помощью служб репликации. На этом сервере располагаются все web-сервисы для внешней сети. Данная структура позволяет применить межсетевой экран 1, совмещенный с системой обнаружения вторжений. Кроме того, по отношению к другим вариантам создания ДМЗ уменьшаются требования пропускной способности экрана 2, так как через него осуществляется только репликация базы данных, которая не требует «мгновенного отклика». Вся работа с базой данных из сети метро осуществляется на сервере «Зеркало». В случае успешной атаки на сервер злоумышленники смогут уничтожить только копию базы данных. Основная база данных при такой структуре будет недоступна.

Заключение

Предлагаемый вариант создания ДМЗ не является единственно возможным. Он соответствует критериям защиты, минимизации ущерба и скорости восстановления. Выбор между этим и другими вариантами будет осуществляться по критериям трудозатрат на создание, стоимости оборудования и требований к защите информации.

Библиографический список

1. Об утверждении Требований о защите информации, не составляющей государственную тайну, содержащейся в государственных информационных системах : приказ Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК России) от 11 февраля 2013 г. № 17, Москва // Российская Газета. – 2013. – Федеральный выпуск 26 июня, № 6112 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rg.ru/gazeta/rg/2013/06/26.html>.
2. КАС ДУ. Техническое задание. Петербургский метрополитен. – СПб., [б. г.].
3. Комплексная автоматизированная система диспетчерского управления работой линии метрополитена. КАС ДУ. ЦКЖТ ПГУПС, 2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://crtc.ru/kas.php>. – Загл. с экрана.
4. Сергеев А. Настройка сетей Microsoft дома и в офисе : учеб. курс / А. Сергеев. – СПб. : ИД «Питер». – 312 с.
5. СОВ Материал из Википедии – свободной энциклопедии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki>. – Загл. с экрана.

Email: crtc@crtc.spb.ru

УДК 625.42

С. В. Кононов

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

ОРГАНИЗАЦИЯ КАНАЛА СВЯЗИ МЕЖДУ ПОЕЗДНОЙ И СТАНЦИОННОЙ АППАРАТУРОЙ АВТОВЕДЕНИЯ НА ОСНОВЕ УСТРОЙСТВ «МОХА»

Введение

Системы автоматического управления движением поездов метрополитена (САУП М, автоведение) представляют собой комплекс программно-аппаратных средств, предназначенных для автоматизации труда машиниста электропоезда. Одной из основополагающих частей такой системы является передача информации между подвижной единицей и станционным оборудованием. Очевидно, что такая связь может осуществляться по радиоканалу, поэтому возникает потребность в выборе аппаратуры для создания радиотракта передачи данных. Также необходимо учесть, что использование радиосвязи на железнодорожном транспорте и в метрополитене, в частности, накладывает ряд требований к радиооборудованию, это:

- надежное и безопасное соединение, а также передача данных;
- оборудование не должно оказывать влияния на другие радиоканалы.

1. Выбор IEEE 802.11 для использования в метрополитене

Современные радиосредства обмена информацией, которые сейчас представлены на рынке, строятся в основном на широко используемом современном стандарте IEEE 802.11 (Wi-Fi). Wi-Fi – торговая марка Wi-Fi Alliance для беспроводных сетей на базе стандарта IEEE 802.11. Под аббревиатурой Wi-Fi (от английского словосочетания Wireless Fidelity, которое можно дословно перевести как «беспроводное качество» или «беспроводная точность») в настоящее время известно целое семейство стандартов передачи цифровых потоков данных по радиоканалам [1].

Обычно схема Wi-Fi сети содержит не менее одной точки доступа и имеет не менее одного клиента. Также возможно подключение двух клиентов в режиме «точка – точка» (Ad-hoc), когда точка доступа не используется, а клиенты соединяются посредством сетевых адаптеров «напрямую». Точка доступа передает свой идентификатор сети (SSID) с помощью специальных сигнальных пакетов на скорости 0,1 Мбит/с каждые 100 мс. Поэтому 0,1 Мбит/с – наименьшая скорость передачи данных для Wi-Fi. Зная SSID сети, клиент может выяснить, возможно ли подключение к данной

точке доступа. При попадании в зону действия двух точек доступа с идентичными SSID приемник может выбирать между ними на основании данных об уровне сигнала [1].

Использование Wi-Fi-устройств на предприятиях обусловлено высокой помехоустойчивостью, особенно на предприятиях с множеством металлических конструкций. В свою очередь, Wi-Fi-приборы не создают существенных помех для узкополосных радиосигналов. Несомненным преимуществом Wi-Fi-устройств является гарантированная совместимость оборудования благодаря обязательной сертификации Wi-Fi Alliance.

Стандарт IEEE 802.11 работает в двух диапазонах – 2,4 ГГц и 5 ГГц, работа на которых в Российской Федерации возможна без получения специального разрешения от Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) [2]. Это касается и регистрации приемно-передающего оборудования.

Безопасность в сетях Wi-Fi достигается путем применения методов шифрования WEP, WAP, WAP2 и их микширования. Для повышения безопасности можно скрыть Wi-Fi-сеть от сканирования сторонними устройствами. Кроме того, применение узконаправленной антенны ограничивает и саму возможность сканирования.

Все это дает возможность применять стандарт IEEE 802.11 для решения задач автоведения.

Примерная схема обмена информацией станционного оборудования и поезда осуществляется через станционную Wi-Fi-сеть и выглядит следующим образом. На станции устанавливается оборудование точки доступа с узконаправленной антенной в месте остановки первого вагона. При прибытии поезд оказывается в поле станционной антенны. Клиентское оборудование беспроводной сети, установленное на поезде, соединится со станционной Wi-Fi-сетью и происходит обмен информацией между бортовым компьютером и станционной информационной системой.

Таким образом, на протяжении всего маршрута движения поезда, на каждой станции бортовой компьютер получает оперативную информацию, необходимую для автоведения.

2. Оборудование IEEE 802.11 для использования в метрополитене

В качестве одного из возможных решений для беспроводной связи «поезд – станция» может стать применение промышленных решений компании «Моха». Компания «Моха» специализируется на разработке и производстве телекоммуникационных решений промышленного стандарта и уже более 20 лет известна на рынке систем связи. Компания разрабатывает устройства автоматизации на железных дорогах и имеет более 100 внедрений бортовых систем по всему миру [3].

Компания «Моха» имеет сертификацию IRIS (International Railway Industry Standard). IRIS – международный стандарт железнодорожной промышленности, который был разработан рабочей группой Европейской ассоциации железнодорожной промышленности (UNIFE). Целью стандарта является создание системы менеджмента бизнеса, которая позволяет проводить в жизнь постоянные улучшения и особое значение придает предотвращению и снижению числа дефектов в цепи поставок. Процесс сертификации по IRIS основан на подходе, при котором сертифицируется каждая площадка в отдельности, поэтому сертификация сразу нескольких площадок, как это предполагается другими процессами сертификации, например по ISO 9001, неприменима к процессу сертификации по IRIS [4].

В ряду продукции компании «Моха» присутствуют высокоскоростные точки доступа AWK-3131, которые также могут выступать в роли бортового радиооборудования.

Устройство работает в диапазонах 2,4 и 5 ГГц, при этом поддерживаются стандарты IEEE 802.11a/b/g/n, стандарт безопасности IEEE 802.11i.

Пара устройств AWK-3131 в виде точки доступа на станции с одной стороны и бортового клиента с другой стороны образуют радиомост для сети Ethernet, позволяя оперативно обмениваться данными с поездом.

Заключение

Использование устройств компании «Моха» позволяет решать задачи передачи данных между станционным и бортовым оборудованием. При дальнейшем развитии информационной структуры метрополитена возможно использование оборудования «Моха», которое имеет большие возможности по расширению сбора, передачи и обработки информации.

Библиографический список

1. Wi-Fi. Материал из Википедии – свободной энциклопедии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : ru.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi. – Загл. с экрана.
2. Заседание ГКРЧ от 07.05.2007 (протокол № 07-20) / Минкомсвязь России [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://minsvyaz.ru/ru/documents/4039/>. – Загл. с экрана.
3. МОХА, сайт компании [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.moha.ru/about/moha>. – Загл. с экрана.
4. Система менеджмента бизнеса предприятий железнодорожной промышленности / Ассоциация по сертификации «Русский Регистр». [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.rusregister.ru/services/ms-certification/standards/detail/index.php?ID=1064>. – Загл. с экрана.

E-mail: sk@crtc.spb.ru

**В. А. Лазарев,
А. А. Лазарев,
Н. В. Лазарева**

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

ОБРАБОТКА ДАННЫХ АРХИВОВ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Введение

Комплексная автоматизированная система диспетчерского управления (КАС ДУ) применяется в Петербургском метрополитене для управления движением поездов и работой оборудования метрополитена.

Задачами КАС ДУ являются [1]:

- централизованное диспетчерское управление и контроль устройств служб Ш, Э, ЭС, ЭМС;
- реализация функций автоведения и построения исполненного графика движения поездов;
- диагностирование технических средств, в том числе КАС ДУ;
- выдача диспетчерам оперативной и нормативно-справочной информации;
- формирование отчетных документов.

КАС ДУ включает в себя следующие функциональные системы:

- информационно-управляющую;
- диагностирования и контроля технических средств;
- нормативно-справочной информации;
- протоколирование работы технических средств и действий оперативного персонала.

В состав КАС ДУ входит информационная система АСУ АРЛМ – автоматизированная система учета и анализа работы линий метрополитена, которая предназначена для повышения объективности и оперативности расследования причин сбоев в работе метрополитена, нарушений, а также для автоматизации документооборота. Одной из функций АСУ АРЛМ является анализ протоколов работы КАС ДУ с последующим составлением отчетности для различных служб метрополитена.

1. Схема потоков и хранение данных КАС ДУ АСУ АРЛМ

АСУ АРЛМ получает данные не только от КАС ДУ, но и от других систем метрополитена, таких как системы контроля пассажиропотока, системы анализа работы вагонного оборудования, АРМ графиста и т. д. Схема потоков данных, поступающих в систему и передаваемых из АСУ АРЛМ, представлена на рис. 1.

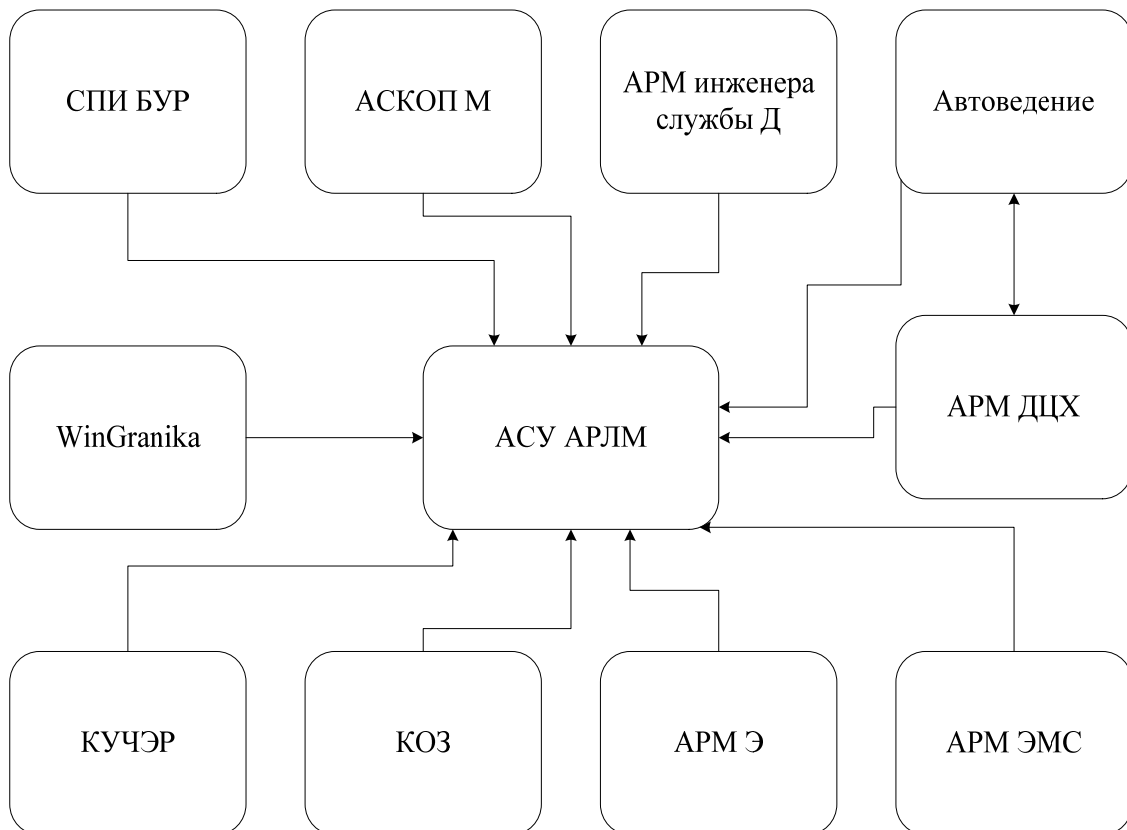


Рис. 1. Схема потоков данных поступающих в АСУ АРЛМ и передаваемых на другие системы метрополитена

На рис. 1 использованы следующие аббревиатуры:

СПИ БУР – система передачи оперативной информации от бортового устройства регистрации;

АСКОП М – автоматизированная система контроля оплаты проезда;

АРМ инженера службы Д – автоматизированное рабочее место инженера службы движения;

КАС ДУ Д «Автоведение» – комплексная автоматизированная система диспетчерского управления службы движения «Автоведение»;

КАС ДУ Э – комплексная автоматизированная система диспетчерского управления службы энергоснабжения;

КАС ДУ АРМ ДЦХ – автоматизированное рабочее место поездного диспетчера КАСДУ;

КУЧЭР – комплекс учета экономической работы;

КОЗ – комплекс оперативных задач.

За более чем десятилетний срок работы АСУ АРЛМ накоплен огромный архив данных по грузонапряженности, пассажиропотоку, работе вентиляции, нормативным графикам, хронике происшествий и т. д.

Объем данных, вводимых пользователями вручную (например, хроника происшествий), не столь велик, в то время как данных, генерируемых КАС ДУ автоматически по наступлению определенных событий, настолько много, что их анализ становится практически невозможным из-за очень большого времени выборки из базы данных (БД). В настоящий момент в базах данных АСУ АРЛМ присутствуют таблицы с несколькими сотнями миллионов записей.

2. Работа с большими объемами данных

Для эффективного анализа и обработки данных в базах данных большого объема применяется метод так называемого партиционирования (partitioning). Он заключается в разбиении таблиц с большим объемом данных по какому-либо критерию.

Для таких таблиц определяют основную таблицу (master table) и ее дочерние таблицы, которые и будут хранить данные, организованные по выбранному критерию.

АСУ АРЛМ использует несколько баз данных, работающих под управлением СУБД PostgreSQL версии 8 и 9.

PostgreSQL предоставляет два вида партиционирования: диапазонное (Range Partitioning) и списочное (List Partitioning).

В первом случае разбиение производится по диапазону значений ключей (например, диапазон дат).

Во втором случае каждой секции соответствует определенное значение ключа и количество секций увеличивается только в том случае, если появляется новое значение ключевого поля, – например, появление новой станции при разбиении данных по принадлежности к станциям [2, 3].

Таблицы АСУ АРЛМ, содержащие большие объемы данных, партиционируются по диапазону времени события. В результате анализа, экспертных оценок и тестов оптимальным диапазоном оказался месяц.

В настоящее время архивные данные из АСУ АРЛМ не удаляются. Но партиционирование таблиц по временным диапазонам не дает выигрыша при анализе данных за большие промежутки времени: год, несколько лет, десятилетия. Поэтому для ускорения генерации таких отчетов следует использовать срезы данных, содержащие сводные данные за день (пассажиропоток) или месяц (грузонапряженность, межпоездные интервалы).

Также не стоит забывать о том, что даже с применением технологии партиционирования таблиц со временем возникнет проблема свободного пространства на диске сервера, т. е., несмотря на то что теоретически СУБД PostgreSQL не ограничивает размер таблиц и базы данных в целом, свои ограничения накладывает аппаратное обеспечение. Для их предупреждения существует решение в виде так называемого шардинга (sharding) – подобное партиционированию разделение больших коллекций данных на части и распределение этих частей по разным серверам с использованием ключа. Такой подход позволяет хранить и обрабатывать еще большие объемы данных параллельно, используя мощности серверов, участвующих в шардинге. Одной из СУБД, реализующей такой подход, является MongoDB, которая рассматривается как перспективное хранилище данных АСУ АРЛМ большого объема [4, 5].

Заключение

Одной из проблем, возникающих в процессе функционирования систем управления с тысячами устройств и сигналов, является проблема хранения и обработки данных. К решению этой проблемы, среди прочих, предъявляются требования:

- хранение данных за все время работы оборудования;
- быстрота обработки.

Применение технологии партиционирования таблиц, содержащих большие объемы данных, позволило АСУ АРЛМ:

- легко и быстро управлять архивными данными: выгружать данные из БД в архив длительного хранения и загружать их обратно в оперативную БД;
- значительно ускорить выполнение запросов при поиске внутри одной секции, что сказалось на скорости генерации отчетов за месяц.

Библиографический список

1. 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.
2. Мешков А. Все что нужно знать о секционировании [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://habrahabr.ru/post/74984/> (дата обращения: 16.05.2015).
3. PostgreSQL 9.4.3 Documentation, 5.9. Partitioning, [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.postgresql.org/docs/9.4> (дата обращения: 16.05.2015).
4. MongoDB Documentation, Sharding [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://docs.mongodb.org/manual/sharding/> (дата обращения: 16.05.2015).
5. MongoDB от теории к практике. Руководство по установке кластера MongoDB [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://habrahabr.ru/post/217393/> (дата обращения: 16.05.2015).

Email: larna@inbox.ru

А. В. Алексеев

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

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КОМПЛЕКСНОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Введение

Комплексная автоматизированная система диспетчерского управления (КАС ДУ) уже много лет работает в Петербургском метрополитене, обеспечивая централизованное диспетчерское управление электрической централизацией стрелок и сигналов, электроснабжением, эскалаторами, электромеханическими устройствами [1].

В состав КАС ДУ входит подсистема контроля и диагностирования технических средств (ПКДТС). Основной задачей данной подсистемы является автоматизация сбора диагностической информации и мониторинга технических средств: контроллеров, серверов, АРМ, сетевых источников бесперебойного питания (ИБП), коммутаторов [2].

На данный момент количество устройств, подключенных к технологической сети КАС ДУ, значительно выросло (насчитывается около 3000 устройств). В связи с этим возросла и нагрузка на ПКДТС в рамках обеспечения бесперебойной работы системы КАС ДУ в целом.

Кроме того, в ПКДТС не уделяется достаточного внимания таким аспектам информационной безопасности, как:

- контроль действий пользователей системы (в основном технического персонала);
- контроль версий прикладного программного обеспечения (ПО);
- анализ накопленной информации о состоянии технических средств.

Принимая во внимание вышеперечисленное, было принято решение о создании новой системы диагностирования технических средств (СДТС) КАС ДУ.

1. Цели и задачи системы диагностирования технических средств КАС ДУ

Целью создания СДТС является расширение функциональных возможностей ПКДТС по сбору и обработке оперативной информации о нарушениях нормальной работы технических средств, выдаче тревожной информации для выявления предотказных состояний и оперативного устранения неис-

правностей, а также контроль деятельности пользователей технологической сети КАС ДУ.

СДТС является информационно-аналитической системой, обрабатывающей сигналы, поступающие от КАС ДУ:

- для выявления нарушений в нормальной работе оборудования;
- формирования и отправки предупреждений о нарушениях в работе устройств причастным лицам;
- выявления предотказных состояний узлов сети на основе анализа накопленной диагностической информации;
- организации работы пользователей сети на основе прав доступа;
- формирования отчетной информации о работе технических средств КАС ДУ.

2. Описание логической структуры системы

Структура системы диагностирования технических средств КАС ДУ представлена на рисунке.

Основными компонентами системы являются:

- 1) сервер для сбора и анализа диагностической информации;
- 2) база данных для хранения информации;
- 3) прокси-сервер для сбора и временного хранения информации на уровне станции;
- 4) агент для сбора данных с узла сети и передача их серверу;
- 5) клиент для общения с пользователями системы.

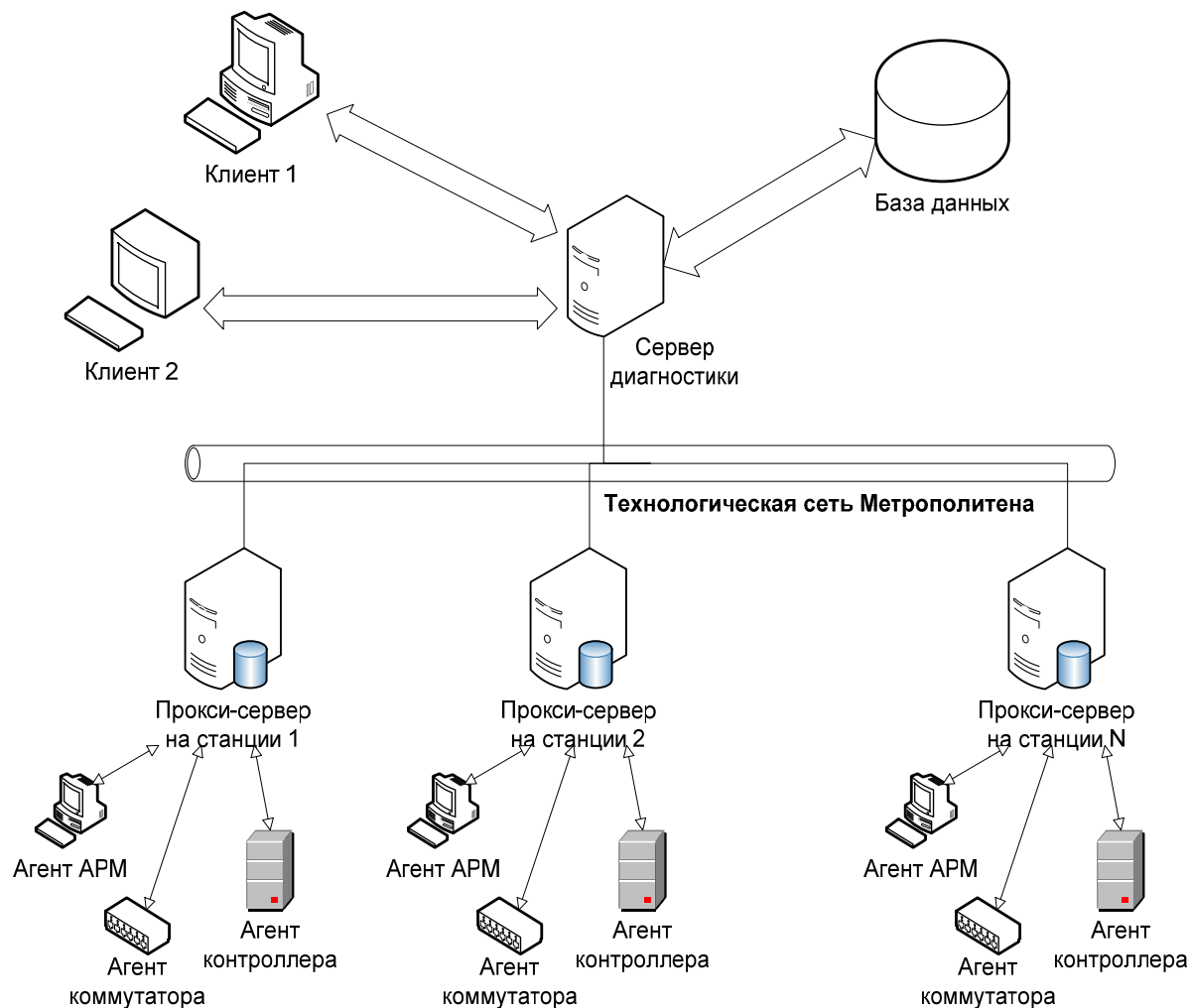
Одно из преимуществ данной логической структуры заключается в использовании промежуточных прокси-серверов, что уменьшает нагрузку на основной сервер системы. Станционный прокси-сервер реализует сбор диагностической информации от агентов и отправку ее основному серверу, при потере связи с сервером обеспечивает временное хранение информации для последующей отправки ее серверу. Прокси-сервер не реализует обработку и анализ диагностической информации.

Вся основная работа по анализу, обработке диагностической информации и формированию предупреждений и отчетов производится главным сервером СДТС. Главный сервер также отвечает за функцию обеспечения и контроля доступа пользователей к устройствам КАС ДУ и системе СДТС.

Вся информация, используемая в системе СДТС, хранится в отдельной базе данных, управление которой осуществляется с использованием стандартных СУБД. Для повышения надежности хранения информации может быть реализовано полное дублирование базы данных.

Основная нагрузка по сбору диагностических данных с устройств КАС ДУ ложится на агента системы СДТС. Агент представляет собой унифицированное ПО, которое может быть установлено на все компоненты системы КАС ДУ, такие как:

- АРМ ДСЦП, ШН, ЭД, ДЦХ и т. д.;
- контроллеры;
- источники бесперебойного питания;
- коммутаторы;
- серверы АСО ИБУР, АСУ АРЛМ и т. д.



Структура системы диагностирования технических средств КАС ДУ

Количество и качество собираемой диагностической информации зависит от типа устройства, на котором установлен и настраивается агент.

Клиент системы СДТС предназначен для организации связи пользователей с системой. Клиент представляет собой web-интерфейс, который может быть вызван с любого ПК, подключенного к технологической сети КАС ДУ, посредством стандартных браузеров операционных систем. Разграничение прав доступа к информации и функциям системы реализовано посредством аутентификации пользователей по паролям.

3. Описание программных средств СДТС

В качестве основного программного обеспечения выбрана платформа мониторинга Zabbix. Zabbix предназначена для распределенного мониторинга корпоративного класса с открытыми исходными кодами [3] и распространяется по лицензии GPL General Public License версии 2. Это означает, что ее исходный код свободно распространяется и доступен для неограниченного круга лиц.

На основе платформы Zabbix реализованы главный сервер и прокси-серверы системы СДТС. Web-интерфейс является частью сервера и реализован на языке PHP. В системе СДТС для хранения данных используется СУБД MySQL, а в качестве агента может быть использован как собственный полнофункциональный и легко расширяемый zabbix-агент, так и агенты, работающие на основе протокола SNMP. SNMP (*англ.* Simple Network Management Protocol – простой протокол сетевого управления) – стандартный интернет-протокол для управления устройствами в IP-сетях на основе архитектур TCP/UDP. К поддерживающим SNMP-устройствам относятся маршрутизаторы, коммутаторы, серверы, рабочие станции, принтеры, модемные стойки и др. [4].

Для организации контроля доступа пользователей к устройствам технологической сети был выбран широко распространенный сервер с открытым кодом FreeRADIUS, реализованный на основе протокола RADIUS. RADIUS (*англ.* Remote Authentication in Dial-In User Service) – это сетевой протокол, определяющий правила и условия взаимодействия сетевых устройств, для реализации аутентификации и авторизации удаленного пользователя [5].

Заключение

В данной статье рассмотрена система диагностирования технических средств КАС ДУ, создаваемая взамен существующей ПКДТС. Определены задачи и логическая структура СДТС. Представлено описание программных средств, на которых реализована система.

Результатом применения данной системы будут:

- снижение затрат времени на получение информации о нарушениях нормальной работы технических средств за счет централизованного контроля работы устройств;
- сокращение издержек, связанных с неоптимальными действиями оперативного персонала при разрешении нештатных ситуаций за счет накопления статистики и обучения оперативного персонала;
- исключение возможных случаев нарушения работы устройств КАС ДУ за счет определения предотказных состояний компонентов системы.

Библиографический список

1. Манаков А. Д. Нормы опасного и мешающего влияния помех на устройства АЛС-АРС системы БАРС Петербургского метрополитена / А. Д. Манаков, А. А. Блюдов, А. Г. Кабецкий, А. А. Трошин // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 28–39.
2. Гавзов А. Д. Подсистема контроля и диагностики технических средств КАС ДУ ПКДТС КАС ДУ : техническое руководство / А. Д. Гавзов. – Санкт-Петербург, 2005. – 14 с.
3. Zabbix Documentation 2.4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.zabbix.com/documentation/2.4/ru/manual/introduction/about>.
4. RFC 1157, A Simple Network Management Protocol (SNMP), 1990. – Р. 36 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://tools.ietf.org/html/rfc1157>.
5. The FreeRADIUS Technical Guide, 2014. – Р. 58 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://networkradius.com/doc/FreeRADIUS%20Technical%20Guide.pdf>.

E-mail: Alexeevalexyv@gmail.com

УДК 625.42

А. Ю. Идуков

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

ТРЕНАЖЕРНЫЙ КОМПЛЕКС ДИСПЕТЧЕРА ДВИЖЕНИЯ

Введение

Имитационное моделирование давно и прочно заняло свое место в различных отраслях промышленности и бизнеса. Это произошло благодаря выгоде от внедрения имитаторов, выражаемой как в стоимости ошибок, которых удастся избежать в работе реальных коммерческих объектов, так и в качестве работы персонала, обученного на имитаторах. В основе работы диспетчера движения (как и любого оператора технологических процессов) лежат широкие знания объекта контроля и опыт принятия решений. Знания и опыт – альфа и омега оперативной работы. Опыт работы человек черпает как из методических источников, на занятиях с инструкторами, так и из собственной работы и работы коллег. Очевидно, что цена такого опыта в приложении к реальной работе метрополитена может быть велика. Петербургский метрополитен в лице службы движения инициировал создание тренажерного комплекса диспетчеров движения, предоставив возможность его реализации своему стратегическому партнеру – Петербургскому государственному университету путей сообщения Императора Александра I.

1. Термины и определения

В статье используются следующие термины и определения.

АРМ – автоматизированное рабочее место. В данном случае имеется в виду несколько компьютеров, оперативных, резервных, ГИД, журнальных, информационно-справочных, обеспечивающих человеко-машинный интерфейс между системой управления и оператором.

Диспетчер – оператор, диспетчер движения – человек, управляющий пассажиропотоком на определенной линии метрополитена. В сферу его ответственности входит широкий круг задач, часть которых, связанную с управлением устройствами СЦБ и поездами, берется имитировать ТК Д.

Инструктор – оператор, эксперт, обычно опытный диспетчер, под руководством которого проходит процесс обучения на имитаторе штатных диспетчеров и будущих диспетчеров.

СЖАТ – системы железнодорожной автоматизации и телемеханики.

Имитационная модель – программное обеспечение, содержащее модели реальных устройств и процессов, поставляющее в реальном времени поток данных, описывающих состояния имитируемого поля и воспринимающее от оператора команды управления, которые влияют на модель.

ТК Д – тренажерный комплекс диспетчера движения, система, рассматриваемая в данной статье.

ТС – телесигнализация, информационный канал, очередь сообщений, предоставляющий актуальные данные об изменениях состояний контролируемых устройств.

ТУ – телеуправление, канал и средства работы с ним, обеспечивающие передачу приказов оператора к контролируемым устройствам.

2. Задачи тренажерного комплекса

Использование имитатора рабочего места диспетчера призвано решительно снизить цену ошибки и вместе с тем развить у операторов навыки принятия правильных решений. Дополнительных мотивов к созданию и введению в эксплуатацию тренажерного комплекса было несколько – это и разбор произошедших нештатных ситуаций с ревизорским аппаратом, и использование службой Ш имитатора для проверки работы устройств СЦБ при внесении изменений в логику их работы, и возможность проверки на модели планируемого изменения в графиках движения.

Создание ТКД в сжатые сроки (менее двух лет) стало возможным благодаря тому, что Петербургский метрополитен оборудован системой диспетчерского контроля КАС ДУ с компьютеризированными рабочими местами диспетчеров. Это значительно упрощает объем моделирования. Фактически необходимо использовать программное обеспечение АРМ ДЦХ, обеспечив ему поток данных телесигнализации и восприняв от него поток команд телеуправления. Имитатор выполняет роль физических каналов ТС, ТУ, линейных пунктов, оборудования СЦБ, поля станций и перегонов, а также поездного движения. Говоря о потоках данных, мы подразумеваем сетевое взаимодействие.

3. Имитационное моделирование предметной области

Сфера задач имитационного моделирования в пространстве предметной области ограничена моделированием рабочего места диспетчера движения таким образом, чтобы оператор видел минимальные различия между реальным диспетчерским кругом и имитируемой линией метрополитена [1]. Имитационное моделирование в ТК Д делится на две части – моделирование работы устройства ЖАТ вкуче с моделью пути и моделирование поездного движения.

Моделирование осуществляется в программной среде, разработанной ПГУПС на языке программирования Python. Наличие парадигм объектно-ориентированного программирования и функционального программирования в сочетании с быстрым прототипированием задач и компактностью кода стали основными характеристиками, определившими выбор данного языка программирования. Код имитационной части занимает менее 8000 строк кода. Рабочий такт модели – 1 секунда, за которую определяются состояния автоматов модели по пяти линиям метрополитена.

Рассмотрим СЖАТ и полевое оборудование.

Тренажерный комплекс обеспечивает АРМ ДЦХ информацией, в том числе о состоянии устройств СЦБ:

- занятости, замкнутости секций;
- положении стрелок;
- перегонных светофорах различной значности;
- светофорах станционных с маршрутами и авторежимами;
- устройствах автоследования, автооборота, зонного оборота;
- контрольно-габаритных устройствах (КГУ), металлоконструкциях.

Программное обеспечение ТК Д содержит в себе конечные автоматы, моделирующие эти устройства. При этом в описания секций и стрелок входит не только топологическая составляющая – связи, но и реальные длины участков, с тем чтобы обеспечить достоверное моделирование поездного движения по элементам. Автоматы позволяют вносить в их работу неисправности, например, «излом рельс» или «отсутствие контроля плюсового положения стрелки», при этом нарушение нормальной работы отображается на АРМ диспетчера и инструктора по-разному: диспетчер видит только номенклатуру индикации [2], доступную ему в реальных условиях рабочего места ДЦХ, инструктор видит подробную картину. Автоматы представляют собой классы языка программирования Python. Классы идентифицируются по типу, по имени, в свою очередь, объекты классов – по уникальному в рамках процесса идентификатору. Классы функционируют по методу настройки при первоначальной инициализации, и методу, периодически вызываемому в рабочем такте модели. Классы генерируют информацию о изменении состояний автоматов, которая укладывается в кадры ТС, которые затем рассылаются по сети на АРМ диспетчера. Встречный поток кадров с командами оператора разбирается внутри модели на значащие компоненты и изменяет свойства автоматов моделей [3].

Рассмотрим модель поезда. Тренажерному комплексу необходимо генерировать поездный поток в соответствии с нормативными графиками на определенное время и день недели. Графики различные для летнего и зимнего времени. Поездная модель должна работать таким образом, чтобы график исполненного движения, генерированный в процессе движения мо-

делей поездов, был максимально похож на реальный, так как по нему в конечном счете дается оценка качества работы испытуемого.

Программное обеспечение имитатора содержит в себе модели поездов метрополитена. Модель поезда включает в себя число вагонов, определяющее длину поезда, а также реализацию динамики разгона, торможения поезда, реакцию его на занятость секций по ходу движения, положение стрелок, показания ближайших сигналов, скоростные ограничения на маршрутах следования, перегонах, ограничения скорости. Для моделирования нештатных ситуаций модель поезда может работать не только в автоматическом, но и в ручном режиме, когда скорость движения и направление выбираются инструктором, после чего модель перемещается по графу станции с учетом стрелок и свободности секций.

4. Распределение нагрузки

Каждая линия метрополитена моделируется в отдельном процессе. Процессы запущены на сервере моделирования. На нем же запущена модель инфраструктуры нормативных и исполненных графиков движения всех линий. Два независимых АРМ диспетчера с несколькими мониторами и панелями работают каждый на своем компьютере, на компьютере инструктора запущен терминал инструктора – рабочее место с интерфейсом пользователя, позволяющее управлять моделью.

5. АРМ инструктора ТК Д

Для управления моделью предназначено рабочее место инструктора обучения. Инструктор с помощью терминала с графическим интерфейсом пользователя может расставлять поезда, отдавать команды из номенклатуры АРМ ДЦХ, вносить неисправности в автоматы моделей устройств [4]. Кроме того, у инструктора есть возможность вести электронный журнал учета занятий с минимальным инструментарием для подсчета статистики обучения того или иного сотрудника. У инструктора есть доступ к электронным версиям ТРА станции, хранилище которых размещено на сервере моделирования вместе с БД графиков движения.

К терминалу инструктора подключен принтер формата А3, на котором ведущий занятий распечатывает график исполненного движения, полученного в ходе занятий, и может приложить его к результатам экзаменов.

Заключение

Тренажерный комплекс диспетчера – представитель множества проектов из мира имитационного моделирования, позволяющий создать среду обучения диспетчеров движения. Имитация поездной ситуации с точно-

стью до секции позволила по-новому организовать занятия с персоналом, увеличить интенсивность получения рабочих навыков. В настоящий момент службой «Д» сформирована программа занятий, и все (и штатные и будущие) диспетчеры Петербургского метрополитена (порядка 60 сотрудников) несколько раз в квартал проходят обучение на имитаторе. В настоящий момент ведется работа по расширению функциональных возможностей ТК Д с целью организации дополнительных мест обучения дежурных по станции.

Библиографический список

1. Советов Б. Я. Моделирование систем / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М. : Высшая школа, 2001. – 343 с.
2. Системы диспетчерской централизации : учебник для вузов ж.-д. транспорта / Д. В. Гавзов, О. К. Дрейман, В. А. Кононов, А. Б. Никитин ; под общей ред. проф. Вл. В. Сапожникова. – М. : Маршрут, 2002. – 407 с.
3. Сапожников Вал. В. Теория дискретных устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : учебник для вузов ж.-д. транспорта / Вал. В. Сапожников, Ю. А. Кравцов, Вл. В. Сапожников. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : УМК МПС России, 2001. – 312 с.
4. ТРА станций Петербургского метрополитена : утв. службой «Д» и «Ш» на 2013 г. – [СПб., 2013].

E-mail: idukov@crtc.spb.ru

УДК 656.257:004.05

**Д. А. Васильев,
С. В. Гизлер,
О. А. Наседкин, канд. техн. наук,
М. П. Шайфер**

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

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ В МОДЕЛИ ПОЛИГОНА УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЦЕНТРАЛИЗАЦИЙ

Введение

При разработке экспертной программы для испытаний программного обеспечения различных систем микропроцессорных централизаций (МПЦ) была создана модель полигона управления, состоящего из одной или нескольких станций; она позволяет моделировать изменения состояний элементов полигона управления и проверять соответствие реакции системы МПЦ на изменения заданным технологическим требованиям [1]. Экспертная программа предназначена для динамического тестирования ТПО МПЦ методом «черного ящика» [2].

Модель полигона управления разработана таким образом, чтобы ее расширение (в том числе добавление новых типов объектов) было возможно без изменения самой экспертной программы.

Для хранения данных модели полигона управления используются такие средства среды Visual Prolog, как внутренние базы данных, внешние базы данных и красно-черные бинарные деревья [3]. Внутренние базы данных используются в качестве словарей, позволяющих поставить в соответствие некоторым символьным обозначениям числовые коды. Использование деревьев Visual Prolog предполагает наличие ключа, компаратора (для упорядочения ключей) и данных, связанных с каждым ключом. Внешние базы хранят блоки данных, доступ к которым осуществляется с помощью указателей.

1. Элементы полигона управления

Полигон управления представляет собой ориентированную сеть, вершинами которой являются элементы, а в качестве дуг выступают связи между ними. Таким образом, связь – это упорядоченная пара элементов. Элементы и связи между ними содержатся в разных деревьях.

К элементам полигона управления относятся участок, стрелка, стрелочная секция, светофор, приемоотправочный путь (который может состоять из нескольких изолированных участков и включать в себя стрелку), переезд, тупик, маршрут, другие объекты.

Для представления маршрутов в модель полигона вводятся специальные элементы, называемые вариантами прохождения. В вариантах прохождения учитывается направление движения через соответствующий элемент. Такие элементы создаются для элементов типа стрелки, стрелочной секции, участка, светофора и тупика. У стрелки всегда четыре варианта прохождения. Варианты прохождения стрелочной секции соответствуют всем возможным вариантам движения через эту секцию.

Все элементы полигона управления хранятся в соответствующем дереве, ключ которого состоит из трех составляющих: код пространства имен, код типа элемента и имя элемента. Числовые коды типа элемента и пространства имен связываются с текстовыми обозначениями по специальным словарям. Пространство имен представляет собой множество элементов – такое, что имена элементов одного и того же типа, входящих в это множество, не повторяются. Компаратор позволяет упорядочить ключи сперва по первому элементу, затем по второму и затем по третьему. Данные, найденные по ключу, содержат идентификатор элемента – последовательный номер в порядке помещения элемента в дерево. При удалении уже имеющихся элементов появятся пропущенные номера.

2. Связи элементов полигона управления

Свойства элементов задаются с помощью связей. Связи любого элемента разбиваются на группы в зависимости от типа начального элемента. Группа связей может состоять из одной связи или даже быть пустой. Например, в элементе «стрелочная секция» имеется группа связей с элементами типа «стрелка». Наличие такой связи свидетельствует о том, что стрелка входит в секцию. Группы связей вводятся с помощью описания отношений (тип начального элемента, тип конечного элемента, символьное имя группы, код группы). Эти отношения сохраняются во внутренней базе данных.

Особое место занимают группы связей, относящихся к топологии станции (топологические связи). Элементами, содержащими группы связей этого типа, являются, в частности, стрелка, участок, тупик и др. Группы топологических связей могут содержать одну или несколько связей, отли-

чающихся введенной нами характеристикой – *уровнем связи*. Всего вводятся четыре уровня связей.

Связь уровня 1 соединяет непосредственно два соседних элемента топологического плана станции. Связь уровня 2 – два элемента, которые становятся соседними, если исключить некоторые специальные элементы, введенные для удобства представления и обработки данных в программе, например, границы областей, фиктивные участки, находящиеся в стыке между связываемыми элементами и т. п. Связь уровня 3 соединяет два элемента, которые становятся соседними, если в стыке между ними исключить те элементы, которые исключает связь уровня 2, все светофоры и вариантные точки. Связь уровня 4 используется, если между элементами имеется негабаритный стык. Она связывает два элемента, которые становятся соседними, если между ними исключить элементы, исключаемые связью уровня 3.

Для элемента типа «стрелка» существуют три группы связей, которые являются топологическими – это связь по плюсовому положению, связь по минусовому положению и связь по острюку. Кроме топологических, у стрелки есть связи, задающие другие свойства элемента: стрелочная секция, спаренность и др. У элемента «участок» к топологическим относятся две группы связей с соседними элементами плана станции.

Связи между элементами хранятся в *дереве связей*. Ключ для поиска связи состоит из трех параметров.

Существуют три варианта наборов параметров ключа. Основной вариант включает идентификатор элемента, код группы связей и имя конечного элемента связи. Вариант, в котором третьим параметром ключа указывается номер уровня связи, используется для топологических связей. Номера уровней связи в прямом и обратном направлениях совпадают. Вариант, в котором третий параметр ключа указывает порядковый номер связи в группе, используется для связей маршрута с вариантами прохождения элементов, составляющих этот маршрут.

Данные, найденные по ключу, содержат идентификатор связанного элемента, тип, его имя, код группы обратной связи. Установив прямую связь между двумя элементами, мы всегда можем построить ключ для обратной связи.

3. Дерево основных параметров элементов и дерево указателей на блоки состояний

Еще одним деревом, используемым для хранения данных, является дерево основных параметров элементов. Ключ для этого дерева состоит из двух компонентов. Это идентификатор элемента и код типа данных. Код типа данных имеет ряд целочисленных значений, которые определяют вид информации в узле дерева. Это может быть код пространства имен, тип и имя элемента, дополнительные данные в виде списка символьных строк,

указатель на блок графических данных. Графические данные хранятся в блоках во внешней базе.

Для записи состояний элементов полигона управления и моментов изменения их состояний используются блоки состояний. Указатели на эти блоки хранятся в дереве указателей на блоки состояний.

4. Пример использования модели представления данных полигона управления

Рассмотрим задачу отыскания всех маршрутов, проходящих через заданные топологические элементы плана станции. В процессе решения этой задачи производятся операции объединения и пересечения над упорядоченными множествами имен маршрутов. В результате этих операций получаются упорядоченные множества имен. Чтобы решить задачу, нужно использовать пересечение множеств имен маршрутов, проходящих через каждый из заданных элементов. Для того чтобы найти множество имен маршрутов, проходящих через заданный элемент, нужно рассмотреть все варианты прохождения этого элемента и взять за основу объединение множеств имен маршрутов через эти варианты прохождения. Упорядоченное множество имен маршрутов через заданный вариант прохождения элемента мы находим из дерева связей, рассмотрев группу связей данного варианта прохождения.

Заключение

Экспертная программа, разработанная с использованием описанной модели представления данных полигона управления, используется при испытаниях программного обеспечения ряда систем МПЦ для поиска нарушений технологических правил, протоколирования поведения системы, составления и анализа программ испытаний.

Библиографический список

1. Васильев Д. А. Экспертная программа для проведения испытаний технологического программного обеспечения систем микропроцессорной централизации / Д. А. Васильев, С. В. Гизлер, О. А. Наседкин, М. П. Шайфер // Развитие элементной базы и совершенствование методов построения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. – СПб., 2014. – С. 39–42.
2. Васильев Д. А. Методическое и техническое обеспечение испытаний микропроцессорных систем / Д. А. Васильев, О. А. Наседкин, А. М. Белоус // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 12. – С. 23–27.
3. Адаменко А. Н. Логическое программирование и Visual Prolog / А. Н. Адаменко, А. М. Кучуков. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 992 с.

E-mail: sgizler@mail.ru

**А. Н. Хорьков,
В. С. Рябов**

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

МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ МПЦ-МПК

Введение

Микропроцессорная централизация МПЦ-МПК представляет собой систему управления, реализующую алгоритм функционирования централизации стрелок и сигналов станций железнодорожного транспорта и метрополитенов на программном уровне [1].

Система строится по многоуровневой структуре, где верхний уровень устройств представляет собой автоматизированное рабочее место дежурного по станции (АРМ ДСП) и электромеханика (АРМ ШН). Ко второму уровню относится центральная вычислительная система (ЦВС). Третий уровень МПЦ-МПК включает аппаратуру безопасного сопряжения. В качестве четвертого уровня используются напольное оборудование и схемы увязки с релейными системами СЦБ.

Для обеспечения безопасного функционирования системы в различных состояниях объектов МПЦ, а также установления соответствия выполненных монтажных работ проектной документации проводятся эксплуатационные испытания.

Тестирование проводится согласно программе и методике испытаний [2], утвержденной в соответствии с требованиями нормативно-технических документов ОАО «РЖД». Результаты проверок на всех этапах тестирования системы МПЦ-МПК заносятся в проверочные таблицы и оформляются в виде протоколов с подписями исполнителей работ.

Тестирование МПЦ-МПК подразделяется на три этапа, которые разбиваются на определенное количество тестов.

1. Тестирование программного обеспечения на имитаторе

Первый этап – тестирование ПО на имитаторе в лабораторных условиях. Этап предполагает работу с 14 тестами. Перед началом запускаются программный модуль логики ЦВС, АРМ ДСП и имитатор технологических ситуаций, после чего проверяющий приступает к работе.

В первом тесте оценивается правильность индикации состояния объектов путевого плана в различных состояниях, например, положения стрелки, индикация при потере контроля стрелки, индикация при искусственной разделке занятой/свободной секции. Убедившись в корректности отображения элементов путевого плана, проверяющий переходит к проверке установки, прохождения и отмены маршрутов. Для каждого из указанных в таблице взаимозависимости стрелок и сигналов маршрута выполняются установка, отмена, определение соответствия трассы и перекрытия сигнала при нарушении условий безопасности.

Следующий тест – проверка прохождения размыкания маршрутов. Для маневровых маршрутов здесь дополнительно проверяются: размыкание неиспользованной части маршрута, функция поддержания белого огня на светофоре при занятии предмаршрутного участка и первой секции за светофором, перекрытие светофора при освобождении предмаршрутного участка. При повторном открытии светофора проверяется его перекрытие при занятом участке приближения после занятия и освобождения первой секции. Также проверяется специфика показания двух белых огней. Второй белый огонь должен перекрываться при проезде за сигнал или занятии пути.

Перед четвертым тестом анализируется таблица взаимозависимости показаний светофоров станции и соответствие сигнализации «Инструкции по сигнализации на железных дорогах РФ» [3] и руководящим указаниям по сигнализации. После сверки проверяется включение и выбор сигнальных показаний на светофоре по перечню, указанных в таблице. Далее выполняются тесты на проверку зависимостей стрелочно-путевых секций, участков пути и приемоотправочных путей. В этой группе проверок отмечается невозможность задания/отмены маршрута при занятой секции или при появлении статуса ложной занятости/свободности, для приемоотправочных путей – возможность установки встречных маневровых маршрутов и др. В отдельную таблицу вносятся все негабаритные изолированные секции станции, обозначается охранный маршрут, для которого проверяемая секция является негабаритной, и тестируется на соблюдение условий безопасности.

Следующими тестами проверяются стрелки: фиксируется невозможность перевода при занятии стрелочной секции, в которую входит проверяемая стрелка, при индивидуальной блокировке стрелки, при статусе ложной занятости/свободности секции и др. Кроме того, проверяются стрелки в пути, макеты, местное управление и зависимости охранных стрелок.

Завершают первый этап проверки увязок с переездами и перегонами.

2. Проверка интерфейсов сопряжения на макетах

Вторым этапом тестирования является проверка интерфейсов сопряжения на макетах. Данный этап разбивается на три основных теста. Первым из них является проверка питающих устройств. Для системы УЭП-МПК тест выполняется в соответствии с программой и методикой ПМ-02-200-УЭП-МПК [4]. Далее проводится проверка предохранителей и автоматических выключателей. Все измерения и индикация заносятся в таблицу. Во втором тесте проверяется работа ЦВС и КБСО (контроллер безопасного сопряжения объектов). В ходе этой проверки контролируются правильная работа реле контроля комплектов и сторожевых реле КБСО и наличие соответствующей индикации на АРМ. Третий тест – проверка работы интерфейсов устройств. Проверка осуществляется путем подключения макетов напольных устройств СЦБ – стрелок, светофоров, рельсовых цепей – к соответствующим клеммам кроссового шкафа; она выполняется дважды – для основного и резервного комплектов устройств МПЦ. Проверка интерфейсов при увязках с УКСПС, КГУ, ГАЦ и другими устройствами осуществляется путем использования макетов, имитирующих все состояния этих устройств и обеспечивающих реализацию всех команд управления. Макеты собираются по упрощенным схемам с использованием тумблеров, переключателей, ламп и т. п.

3. Проверка напольных устройств

Заключительный этап – проверка напольных устройств. Собирается комиссия в составе представителей станции, дистанции пути и дистанции СЦБ, которая выполняет поверку фактической габаритности на поле. Работники СЦБ удостоверяются в отсутствии сообщений линейных проводов, идущих в одном кабеле, затем приступают к проверке стрелок с поля. Для этого организуются бригады, в состав которых входят представители дистанции сигнализации и связи, пути и службы движения, имеющие двухстороннюю связь с постом ЭЦ, где размещен АРМ ДСП. Проверка стрелок должна производиться дважды – при использовании основного и резервного комплекта аппаратуры безопасного сопряжения, предназначенной для управления стрелками.

Проверка светофоров производится исключительно в светлое время суток бригадой, один из членов которой находится на АРМ ДСП. С ним устанавливается двусторонняя связь. Механики проверяют правильность показаний на светофоре при его нормальной работе и переключение показаний при изъятии ламп. Затем переключают режим «день – ночь» и измеряют напряжение на лампе в режиме «день». Для светофоров с двухнитевыми лампами проверяется переход с основной нити лампы на резервную.

Для проверки рельсовых цепей составляется таблица с их наименованием, указанием типа и длины. После окончательной регулировки в эту таблицу заносятся показания напряжения на путевых реле без шунта и при его наложении. Включив все рельсовые цепи на станции, производят проверку правильности чередования фаз (частот, для тональных рельсовых цепей) и контрольное шунтирование рельсовых цепей.

Заключение

Все результаты испытаний заносятся в проверочные таблицы и оформляются в виде акта и протокола испытаний. Таблицы заполняются в двух экземплярах и подписываются всеми участниками испытаний. Один экземпляр таблиц передается дистанции сигнализации и связи, второй экземпляр таблиц и протоколов остается в архиве разработчика.

Откорректированное ПО записывается на компакт-диски в двух экземплярах. Один комплект передается заказчику, а второй остается у разработчика. После этого любые изменения ПО без ведома заказчика не допускаются.

Таким образом, на основании изложенного наглядно представлено разделение испытания системы МПЦ-МПК на уровни [5]. ПО тестируется и корректируется при необходимости еще до установки на станции, что исключает его неправильную работу и уменьшает время пуско-наладочных работ на объекте. Далее подсоединяются ЦВС и аппаратура безопасного соприкосновения, проверяется их совместная работа с АРМ. Только после этого подключаются реальные напольные объекты. Такая методика испытаний обеспечивает безопасную работу системы при вводе станции в эксплуатацию.

Библиографический список

1. Центр компьютерных железнодорожных технологий ПГУПС, 2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://crtc.ru>.
2. Программа и методика эксплуатационных испытаний МПЦ-МПК. – М., 2008. – 22 с.
3. Инструкция по сигнализации на железнодорожном транспорте Российской Федерации. – М., 2012. – 160 с.
4. Программа и методика эксплуатационных испытаний УЭП-МПК, 2012. – 22 с.
5. Инструкция по монтажу программно-аппаратного комплекса МПЦ-МПК, 2012. – М., 16 с.

Email: ryabov@crtc.spb.ru

А. А. Блюдов, канд. техн. наук

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

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ БЕЗОПАСНОЙ МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОДИРОВАНИЯ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

Введение

Современный этап развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) характеризуется постоянно растущими объемами внедрения на железных дорогах России микроэлектронных и микропроцессорных комплексов [1–3]. Построенные с использованием такой элементной базы технические средства обладают рядом неоспоримых преимуществ по сравнению с традиционной релейной и электромеханической техникой. Однако платой за это являются особенности, которые нельзя не учитывать в процессе разработки [4–7].

Поскольку системы ЖАТ отвечают за безопасность движения поездов, их конструкция не должна допускать возникновения опасных ситуаций при отказах элементов собственной структуры [8]. При разработке и проектировании релейных систем задача доказательства безопасности решалась за счет использования элементной базы, обладающей свойствами несимметричности отказов, а именно реле I класса надежности (неконтролируемых). За счет конструктивных особенностей любой отказ такого реле приводил к его выключению. Применение четко определенных правил построения безопасных релейных схем позволяло уверенно говорить о безопасности разрабатываемой системы. При необходимости применения реле других классов безопасная работа схемы обеспечивалась за счет динамической работы или применения принципов перекрестного контроля. Анализ последствий отказов элементов системы в процессе работы был относительно простым за счет наглядности: список возможных отказов был известным, конечным, их влияние было легко проследить.

Подобный подход не может быть применен для полноценного доказательства безопасности систем, построенных на микроэлектронной и микропроцессорной элементной базе, которая обладает свойством симметричности отказов – вероятности появления отказов типа «0→1» и «1→0» примерно равны. Кроме того, разработчику системы не всегда известна внутренняя структура применяемых им интегральных схем, из-за чего состав-

ление полного списка возможных отказов становится невозможным. Использование программного обеспечения (ПО) в качестве инструмента для реализации функций системы также существенно усложняет задачу доказательства безопасности [9].

1. Организационная основа процесса доказательства безопасности

Подтверждение полноты и корректности решений разработчика по обеспечению безопасности вновь создаваемой системы ЖАТ возлагается на Испытательные центры (ИЦ), аккредитованные в железнодорожном регистре Российской Федерации – системе сертификации на федеральном железнодорожном транспорте. Порядок проведения работ по доказательству безопасности разрабатываемых систем ЖАТ определяется руководящим документом РД 32 ЦШ 1115842.06–03 «Порядок испытаний и экспертизы средств ЖАТ» [10]. Основой практической деятельности по проведению работ по доказательству безопасности систем ЖАТ является ОСТ 32.19–92 «Общие требования к программам обеспечения безопасности» [11]. Этим документом предусматривается параллельная работа разработчика и эксперта ИЦ, что позволяет разработчику своевременно и корректно выполнять требования данного этапа жизненного цикла системы [12].

Курс на модернизацию материально-технического обеспечения, взятый в 2009 г. департаментом автоматики и телемеханики ОАО «РЖД», подтолкнул разработчиков систем ЖАТ к продвижению инициативных проектов. Среди этих проектов были как сложные системы, такие как микропроцессорные централизации, безопасность которых обеспечивалась внушительным комплексом мер, так и относительно несложные приборы, которые могли бы заменить действующую аппаратуру методом «шкаф на шкаф» без внесения изменений в устройства сопряжения и линии связи. Примером такого устройства может быть кодовый путевой трансмиттер (КПТ), применяемый в системах автоблокировки для кодирования рельсовой цепи. В начале 2010-х гг. в ИЦ ЖАТ поступило несколько заявок на экспертизу и испытания микроэлектронных и микропроцессорных КПТ. Целью данной работы является обобщение опыта разработки таких устройств и особенностей, которые необходимо учитывать в этом процессе.

2. Особенности доказательства безопасности кодовых путевых трансмиттеров

Жизненный цикл системы ЖАТ начинается с формирования технического задания (ТЗ). Этот документ устанавливает основное назначение разрабатываемого объекта, его технические характеристики, показатели качества функционирования и классификацию в зависимости от условий эксплуатации по устойчивости к внешним воздействиям различной природы.

В соответствии с классом устройства к нему предъявляются определенные требования по электромагнитной совместимости, устойчивости к механическим и климатическим воздействиям, защите от проникновения внутрь устройства твердых предметов и воды и пр. [13–15]. Они нормируются стандартами ГОСТ Р 55176.4.1–2012 «Совместимость технических средств электромагнитная. Системы и оборудование железнодорожного транспорта. Устройства и аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. Требования и методы испытаний» [16] и ГОСТ Р 55369–2012 «Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. Общие технические требования» [17]. Первый из этих стандартов введен в действие 23 ноября 2012 г. взамен ГОСТ Р 50656–2001. Второй утвержден 29 ноября 2012 г. и, хотя это и не указано явно в сведениях о стандарте, заменяет ОСТ 32.146–2000. Далее приведена классификация КППТ по некоторым параметрам, иногда ошибочно выполняемая разработчиком ТЗ. По устойчивости к воздействию механических нагрузок (вибраций) трансмиттер относится к группе МС2, как устройство, размещаемое в релейном шкафу сигнальной точки на перегоне.

По устойчивости к воздействию климатических факторов применяется группа КЗ по той же причине. Несмотря на то что в некоторых случаях релейный шкаф может оснащаться дополнительным козырьком для защиты от нагрева солнцем, в общем случае такой козырек отсутствует, поэтому группа КЗ.1, менее жесткая по нормам испытательных воздействий, применяться не может.

С точки зрения доказательства безопасности системы ЖАТ наибольшее внимание уделяется указанным в ТЗ критериям опасного отказа. В первой версии документа разработчик обычно придает ему смысл «устойчивое формирование на выходе устройства более разрешающего кода», т. е. кода «Ж» вместо «КЖ» и кода «З» вместо «Ж» или «КЖ». Фактически подобный критерий предполагает возникновение опасной ситуации только при «перепутывании» трансмиттером одного своего выхода с другим. Однако такая формулировка не исчерпывает полный спектр опасных ситуаций, к которым могут привести неисправности во внутренней структуре КППТ.

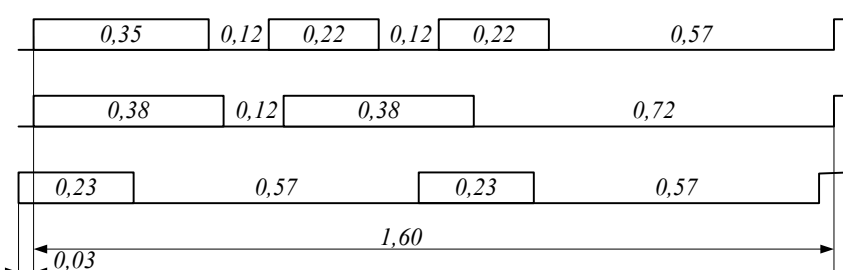
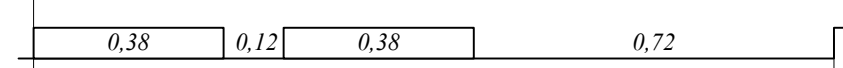
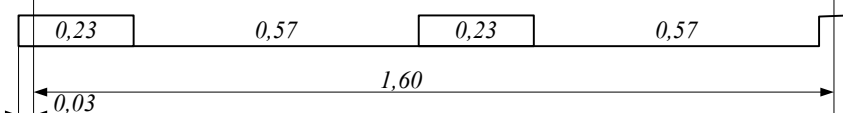
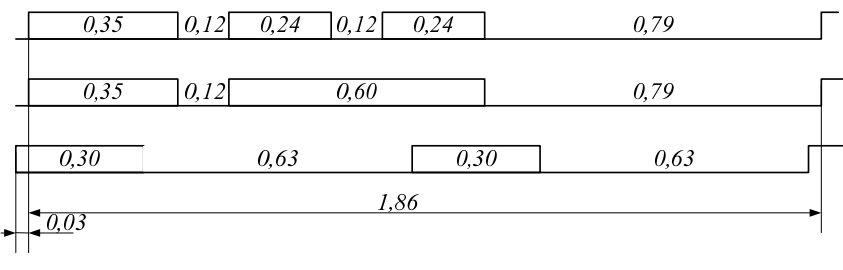
Поскольку большинство разработчиков предполагают установку разрабатываемого трансмиттера с сохранением действующей схемы включения, наиболее вероятно, что в качестве приемника кодового сигнала будет служить дешифратор автоблокировочный ДА или локомотивный ДСКВ-1-Д(ДБ). В них для распознавания поступившего кода используются реле-счетчики, обнаруживающие элементы кодовой комбинации, и конденсаторы, служащие для устойчивой работы сигнального реле. Очевидно, что такая аппаратура не в состоянии строго контролировать временные параметры кодовых сигналов. Кроме того, возможность изменения емкости кон-

денсаторов со временем вносит еще большую погрешность в процесс анализа кодовой комбинации. Фактически контролируется только количество импульсов и пауз, длительности которых могут принимать значения из достаточно большого диапазона.

В таблице приведены нормативные временные параметры кодовых сигналов автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) для трансмиттеров наиболее часто используемых типов КПП-5 и КПП-7. Замедление включения трансмиттерного реле ТШ1-2000, транслирующего кодовый сигнал трансмиттера в рельсовую цепь, составляет 0,07 с [18, 19]. Предположим, что в результате неисправности КПП сформировал на выходе «Ж» дополнительный импульс длиной 0,1 с в начале длинной паузы или интервал аналогичной длины в середине длинного импульса. Несмотря на то что формально получившаяся комбинация не является кодом «З», можно с уверенностью сказать, что большинством дешифраторов она будет воспринята именно в качестве данной команды, которая решает проследование с большей скоростью.

Таблица

Параметры кодов АЛС

Тип трансмиттера	Код	Продолжительность импульсов и интервалов, с
КПП-5	«З»	
	«Ж»	
	«КЖ»	
КПП-7	«З»	
	«Ж»	
	«КЖ»	

Другое важное для формулировки критерия опасного отказа обстоятельство связано с тем, что большинство микроэлектронных и микропроцессорных трансмиттеров имеют всего одно исполнение и настройка типа (КПП-5 или КПП-7) производится перемычками на заводе-изготовителе или в

КИПе дистанции СЦБ. Неправильное считывание типа КПТ в процессе работы приведет к генерации кода, совпадающего с сигналом в соседней рельсовой цепи. В свою очередь, это может привести к необнаружению схода изолирующего стыка, что является опасной ситуацией.

Таким образом, приведенную формулировку критерия опасного отказа следовало бы заменить на «формирование на выходе трансмиттера кода, который может быть воспринят дешифратором какой-либо модели как код более разрешающего вида или код иного типа КПТ». Однако указанный критерий тяжело формализуется. Поэтому рационально прибегнуть к использованию в формулировке относительной или абсолютной погрешности временных параметров. В результате критерий будет иметь вид «формирование на выходе трансмиттера элемента кодовой комбинации, длительность которого отличается от заданной более чем на 5 % (или, например, 10 мс)». Техническая реализация такой проверки современными аппаратно-программными средствами затруднений вызвать не должна.

Кроме того, следовало бы указать одну особенность функционирования КПТ, которая может быть использована для упрощения технической реализации устройства. Для большинства устройств ЖАТ ложное постоянно активное состояние какого-либо управляющего выхода является опасным отказом. Это связано с тем, что традиционные релейные схемы проектировались так, чтобы при пассивном управляющем воздействии переходить в защитное состояние. Однако для выхода кодового путевого трансмиттера появление постоянного активного или пассивного состояния не является опасным, так как любой из таких сигналов дешифратором будет воспринят как отсутствие кодирования, т. е. система будет переведена в защитное состояние. Эта особенность может быть использована при разработке технических решений. Предположим, что в результате какой-либо неисправности техническая реализация резервированного двухкомплектного устройства не позволяет отключить выходы отказавшего комплекта. Второй комплект может принудительно установить постоянно активное состояние на выходе трансмиттера, что замаскирует кодовую комбинацию, генерируемую отказавшим комплектом, предотвратит ее распространение в рельсовую линию и переведет систему в защитное состояние.

Заключение

Доказательство безопасности разрабатываемой системы ЖАТ, как обязательная часть процесса сертификации, само по себе является достаточно трудоемким процессом. Корректное определение требований к этой системе на начальном этапе ее жизненного цикла существенно упрощает работу разработчика и эксперта ИЦ.

Данная статья затрагивает особенности доказательства безопасности кодовых путевых транзиттеров, построенных на современной элементной базе. Материал может оказаться полезным для разработчиков новых образцов таких устройств.

Библиографический список

1. Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / Вал. В. Сапожников, Л. И. Борисенко, В. В. Лыков, В. П. Молодцов ; под ред. Вал. В. Сапожникова. – ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – 288 с.
2. 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.
3. Сапожников Вал. В. Применение кодов с суммированием при синтезе систем железнодорожной автоматики и телемеханики на программируемых логических интегральных схемах / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 84–107.
4. Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики и телемеханики / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. И. Талалаев, Д. В. Гавзов, А. А. Красногоров, Т. А. Белиштина, П. Е. Булавский, О. А. Наседкин, А. М. Костроминов ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Транспорт, 1997. – 288 с.
5. 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.
6. Наседкин О. А. Экспертиза и испытания на безопасность микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики / О. А. Наседкин, А. А. Блюдов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2010. – № 1. – С. 53–60.
7. Наседкин О. А. Доказательство безопасности и сертификация устройств и систем ЖАТ / О. А. Наседкин // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 1. – С. 16–19.
8. 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.
9. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Х. А. Христов, Д. В. Гавзов ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Транспорт. – 1995. – 272 с.
10. РД 32 ЦШ 1115842.06–03. Порядок испытаний и экспертизы средств ЖАТ. – СПб. : Типография ПГУПС, 2003. – 13 с.
11. ОСТ 32.19–92. Общие требования к программам обеспечения безопасности. – СПб. : Типография ПГУПС, 1992. – 16 с.
12. Наседкин О. А. Доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики / О. А. Наседкин, Вал. В. Сапожников // Транспорт Российской Федерации. – 2006. – Спецвыпуск. – С. 10–13.
13. Шаманов В. И. Электромагнитная совместимость систем железнодорожной автоматики и телемеханики / В. И. Шаманов. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. – 244 с.
14. Nasedkin Oleg A. Die elektromagnetische Vertraglichkeit der Bahnautomatisierungs- und Fernsteuerungssysteme / Oleg A. Nasedkin, Alexander D. Manakov, Vitalij A. Schatochin // Signal + Draht (98) 12/2006. – Pp. 32–35.

15. Шатохин В. А. Проблемы ЭМС систем железнодорожной автоматики и телемеханики / В. А. Шатохин, А. Д. Манаков // Труды 6-го Международного симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии (СПб., 21–24 июня 2005 г.). – СПб. : СПбГЭТУ, 2005. – С. 195–199.

16. ГОСТ Р 55176.4.1–2012. Совместимость технических средств электромагнитная. Системы и оборудование железнодорожного транспорта. Устройства и аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. Требования и методы испытаний. – М. : Стандартинформ, 2012. – 15 с.

17. ГОСТ Р 55369–2012. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. Общие технические требования. – М. : Стандартинформ, 2012. – 58 с.

18. Сороко В. И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики : справочник. В 2 кн. / В. И. Сороко, В. А. Милюков. – 3-е изд. – М. : НПФ «Планета», 2000. – 960 с.

19. Кравцов Ю. А. Перспективные способы кодирования рельсовых цепей тональной частоты / Ю. А. Кравцов, Е. В. Архипов, М. Е. Бакин // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 2. – С. 119–126.

E-mail: blyudov@crtc.spb.ru

УДК 656.2

П. А. Плеханов, канд. техн. наук

Кафедра «Электрическая связь»,
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ПРОБЛЕМА ИНТЕГРАЦИИ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗОЧНЫХ УСЛУГ

Введение

Основным условием эффективности экономической деятельности в рыночной экономике является удовлетворенность потребителей товаров и услуг. Это справедливо и для перевозочных услуг железнодорожного транспорта – если есть удовлетворенные клиенты, есть, кого и что возить, – значит, будет и деятельность и можно говорить об оценке ее эффективности, в том числе об эффективности управления. Таким образом, управление деятельностью фактически начинается с управления *качеством* конечного продукта, которым в данном случае является перевозочная услуга.

Прежде всего необходимо определить, что такое управление качеством, какими показателями оно измеряется и какую методику следует использовать для оценки качества [1]. Универсальное определение качества обслуживания отсутствует. Часто этот термин используется в виде потребительской характеристики услуг (или товаров) при их продвижении в ходе рекламных кампаний. Однако реальное содержание термина значительно глубже, и в международных стандартах серии ISO 9000 качество выражается в виде услуг, предоставляемых в соответствии с утвержденными миссией и целями в области качества (обычно оформляется в документе, называемом Декларацией качества).

Большинство железнодорожных руководителей знакомы с ISO 9000, и многие предприятия на сети дорог ищут возможность сертифицировать свою деятельность и процессы на соответствие стандартам серии ISO 9000. Это вынуждает их формализовать свой бизнес, вводя процессы, функции и процедуры, необходимые для выполнения бизнеса, критерии соответствия поставляемой продукции и услуг, гарантии того, что персонал предприятия знает об этих процедурах и придерживается их в своей работе. Процессы, действующие на предприятии, документируются, и в нем перед сертификацией проводится аудит соответствия требованиям ISO 9000. Аудиты

повторяются через определенные промежутки времени для подтверждения того, что объявленные процессы поддерживаются и эффективны, и для последующего подтверждения соответствия ISO 9000.

Стандартами серии ISO 9000 предусматриваются аудиторские проверки не только документированных процессов, но и фактических услуг, предоставляемых заказчику в пункте поставки. Таким образом, дополнительно к проверке соответствия всей деятельности компании установленным в ней процессам, осуществляется попытка удостовериться в том, что эти процессы завершаются эффективно предоставляемой услугой и удовлетворением заказчика. Тем самым возникает методологическая проблема измеримости степени удовлетворения потребителей железнодорожных транспортных услуг. Очевидной сложностью этой проблемы является необходимость исследования как объективных, так и субъективных показателей качества услуги, которыми характеризуется ее восприятие потребителем.

Следует отметить, что объективные и субъективные показатели качества услуги имеют противоположную направленность: если объективные показатели направлены от ее производителя к потребителю, то на основе показателей субъективного восприятия формируются обратные связи, направленные от потребителя к производителю.

Другой важной особенностью качества транспортной услуги является комплексный характер формирования качества. Это обусловлено участием в создании услуги не только оператора подвижного состава, непосредственно взаимодействующего с потребителем, но и оператора инфраструктуры, и поставщика технических систем и средств, которые непосредственно с потребителем не взаимодействуют, но играют жизненно важную роль в формировании услуги. При этом между ними тоже складываются отношения «поставщик – потребитель».

С учетом вышесказанного, другой важнейший показатель транспортной услуги – *безопасность* – должен рассматриваться как составная часть единой структуры, включающей производство технических систем и средств железнодорожного транспорта, операторов инфраструктуры и др. [2]. Должен существовать баланс между риском, связанным с действующими техническими системами, и риском, обусловленным действием человеческого и организационного факторов при эксплуатации и обслуживании [3–5]. Культура безопасности и системы управления являются важнейшими составляющими безопасности движения [6].

Единая структура должна соответствовать параметрам безопасности, уже достигнутые в технических системах. Она должна обеспечивать гармонизацию, а лучше – стандартизацию правил и процессов обеспечения безопасности движения для поддержания конкурентоспособности железнодорожной отрасли [7].

Таким образом, качество железнодорожной транспортной услуги является комплексной характеристикой, которая одновременно интегрируется по вертикали – по цепочке участников формирования услуги – и по горизонтали – по объективным и субъективным показателям качества. Для оценки качества услуги должны быть проанализированы и субъективные показатели, и объективные. Этот анализ должен выполняться на основе регулярного внутреннего аудита, предусмотренного в составе процессов выявления и разрешения несоответствий в деятельности предприятия. Аудит субъективных показателей должен выявить неудовлетворенность потребителей железнодорожных транспортных услуг и причины этой неудовлетворенности; аудит объективных показателей должен выявить организационно-технические возможности по соответствующему улучшению услуги.

1. Составляющие объективных показателей качества железнодорожной перевозочной услуги

Качество перевозочной услуги определяется точками зрения и деятельностью сторон, вовлеченных в процессы формирования и реализации услуги, т. е. потребителей, операторов подвижного состава, операторов инфраструктуры, поставщиков технических систем и средств.

1.1. Качество с точки зрения потребителя перевозочной услуги

Качество перевозочных услуг с точки зрения конечного пользователя характеризуется следующими объективными показателями:

- своевременность;
- информированность.

Очевидно, что для потребителей услуг железнодорожного транспорта наиболее важным фактором является своевременность. Своевременность прибытия в пункт назначения необходима и пассажирам, и грузоотправителям. На железных дорогах Европы особенно высокие штрафы выплачивают грузоперевозчики, которые не смогли своевременно доставить груз в пункт назначения.

Потребителям, как пассажирам, так и грузоотправителям, также постоянно необходима свежая информация об условиях перевозки. Потребитель хочет знать, каково самое короткое время перевозки, каковы минимальные цены и гарантии, а также причины любых задержек в пути с тем, чтобы минимизировать их влияние на свои планы и деятельность.

Два эти показателя, характеризующие качество перевозочных услуг, измеримы.

Таким образом, оператор подвижного состава, если он стремится удовлетворить потребителя, должен принимать во внимание эти показатели.

1.2. Качество с точки зрения операторов подвижного состава и инфраструктуры

Позиция операторов подвижного состава и инфраструктуры очень близка к позиции потребителей перевозочных услуг. Для потребителей услуг важно своевременное прибытие в пункт назначения, для оператора – движение поездов по расписанию. Для того чтобы иметь уверенность в том, что расписание будет выполняться, поездной оператор должен иметь возможность пользования путевой инфраструктурой тогда, когда ему это необходимо. А это, в свою очередь, зависит от способности оператора инфраструктуры своевременно предоставить поездному оператору свои ресурсы.

Таким образом, мы имеем третью точку зрения на качество перевозочных услуг. Неисправное напольное оборудование может вызвать задержки движения, которые способны оказывать значительное воздействие на качество перевозочного процесса.

Для того чтобы поездные операторы имели возможность своевременного предоставления услуг, оператор инфраструктуры должен обеспечивать высокую степень готовности своего оборудования как единого целого. Следовательно, готовность для оператора инфраструктуры является показателем первоочередной важности и зависит от множества факторов, в том числе от таких, как:

- исполнение требований к системам, составляющим инфраструктуру;
- реализация требований в проектах;
- монтаж и внедрение систем;
- использование (эксплуатация и обслуживание);
- подготовка персонала;
- надежность систем;
- договорные условия;
- организация работ по техническому обслуживанию;
- материально-техническое обеспечение (предоставление нужных специалистов, нужных запчастей и материалов в нужное время и в нужном месте).

Некоторые из этих факторов определяются качеством самого оборудования, т. е. являются результатом разработки системы. Поэтому важно, чтобы промышленность проектировала изначально надежные технические средства и системы.

Другие факторы зависят от конфигурации системы и требований по техническому обслуживанию, которые определяются операторами подвижного состава и операторами инфраструктуры. Организация и подготовка обслуживающего персонала являются особенно важными факторами.

Готовность важна для качества обслуживания также и по другим причинам.

Невысокая готовность негативно влияет на безопасность, что, безусловно, отражается на привлекательности качества обслуживания. Влияние готовности на безопасность определяется степенью автоматизации: чем больше количество ручных операций, тем ниже готовность и ниже безопасность, поскольку интенсивность сбоев у человека-оператора значительно выше, чем у техники.

Рассмотрим эту взаимосвязь более подробно на примере системы автоматики и телемеханики.

В случае нарушения безопасности системы автоматики и телемеханики с функциями обеспечения безопасности она переходит в защитное состояние. В большинстве случаев поезд останавливается перед красным сигналом или в результате экстренного торможения.

Операторы инфраструктуры пытаются разрешить эту ситуацию как можно быстрее и вернуть систему в штатное состояние. Однако время, необходимое для ремонта (в том числе время прибытия ремонтной бригады на место) может быть велико. Поэтому поездные диспетчеры и машинисты локомотивов в этом случае пользуются специальными правилами движения поездов, в соответствии с которыми машинисты получают от диспетчера распоряжения по радио или руководствуются условно-разрешительными сигналами.

Иначе говоря, штатный режим движения поездов вынужденно заменяется режимом движения в особых условиях, для которого характерно:

- снижение эксплуатационных показателей транспортной системы;
- уменьшение ее общей безопасности.

На практике это означает, что часть функций (или все) обеспечения безопасности выполняются поездным диспетчером и (или) машинистами.

Допустимая интенсивность появления опасных событий в безопасных системах обычно находится в интервале от 10^{-7} до 10^{-10} событий в час. Показатели интенсивности ошибок для человека составляют, в лучшем случае, величину от 10^{-3} до 10^{-4} и определяются вероятностью ошибки при выполнении одного действия. Обычно правила регулирования движения поездов в особых условиях все же гарантируют какой-то уровень безопасности. Поэтому можно говорить о том, что, в общем случае, интенсивность опасных событий в системе определяется, с одной стороны, оставшимися функциями обеспечения безопасности и правилами движения в особых условиях, обеспечивающих интенсивности опасных событий от 10^{-7} до 10^{-10} , и, с другой стороны, действиями машинистов и диспетчера, для которых характерна интенсивность от 10^{-3} до 10^{-4} (при условии, что машинистами и диспетчером совместно за час совершается 10^3 – 10^4 действий по управлению поездами).

Эту зависимость можно выразить при помощи формулы (1) [1]:

$$I_{\Sigma} = I_{\text{т}} \cdot A + I_{\text{ч}} \cdot (1 - A), \quad (1)$$

где I_{Σ} – суммарная интенсивность опасных событий в системе;

$I_{\text{т}}$ – интенсивность опасных событий, обусловленная техническими средствами системы;

$I_{\text{ч}}$ – интенсивность опасных событий, обусловленная действиями людей (машинистов и диспетчера);

A – готовность системы.

Из этой зависимости следует интересный вывод: для обеспечения высокой безопасности системы необходимо повышать не только ее безопасность как таковую, но и готовность системы.

Видно также, что готовность оказывает значительное влияние на безопасность. Снижение готовности в пределах 1 % приводит к резкому уменьшению безопасности, и при этом уже практически не имеет значения, насколько безопасными являются технические средства системы: безопасность определяется только возможностями людей.

Поэтому оператору инфраструктуры необходимо изыскивать возможности по достижению максимально возможной готовности. Увеличение готовности обычно связано с увеличением затрат, и тем самым качество обслуживания является также вопросом экономики. Поэтому важно согласование договорных вопросов распределения затрат по обеспечению готовности инфраструктуры между всеми партнерами, участвующими в процессах оказания транспортной услуги.

2. Составляющие субъективных показателей качества железнодорожной перевозочной услуги

Основными субъективными показателями качества железнодорожной транспортной услуги являются [1, 8]:

- осязаемость (tangible) – физическая доступность и привлекательность;
- надежность (reliability) – постоянная готовность к аккуратному и точному предоставлению услуги;
- ответственность (responsiveness) – готовность оказать помощь клиенту и оперативно предоставить необходимое обслуживание;
- уверенность (assurance) – компетентность и любезность персонала, его готовность говорить правду и хранить конфиденциальность;
- эмпатия (empathy) – обеспечение заботливого и персонифицированного внимания.

Из приведенного перечня виден высокий уровень обобщения, позволяющий отвлечься от специфики конкретной услуги. Например, такой чи-

сто «железнодорожный» субъективный показатель качества, как комфортабельность в процессе поездки, сведен к показателю осязаемости. Это важно, поскольку позволяет на единой основе сравнивать и оценивать услуги в самых различных сферах деятельности, и существуют методики, которые позволяют выполнить такое сравнение. Наиболее известной и широко применяемой методикой является SERVQUAL [9].

3. Основные положения методики измерения субъективных показателей качества железнодорожной перевозочной услуги

Методика SERVQUAL основана на теории сравнительной перцептивности. Это широко используемая теория оценки удовлетворенности потребителя, в которой восприятие услуги (товара) пользователем сравнивается с его ожиданиями перед получением этой услуги (товара) и по результатам сравнения делается вывод о том, оправдались ли эти ожидания или нет. Если восприятие услуги пользователем превосходит его ожидания, то считается, что он удовлетворен или даже получил удовольствие. Если восприятие ниже ожиданий, то пользователь не удовлетворен.

В соответствии с концепцией SERVQUAL качество услуги (Service's Quality) может быть выражено следующим уравнением:

$$SQ = \sum_{i=1}^k W_i (P_i - E_i), \quad (2)$$

где k – количество анализируемых показателей качества услуги;

W_i – вес i -го показателя, т. е. его предпочтительность (определяется исходя из оценок пользователей);

P_i – сформировавшееся при обслуживании восприятие (perception) i -го показателя качества услуги;

E_i – уровень ожидания (expectation) качества услуги для показателя i -го до ее предоставления.

Методика SERVQUAL определения качества услуги выражается последовательностью следующих шагов.

1. Выбор показателей качества.

Выбираются показатели качества, анализ которых целесообразен. Это могут быть и пять субъективных показателей качества, приведенных в п. 2, и другие показатели, отражающие специфику обслуживания. Например, для оценки восприятия измеримых показателей в перечень могут быть включены показатели безопасности или готовности либо стоимостные показатели наподобие скидок постоянным пассажирам или грузоотправителям.

2. Выбор респондентов.

Выбираются пользователи железнодорожных транспортных услуг, среди которых будет проводиться анкетирование до и после предоставления услуги. Желательно, чтобы эти пользователи принадлежали к одной группе, например, пассажиры пригородных поездов одного направления, грузоотправители контейнерных грузов и др.

3. Определение веса показателей качества услуги.

Анкетирование начинается с того, что респонденты назначают весовые коэффициенты тем или иным показателям. Для этого каждый из них должен дать оценку значимости каждого показателя по следующей пятибалльной шкале:

- 4 – очень важен;
- 3 – важен;
- 2 – нет определенного мнения;
- 1 – скорее не важен;
- 0 – не важен.

Соответственно вес каждого показателя определяется по следующей формуле:

$$W = \frac{\sum_{j=1}^N V_{ij}}{4N}, \quad (3)$$

где N – количество респондентов;

V_{ij} – оценка значимости i -го показателя, данная j -м респондентом;

4 – множитель, равный наивысшему баллу.

Таким образом, вес каждого показателя находится в промежутке от 0 до 1.

Уже на данном этапе выявляются мнения пользователей относительно значимости тех или иных показателей качества услуги. В частности, как следует из результатов исследований [1], наиболее значимыми субъективными показателями железнодорожных транспортных услуг являются надежность (т. е. постоянная готовность к аккуратному и точному предоставлению услуги) и ответственность (т. е. готовность оказать помощь клиенту и оперативно предоставить необходимое обслуживание).

4. Определение ожидаемых представлений респондентов о качестве услуги.

Ожидаемая оценка качества услуги определяется на основе априорного мнения респондентов, которое формируется на собственном опыте, из опыта в кругах общения респондента и на основе информации из СМИ. Ожидаемая оценка представляет собой численное значение, определенное по следующей пятибалльной шкале для каждого показателя качества:

- 5 – респондент уверен, что будет полностью удовлетворен услугой;
 4 – респондент уверен, что впечатление от услуги будет скорее положительным;
 3 – у респондента нет определенного мнения;
 2 – респондент уверен, что впечатление от услуги будет скорее отрицательным;
 1 – респондент уверен, что он не будет удовлетворен услугой.

На основе этих данных можно составить представление об априорном видении пользователями качества услуги, которую они получают. Ожидаемая респондентами интегральная оценка E_i i -го показателя качества услуги численно выражается следующим образом:

$$E_i^0 = \frac{W_i \sum_{j=1}^N E_{ij}}{5N}, \quad (4)$$

где W_i – вес i -го показателя;

N – количество респондентов;

E_{ij} – оценка i -го показателя качества услуги j -м респондентом;

5 – множитель, равный наивысшему баллу.

5. Определение представлений респондентов о качестве оказанной услуги.

Оценка качества оказанной услуги определяется на основе мнения респондентов, которое сложилось по результатам использования транспортной услугой (например, по результатам поездки пассажиров). Эта оценка представляет собой численное значение, определенное по следующей пятибалльной шкале для каждого показателя качества:

- 5 – респондент полностью удовлетворен услугой;
 4 – респондент считает, что он скорее удовлетворен услугой;
 3 – у респондента нет определенного мнения;
 2 – респондент считает, что он скорее не удовлетворен услугой;
 1 – респондент уверен, что он не удовлетворен услугой.

На основе этих данных можно составить представление об апостериорном видении пользователями качества услуги, которой они пользовались. Интегральная оценка P_i i -го показателя качества воспринятой респондентами услуги численно выражается следующим образом:

$$P_i^0 = \frac{W_i \sum_{j=1}^N P_{ij}}{5N}, \quad (5)$$

где W_i – вес i -го показателя (важно, чтобы вес в формуле для E_i и в формуле для P_i совпадал, т. е. предполагается, что пользователи в процессе получения услуги не меняют своих приоритетов в отношении показателей ее качества);

N – количество респондентов;

P_{ij} – оценка i -го показателя качества воспринятой услуги j -м респондентом;

5 – множитель, равный наивысшему баллу.

6. *Сравнение ожиданий и реализовавшихся представлений о качестве услуги.*

Теперь можно сравнить восприятие услуги пользователями с их ожиданиями перед получением этой услуги и по результатам сравнения сделать вывод о том, оправдались эти ожидания или нет:

$$SQ = \sum_{i=1}^k (P_i^0 - E_i^0) = \sum_{i=1}^k W_i (P_i - E_i). \quad (6)$$

Если значение $SQ = 0$ или положительно, то качество услуги соответствует или превосходит ожидания пользователей, если значение SQ отрицательно, то качество услуги не соответствует ожиданиям пользователей.

Таким образом, с помощью методики SERVQUAL можно определить, удовлетворены или нет клиенты железных дорог предлагаемыми перевозочными услугами. Если удовлетворенность клиентов не обеспечивается в полной мере, то необходимо пересмотреть параметры услуги, выражаемые субъективными показателями.

Как было отмечено, из результатов исследований [1] следует, что наиболее значимыми субъективными показателями качества транспортного обслуживания являются надежность и ответственность. При этом надежность является единственным наиболее важным показателем для всех групп потребителей транспортных услуг (и пассажиров, и грузоотправителей). Вторым наиболее важным показателем является ответственность. Это означает, что управление и культура производства, составляющие основу ответственности, являются более важными факторами, чем, например, инвестиции в новую технику (если только эта техника сама не воздействует на надежность).

Таким образом, основными объективными показателями качества железнодорожных транспортных услуг для конечного пользователя являются своевременность и информированность, основными субъективными показателями – надежность и ответственность.

4. Распределение и согласование показателей качества и безопасности железнодорожной перевозочной услуги по уровням ее формирования

Итак, необходимо согласовать требования к перевозочной услуге со стороны конечного пользователя и требования, которые должны предъявляться к ней на всех уровнях ее формирования. Таких уровней, как было отмечено выше, три:

- уровень оператора подвижного состава;
- уровень оператора инфраструктуры;
- уровень поставщика технических систем и средств железнодорожного транспорта (далее в качестве примера будут рассматриваться системы и средства железнодорожной автоматики и телемеханики – ЖАТ).

Ниже рассмотрены требования к услуге со стороны конечного пользователя и требования, которые предъявляются на каждом уровне ее формирования. При этом требования по безопасности рассматриваются в составе всех остальных требований.

Требования конечного пользователя:

- надежность предоставления услуги;
- безопасность в пути следования (отсутствие опасности для жизни и здоровья);
- сохранность грузов и багажа;
- своевременность предоставления услуги;
- оперативность (возможность быстрого получения услуги после запроса на ее предоставление);
- гарантированность предоставления услуги (бесперебойное выполнение услуги от начала и до конца);
- предсказуемость услуги в процессе ее реализации;
- комфорт для пассажиров (или выполнение требований по механике при транспортировке для груза);
- точность и доступность предварительной информации об условиях предоставления услуги;
- своевременность, точность и доступность информации о возникающих в пути проблемах;
- возможность оперативной переадресации груза или изменения маршрута следования пассажира;
- доступная стоимость перевозочной услуги, а также дополнительных услуг;
- прозрачность механизмов ценообразования.

Эти требования предъявляются компании-перевозчику, которая не может сама полностью обеспечить их выполнение и поэтому должна делегировать выполнение некоторых из них оператору инфраструктуры, например, требования по надежности, готовности и безопасности. В свою оче-

редь, оператор инфраструктуры должен потребовать выполнения таких требований от поставщиков технических систем и средств ЖАТ.

Ниже показано [1], каким требованиям должна соответствовать деятельность компании-перевозчика, оператора инфраструктуры, поставщика технических систем и средств ЖАТ для обеспечения выполнения требований конечного пользователя.

Требования к компании-перевозчику:

- надежность подвижного состава;
- безопасность движения;
- поддержание порядка в поезде;
- готовность к движению по маршруту сразу после его предоставления;
- надлежащие скорость движения и время в пути;
- гарантированное предоставление локомотива, соответствующего современным требованиям по обеспечению режимов движения;
- минимизация отказов технических средств и последствий отказов;
- пунктуальность и регулярность обслуживания;
- приемлемые условия среды обитания в поезде (чистота, комфорт, качество движения и т. д.);
- компетентность и отзывчивость обслуживающего персонала, его ответственность за сохранение конфиденциальных сведений о клиентах;
- способность предоставления информации об услугах и их стоимости;
- способность к формированию конкурентоспособных и прозрачных цен;
- способность к оперативному оформлению предоставляемой услуги;
- своевременность, точность и доступность информации о проблемах, возникающих в пути следования;

оперативное предоставление дополнительных услуг.

Требования к оператору инфраструктуры:

- надежность технических систем и средств инфраструктуры;
- безопасность технических систем и средств инфраструктуры;
- гарантированное предоставление маршрута в соответствии с расписанием;
- минимизация отказов технических средств и последствий отказов;
- качество пути, обеспечивающее требуемые значения всех ускорений;
- способность к оперативному предоставлению нового маршрута сразу по возникновении потребности в нем;
- гарантированное техническое обслуживание в случае перерывов в электроснабжении (для электрифицированных линий);
- незаметное для потребителя внедрение новых технических систем и средств.

Требования к поставщикам технических систем и средств ЖАТ:

- оборудование с гарантированной надежностью [10–12];
- оборудование с гарантированной безопасностью;

- широкие функциональные возможности оборудования и гибкость его конфигурирования;
- поставка в соответствии со сроками;
- минимальные требования по техническому обслуживанию;
- простота технического обслуживания;
- своевременное обеспечение запасными частями и техническая поддержка;
- дистанционная диагностика отказов и дистанционная реконфигурация [13–17];
- конкурентоспособные цены и быстрая поставка;
- полный спектр услуг по проектированию, изготовлению, строительным-монтажным работам и поддержке заказчика.

Главной проблемой, связанной с этими требованиями, является их согласованность при интеграции деятельности участников формирования перевозочной услуги, что необходимо для обеспечения гарантированного выполнения требований по качеству и безопасности для конечного пользователя.

Заключение

Проблема интеграции качества и безопасности – новая проблема для руководителей хозяйств железнодорожной отрасли. Технические руководители, озабоченные, прежде всего, совершенствованием технических систем и средств, эффективностью их применения и квалификацией персонала, не чувствуют проблемы интеграции, поскольку она не стояла перед ними ранее, в условиях централизованного управления отраслью, когда вопросы интеграции так или иначе решались в головных организациях. Финансовые руководители, отвечая, прежде всего, за прибыль своего предприятия, еще менее озабочены такой проблемой.

Решение этой проблемы возможно только при условии реформирования системы управления железнодорожной отраслью, в частности – реформирования системы ее технического регулирования. При этом важно, чтобы в основу реформирования системы управления были положены принципы стандартов серии ISO 9000, в первую очередь принципы процессного и системного подходов к организации деятельности, и был использован европейский и международный опыт интеграции интересов и деятельности всех участников формирования железнодорожной транспортной услуги [18].

Анализ показывает, что железные дороги европейских стран уделяют большое внимание информации о положении дел с качеством обслуживания, для чего проводятся не только мероприятия по контролю деятельности предприятий, но и исследования, направленные на выявление положительных и негативных тенденций и обмен опытом.

Библиографический список

1. Quality of Services in Railway Traffic Management Systems. – 7-th report of International Technical Committee (ITC) of Institution of Railway Signal Engineers (IRSE), 2004. – 76 p.
2. Плеханов П. А. Обеспечение безопасности движения на железнодорожном транспорте в международном сообщении: отечественный опыт и зарубежная практика / П. А. Плеханов // Развитие элементной базы и совершенствование методов построения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2014. – С. 31–38.
3. Красковский А. Е. Комплексная оценка рисков для безопасности движения / А. Е. Красковский, Д. И. Рогоза, П. А. Плеханов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2011. – № 1 (26). – С. 54–65.
4. Красковский А. Е. Перспективная экономическая стратегия обеспечения безопасности движения в ОАО «РЖД» / А. Е. Красковский, П. А. Плеханов, В. Г. Иванов, Д. Ю. Барканова // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2011. – № 3 (28). – С. 248–256.
5. Плеханов П. А. Формирование нормативной базы обеспечения безопасности движения в условиях реформирования российских железных дорог / П. А. Плеханов, В. Г. Иванов // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – № 4 (28). – С. 6–13.
6. Красковский А. Е. Менеджмент безопасности движения поездов на «пространстве 1520» / А. Е. Красковский, В. А. Касаткин, П. А. Плеханов // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 5. – С. 51–56.
7. Braband Jens. A proposal for common safety methods for risk assessment in European Railways / J. Braband // Signal und Draht. – 2007. – № 4. – Pp. 34–37.
8. O'Sullivan Justin. Service Description: A survey of the general nature of services / J. O'Sullivan, D. Edmond, Arthur H. M. ter Hofstede. – Queensland University of Technology, Australia.
9. Parasuraman A.. SERVQUAL: A Multiple-Item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality / A. Parasuraman, Valerie A. Zeithaml, Leonard L. Berry // Journal of Retailing. – 1988. – № 64 (1). – Pp. 12–40.
10. 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.
11. Горелик А. В. Модели оценки технологической эффективности систем железнодорожной автоматики и телемеханики / А. В. Горелик, П. А. Неваров, И. А. Журавлев, А. С. Веселова // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 2. – С. 143–155.
12. Горелик А. В. Анализ показателей надежности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики с учетом экономических критериев / А. В. Горелик, П. А. Неваров // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 3. – С. 271–281.
13. 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.
14. 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.
15. Ефанов Д. В. Техническое диагностирование и мониторинг устройств автоматики в метрополитенах / Д. В. Ефанов // Автоматизация в промышленности. – 2014. – № 3. – С. 4–8.

16. 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.

17. Сапожников Вал. В. Обнаружение опасных ошибок на рабочих выходах комбинационных логических схем / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 2. – С. 195–211.

18. Шматченко В. В. Стандарты Комитета CENELEC как составная часть Международного стандарта железнодорожной промышленности IRIS / В. В. Шматченко, П. А. Плеханов // Актуальные вопросы развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2013. – С. 75–79.

Email: pavelplekhanov@gmail.com

УДК 681.5.08+656.25

**А. А. Иванов,
А. К. Легоньков**

ООО «Компьютерные информационные технологии»

В. П. Молодцов, канд. техн. наук

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

АВТОМАТ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРЕЛОЧНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Введение

Автомат диагностики силовых параметров стрелочного электропривода (АДСП) применяется в аппаратно-программных комплексах системы диспетчерского контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики АПК-ДК (СТДМ).

АДСП выполняет:

- измерения среднеквадратичных (СКЗ) значений линейных напряжений трехфазной сети в цепях питания стрелок переменного тока;
- измерения СКЗ значений фазных токов в цепях питания трехфазной электрической нагрузки;
- вычисления, на основе полученных данных, активной мощности, потребляемой двигателем во время перевода стрелки.

С помощью прибора АДСП на основе измерения, обработки и учета активной мощности электрической нагрузки электроприводов с двигателем переменного тока решается задача контроля тягового усилия перевода стрелки [1–4].

Все возможные режимы работы как измерительных каналов, так и АДСП в целом задаются посредством подачи управляющих команд от ведущего контроллера (концентратора информации). В качестве физической связи АДСП с концентратором информации используется стандартный последовательный интерфейс RS-485.

1. Структурная схема АДСП

АДСП стрелочного электропривода (рис. 1) состоит из модулей измерения и цифровой обработки [5]. Модули соединяются интерфейсным разъемом.

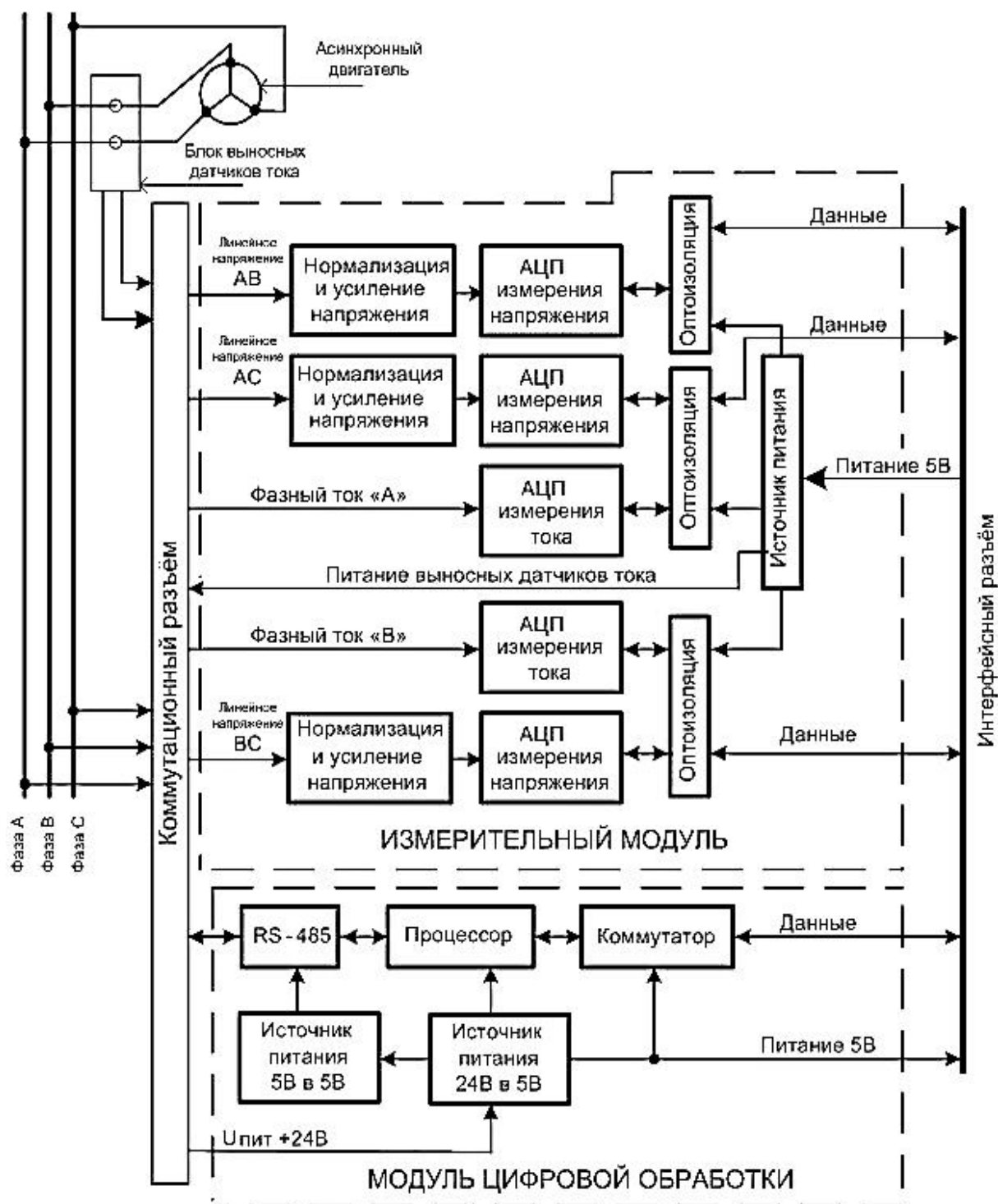


Рис. 1. Структурная схема АДСП

Измерительный модуль содержит три канала измерения напряжений, два канала измерения токов и источник питания блока выносных датчиков. В составе каналов измерения напряжений находятся устройства нормализации и усиления, аналоговые цифровые преобразователи (АЦП) и оптоэлектронной гальванической развязки. В каналах измерения токов предусматриваются устройства выносных датчиков, считывающих значения токов в цепях электроприводов, АЦП и оптической изоляции.

Питание измерительного модуля осуществляется импульсным преобразователем с гальванической изоляцией от модуля цифровой обработки.

Модуль цифровой обработки состоит из блоков: процессора, коммутатора, преобразователя напряжения 24 В в 5 В, обеспечивающего гальваническую развязку АДСП от внешнего источника питания, блока коммуникационного интерфейса RS-485 с гальванически развязанным преобразователем напряжения 5 В в 5 В. Модуль цифровой обработки обеспечивает фильтрацию и вычисление результатов измерений, прием команд от концентратора информации и передачу данных через линию связи в концентратор.

Технические характеристики АДСП приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики АДСП

Характеристика	Численные значения
Диапазон измерения СКЗ переменного напряжения, В	От 10 до 420
Диапазон измерения СКЗ переменного тока, А	От 0,2 до 8
Диапазон частот измерения напряжения и силы переменного тока, Гц	От 10 до 100
Потребляемая мощность, ВА, не более	2,5
Входное сопротивление измерительных каналов по напряжению, МОм	Не менее 1
Питание АДСП осуществляется постоянным напряжением, В, или переменным напряжением от 16 до 26, В, частотой	От 18 до 30 50±0,5 Гц
Габаритные размеры, мм, не более	
блока измерения и обработки	51×124×230
блока выносных датчиков	100×50×35
Масса, кг, не более	
блока измерения и обработки	1,7
блока выносных датчиков	0,2

2. Конструкция и состав изделия

Автомат АДСП выполнен в виде прямоугольного металлического корпуса с коммуникационным разъемом на задней панели, предназначенным для подключения к контролируемым цепям, блоку выносных датчиков тока, интерфейсных линиям и внешнему источнику питания. Часть контак-

тов коммутационного разъема используется для задания сетевого адреса АДСП и установки перемычек терминирующих резисторов.

Для измерения тока применяются бесконтактные датчики. Блок выносных датчиков тока (БВДТ) располагается на отдельной установочной панели, имеющей форму и габариты, позволяющие размещать ее на клеммных панелях релейных статов или панелях для установки реле.

Конструктивное исполнение АДСП обеспечивает также распределенный вариант построения подсистемы измерения напряжений и токов, с размещением устройства в непосредственной близости от контролируемых объектов.

Общий вид прибора АДСП и блока выносных датчиков БВДТ показан на рис. 2. На передней панели прибора расположены индикаторы «Ошибка», «Работа», «Связь», обеспечивающие индикацию режимов работы АДСП (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид прибора АДСП и выносных датчиков тока БВДТ

На задней панели АДСП располагается разъем РП10-42, который предназначен для подключения входных аналоговых сигналов, источника питания, шины заземления, сигналов коммуникационного интерфейса RS-485, установки сетевого адреса и перемычек терминирующих резисторов.

При включении питания или при получении команды «Сброс» АДСП проводит самодиагностирование составных частей и целостности данных в энергонезависимой конфигурационной памяти (EEPROM). В табл. 2 приведены соответствия показаний индикаторов текущему состоянию АДСП. Измеренные значения передаются в ответ на команды концентратора информации.

Соответствия показаний индикаторов текущему состоянию АДСП

Состояние индикатора			Состояние АДСП
«Работа»	«Ошибка»	«Связь»	
Горит	Погашен	Погашен	АДСП исправны, режим «Измерение», обмена с ведущим контроллером нет
Горит	Погашен	Кратковременно вспыхивает	АДСП исправны, режим «Измерение», идет обмен с ведущим контроллером
Кратковременно вспыхивает	Кратковременно вспыхивает	Кратковременно вспыхивает	Инициализация при включении питания или при приеме команды «Сброс»
Горит	Горит	Горит	АДСП исправны
Погашен	Мигает	Безразлично	АДСП неисправны, ошибка контрольной суммы EEPROM
Горит	Мигает	Безразлично	АДСП исправны, режим «Настройка»

Электропитание АДСП осуществляется от стационарной батареи постоянным напряжением от 18 до 30 В либо переменным напряжением 24 В (полюс ПХД24П, ОХД24) от вторичной обмотки сетевого трансформатора с выходным напряжением от 16 до 26 В, частотой $50 \pm 0,5$ Гц.

2. Схема подключения АДСП к стрелке

Прибор измерения и обработки АДСП устанавливается с лицевой стороны стativa и занимает место одной клеммной панели [6]. При подключении к общим цепям питания стрелок, когда имеются два и более луча питания, АДСП устанавливается в цепи каждого луча.

В зависимости от поставленной задачи АДСП могут осуществляться измерения в общей шине питания стрелок или измеряться параметры каждой стрелки.

Для примера на рис. 3 приводится схема подключения АДСП к рабочим цепям стрелки переменного тока. После установки блока выносных датчиков тока существующие жилы кабеля питания рабочих цепей стрелок (фазы 1, 2) пропускаются через отверстия датчиков тока.

Коммуникационный разъем 2EHDR-05 блока датчиков тока предназначен для подключения сигнальных линий к блоку измерения и обработки АДСП.

Подключение АДСП к линии связи последовательного интерфейса RS-485 с концентратором производится кабелем с витой парой и общим экраном без отводов, как показано на рис. 3, что обеспечивает отсутствие помех и отражений в сегменте. При длине линии связи RS-485 более 10 м необходимо согласование волнового сопротивления на ее концах.

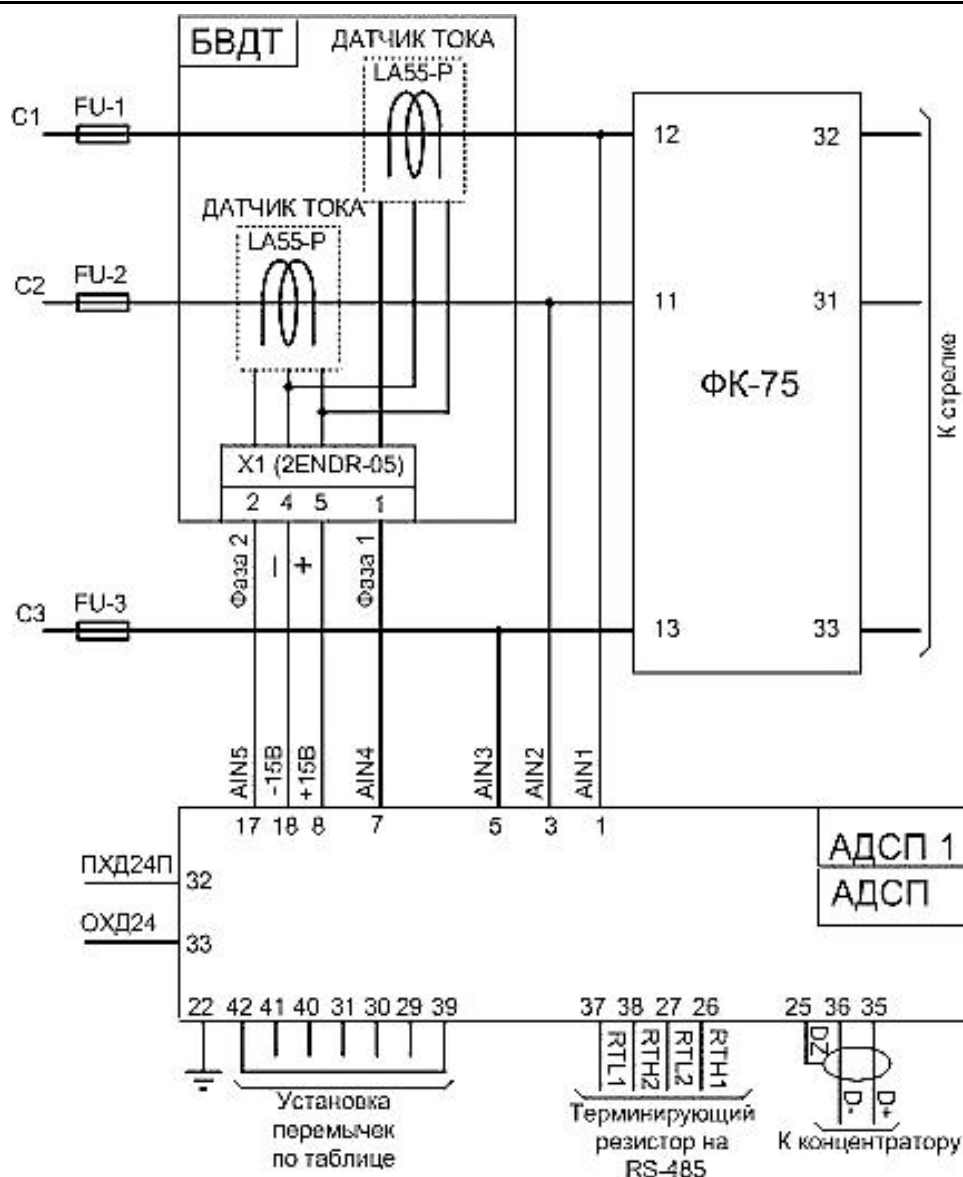


Рис. 3. Схема подключения АДСП к стрелке

Между контактами 38 и 35 (RTH2 и D+), а также между контактами 27 и 36 (RTL2 и D-) устанавливаются переключки, что обеспечивает подключение установленных внутри корпуса АДСП согласующих резисторов номиналом 120 Ом между сигнальными контактами сетевого интерфейса 35 и 36 (D+ и D-).

Сетевой адрес АДСП в сети передачи данных задается путем установки переключки на ответной части коммуникационного разъема РП10-42Л XS1 (табл. 3), между контактами ADR0- ADR5 и контактом 39 (ADR-NL).

В разных магистралях на станциях приборы с одним номером имеют одинаковый адрес.

Варианты установки сетевых адресов АДСП

Сетевой адрес АДСП	Наличие перемычек на монтажной стороне розетки РП10-42Л	Сетевой адрес АДСП	Наличие перемычек на монтажной стороне розетки РП10-42Л
1	39-42	17	39-40-42
2	39-31	18	39-40-31
3	39-31-42	19	39-40-31-42
4	39-41	20	39-40-41
5	39-41-42	21	39-40-41-42
6	39-41, 31	22	39-40-41-31
7	39-41-31-42	23	39-40-41-31-42
8	39-30	24	39-40-30
9	39-30-42	25	39-40-30-42
10	39-30-31	26	39-40-30-31
11	39-30-31-42	27	39-40-30-31-42
12	39-30-41	28	39-40-30-41
13	39-30-41-42	29	39-40-30-41-42
14	39-30-41-31	30	39-40-30-41-31
15	39-30-41-42-31	31	39-40-30-41-31-42
16	39-40	32	39-29

Заключение

Измерительные каналы АДСП настроены «Изготовителем» и в дополнительной настройке не нуждаются.

Проектирование АДСП в составе АПК-ДК (СТДМ) включает:

- анализ принципиальных схем устройств сигнализации, централизации и блокировки и определение необходимых точек контроля;
- определение необходимого количества АДСП, а также мест их расположения на стативах;
- разработку принципиальных и монтажных схем подключения АДСП к объектам контроля и к линии связи с концентратором АПК-ДК (СТДМ) с расстановкой сетевых адресов;
- разработку принципиальных и монтажных схем организации питания АДСП;
- составление спецификаций для заказа оборудования и материалов.

Автоматы АДСП широко внедряются в системы технического диагностирования и мониторинга на железных дорогах России [7–10].

Библиографический список

1. Чухонин В. М. Оценка погрешности метода измерения $\cos\phi$ при переводе стрелки переменного тока / В. М. Чухонин, Б. Л. Горбунов, А. К. Легоньков, А. С. Падалко // Проблемы разработки, внедрения и эксплуатации микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. ; под. ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : ПГУПС, 2005. – С. 43–46.
2. Чухонин В. М. Нормирование активной мощности двигателей переменного тока при переводе стрелки / В. М. Чухонин, Б. Л. Горбунов, Е. В. Басалаев // Развитие элементной базы и совершенствование методов построения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. ; под. ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2014. – С. 23–25.
3. Автоматизированный контроль усилия перевода стрелки / В. М. Чухонин, Б. Л. Горбунов, Д. В. Ефанов, В. Г. Алексеев // Автоматика, связь, информатика – 2012. – № 7. – С. 2–4.
4. 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.
5. Автомат диагностики силовых параметров стрелочного электропривода АДСП : руководство по эксплуатации УКВФ. 421451.009. – Новосибирск, 2011. – 22 с.
6. ТМП-39499777–11. Аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля. Система технического диагностирования и мониторинга АПК-ДК (СТДМ). – СПб. : АПК-ДК – ООО «КИТ», 2012.
7. Федорчук А. Е. Новые информационные технологии: автоматизация технического диагностирования и мониторинга устройств ЖАТ (система АДК-СЦБ) : учебник для вузов ж.-д. транспорта / А. Е. Федорчук, А. А. Сепетый, В. Н. Иванченко. – Ростов н/Д : РГУПС, 2008. – 444 с.
8. Системы управления движением поездов на перегонах : учебник для вузов ж.-д. транспорта : в 3 ч. Ч. 1: Функциональные схемы систем / В. М. Лисенков, П. Ф. Бестемьянов, В. Б. Леушин, Н. Е. Федоров, Л. Б. Смирнова ; под ред. В. М. Лисенкова. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 160 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.

Email: moviemlu@rambler.ru

**Д. В. Ефанов, канд. техн. наук,
Н. А. Богданов**

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

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ СТРЕЛОЧНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Введение

Стрелочный электропривод (СЭП) предназначен для автоматического перевода стрелок в крайние положения, запираания подвижных элементов стрелочного перевода и передачи информации о достижении заданного крайнего положения [1, 2]. Ввиду того что СЭП расположен в непосредственной близости к железнодорожному полотну, подверженному влияниям погодных условий, вибраций и давлений от подвижных единиц, электромагнитных полей, он является одним из самых ненадежных элементов железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). По данным статистики, около 10 % всех отказов в ЖАТ приходится на напольные элементы централизованных стрелок СЭП.

Для повышения надежности функционирования СЭП работники дистанций сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) проводят мероприятия по их техническому обслуживанию и ремонту в соответствии пп. 5.2 и 6.3 Инструкции по техническому обслуживанию устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки, утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» № 939р от 17.04.2014 г. [3, 4]. Кроме того, во многих дистанциях СЦБ используются системы технического диагностирования и мониторинга (СТДМ), позволяющие по косвенным измерениям контролировать ряд электрических параметров работы СЭП: ток перевода стрелки в СЭП с электродвигателями постоянного тока, усилие перевода (полезная мощность) в СЭП с электродвигателями переменного тока, сопротивление изоляции рабочей цепи стрелки и время перевода [5–11]. Использование данного набора контролируемых параметров позволяет на практике с некоторой вероятностью прогнозировать техническое состояние СЭП, а также выявлять их предотказные состояния [12]. Логическая обработка сигналов телеизмерения и телеконтроля позволяет организовать автоматический контроль качества выполнения отдельных работ по техническому обслуживанию устройств СЦБ, что также влияет на надежность и эффективность функционирования СЭП [13, 14].

В данной работе описывается концепция нового измерительного контроллера, предназначенного для прямого автоматического контроля элементов СЭП. Большая полнота и глубина технического диагностирования будут способствовать повышению надежности функционирования устройств автоматического перевода централизованных стрелок.

1. Устройство автоматического контроля элементов стрелочного электропривода

Устройство автоматического диагностирования параметров стрелочного электропривода (АДСЭП) предназначено для прямого контроля, поэтому должно располагаться в корпусе СЭП. Место для расположения и фиксации АДСЭП в корпусе СЭП показано на рис. 1.

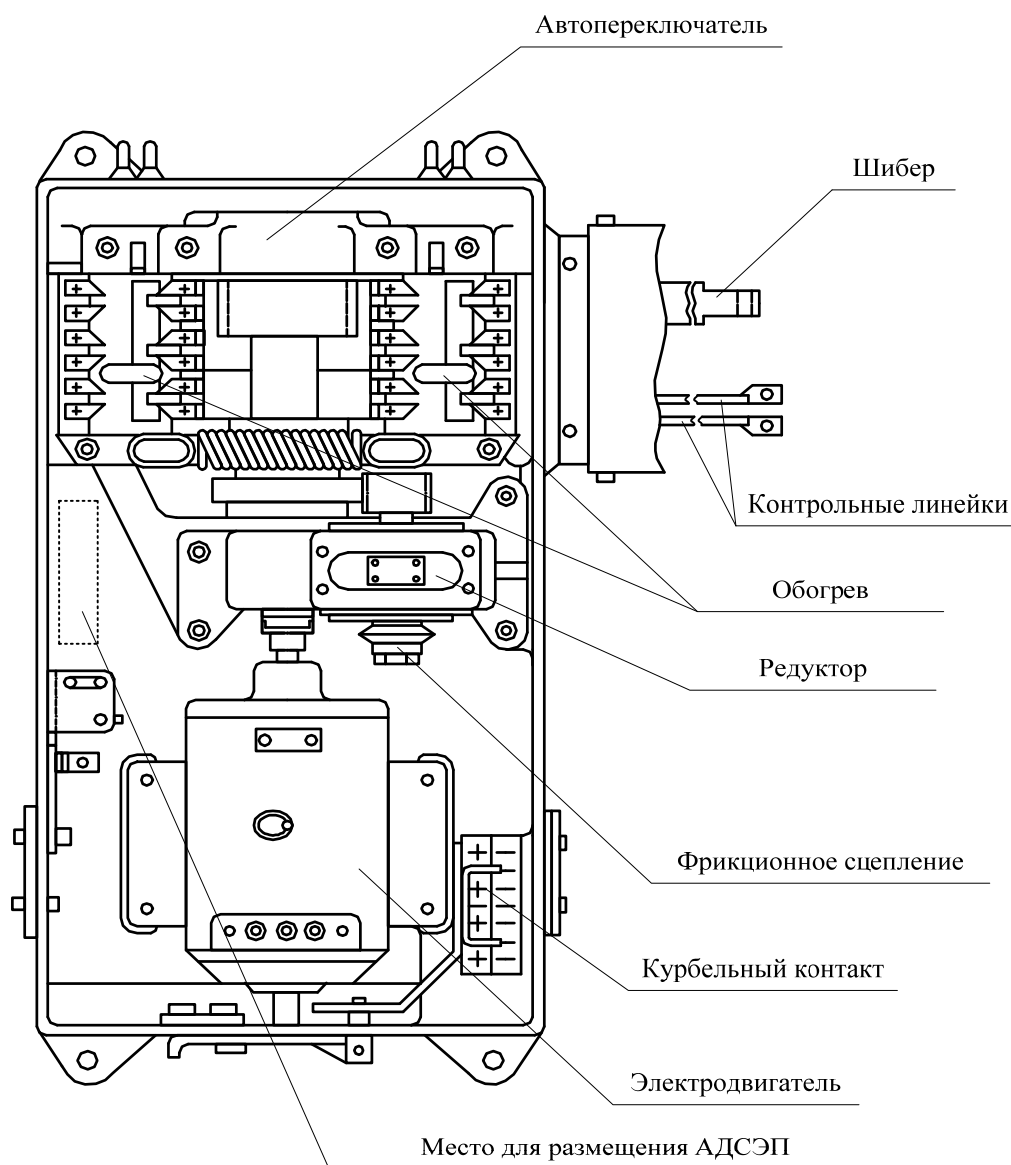


Рис. 1. Конструкция стрелочного электропривода марки СП-6 (СП-6-М)

АДСЭП предназначается для круглогодичного использования и в соответствии со стандартами должен изготавливаться из материалов УХЛ 2, удовлетворяющих ГОСТ 15150–69 «Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды». АДСЭП классифицируется как средство измерения типа «измерительный преобразователь» и должно сертифицироваться в соответствии с ГОСТ 22261–94 «Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия».

Устройство АДСЭП должно обеспечивать съем, кодирование и передачу информации о текущем состоянии СЭП в концентратор линейного пункта по многоканальной линии с частотным уплотнением каналов для последующей обработки в составе иерархических или автономных систем автоматического контроля и измерения. В качестве физической среды передачи данных может быть использован как отдельный кабель (он прокладывается при новом строительстве), так и кабель, предназначенный для обогрева СЭП.

Для выбора точек подключения АДСЭП был выполнен анализ отказов в СЭП (см. таблицу). Данные получены с использованием автоматизированной системы управления хозяйством автоматики и телемеханики (АСУ-Ш-П) по всей сети железных дорог ОАО «РЖД» за период с 1 января 2000 г. по 31 декабря 2013 г.

Таблица

Отказы в элементах СЭП

Составляющая СЭП	Число отказов	Доля отказов от общего количества, %
Автопереключатель	3463	42,49
Электродвигатель	2174	26,67
Курбельный контакт	755	9,26
Монтаж	660	8,1
Фрикционное сцепление	471	5,78
Шибер	193	2,37
Контрольные линейки	155	1,9
Редуктор	144	1,77
Другие элементы	135	1,66
ВСЕГО	8150	100

Самым ненадежным элементом в конструкции СЭП является автопереключатель, на который приходится 42,49 % отказов. При этом основной причиной отказов автопереключателя является разрегулировка контактов (ослабление контактных пружин). Таким образом, можно сделать вывод о

том, что функционирование контактов автопереключателя (как рабочих, так и контрольных) следует контролировать с минимальным периодом съема диагностической информации. Для этого имеются технические возможности. Контроль контактов контрольной цепи может быть организован непрерывно, а контакты рабочей цепи можно контролировать во время перевода стрелки.

Электродвигатель отказывает в 26,67 % случаев. Основными причинами отказов электродвигателей переменного тока (МСТ, МСА) являются повреждения внутреннего монтажа и обрывы монтажного провода на колодке электродвигателя.

Следующий в списке самых ненадежных элементов СЭП – курбельный контакт, на который приходится 9,26 % отказов (нарушения соединений контактов и обрывы монтажа). Поэтому и для курбельного контакта необходимо предусмотреть возможность контроля контактов и монтажа.

Все повреждения монтажа в рассмотренных элементах СЭП в основном происходят в местах крепления проводов. Монтаж и подключение АДСЭП не должны нарушать целостности электрических цепей, а также должно быть исключено какое-либо мешающее влияние на работу СЭП. Исходя из этого входные цепи АДСЭП должны быть защищены от коротких замыканий и подключаться параллельно контролируемым элементам СЭП.

Одной из главных причин нарушений нормальной работы СЭП является низкое качество выполнения работ по техническому обслуживанию (60–70 % отказов элементов СЭП возникает именно по этой причине [15]). Внедрение автоматизированного контроля путевого оборудования позволит повысить эффективность функционирования СЭП за счет возможности непрерывного технического диагностирования рабочих параметров и обеспечить своевременную реакцию технического персонала дистанций СЦБ.

На рис. 2 показаны точки СЭП, с которых предлагается снимать диагностическую информацию (точки выделены жирным). При этом в качестве схемы управления СЭП выбрана наиболее распространенная пятипроводная схема переменного тока.

Вместо некоторых монтажных проводов в схеме управления надо применить калиброванные токовые шунты с равными значениями сопротивлений (см. рис. 2). Применение шунтов в цепи питания электродвигателя от контактов B_1 и B_2 курбельного контакта к соответствующим клеммам C_1 и C_2 электродвигателя позволят измерять ток электродвигателя в фазе 1 (ϕ_1) и в фазе 2 (ϕ_2) соответственно. Измерение силы тока в фазе 3 (ϕ_3) будет определяться с помощью информации, полученной с калиброванного провода от клеммы C_3 электродвигателя к контакту 12 автопереключателя (точка S).

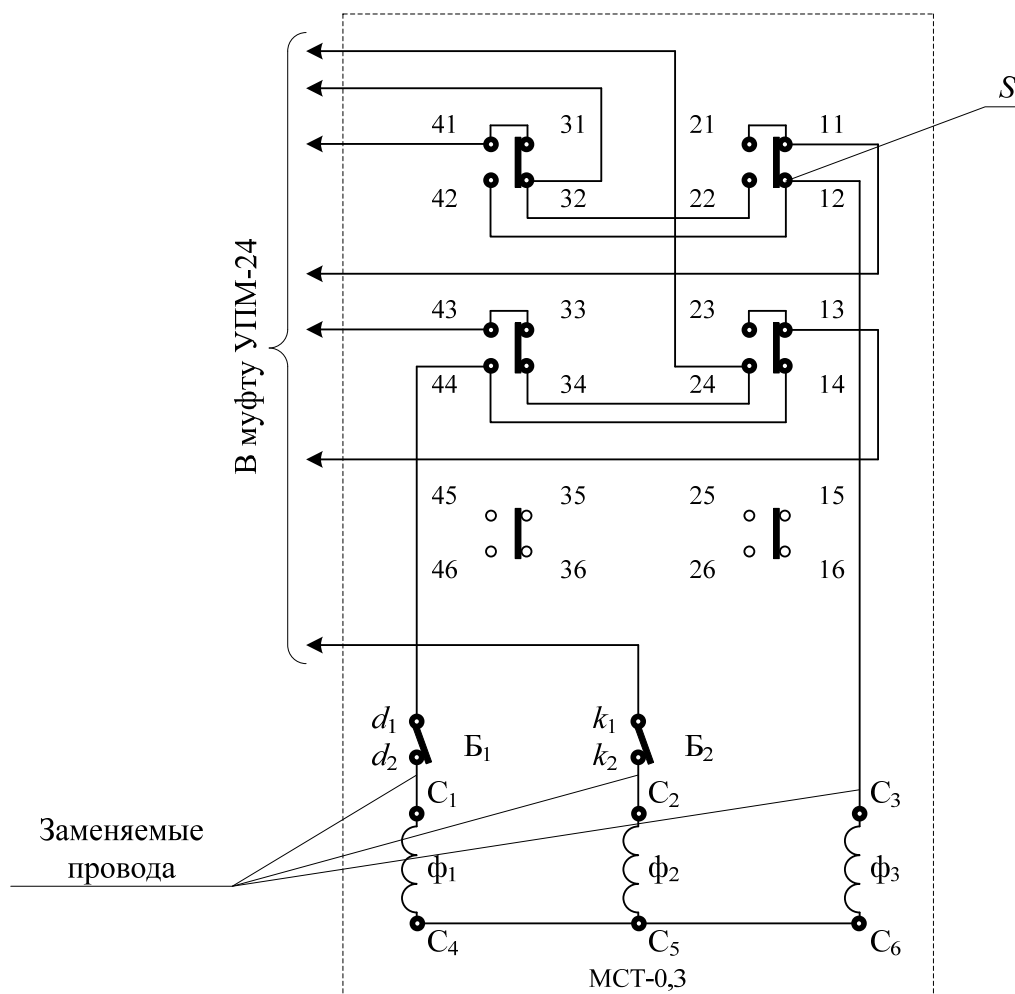


Рис. 2. Контрольные точки в схеме СЭП

С точек $d_1 - d_2$ и $k_1 - k_2$ проводится мониторинг состояния контактов B_1, B_2 блока контактов, а с клемм автопереключателя 11–12, 13–14, 41–42, 43–44 – мониторинг контактов рабочей цепи во время работы электродвигателя. В это же время с клемм C_1, C_2, C_3 электродвигателя снимаются данные о напряжении на его обмотках.

После снятия питания с электродвигателя к клеммам $C_1 - C_2, C_2 - C_3$ и клемме C_1 – корпусу МСТ поочередно подключаются каналы АДСЭП, измеряющие электрическое сопротивление обмоток электродвигателя и электрическое сопротивление изоляции обмоток электродвигателя относительно корпуса.

АДСЭП подключается параллельно к действующим контактам автопереключателя и курбельного контакта и непосредственно с них получает информацию о величине переходного сопротивления и состоянии контактов. Сравнивая величины напряжений, получаемых с контактов, можно определять повышение величины переходного сопротивления каждого кон-

такта в отдельности, если оно выходит за установленные пределы. Мониторинг значения и характера тока в контрольной цепи даст дополнительную информацию о ее состоянии.

2. Экспериментальные исследования по выбору измерительных параметров

Для выбора измерительных параметров, а также их величин были проведены экспериментальные исследования на стрелочных электроприводах переменного тока станции Чудово Октябрьской железной дороги. Измерения проводились откалиброванными средствами измерения Чудовской дистанции СЦБ.

В 2012 г. с привлечением сотрудников ОАО «РЖД» в учебном классе Чудовской дистанции СЦБ были получены осциллограммы на контактах автопереключателя, курбельного контакта и на обмотках электродвигателя. Был использован осциллограф GRS-6052A.

На основании анализа осциллограмм была получена следующая информация о работе СЭП с двигателем переменного тока МСА-0,3 и пятипроводной схемой управления:

1. Максимальное значение падения напряжения на замкнутых контактах автопереключателя работающей контрольной цепи составляет 2 мВ.

2. На контакте автопереключателя контрольной цепи при размыкании наблюдается скачок напряжения до 200 В.

3. Максимальное значение падения напряжения на рабочих контактах автопереключателя:

- во время подачи питающего напряжения составляет 140 мВ;
- во время трогания шибера – 50 мВ;
- во время перевода шибера – 25 мВ;
- в момент начала размыкания рабочих контактов – 120 мВ;
- во время размыкания величина напряжения резко увеличивается и может достигать 190 В.

4. Максимальное значение падения напряжения на курбельном контакте составляет 16 мВ и 110 мВ на контакте с повышенным переходным сопротивлением.

5. Максимальное значение падения напряжения на обмотках электродвигателя неизменно во время перевода стрелки и составляет 215 В.

Для нахождения величины тока контрольной цепи на макете СЭП в месте разрыва контрольной цепи был включен резистор С-2-29 с номинальным сопротивлением 2,0 Ом. Параллельно сопротивлению был подключен осциллограф GRS-6052A. После подачи питания в СЭП по осциллограмме сигнала с помощью курсора осциллографа было определено мак-

симальное значение падения напряжения (U_m) на активном сопротивлении С-2-29 $U_m = 165$ мВ и по закону Ома рассчитан ток:

$$I_m = \frac{U_m}{R} = \frac{0,165}{2,0} = 82,5 \text{ мА.}$$

Кроме того, с использованием коэффициента амплитуды были установлены падение напряжения на сопротивлении и действующее значение тока в контрольной цепи:

$$U_d = \frac{U_m}{K_a} = \frac{0,165}{2,0} = 82,5 \text{ мВ;}$$

$$I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{82,5}{2,0} = 41,25 \text{ мА.}$$

Были также выполнены измерения переходного сопротивления контактов курбельного контакта и автопереключателя при отключенном монтаже. Измерения делались на макете СЭП измерителем иммитанса Е7-20. Величина переходного сопротивления рабочих контактов ($R_{\text{пер}}$) колеблется от 1,9 до 7,8 мОм, контрольных контактов – от 4 до 18 мОм, блока контактов – от 4,5 до 21 мОм. При этом надо отметить, что нормативных значений переходного сопротивления контактов курбельного контакта и автопереключателя нет.

Ниже приведены результаты измерений величины напряжения на рабочих и курбельных контактах в действующем СЭП¹:

- при нормальном переводе – 0,025 В;
- при работе на фрикцию – 0,039 В;
- на курбельных контактах – от 0,018 до 0,100 В.

Отличие расчетных и измеренных значений напряжений на рабочих, контрольных и курбельных контактах можно объяснить вибрацией СЭП при переводе стрелки.

В цепях измерения тока средств измерения в пределах от 1,5 до 3,0 А применяются токовые шунты с величиной сопротивления, равной 0,02 Ом. Расчетное падение напряжения на токовом шунте в рабочей цепи при изменениях тока от 1,5 до 3,0 А уложится в диапазоне 30÷60 мВ. Расчетное напряжение на токовом шунте в контрольной цепи при токе 0,041 А будет равно 0,82 мВ.

¹ Измерения проводились на действующим СЭП марки СП-6 на станции Чудово Октябрьской железной дороги измерительными приборами Ц4352 и АРРА99П. За основу были взяты показания прибора АРРА99П с высоким входным сопротивлением, близким по значению сопротивлению входной цепи разрабатываемого диагностического прибора.

Для измерения таких малых значений напряжения необходимы высокочувствительные входные цепи устройства, а это затруднительно из-за жестких условий эксплуатации (повышенная вибрация, высокий уровень электромагнитных помех).

Исходя из вышесказанного, можно сформулировать следующие требования к проведению измерений:

1. Измерения в рабочей цепи следует выполнять с момента подачи питания на ЭД и до размыкания контактов АП рабочей цепи.

2. Измерения в контрольной цепи можно проводить непрерывно.

3. Измерения электрического сопротивления изоляции обмоток ЭД относительно его корпуса и электрического сопротивления обмоток ЭД возможно проводить поочередно в периоды, когда отсутствует питание в рабочей цепи.

4. Контроль переходного сопротивления контактов АП и блока контактов необходимо производить от нормированного значения:

- для рабочей цепи это может быть 0,1 Ом, в этом случае наименьшее падение напряжения на рабочем и курбельном контактах составит 150 мВ;

- для контактов контрольной цепи его нормированное значение из-за малого значения тока должно быть в пределах $2,5 \div 4$ Ом, падение напряжения на контактах будет равно $100 \div 165$ мВ (увеличение нормированного значения переходного сопротивления контактов контрольной цепи до $2,5 \div 4$ Ом не скажется на работе реле КМШ-3000, так как последовательно с ними включено сопротивление 1000 Ом блока БДР).

5. Для более точного измерения тока в рабочей цепи необходимо повысить сопротивление шунта до 0,07 Ом, тогда падение напряжения на токовом шунте при токе 1,5 А будет равным 105 мВ, что улучшит помехозащищенность и достоверность измерений.

6. Диагностирование состояния и параметров элементов контрольной цепи необходимо выполнять на основе данных, полученных с резисторов номиналом 2,0 Ом, которые включены вместо перемычек между контактами 41–31 и 21–11 АП.

Информацию о состоянии и работе СЭП условно можно разделить на две группы. Первая группа – это информация, которая может быть получена только во время перевода стрелки в течение $3 \div 4$ секунд. Вторая группа – это информация, которая может сниматься непрерывно или в течение длительного периода времени между переводами стрелки.

Информацию первой группы получают от элементов рабочей цепи:

- мониторинг величины тока перевода стрелки в нормальном режиме и в режиме работы на фрикцию;

- мониторинг величины напряжения на клеммах электродвигателя;

- мониторинг величины переходного сопротивления контактов автопереключателя и курбельного контакта;
- измерение времени перевода стрелки.

Вторая группа информации поступает от элементов контрольной цепи и электродвигателя:

- мониторинг величины переходного сопротивления контактов автопереключателя;
- мониторинг электрического сопротивления изоляции обмоток электродвигателя относительно его корпуса и электрического сопротивления обмоток электродвигателя;
- величина и характер тока контрольной цепи для мониторинга состояния ее элементов.

Заключение

Рассмотренная в работе концепция измерительного контроллера позволяет практически полностью обеспечить контроль напольной части электрической схемы управления СЭП. Это позволит по косвенным диагностическим признакам определять нарушения содержания динамической части СЭП и самого стрелочного перевода (люфты и трения). Выбранные точки съема диагностической информации дают полное представление о характере функционирования СЭП. Кроме того, данные о токе и напряжении перевода стрелки, полученные от предлагаемого контроллера, можно будет сравнить с постовыми данными и получить информацию о потерях в линии питания электродвигателя и на основе уточненной информации рассчитать различные режимы работы электродвигателя и усилие нажатия фрикционного сцепления.

В заключение отметим, что, кроме расширения полноты и глубины технического диагностирования СЭП в автоматическом режиме, разработка и внедрение предлагаемого измерительного контроллера позволяет автоматизировать и такие работы по техническому обслуживанию, как [3]:

- п. 2.1.5 – измерение силы тока потребляемого электродвигателем постоянного тока;
- п. 2.1.6 – измерение переводных усилий электроприводов при работе на электродвигателя переменного тока на фрикцию;
- п. 2.1.10 – измерение в электродвигателях постоянного тока сопротивления обмоток якоря и статора;
- п. 2.1.11 – измерение напряжения на клеммах электродвигателя при работе на фрикцию;
- п. 2.1.13 – проверка устройств внутреннего обогрева электроприводов.

При этом также можно обеспечить мониторинг состояния электрического сопротивления изоляции между обмотками электродвигателя и его

корпусом и оценить состояние монтажа и величину электрического сопротивления обмоток электродвигателя.

Разработка измерительных контроллеров, позволяющих обеспечивать автоматизированный контроль параметров путевого оборудования СЦБ, не только решает задачи повышения надежности работы всего комплекса ЖАТ в целом, но и приближает момент перехода на технологию обслуживания устройств по фактическому состоянию [16–24], а также снижает риск нарушения безопасности движения поездов [25–27].

Библиографический список

1. 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.
2. Резников Ю. М. Электроприводы железнодорожной автоматики и телемеханики / Ю. М. Резников. – М. : Транспорт, 1985. – 288 с.
3. Инструкция по технической эксплуатации устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки : утв. распоряжением ОАО «РЖД» № 939р от 17.04.2014 г. – М., 121 с.
4. 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.
5. Богданов Н. А. Измерение усилия стрелочного электропривода с асинхронным электродвигателем / Н. А. Богданов, Д. В. Новиков // Теоретические и практические аспекты развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. ; ред. Вл. В. Сапожников. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2012. – С. 71–76.
6. 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.
7. Руденко В. М. Телемеханическая диагностика стрелочного привода и электродвигателя / В. М. Руденко // Разработка и эксплуатация новых устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : ПГУПС, 2004. – С. 77–81.
8. Чухонин В. М. Измерение фазовых соотношений в стрелочных электроприводах с двигателями переменного тока / В. М. Чухонин, Б. Л. Горбунов // Разработка и эксплуатация новых устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. ; ред. Вл. В. Сапожников. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2004. – С. 21–24.
9. Чухонин В. М. Нормирование активной мощности двигателей переменного тока при переводе стрелки / В. М. Чухонин, Б. Л. Горбунов, Е. В. Басалаев // Развитие элементной базы и совершенствование методов построения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2014. – С. 23–25.
10. Чухонин В. М. Автоматизированный контроль усилия перевода стрелки / В. М. Чухонин, Б. Л. Горбунов, Д. В. Ефанов, В. Г. Алексеев // Автоматика, связь, информатика – 2012. – № 7. – С. 2–4.

11. Чухонин В. М. Оценка погрешности метода измерения $\cos\varphi$ при переводе стрелки переменного тока / В. М. Чухонин, Б. Л. Горбунов, А. К. Легоньков, А. С. Падалко // Проблемы разработки, внедрения и эксплуатации микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. ; ред. Вл. В. Сапожников. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2005. – С. 43–46.
12. Волков А. А. Выявление предотказов стрелочных электроприводов / А. А. Волков, Д. С. Першин, С. Н. Григорьев // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 4. – С. 16–18.
13. Ефанов Д. В. Автоматизация контроля на стрелках / Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Мир транспорта. – 2011. – № 2. – С. 54–59.
14. 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.
15. Материал к совещанию по итогам работы хозяйства «Автоматики и телемеханики» за 2011 г. (Калининград, 28–29 февраля 2012 г.). – Калининград, 2012. – 302 с.
16. Гоман Е. А. 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.
17. Каменев А. И. Система технической эксплуатации средств ЖАТ и ее совершенствование // А. И. Каменев // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 1. – С. 8–11.
18. Вотолевский А. Л. Внедрение автоматизированной технологии обслуживания устройств ЖАТ / А. Л. Вотолевский, Е. М. Шандин // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 2. – С. 8–11.
19. Адашкин В. М. Совершенствование системы технического обслуживания / В. М. Адашкин // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 12. – С. 20–22.
20. Шабалин А. Н. Новая технология обслуживания устройств СЦБ / А. Н. Шабалин // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 12. – С. 23–24.
21. Вотолевский А. Л. АСУ и технологии обслуживания устройств ЖАТ / А. Л. Вотолевский // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 10. – С. 36–42.
22. Шабалин А. Н. Результаты использования и перспективы развития передовых технологий обслуживания устройств ЖАТ / А. Н. Шабалин // Сборник докладов V МНПК «Транс ЖАТ-2010». – Ростов н/Д, 2010. – С. 81–89.
23. Вотолевский А. Л. Проблемы и организационно-технические основы перехода к обслуживанию устройств ЖАТ «по состоянию» / А. Л. Вотолевский // Сборник докладов V МНПК «Транс ЖАТ-2010». – Ростов н/Д, 2010. – С. 89–97.
24. 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.
25. Красковский А. Е. Комплексная оценка рисков для безопасности движения / А. Е. Красковский, П. А. Плеханов, Д. И. Рогоза // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2011. – № 1. – С. 54–65.
26. 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.
27. Красковский А. Е. Постановка экономически обоснованных целей по безопасности движения / А. Е. Красковский, П. А. Плеханов, С. А. Вырков // Экономика железных дорог. – 2013. – № 2. – С. 42–48.

Email: TrES-4b@yandex.ru

С. В. Рубцова

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

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕФЕКТОСКОПНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ РАСШИРЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА УСТРОЙСТВ АВТОМАТИКИ

Введение

Современные системы технического диагностирования и мониторинга железнодорожной автоматики и телемеханики (СТДМ ЖАТ) обеспечивают преимущественно косвенный контроль рабочих параметров напольного технологического оборудования (НТО) по аппаратуре, располагающейся на посту централизации или в релейном шкафу [1–6]. Как показывает практика, наибольшее количество отказов приходится на верхнее строение пути и, как следствие, на НТО, связанное непосредственно с железнодорожными рельсами, – это рельсовые цепи (РЦ) и стрелочный электропривод [7–12]. Одной из важнейших функций РЦ является обнаружение разрушенного рельса в пределах рельсовой линии, поезда или его части. С помощью РЦ определяют изменения параметров сигналов контроля состояний рельсовой линии, когда ее рельсовые нити соединяются между собой колесными парами поезда (поездным шунтом) или нарушается целостность хотя бы одной из них вследствие разрушения рельса [13].

Дальнейшим развитием СТДМ ЖАТ может быть расширение зоны контроля параметров наименее надежных элементов инфраструктуры железных дорог, в том числе обслуживаемых дистанциями пути. Комплексный мониторинг позволит еще больше повысить отказоустойчивость всех элементов управления перевозочным процессом. Это, например, можно сделать с учетом методов дефектоскопии [14, 15].

1. Совершенствование методики технического обслуживания и функционального диагностирования

За последние годы в рельсовой дефектоскопии появилось более ста мобильных и порядка 4000 съемных средств дефектоскопии нового поколения. Благодаря применению дефектоскопов количество изломов рельсов в пути за последнее время уменьшилось почти в 10 раз (рис. 1). В данной статье предлагается нововведение в области неразрушающего контроля рельсовой линии – применение дефектоскопных датчиков в составе СТДМ ЖАТ.

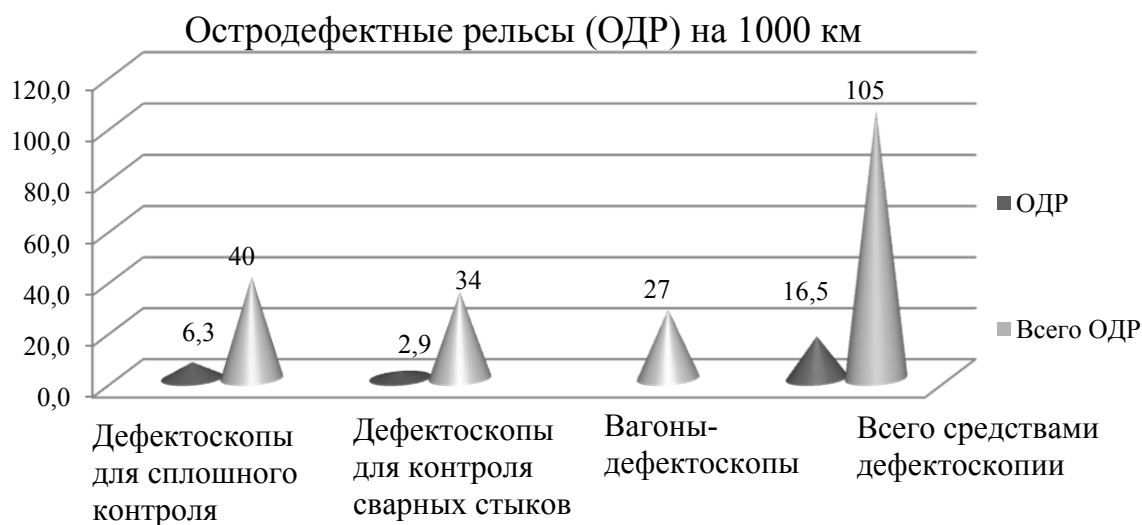


Рис. 1. Поиск ОДР методом дефектоскопии рельсов

Предполагается, что новые дефектоскопные датчики смогут обнаруживать в два-три раза больше дефектов, чем дефектоскопные тележки, поскольку, несмотря на возможности дефектоскопных тележек, происходит пропуск дефектов операторами в пути. Применение датчиков, установленных вдоль рельсовой линии, поможет снизить пропуск дефектов и повысить надежность рельсовой линии.

На рис. 2 и 3 представлены количество изломов рельсов в процентном соотношении за 2014 год и распределение изломов рельсов по пропущенному тоннажу.

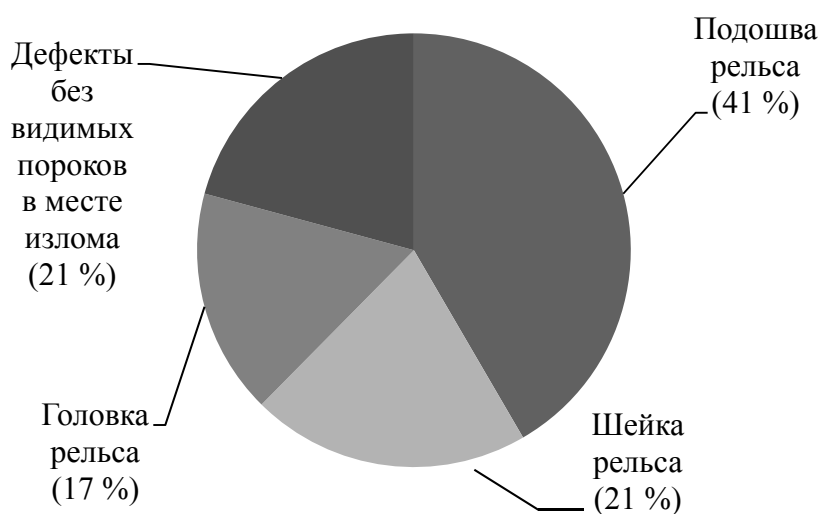


Рис. 2. Изломы рельсов в 2014 г. по сечениям

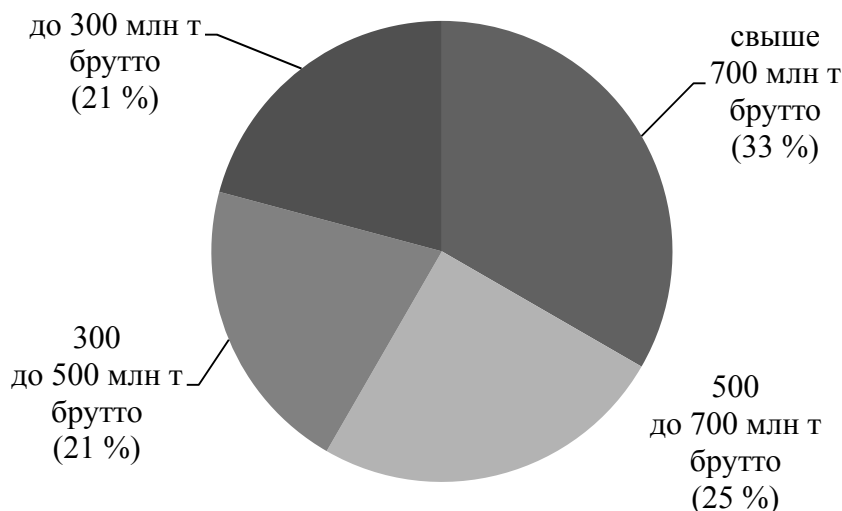


Рис. 3. Распределение изломов рельсов по пропущенному тоннажу

2. Пьезоэлектрические преобразователи как способ сканирования металла рельсов

Для сканирования металла рельсов при ультразвуковой дефектоскопии используются пьезоэлектрические преобразователи (ПЭП). При подведении к электродам пьезоэлемента электрического переменного напряжения некоторой частоты он совершает механические колебания с такой же частотой. Такое явление называется обратным пьезоэффектом. Отраженные от дефектов упругие колебания через определенное время возвращаются к излучающей пьезопластине – приемнику.

На плоские поверхности пьезоэлементов наносят тонкие слои серебра, служащие электродами и проводящие электрическое напряжение. Таким образом, оказывается возможным при помощи пьезоэлемента преобразовать электрические колебания в ультразвуковые (обратный пьезоэффект) и, наоборот, ультразвуковые колебания в электрические (прямой пьезоэффект) [14].

С генератора дефектоскопного датчика на ПЭП подается короткий радиоимпульс – зондирующий импульс, под воздействием которого на электродах пьезопластины появляется серия затухающих гармонических колебаний. При вводе ультразвуковых колебаний в рельс излучаемый импульс зеркально отражается от внутренней поверхности подошвы рельса (донной поверхности) и возвращается в ПЭП. Поскольку ПЭП работает как на излучение, так и на прием, возвратившаяся в ПЭП акустическая энергия преобразуется в электрический сигнал, который усиливается в приемнике дефектоскопа и затем наблюдается на экране. Этот импульс называется донным сигналом. Если отсутствует донный сигнал, то это свидетельствует о

потере акустического контакта между преобразователем и поверхностью рельса, например из-за загрязнения. Если в рельсе присутствует дефект, то происходит ослабление донного сигнала.

Если волна встречает какую-либо несплошность металла, то ее лучи отражаются от плоскости и от острых краев дефекта в различных направлениях и часть энергии волны попадает обратно в ПЭП. В результате расшифровщик наблюдает на экране отраженные от дефекта эхо-импульсы (рис. 4).

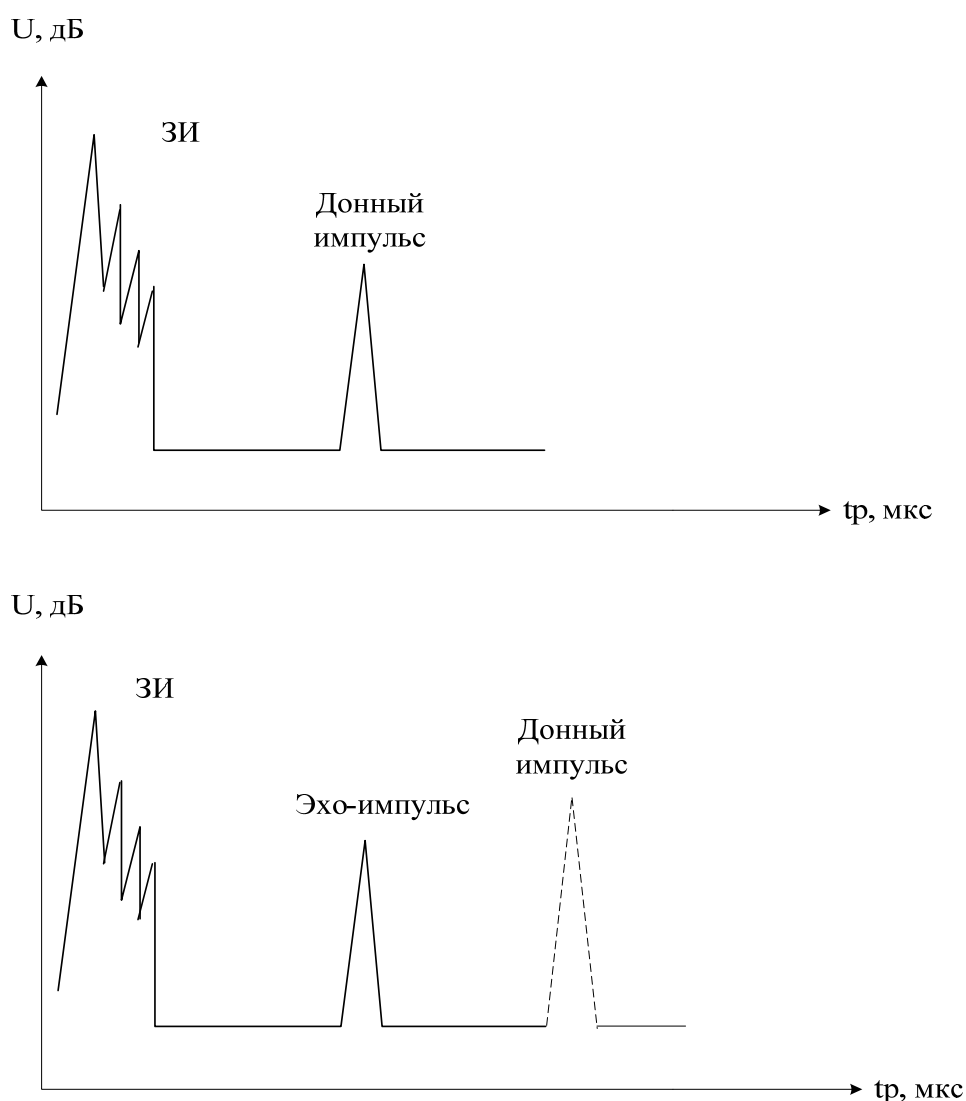


Рис. 4. Зондирующий, донный и эхо-импульсы при вводе ультразвукового колебания

Просмотр диаграмм, полученных при посылке ультразвуковых импульсов, и возможных обнаруженных дефектов можно будет увидеть на мониторе системы АПК-ДК. Кабель, по которому будет происходить контроль, подключается параллельно к питающей установке и к дефектоскоп-

ным датчикам, проложен в траншее и будет полностью защищен от погодных аномалий и случайных механических повреждений.

На рис. 5 показана схема передачи информации от дефектоскопных датчиков до сервера обработки данных.

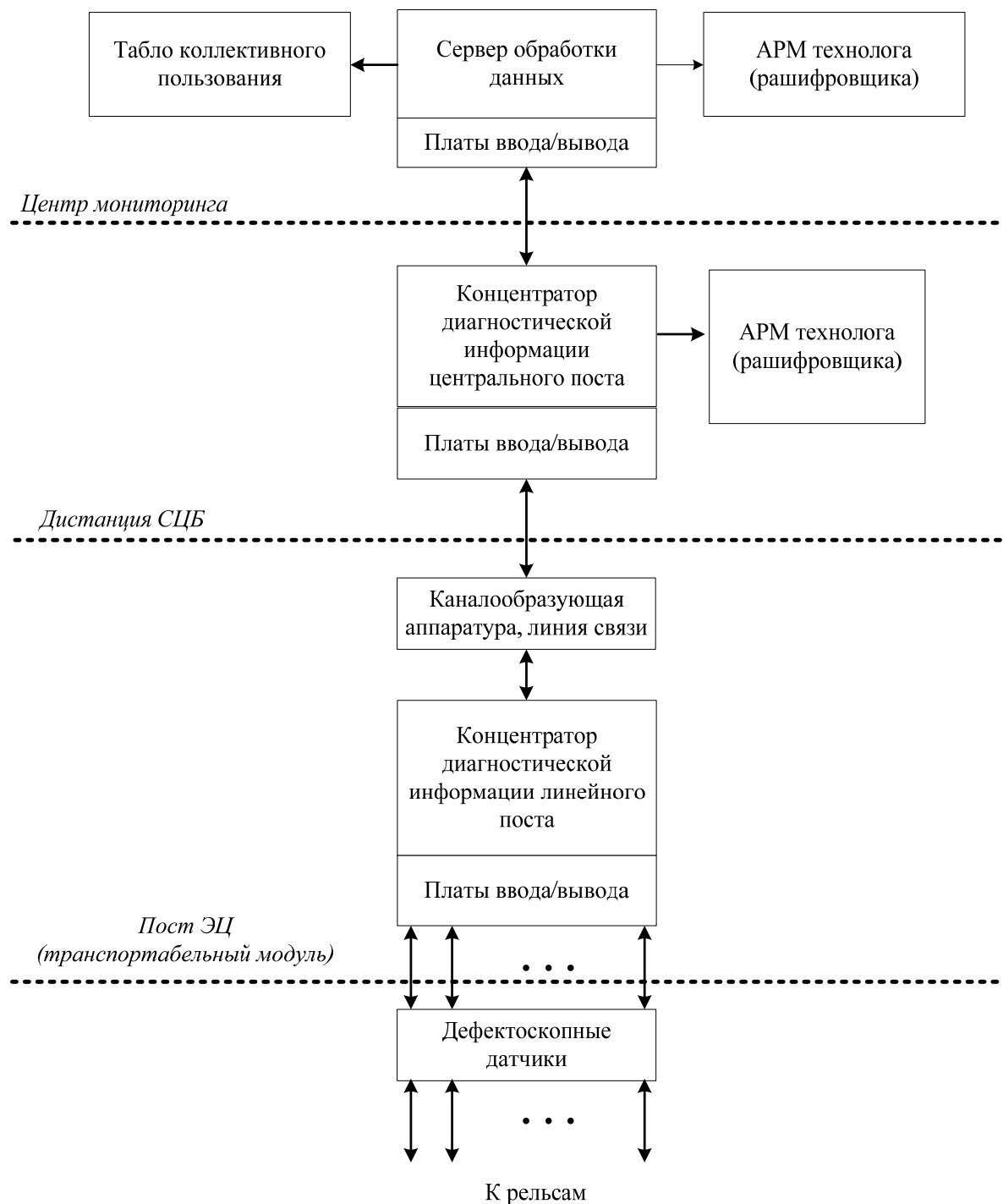


Рис. 5. Передача информации от дефектоскопных датчиков до сервера обработки данных

Предполагаемое расположение дефектоскопных датчиков показано на рис. 6.

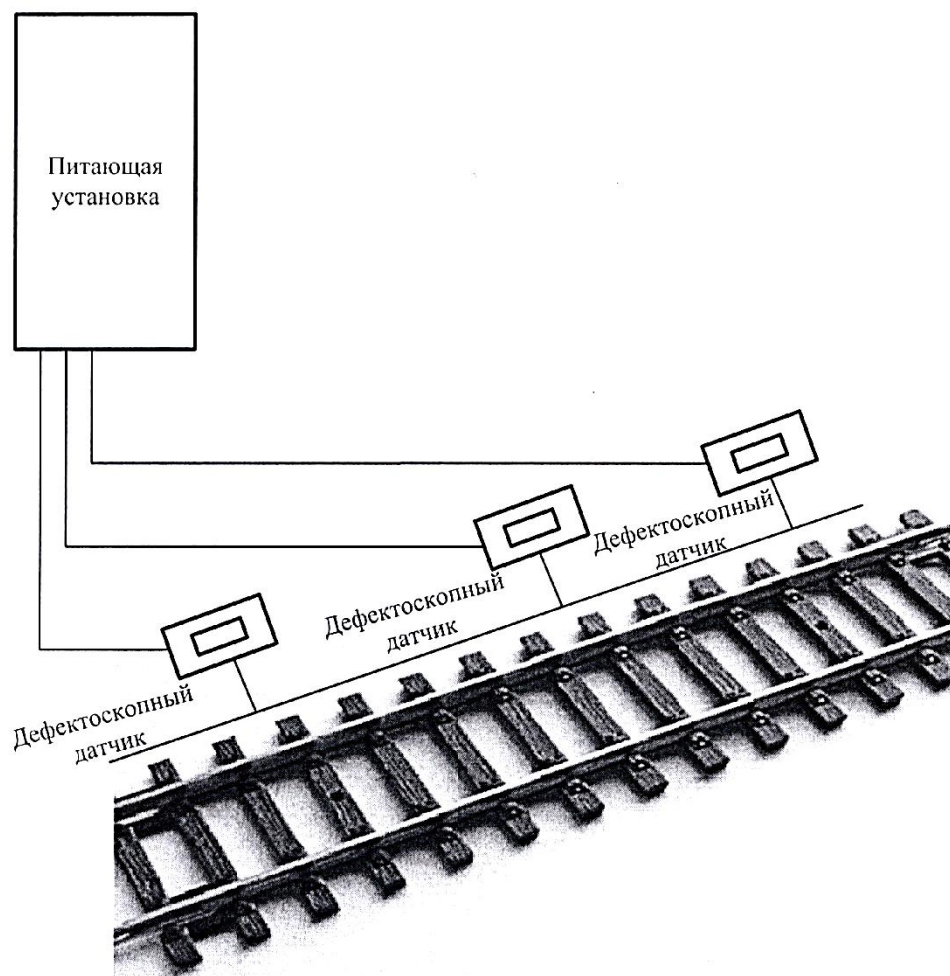


Рис. 6. Расположение дефектоскопных датчиков вдоль рельсовой линии

Заключение

Применение дефектоскопных датчиков сможет повысить надежность РЦ, поскольку благодаря раннему обнаружению дефектов и неисправностей можно устранить отказы в процессе обслуживания. Оборудование станций и перегонов такими датчиками повысит безопасность движения поездов.

Следует заметить, что дефектоскопные датчики имеют существенный недостаток – небольшую дальность посылки волн; понадобится примерно 12–15 датчиков в пересчете на 100 м, что, в свою очередь, требует большого количества датчиков для оборудования объектов ЖАТ. Увеличение дальности позволит сократить экономические расходы на техническое диагностирование.

Библиографический список

1. Москвина Е. А. Диагностика и мониторинг на Октябрьской дороге / Е. А. Москвина // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 1. – С. 32–34.
2. Сепетый А. А. Диагностика и мониторинг на Северо-Кавказской дороге / А. А. Сепетый // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – № 6. – С. 6–9.
3. Нестеров В. В. Центр диагностики и мониторинга устройств ЖАТ / В. В. Нестеров, Д. С. Першин // Автоматика, связь, информатика. – 2009 – № 1. – С. 29–31.
4. Федорчук А. Е. Новые информационные технологии: автоматизация технического диагностирования и мониторинга устройств ЖАТ (система АДК-СЦБ) : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / А. Е. Федорчук, А. А. Сепетый, В. Н. Иванченко. – Ростов н/Д : РГУПС, 2008. – 444 с.
5. 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.
6. 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.
7. Ефанов Д. В. Автоматизация контроля на стрелках / Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Мир транспорта. – 2011. – № 2. – С. 54–59.
8. Ефанов Д. В. Мониторинг параметров рельсовых цепей тональной частоты / Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Транспорт Урала. – 2013. – № 1. – С. 36–42.
9. 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.
10. 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.
11. Кравцов Ю. А. Электромагнитная совместимость рельсовых цепей и электропоезда с асинхронным тяговым приводом / Ю. А. Кравцов // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 7–27.
12. Кравцов Ю. А. Перспективные способы кодирования рельсовых цепей тональной частоты / Ю. А. Кравцов, Е. В. Архипов, М. Е. Бакин // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 2. – С. 119–126.
13. Системы управления движением поездов на перегонах : учебник для вузов ж.-д. транспорта : в 3 ч. Ч. 1: Функциональные схемы систем / В. М. Лисенков, П. Ф. Бестемьянов, В. Б. Леушин, Н. Е. Федоров, Л. Б. Смирнова ; под ред. В. М. Лисенкова. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 160 с.
14. Волков В. В. Ультразвуковые рельсовые дефектоскопы : справ. пособие / В. В. Волков. – Томск, 2010. – 26 с.
15. Марков А. А. Дефектоскопия рельсов. Формирования и анализ сигналов / А. А. Марков, Е. А. Кузнецова. – СПб. : КультИнформПресс, 2010. – 290 с.

Email: persikia@yandex.ru

А. Р. Зозуля

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

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Введение

Как известно, одним из способов обеспечения высокого уровня отказоустойчивости систем и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики является их функциональный контроль средствами систем технического диагностирования и мониторинга (СТДМ) [1–3]. Достоинства СТДМ очевидны – они позволяют следить за техническим состоянием устройств в автоматизированном режиме и прогнозировать дальнейшие изменения рабочих параметров. Однако до сих пор не решенным остается вопрос автоматизации анализа диагностической информации [4–7].

Задача технического диагностирования и мониторинга возникает не только при производстве изделий, но и при дальнейшей эксплуатации устройства. Поскольку при эксплуатации устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) необходимо обеспечивать должный уровень безопасности, необходимо проводить мероприятия по их техническому обслуживанию (ТО). Работа СТДМ несовершенна, поэтому возникает большое количество необнаруженных неисправностей или ложных отказов и предостказов в системе. Важным вопросом является процесс предупреждения появления предостказных состояний, которые могут позже привести к отказу [8].

При эксплуатации устройств ЖАТ необходимо обеспечивать должный уровень безопасности, проводить мероприятия по их техническому осмотру. Следует отметить, что в системах ЖАТ контроль выполняемых работ по ТО устройств, как правило, не предусмотрен и у персонала возникает желание не выполнять рутинные работы или выполнять их не в полном объеме [9]. Именно так и происходят многие недочеты. Например, электромеханик должен анализировать работу аппаратно-программного комплекса диспетчерского контроля (АПК-ДК) в течение часа каждый день, но он не уделяет должного времени просмотру временных характеристик устройств, а смотрит поверхностно, вследствие чего может возникнуть незамеченная неисправность.

К системам автоматики и телемеханики, которые применяются, например, в областях нефтегазовой и атомной промышленности, предъявляются не менее строгие требования. При этом в СТДМ оператору предоставляется возможность контроля и управления объектами. Это связано с тем, что, в отличие от железнодорожных СТДМ, в областях нефтегазовой промышленности применяются системы, которые способны анализировать ситуацию, сравнивать показатели и дать подсказку диспетчеру относительно оперативного воздействия. Такие возможности не только уменьшают количество обслуживающего персонала, но и, несмотря на допущение воздействия оператора на систему, повышают безопасность. Вероятность того, что система выполнит неверный анализ, стремится к нулю, и диспетчеру остается только подтвердить выбор системы и дать более точные указания персоналу для дальнейших действий. В СТДМ такая возможность отсутствует, ответственные решения принимает эксплуатационный персонал. Это может привести к существенному увеличению времени устранения отказа и предотвращения.

Таким образом, если бы СТДМ имели возможность самостоятельно анализировать состояние объектов в будущем, более детально изучая их характеристики, то можно было бы не только повысить уровень безопасности, снизив влияние человека на принятие решения, но и повысить культуру труда.

«Глазами» систем автоматики и телемеханики являются рельсовые цепи. Именно поэтому стоит уделить большее внимание устройствам рельсовых цепей, таких как путевые генераторы (ГП), путевые приемники (ПП), путевые фильтры (ФП) [10–14]. Например, в Петрозаводской дистанции Октябрьской железной дороги в период с 1 января по 31 октября 2014 г. было зафиксировано 68 случаев выхода параметров ПП за пределы норм, из которых в 48 случаях причина либо не установлена (рельсовая цепь работает исправно, и она взята на контроль обслуживающим персоналом), либо по вине службы пути; самое распространенное – неисправность изолирующего стыка (одна из более частых причин – налипание стружки на изостыки).

Дальнейшее изучение данных отказов показало, что в течение времени n (в каждом из случаев оно было разным) напряжение на ПП изменялось в пределах нормы, но не было нормальным для своего состояния. С течением времени ПП выходил из строя по причине падения напряжения.

Таким образом, получается, что если бы существовала возможность контролировать изменение параметра (в данном случае напряжение на выходе ПП) не только в заданных границах, то можно было бы сигнализировать обслуживающему персоналу об угрозе отказа и предотвращения. И, как следствие, избежать ложной занятости и возможных затрат службы на простой поездов.

1. Исходные предпосылки

Как показало исследование, более 70 % неисправностей ПП в рассматриваемой дистанции можно было бы избежать, имея алгоритм в программном обеспечении СТДМ с более полным и глубоким анализом характеристик ПП.

Почему недостаточно такого статуса неисправности, как «отказ» и «предотказ»? Предотказ дает возможность обсуживающему персоналу произвести необходимые работы для устранения возможного отказа, когда отказ – это уже случившаяся неисправность устройства, которая может привести к нарушению безопасности движения поездов или к снижению качества перевозочного процесса.

Рассматриваемые ситуации нельзя отнести к статусу «отказ» ПП или «предотказ» ПП, так как при отказе ПП наблюдается резкое падение напряжения на его выходе, которое стремится к нулю, а при предотказном состоянии на его выходе могут наблюдаться значительные колебания графика напряжения между границами минимальной и максимальной нормы. Рассматриваемые отказы бывают разными – напряжение может в течение 5–10 минут «плавать» в различных диапазонах, не попадая в предотказы, восстанавливаться, затем резко «выпадать» в отказ.

К сожалению, на данный момент система АПК-ДК не имеет возможности самостоятельно анализировать ситуации, не подходящие под определение отказа или предотказа, только диспетчер ШЧ (ШЧД) или инженер по мониторингу (ШЧДМ) может это заметить и сигнализировать обслуживающему персоналу о возможном предотказе или отказе. А это не всегда возможно, потому что под наблюдением у ШЧД и ШЧДМ большое количество станций и соответственно большой объем наблюдаемых объектов. Без дополнительной сигнализации системы о возможной угрозе можно не заметить нестабильное поведение характеристики контролируемого устройства ЖАТ.

Несмотря на то что много отказов ПП происходит не по вине службы автоматики и телемеханики, а по вине службы пути, на это нельзя закрывать глаза. Существует возможность модернизировать систему функционального контроля и предупредить отказ или предотказ. При этом у обслуживающего персонала будет возможность сообщить о развивающейся неисправности самого ненадежного элемента работникам службы пути и произвести его замену, не дожидаясь таких последствий, как ложная занятость участка.

Одной из основных причин отказа изолирующих стыков является закорачивание стыка металлической стружкой вследствие воздействия магнитного поля, создаваемого намагниченными торцами рельсов, разделенных изолирующим стыком. Так возрастает сопротивление на аппаратуру тональной рельсовой цепи (ТРЦ), в том числе на ПП, который выходит в подобном случае отказывает.

Подводя итог, стоит еще раз отметить, что при наличии модернизированного алгоритма в рассматриваемой системе функционального диагностирования значительно улучшится качество перевозочного процесса, уменьшится количество отказов и возрастет культура труда обслуживающего персонала.

2. Алгоритм предупреждения неисправностей

Была поставлена задача – модернизация существующего алгоритма анализа ТРЦ в системе АПК-ДК до алгоритма с более полным и глубоким автоматическим анализом напряжения на выходе ПП.

В существующем алгоритме, как говорилось ранее, имеются верхний и нижний пределы, которые называются «нормальями». В пределах нормалей программа анализирует состояние ПП. Если напряжение выходит за пределы нижней или верхней нормали, система сигнализирует об отказе ПП, за исключением занятия рельсовой цепи поездом, или о предотказе при нестабильной характеристике. Таким образом, имеется алгоритм, изменение которого не требуется, существует лишь необходимость дополнения его некоторым количеством операций для более глубокого диагностирования.

При рассмотрении необходимых операций было решено объединить их в алгоритмическую структуру «цикл». В такую структуру входит серия команд, выполняемая многократно. В приведенном на рис. 1 алгоритме цикл повторяется вновь до тех пор, пока условие является ложным, в случае истинности условия выполняется вывод на экран монитора сигнализации об угрозе неисправности и цикл вновь повторяется. Многократность алгоритма очень важна, так как исследуемая характеристика постоянно изменяется. Именно многократность необходима для решения поставленной задачи, поскольку нужно постоянно анализировать, сравнивать существующую характеристику с нормой, которая нам известна, а также производить расчет процентного отклонения от нормы.

Дополнительный набор команд в существующем алгоритме не только предотвратит появление отказов, но и повысит надежность работы устройств автоматики и телемеханики.

Для реализации задачи необходимо производить:

- постоянный расчет среднего значения изменяемого параметра ($U_{\text{вых}}$);
- сравнение среднего значения с заданным значением напряжения на выходе ПП, с учетом того факта, что напряжение в данный момент может оказаться меньше рассчитанного среднего значения напряжения;
- расчет процентного отклонения характеристики от среднего значения;
- в случае, когда значение d равно процентному отклонению от нормы X в течение времени t , – выводить на экран текстовое предупреждение о возможной угрозе неисправности для повышения бдительности обслуживающего персонала.

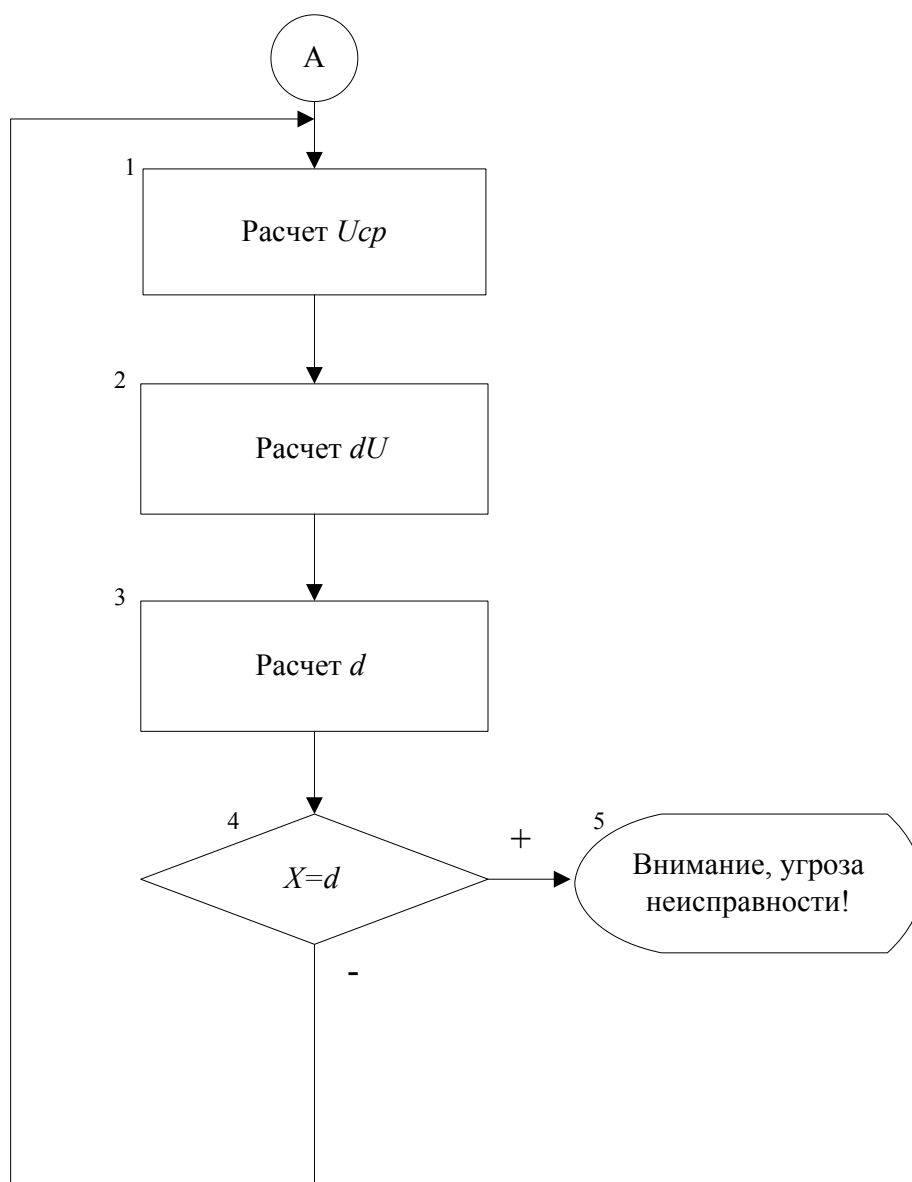


Рис. 1. Блок-схема алгоритма

На рис. 1 представлена блок-схема части алгоритма. Предполагается, что значение напряжения на выходе ПП (U) будет постоянно сравниваться с рассчитанным средним напряжением U_{cp} за определенный промежуток времени, который предстоит определить. Формулы для расчета среднего значения напряжения на выходе ПП, разницы между текущим напряжением и рассчитанным средним значением соответственно:

$$U_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n}, \quad (1)$$

где $\sum U$ – сумма зафиксированных значений напряжения за время t ;
 n – количество измеренных значений за время t ;

$$\Delta U = |U - U_{\text{cp}}|, \quad (2)$$

где ΔU – модуль разницы между текущим значением напряжения на выходе ПП и средним значением напряжения за время t ;

U_{cp} – среднее значение напряжения за время t , рассчитанное по формуле (1).

Расчет процентного отклонения d от нормы:

$$d = \frac{100 \cdot \Delta U}{U}, \quad (3)$$

где ΔU – разница по модулю между текущим значением напряжения на выходе ПП и средним значением напряжения за время t , рассчитанное по формуле (2);

U – нормальное значение напряжения на выходе ПП.

Приведем пример. Допустим, напряжение на выходе ПП, при его исправном состоянии и свободной рельсовой цепи, должно составлять 0,83 В (именно с этим значением впоследствии будет сравниваться U_{cp}). В таблице представлены показания исследуемого параметра в течение четырех минут. Произведем расчеты U_{cp} , ΔU , d по формулам (1) – (3):

$$U_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n} = \frac{12,2}{16} = 0,76 \text{ В};$$

$$\Delta U = |U - U_{\text{cp}}| = |0,83 - 0,76| = 0,07 \text{ В};$$

$$d = \frac{100 \cdot \Delta U}{U} = \frac{100 \cdot 0,07}{0,83} = 8,4 \text{ \%}.$$

Таким образом, среднее значение напряжения отличается от нормального на 8,4 %. Расчет произведен за 4 минуты. Рассмотрим, каково будет процентное отклонение от нормы, если расчеты произведены за 3 и 2 минуты. Аналогично будет произведен расчет для вторых двух минут – с третьей по четвертую:

$$U_{\text{cp}(3 \text{ мин})} = \frac{\sum U}{n} = \frac{9,43}{12} = 0,78 \text{ В};$$

$$\Delta U = |U - U_{\text{cp}}| = |0,83 - 0,78| = 0,05 \text{ В};$$

$$d = \frac{100 \cdot \Delta U}{U} = \frac{100 \cdot 0,05}{0,83} = 6,02 \%;$$

$$U_{\text{ср1(2 мин)}} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n} = \frac{6,49}{8} = 0,81 \text{ В};$$

$$\Delta U = |U - U_{\text{ср}}| = |0,83 - 0,81| = 0,01 \text{ В};$$

$$d = \frac{100 \cdot \Delta U}{U} = \frac{100 \cdot 0,01}{0,83} = 1,2 \%;$$

$$U_{\text{ср1(2 мин)}} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n} = \frac{5,73}{8} = 0,71 \text{ В};$$

$$\Delta U = |U - U_{\text{ср}}| = |0,83 - 0,71| = 0,12 \text{ В};$$

$$d = \frac{100 \cdot \Delta U}{U} = \frac{100 \cdot 0,12}{0,83} = 14,45 \%.$$

Таблица

Расчеты для вычисления $U_{\text{ср}}$

№ измерения	Напряжение на выходе ПП
1	0,83
2	0,82
3	0,83
4	0,81
5	0,82
6	0,78
7	0,81
8	0,79
9	0,76
10	0,74
11	0,75
12	0,69
13	0,71
14	0,71
15	0,68
16	0,69

Среднее значение напряжения отличается от среднего за время снятия показаний третьей и второй минуты (с первой по вторую и с третьей по четвертую) соответственно на 6,02, 1,2 и 14,45 %.

Если параметр X был бы равен 10 %, то сигнализация об угрозе возможной неисправности произошла на четвертой минуте, так как измерения среднего параметра производились только в течение двух минут (с третьей по четвертую минуты).

Важно отметить причину постоянного расчета среднего значения. Для каждой рельсовой цепи нормальное напряжение на выходе ПП рассчитывается особо при проектировании, это вызвано различными видами и длиной рельсовых цепей. Поскольку характеристика несколько отличается от рассчитанного значения из-за воздействия на аппаратуру множества внешних и внутренних факторов, необходимо производить расчет среднего значения через определенные промежутки времени. Это даст возможность определить изменение характеристики, в норме ли она или наблюдается тенденция падения или скачка напряжения, которая может привести к неисправности. Именно поэтому расчет среднего значения напряжения важно производить постоянно, через определенные промежутки времени.

При реализации алгоритма возник ряд вопросов, например: как же часто нужно реализовывать алгоритм и какое процентное отклонение X необходимо применять для сравнения?

Все рассматриваемые случаи будут частными и нельзя полагаться на их результаты. Во-первых, для установления процентного отклонения X важно учитывать тот факт, что в зависимости от длины и вида рельсовой цепи их ПП могут быть настроены по-разному. Необходимо, чтобы система сама могла прогнозировать вероятность выхода параметра за допустимые границы. Во-вторых, необходимо, чтобы система прогнозировала время до возможного отказа или предотвращения исходя из значения параметра в данный момент времени. В таких случаях предлагается использовать методы прогнозирования [4]. Вероятностный и аналитические методы прогнозирования могут быть использованы для расчета вероятности выхода параметра за пределы нормы и времени τ до возможной неисправности. При использовании таких методов параметр X должен быть задан до начала алгоритма и сравниваться с рассчитанной вероятностью выхода параметра за допустимые границы, после чего в случае равенства запускается предложенный алгоритм. После внесенных изменений алгоритм поменялся и выглядит иначе (рис. 2).

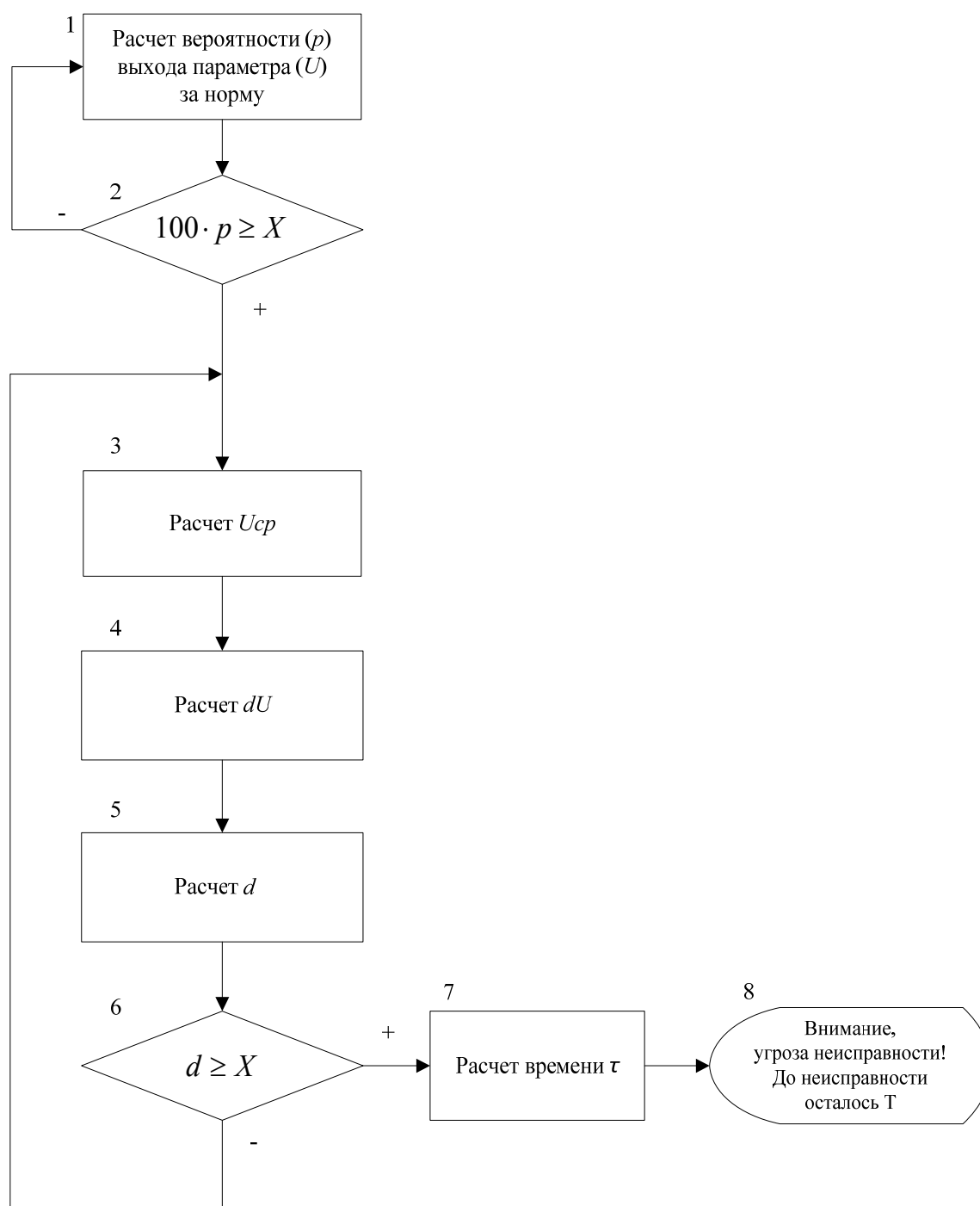


Рис. 2. Блок-схема усовершенствованного алгоритма

При использовании перед запуском цикла «прогнозирование» для определения вероятности выхода параметра за пределы нормы можно исключить вопрос о времени запуска предлагаемого цикла. Это обусловлено тем, что система сама будет определять возможность угрозы (расчет вероятности выхода за пределы нормы) и сравнивать заданный параметр с рас-

считанным. В случае равенства заданного параметра и рассчитанного значения вероятности отказа система сама запускает алгоритм и на протяжении цикла проверяет свой выбор. Таким образом, система исключает возможность ложного предупреждения персонала. Кроме того, было принято решение для предупреждения подобных отказов ввести дополнительный статус, так как назвать это предотказом нельзя и отнести к категории «отказ» тоже. Предлагается использовать дополнительную строку, которая будет предупреждать сотрудников об угрозе отказа и акцентировать особое внимание эксплуатационного персонала на конкретной рельсовой цепи. Предлагается ввести название «угроза неисправности» или просто «угроза».

3. Реализация алгоритма на программном уровне

Для описания алгоритма, представленного на рис. 2, было принято решение воспользоваться языком разметки XML.

XML – это язык разметки документов, позволяющий структурировать информацию разного типа, с использованием для этого произвольного набора инструкций [15].

Программа легко может быть реализована с использованием любого другого языка программирования. Она легко читаема и учитывает структуру разрабатываемого алгоритма.

На рис. 3 представлена часть алгоритма на языке разметки XML, в которой объявляются все переменные. Эти переменные будут использоваться далее, а их начальные значения описаны после оператора value=.

```

1  <program name="identification risk malfunction">
2      <variable name="sredneeU" value="0"/>
3      <variable name="summU" value="0"/>
4      <variable name="counter" value="1"/>
5      <variable name="U" value="0"/>
6      <variable name="deltaU" value="0"/>
7      <variable name="X" value="to assign a value"/>
8      <variable name="probability" value="0"/>
9      <variable name="time" value="0"/>
10

```

Рис. 3. Описание переменных

Поясним некоторую часть действия алгоритма. В 11-й и 33-й строках фиксируется начало и конец внешнего алгоритма, который реализуется таким образом, что тело цикла (расчет вероятности выхода параметра за допустимые границы) находится до «условия». Такой цикл называется «с постусловием» и будет реализовываться до тех пор, пока «условие» будет ложным.

Ложность условия проверяется строками с 12-й по 24-ю. Далее следует тело цикла. Строки с 25-й по 32-ю показывают, что в теле цикла происходит расчет вероятности p выхода параметра U за пределы нормы (рис. 4).



Рис. 4. Программное описание внешнего цикла

Далее, в строке 34-й объявляется открытие внутреннего цикла, который начнет свое действие в случае истинности условия внешнего цикла. Внутренний цикл также с постусловием. Строки с 35-й по 47-ю описывают условия выполнения цикла, в которых сравнивается значение рассчитанного процентного отклонения d от заданного значения X . Строки 48–54-я производят считывание выходного напряжения на данный момент времени и их суммирование для дальнейшего расчета $U_{\text{ср}}$. В строках 55–60-й происходит расчет среднего значения напряжения $U_{\text{ср}}$ по формуле (1). В строках 61–72-й производятся операции, для расчета ΔU . Далее, с 7-й по 86-ю строку, идут операции, необходимые для расчета процентного отклонения d . Строка 87-я закрывает внутренний цикл (рис. 5–6).



Рис. 5. Программное описание внутреннего цикла



Рис. 6. Программное описание внутреннего цикла

Заключение

Основной задачей исследования являлось изменение действующего алгоритма программы для более полного и глубокого контроля характеристик устройств на примере ПП. Все данные об отказах, неисправностях ПП были взяты с Петрозаводской дистанции сигнализации, централизации и блокировки.

Предложенная идея может применяться для системы АПК-ДК, а сам подход к диагностированию состояния ПП является актуальным. Это объясняется тем, что возникает большое количество неисправностей из-за недостаточной полноты диагностирования устройства. Представленный алгоритм направлен на улучшение системы АПК-ДК, позволяет избавиться от ряда неисправностей.

Для устранения одного из недостатков рассматриваемой СТДМ были проанализированы часто возникающие неисправности. Несмотря на то что при реализации идеи стоит произвести дополнительные расчеты, которые ориентируют систему на прогнозирование, подробно представленный алгоритм является надежным (двойная проверка параметров). Помимо структурной схемы алгоритма, представлена программная реализация, которая легко может быть адаптирована для любого другого языка программирования благодаря тому, что она легко читаема и учитывает структуру разрабатываемого алгоритма.

Библиографический список

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Гаскаров Д. В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры / Д. В. Гаскаров, Т. А. Голинкевич, А. В. Мозгалеvский. – М. : Советское радио, 1974. – 224 с.
5. 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.
6. 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.

7. Ефанов Д. В. Некоторые аспекты развития систем функционального контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Транспорт Урала. – 2015. – № 1. – С. 35–40.
8. Сапожников Вл. В. Понятие предотказного состояния / Вл. В. Сапожников, А. А. Лыков, Д. В. Ефанов // Автоматика, связь, информатика – 2012. – № 12. – С. 6–8.
9. Ефанов Д. В. Автоматизация контроля на стрелках / Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Мир транспорта. – 2011. – № 2. – С. 54–59.
10. Лыков А. А. Обнаружение и предотвращение неисправностей в ТРЦ / А. А. Лыков, Н. А. Богданов // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 10. – С. 17–21.
11. 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.
12. Ефанов Д. В. Мониторинг параметров рельсовых цепей тональной частоты / Д. В. Ефанов, Н. А. Богданов // Транспорт Урала. – 2013. – № 1. – С. 36–42.
13. Кравцов Ю. А. Электромагнитная совместимость рельсовых цепей и электропоезда с асинхронным тяговым приводом // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 7–27.
14. Кравцов Ю. А. Перспективные способы кодирования рельсовых цепей тональной частоты / Ю. А. Кравцов, Е. В. Архипов, М. Е. Бакин // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 2. – С. 119–126.
15. Язык xml – практическое введение [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.codenet.ru.

Email: annarz2493@yandex.ru

**М. С. Иваникин,
Д. В. Ефанов, канд. техн. наук**

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

ВЫБОР УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАТЧИКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ПОДВИЖНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ СТРЕЛОЧНОГО ПЕРЕВОДА

Введение

Современные системы технического диагностирования и мониторинга (СТДМ) контролируют в основном электрические параметры устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), чего, естественно, недостаточно для получения полной информации о техническом состоянии многих устройств [1–4]. Наличие СТДМ на объектах станции не дает возможности постановки максимально точного диагноза для napольных объектов ЖАТ. Поэтому до сих пор невозможно отказаться от ручного технического диагностирования силами электромехаников сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ). Например, разработчики СТДМ ЖАТ активно ведут исследования в области контроля электрических параметров стрелочных электроприводов [5–12]. Не меньшего внимания, однако, заслуживают и подвижные элементы стрелочного перевода, который служит объектом управления для стрелочного электропривода.

Одна из функций электропривода¹ – косвенный контроль положения остриков стрелочного перевода. Решение этой задачи возлагается на контрольные линейки, автопереключатель и типовые схемы контроля. Контроль положения остриков является косвенным, так как фактически контролируется положение контрольных линеек. Автопереключатель электропривода не контролирует фактическую величину отжима острия ни в горизонтальной, ни в вертикальной плоскостях, которая при проходе подвижного состава по стрелке может превышать допустимые значения. Поэтому актуальной задачей является не только косвенный контроль электрических параметров стрелочного электропривода, но и контроль фактического положения остриков [13]:

- контроль зазора между остриком и рамным рельсом в различных режимах работы стрелочного перевода;

¹ Имеются в виду электроприводы марки СП.
150

- контроль взреза стрелки;
- контроль положения острия при выключении стрелок из централизации.

К этому списку необходимо добавить контроль провисания острия, повышения или понижения его относительно рамного рельса и т. д.

Автоматизация решения данных задач возможна путем внедрения специальных датчиков контроля расстояний. Датчики должны быть ультразвуковыми, а не индукционными или оптическими. Контроль, осуществляемый с использованием ультразвуковых датчиков, позволит выявлять предотказное состояние стрелочного перевода в целом, что даст возможность исключить отказы, в том числе такое явление, как «опасный отказ».

1. Существующая система контроля стрелки

В настоящее время фирмой ООО «НПЦ «АТ Транс» сконструирована аппаратура бесконтактного автоматического контроля стрелочных переводов (АБАКС). АБАКС предназначен для контроля положения острия стрелочного перевода с проверкой плотности прилегания острия к раме. Аппаратурой могут быть оборудованы как централизованные, так и нецентрализованные и ручные стрелки. АБАКС включает в себя напольную и постовую части. К напольной относятся два датчика контроля ДПО-1, закрепляемые в шейках рамных рельсов и блок контроля БКПО-3, устанавливаемый в типовой кабельной муфте УПМ-24. Аппаратура в увязке с электрической централизацией работает следующим образом. После перевода стрелки, если прижатый остриек занял положение ближе 4 мм к рамному рельсу, блоком включения реле положения дается разрешение на включение соответствующего реле (ПК или МК) [14].

При отставании острия от рамного рельса на 4 (3,5) мм и более на блоке БКПО в муфте и на пульте АБАКС включаются красные индикаторы, при этом на пульте дополнительно (после выдержки времени 8...10 с) включается звуковая сигнализация. Световая сигнализация срабатывает при каждом переводе стрелки и подтверждает тем самым работоспособность аппаратуры. Аппаратура имеет встроенную схему самодиагностирования [15].

Преимущества АБАКС очевидны, однако нельзя не заметить и весомые недостатки [13]:

- сложность установки датчиков;
- не обеспечивается непосредственный контроль острия;
- значительно усложнена существующая система контроля стрелки (дополнительные жилы кабеля), и, как следствие, увеличена вероятность возникновения отказов;
- увеличены эксплуатационные затраты на обслуживание и ремонт;

- автопереключатель электропривода совместно с АБАКС контролирует только произошедший отказ.

Эффективной альтернативой применения АБАКС является создание системы контроля расстояний между подвижными элементами стрелочного перевода с применением ультразвуковых датчиков.

2. Ультразвуковые датчики расстояния

На рис. 1 представлен принцип работы ультразвуковых датчиков. Ультразвуковые датчики излучают короткие высокочастотные звуковые импульсы определенного интервала. Они распространяются в воздухе со скоростью звука. При встрече с объектом звуковая волна отражается от него обратно в качестве эха. Датчик принимает этот сигнал и рассчитывает расстояние до объекта, основываясь на временном промежутке между образованием сигнала и получением эха сигнала [16].

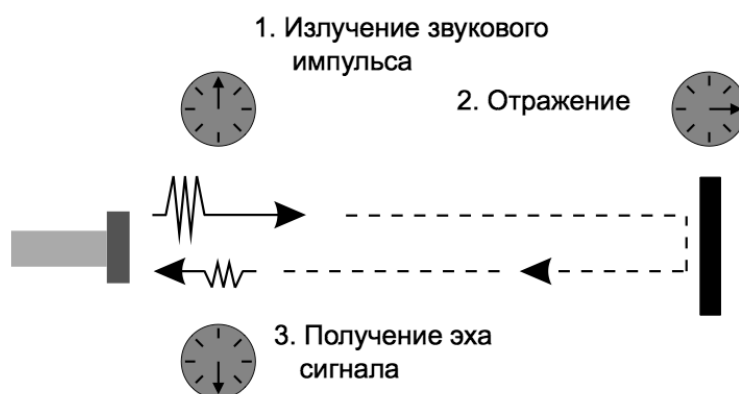


Рис. 1. Принцип работы ультразвуковых датчиков

Достоинства ультразвуковых датчиков [4]:

- ультразвуковые датчики идеально подавляют фоновые шумы, так как расстояние до объекта определяется с помощью измерения времени полета звуковой волны, а не ее интенсивностью;
- практически все материалы, отражающие звук, могут использоваться в качестве объектов обнаружения, независимо от их цвета, даже прозрачные материалы и тонкие пленки не представляют проблемы для ультразвуковых датчиков;
- ультразвуковые датчики могут «видеть» сквозь запыленный воздух, туман, даже небольшой налет на мембране сенсора не влияет на их работу;
- различные режимы работы и конфигурации устройства позволяют использовать ультразвуковые датчики на различных автоматизированных установках.

Ультразвуковые датчики могут работать в различных режимах. Рассмотрим режим работы с отражателем (рис. 2). В качестве отражателя может использоваться любой хорошо отражающий звук объект (например, металлическая пластина). Данный режим применяется для работы с объектами, плохо отражающими звук либо объектами со сложной геометрией (когда отраженные звуковые волны не попадают на поверхность сенсора). В данном случае датчик работает как датчик расстояния.

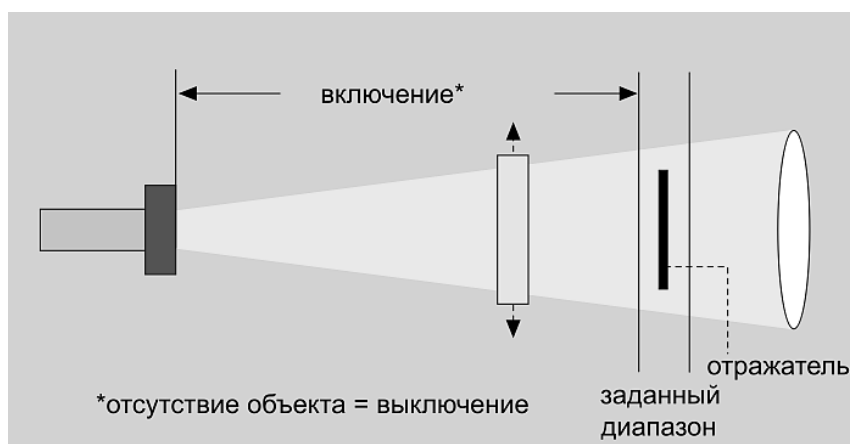


Рис. 2. Режим работы с отражателем

3. Конструкция, крепление, передача данных

Существует большое количество фирм, выпускающих различные ультразвуковые датчики. Все эти датчики схожи, но не все могут контролировать расстояние от 0 до 4 мм. В таблице приведено сравнение датчиков различных фирм.

Таблица

Сравнение ультразвуковых датчиков

Критерии сравнения	Ультразвуковые датчики				
	mic+25/D/T C	nano-15/CD	UNAM 12U9914/S14D	UNAM 12U9914/S14	BUS M18M1
Производитель	Microsonic	Microsonic	Baumer	Baumer	Balluff
Диапазон срабатывания, мм	30...250	20...150	2...82	20...200	25.. 250
Точность, мм	0,025	0.069	0,3	0,5	0,069
Слепая зона, мм	Менее 30	Менее 20	Менее 2	Менее 20	Менее 25
Рабочая температура, °C	-25...70	-25...70	-25...60	-25...60	-25...70
Стоимость, руб.	11 927,56	11 494,08	15 457,99	12 749,14	19 887,44

Из таблицы можно сделать вывод: для контроля расстояния между прижатым острием и рамным рельсом (не более 4 мм) подойдет датчик фирмы Baumer UNAM 12U9914/S14D, так как диапазон срабатывания этого датчика составляет от 2 до 82 мм. Кроме того, можно контролировать расстояние между отжатым острием и рамным рельсом, в этом случае подойдет датчик фирмы Baumer UNAM 12U9914/S14, так как его диапазон срабатывания составляет от 20 до 200 мм.

Рассмотрим более подробно датчик Baumer UNAM 12U9914/S14D.

На рис. 3 представлен внешний вид ультразвукового датчика, показаны его реальные размеры.

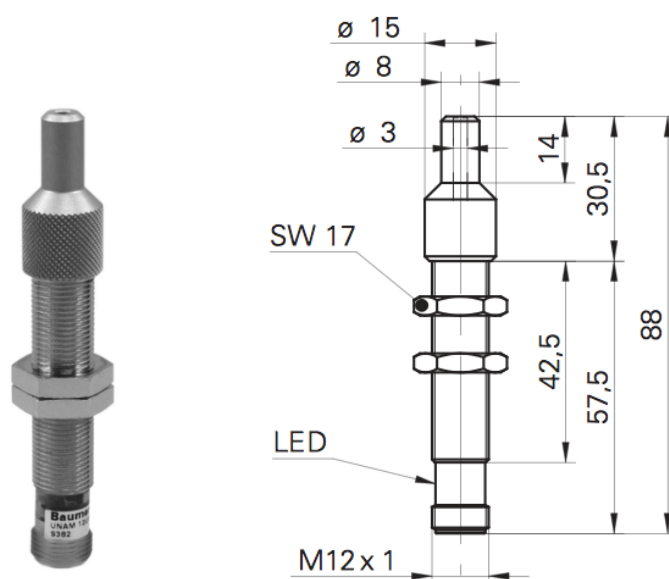


Рис. 3. Ультразвуковой датчик расстояния Baumer UNAM 12U9914/S14D

Перед монтажом датчиков на стрелочном переводе должны быть проведены подготовительные работы. В шейках рамных рельсов стрелочного перевода должны быть просверлены отверстия $\varnothing = 15^{+1}$ мм для крепления датчиков расстояния в соответствии с рис. 4.

Аппаратура монтируется на стрелочном переводе согласно рис. 5 в следующем порядке:

- установить и закрепить датчик двумя гайками с пружинной шайбой;
- рукав соединительного защитного комплекта от дальнего датчика уложить под раму стрелочного перевода согласно рис. 5;
- соединительные провода от датчиков протянуть через рукава защитного монтажного комплекта в муфту; рукава надеть на резьбовые окончания датчиков и ниппели фланцев на муфте и обжать провололочной скруткой;
- рукава защитного монтажного комплекта закрепить на деревянной шпале типовыми скобами; если стрелочный перевод уложен на железобетонной шпале;

тонных шпалах – рукава защитного монтажного комплекта уложить и закрепить на доске, принять меры к защите рукавов от механических повреждений в процессе эксплуатации;

- блок питания установить в муфте на посадочные отверстия и закрепить винтами с шайбами из комплекта.

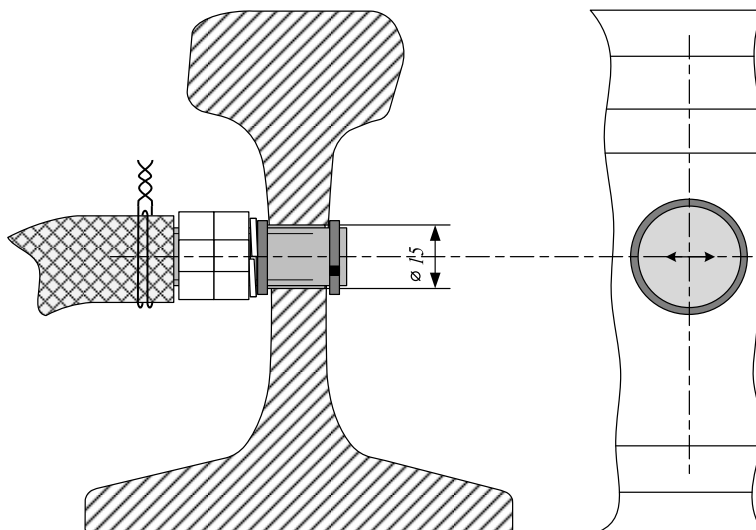


Рис. 4. Конструкция крепления датчика

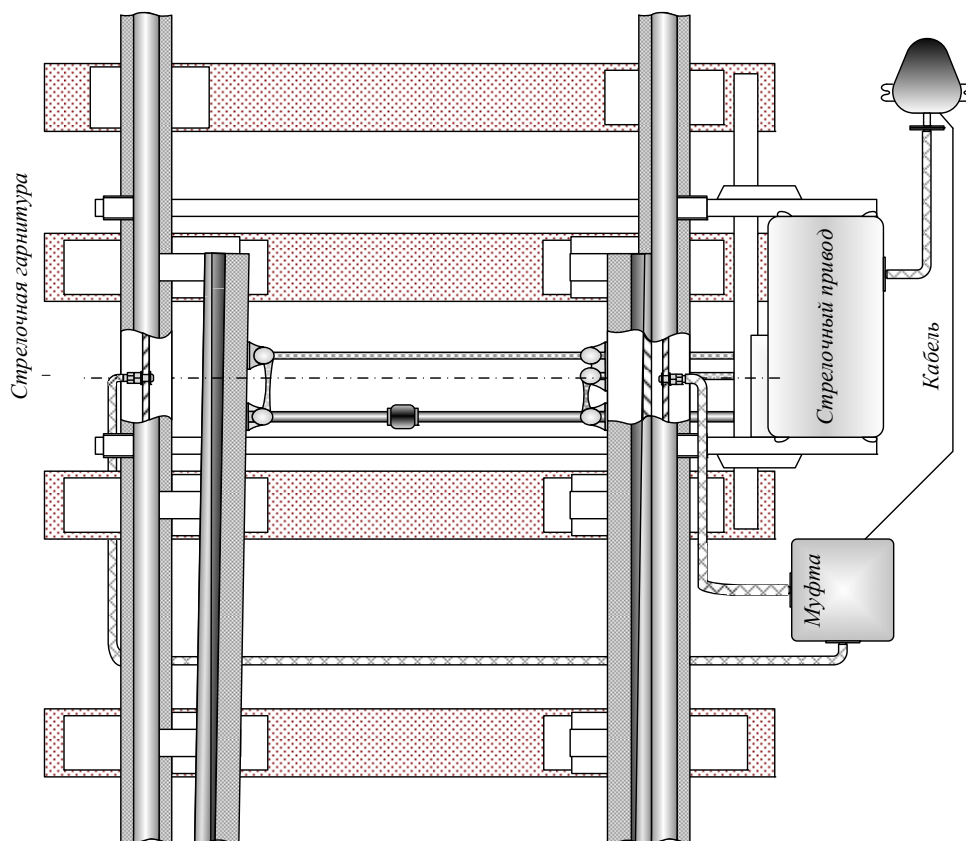


Рис. 5. Размещение датчиков на стрелочной гарнитуре

Ультразвуковые датчики в составе системы контроля расстояний между подвижными элементами стрелочного перевода могут быть увязаны с любыми современными СТДМ [2, 3, 17, 18].

Заключение

В данной статье рассмотрены методы контроля расстояний между подвижными элементами стрелочного перевода. Если сравнивать аппаратуру АБАКС с ультразвуковыми датчиками расстояния, можно сделать вывод о том, что ультразвуковые датчики лучше по своим характеристикам, так как АБАКС может определять только плотность прижатия острия к рамному рельсу и зона контроля у АБАКС от 0 до 10 мм. У ультразвуковых датчиков зона контроля достигает 80 мм и более, это обеспечивает более детальный контроль стрелки в реальном времени. В будущем планируется контролировать не только расстояние между острием и рамным рельсом, но и другие зоны, например понижение острия относительно рамного рельса.

Внедрение новых датчиков контроля неэлектрических параметров вкупе с алгоритмизацией обработки диагностической информации [19–23] позволяет приблизить современную систему технического обслуживания устройств ЖАТ к прогрессивной технологии обслуживания по фактическому состоянию.

Библиографический список

1. Федорчук А. Е. Новые информационные технологии: автоматизация технического диагностирования и мониторинга устройств ЖАТ (система АДК-СЦБ) : учеб. для вузов ж.-д. транспорта / А. Е. Федорчук, А. А. Сепетый, В. Н. Иванченко. – Ростов н/Д : РГУПС, 2008. – 444 с.
2. 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.
3. 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.
4. Ефанов Д. В. Техническое диагностирование и мониторинг устройств автоматики в метрополитенах / Д. В. Ефанов // Автоматизация в промышленности. – 2014. – № 3. – С. 4–8.
5. Руденко В. М. Телемеханическая диагностика стрелочного привода и электродвигателя // Разработка и эксплуатация новых устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. ; под. ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения. – 2004. – С. 77–81.
6. Чухонин В. М. Измерение фазовых соотношений в стрелочных электроприводах с двигателями переменного тока / В. М. Чухонин, Б. Л. Горбунов // Разработка и эксплуатация новых устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. ; ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2004. – С. 21–24.

7. Чухонин В. М. Оценка погрешности метода измерения $\cos\phi$ при переводе стрелки переменного тока / В. М. Чухонин, Б. Л. Горбунов, А. К. Легоньков, А. С. Падалко // Проблемы разработки, внедрения и эксплуатации микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. ; ред. Вл. В. Сапожников. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2005. – С. 43–46.
8. 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.
9. Чухонин В. М. Нормирование активной мощности двигателей переменного тока при переводе стрелки / В. М. Чухонин, Б. Л. Горбунов, Е. В. Басалаев // Развитие элементной базы и совершенствование методов построения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2014. – С. 23–25.
10. Волков А. А. Выявление предотказов стрелочных электроприводов / А. А. Волков, Д. С. Першин, С. Н. Григорьев // Автоматика, связь, информатика – 2014. – № 4. – С. 16–18.
11. 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.
12. 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.
13. Концепция реорганизации хозяйства СЦБ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [<http://pandia.ru/text/78/425/46547.php>].
14. Аппаратура АБАКС [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://atrans.ur.ru/index.php?id=57&Itemid=59&option=com_content&view=article].
15. Системы автоматизированной диагностики состояния стрелочного перевода АБАКС [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [<http://rail.uzdk.ru/stroenie-puti/sistemy-avtomatizirovannoj-diagnostiki-sostoyaniya-strelochnogo-perevoda-abaks>].
16. КИП-Сервис. Ультразвуковые датчики [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://kipservis.ru/microsonic_ultrazvukovie-datchiki.htm].
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. Ефанов Д. В. Метод кодирования состояний диагностируемых объектов / Д. В. Ефанов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2010. – № 2. – С. 74–85.
21. 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.
22. Ефанов Д. В. Некоторые аспекты развития систем функционального контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов // Транспорт Урала. – 2015. – № 1. – С. 35–40.

УДК 681.518.5:004.052.32

В. В. Дмитриев

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

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ГЕНЕРАТОРОВ КОДОВ С СУММИРОВАНИЕМ ВЗВЕШЕННЫХ ПЕРЕХОДОВ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ПОЛНОТЕ ИНФОРМАЦИИ О КОНТРОЛИРУЕМОЙ ЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЕ

Введение

Рассмотрим структуру функционального контроля на рис. 1. Комбинационная схема $F(x)$ преобразует входной вектор $\langle x_1 x_2 \dots x_l \rangle$ в выходной вектор $\langle f_1 f_2 \dots f_m \rangle$, при этом требуется обнаружить факт возникновения одиночной неисправности в устройстве, реализующем $F(x)$ [1–3]. Для этой цели применяется тестер, состоящий из генератора и компаратора [4, 5]. Генератор вычисляет контрольные разряды $\langle g'_1 g'_2 \dots g'_k \rangle$, используя в качестве входного вектора значения на выходе комбинационной схемы. Компаратор, в свою очередь, сравнивает одноименные выходы генератора и выходы блока $G(x)$, реализующие аналогичное генератору контрольное слово $\langle g_1 g_2 \dots g_k \rangle$. Значения выходов блока $G(x)$ предварительно инвертируются, что позволяет свести сам контроль технического состояния схемы $F(x)$ к контролю парафазных сигналов на входах компаратора тестера [6].

Часто при построении структуры, приведенной на рис. 1, используют коды с суммированием (коды Бергера) [7]. Их применение позволяет строить системы функционального контроля с улучшенными по сравнению со схемой дублирования показателями сложности технической реализации при сохранении свойства 100 % обнаружения ошибок на выходах блока $F(x)$. Это, однако, требует специального преобразования структуры контролируемой схемы $F(x)$ [8–10].

Структуру системы функционального контроля (см. рис. 1) можно еще больше упростить путем модификации кодов с суммированием. В данной статье рассматривается модификация кодов с суммированием, основанная на взвешивании переходов между информационными разрядами [11–14]. Установлена специальная последовательность, отличная от рассмотренной в [14], позволяющая получать структуры систем функционального контроля более простые, чем системы дублирования.

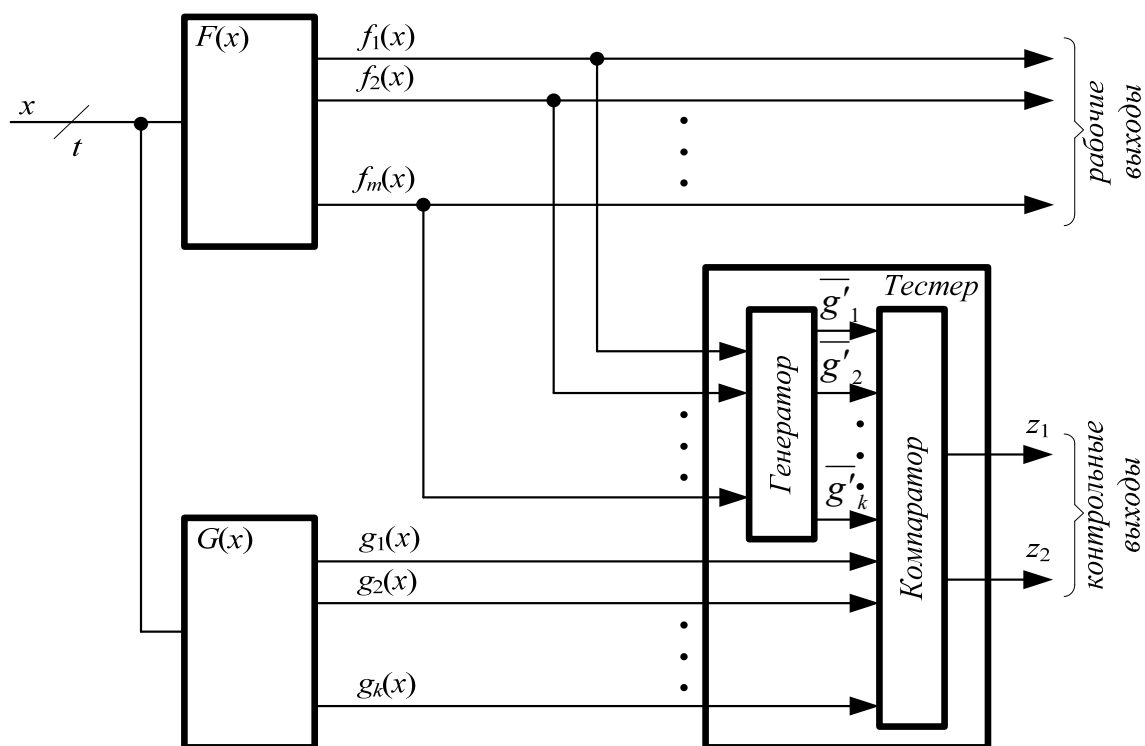


Рис. 1. Структура системы функционального контроля

1. Взвешенный код с суммированием

Одной из возможных модификаций классического кода Бергера является код с суммированием взвешенных переходов. Впервые идея взвешивания переходов была описана в [11], она заключается в выделении переходов (двух соседних разрядов) и присвоении им некоторых произвольных весовых переходов w_i . Переход считается активным, если сумма по модулю двух разрядов, входящих в данный переход, равна единице. Контрольный вектор получается путем суммирования активных переходов, умноженных на весовые коэффициенты

$\left(\sum_{i=1}^{m-1} (x_i \oplus x_{i+1}) w_i \right)$. Полученное число

представляется в двоичном виде и является контрольным словом. Выбор весовых коэффициентов w_i влияет на число контрольных разрядов, а также на свойства кода. В табл. 1 представлен взвешенный код с суммированием с длиной информационного вектора $m = 4$ и с двумя последовательностями весовых коэффициентов (последовательностью возрастающих натуральных чисел и последовательностью степеней числа 2).

В следующем разделе статьи показано, за счет чего, в том числе, достигается уменьшение сложности технической реализации системы функционального контроля при использовании в качестве ее основы взвешенного кода с суммированием.

Таблица 1

Взвешенный код с суммированием

x_4	x_3	x_2	x_1	$\langle g_k \dots g_1 \rangle$	$\langle g_3 g_2 g_1 \rangle$	$\langle g_3 g_2 g_1 \rangle$
	w_3	w_2	w_1	В общем виде	$w_i = i, i = 1, 2 \dots \mathbb{N}$	$w_i = 2^{i-1}, i = 1, 2 \dots \mathbb{N}$
0	0	0	0	0	$\langle 000 \rangle$	$\langle 000 \rangle$
0	0	0	1	w_1	$\langle 001 \rangle$	$\langle 001 \rangle$
0	0	1	0	$w_1 + w_2$	$\langle 011 \rangle$	$\langle 011 \rangle$
0	0	1	1	w_2	$\langle 010 \rangle$	$\langle 010 \rangle$
0	1	0	0	$w_2 + w_3$	$\langle 101 \rangle$	$\langle 110 \rangle$
0	1	0	1	$w_1 + w_2 + w_3$	$\langle 110 \rangle$	$\langle 111 \rangle$
0	1	1	0	$w_1 + w_3$	$\langle 100 \rangle$	$\langle 101 \rangle$
0	1	1	1	w_3	$\langle 011 \rangle$	$\langle 100 \rangle$
1	0	0	0	w_3	$\langle 011 \rangle$	$\langle 100 \rangle$
1	0	0	1	$w_1 + w_3$	$\langle 100 \rangle$	$\langle 101 \rangle$
1	0	1	0	$w_1 + w_2 + w_3$	$\langle 110 \rangle$	$\langle 111 \rangle$
1	0	1	1	$w_2 + w_3$	$\langle 101 \rangle$	$\langle 110 \rangle$
1	1	0	0	w_2	$\langle 010 \rangle$	$\langle 010 \rangle$
1	1	0	1	$w_1 + w_2$	$\langle 011 \rangle$	$\langle 011 \rangle$
1	1	1	0	w_1	$\langle 001 \rangle$	$\langle 001 \rangle$
1	1	1	1	0	$\langle 000 \rangle$	$\langle 000 \rangle$

2. Синтез генераторов взвешенных кодов с суммированием с учетом структуры контролируемой схемы

Рассмотрим практический пример. Для комбинационной схемы задана таблица истинности (табл. 2). Сама схема контроля изображена на рис. 1.

Таблица 2

Таблица истинности для комбинационной схемы

a	b	c	x_4	x_3	x_2	x_1
0	0	0	1	1	1	1
0	0	1	0	0	0	0
0	1	0	1	1	0	1
0	1	1	1	0	0	0
1	0	0	0	1	1	1
1	0	1	1	0	0	1
1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	1	0	0	1

Для диагностирования данного устройства будем использовать описанный выше код с суммированием взвешенных переходов. В качестве весов, в нашем случае выбираются степени числа 2 ($w_i = 2^i$). Нумеровать переходы будем справа налево. Для четырех входов $\langle x_4 x_3 x_2 x_1 \rangle$ генератора кодовых векторов получаем выходной вектор $\langle g_3 g_2 g_1 \rangle$ (табл. 3).

Таблица 3

Таблица истинности для генератора

x_4	x_3	x_2	x_1	g_3	g_2	g_1
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	0	1	1
0	0	1	1	0	1	0
0	1	0	0	1	1	0
0	1	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	0	1
0	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	1	0	1
1	0	1	0	1	1	1
1	0	1	1	1	1	0
1	1	0	0	0	1	0
1	1	0	1	0	1	1
1	1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	0	0

В табл. 3 выделены строки, соответствующие тем наборам, которые могут появиться на выходе комбинационной схемы при ее исправном функционировании. Выходным комбинациям, которые не появляются на выходе схемы, можно поставить в соответствие безразличные состояния контрольного вектора. Это позволит уменьшить площадь, занимаемую схемой на кристалле (табл. 4).

Таблица 4

Площади логической схемы и генератора

Логическая схема	Площадь в библиотеке nor.genlib
Исходная комбинационная схема	248
Генератор без безразличных состояний	328
Генератор с безразличными состояниями	184

Площадь генератора сокращается на 44 % при использовании библиотеки с элементами ИЛИ-НЕ. При достижении подобного улучшения схемы контроля ухудшаются свойства кода по обнаружению ошибок табл. 5.

Входные слова в табл. 5 расположены неравномерно, что приводит к потере свойств обнаружения ошибок кодом [15].

При попытке уменьшить контрольное оборудование по методу, описанному выше, мы не анализировали структуру комбинационной схемы. Перейдем к рассмотрению конкретной реализации схемы заданной табл. 2. Топология схемы описана в специальной форме [16] на рис. 2. Аналогичная принципиальная схема представлена на рис. 3.

Распределение информационных векторов

0	1	2	3	4	5	6	7
0000		0100	1101	0011	0001		
0010		1100		0111	1001		
0110				1000			
1110				1010			
1111				1011			

```

1 .model test
2 .inputs a b c
3 .outputs d e f g
4 .gate nor1 a=c y=e
5 .gate nor2 a=a b=c y=[1]
6 .gate nor1 a=a y=[2]
7 .gate nor2 a=[2] b=e y=[3]
8 .gate nor2 a=b b=c y=f
9 .gate nor2 a=[1] b=[3] y=[4]
10 .gate nor1 a=[4] y=[5]
11 .gate nor2 a=[5] b=f y=[6]
12 .gate nor2 a=[5] b=b y=[7]
13 .gate nor1 a=[6] y=g
14 .gate nor1 a=[7] y=d
15 .end

```

Рис. 2. Содержимое файла test.netblif

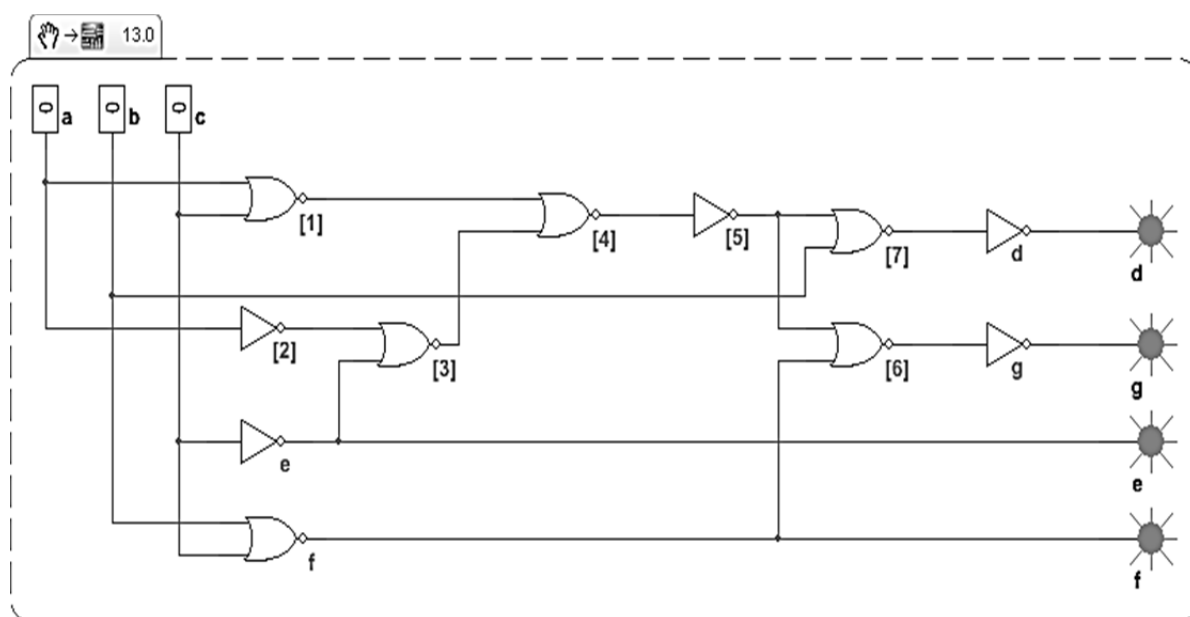


Рис. 3. Принципиальная схема test.netblif

Схема имеет три входа, четыре выхода и состоит из одиннадцати логических элементов. Будем считать, что для данной элементной базы наиболее вероятны константные неисправности на выходе логических элементов. Топология схемы такова, что подобные неисправности могут искажать значения нескольких выходов схемы одновременно. К примеру, на входном наборе 001 в результате неисправности вида «константа единицы» на выходе элемента 1 (см. рис. 3) происходит искажение выходного вектора (рис. 4). При этом искажаются сразу два разряда. Подобная неисправность обнаруживается контрольным оборудованием, так как для наборов 0000 и 1001 формируются разные контрольные векторы 000 и 101 соответственно.

<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>
0	0	1	0	0	0	0
			↓			↓
			1	0	0	1

Рис. 4. Искажение информационного вектора

В результате моделирования одиночных константных неисправностей на выходе логических элементов оказалось, что выходные векторы 0010, 0011, 1010, 1011 не формируются. Это означает, что для данных наборов выходы генератора можно интерпретировать как безразличные состояния без ухудшения свойств кода (табл. 6).

Таблица 6

Таблица истинности для генератора
с учетом неисправностей

<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>g₃</i>	<i>g₂</i>	<i>g₁</i>
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	~	~	~
0	0	1	1	~	~	~
0	1	0	0	1	1	0
0	1	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	0	1
0	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	0	0
1	0	0	1	1	0	1
1	0	1	0	~	~	~
1	0	1	1	~	~	~
1	1	0	0	0	1	0
1	1	0	1	0	1	1
1	1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	0	0

Площадь генератора с оптимизированной структурой составляет 80 % от первоначальной площади (табл. 7). Приведем статистику возможных неисправностей в схеме (табл. 8). При этом необнаруживаемых одиночных неисправностей в схеме нет.

Схему генератора целесообразно упрощать, только если известна структура комбинационной схемы и учтено влияние возможных неисправностей.

Таблица 7

Площадь генератора с учетом структуры

Логическая схема	Площадь в библиотеке nor.genlib
Генератор с учетом структуры схемы	264

Таблица 8

Влияние одиночных неисправностей

Кратность ошибки	Всего ошибок данной кратностью	Однонаправленных ошибок данной кратностью
1	42	42
2	10	10
3	0	0
4	0	0

Проиллюстрируем приведенные выше рассуждения на двух контрольных примерах LGSynth89 [17]. Площади, занимаемые схемой на кристалле, получим с помощью приложения SIS, используя библиотеку nor.genlib [18]. В табл. 9 приведены площади структур генераторов для контрольных примеров decod и z4ml. Статистические данные об ошибках в схемах сведены в табл. 10 и 11. В результате эксперимента получены данные об ошибках различных типов [19].

Таблица 9

Площади генераторов

Контрольный пример	Площадь генератора без учета структуры	Площадь генератора с учетом структуры
decod	371	275
z4ml	223	223

Таблица 10

Влияние одиночных неисправностей на выходы схемы decod

Кратность ошибки	Всего ошибок	Всего симметричных	Всего асимметричных	Всего однонаправленных	Всего необнаруживаемых ошибок
1	224	0	0	224	150
2-16	0	0	0	0	0

Таблица 11

Влияние одиночных неисправностей на выходы схемы z4m1

Кратность ошибки	Всего ошибок	Всего симметричных	Всего асимметричных	Всего однонаправленных	Всего необнаруживаемых ошибок
1	4008	0	0	4008	0
2	128	128	0	0	0
3	32	0	32	0	0
4	0	0	0	0	0

Заключение

Свойства кодов с суммированием взвешенных переходов в большей степени определяются значениями весовых коэффициентов w_i . Использование в качестве последних чисел из последовательности $\{1; 2; 4; 8; \dots; 2^{m-1}\}$ дает возможность построения кода с суммированием с простой процедурой кодирования и декодирования, что, в свою очередь, положительно влияет на характеристики сложности контрольного оборудования в системе функционального контроля и на возможности идентификации ошибок на выходах контролируемых устройств. Учет структуры контролируемой логической схемы позволяет уменьшать площадь технической реализации генератора взвешенного кода без потери возможностей обнаружения одиночных неисправностей самой контролируемой схемы.

Библиографический список

1. Согомонян Е. С. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомонян, Е. В. Слабаков. – М. : Радио и связь, 1989. – 208 с.
2. Lala P. K. Self-Checking and Fault-Tolerant Digital Design / P. K. Lala. – University of Arkansas, 2001. – 216 p.
3. Fujiwara E. Code Design for Dependable Systems: Theory and Practical Applications / E. Fujiwara. – John Wiley & Sons, 2006. – 720 p.
4. Piestrak S. J. Design of Self-Testing Checkers for Unidirectional Error Detecting Codes / S. J. Piestrak. – Wrocław : Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 1995. – 111 p.
5. Kavousianos X. Novel TSC Checkers for Bose-Lin and Bose Codes / X. Kavousianos, D. Nikolos // Proceedings of 3rd IEEE Int. On-Line Testing Workshop, July 6–8, 1998. – Capri, Italy. – P. 172–176.
6. Сапожников Вал. В. Самопроверяемые дискретные устройства / Вал. В. Сапожников, Вал. В. Сапожников. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.
7. Berger J. M. A Note on Error Detecting Codes for Asymmetric Channels / J. M. Berger // Information and Control. – 1961. – Vol. 4. – Issue 1. – Pp. 68–73.
8. Morosow A. Self-Checking Combinational Circuits with Unidirectionally Independent Outputs / A. Morosow, Val. V. Saposhnikov, Vl. V. Saposhnikov, M. Goessel // VLSI Design, 1998. – Vol. 5. – Issue 4. – Pp. 333–345.

9. Saposhnikov Val. V. A New Design Method for Self-Checking Unidirectional Combinational Circuits / Val. V. Saposhnikov, A. Morosov, Vl. V. Saposhnikov, M. Göessel // *Journal of Electronic Testing: Theory and Applications*, 1998. – Vol. 12. – Issue 1–2. – Pp. 41–53.
10. Matrosova A. Yu. Self-Checking Synchronous FSM Network Design with Low Overhead / A. Yu. Matrosova, I. Levin, S. A. Ostanin // *VLSI Design*, 2000 – Vol. 11. – Issue 1. – Pp. 47–58.
11. Saposhnikov Val. New Code for Fault Detection in Logic Circuits / Val. Saposhnikov, Vl. Saposhnikov // *Proc. 4th Int. Conf. on Unconventional Electromechanical and Yelectrical Systems*, St. Petersburg, Russia, June 21–24. – 1999. – Pp. 693–696.
12. Mehov V. Concurrent Error Detection Based on New Code with Modulo Weighted Transitions between Information Bits / V. Mehov, Val. Saposhnikov, Vl. Saposhnikov, D. Urganskov // *Proceedings of 7th IEEE East-West Design & Test Workshop (EWDWTW 2007)*, Yerevan, Armenia, September 25–30. – Pp. 21–26.
13. 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.
14. Сапожников Вал. В. Свойства кодов с суммированием взвешенных переходов с прямой последовательностью весовых коэффициентов / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, В. В. Дмитриев // *Информатика и системы управления*. – 2014. – № 4. – С. 77–88.
15. Сапожников Вал. В. Применение кодов с суммированием при синтезе систем железнодорожной автоматики и телемеханики на программируемых логических интегральных схемах / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // *Автоматика на транспорте*. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 84–107.
16. Logic Synthesis and Optimization Benchmarks User guide: Version 3.0 / S. Yang // *Technical report Microelectronics Center of North Carolina*, P.O. Box 12889, Research Triangle Park, NC 27709, January 15, 1991. – 44 p.
17. Benchmarks: LGSynth89 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.cbl.ncsu.edu:16080/benchmarks/LGSynth89/mlexamples>.
18. SIS: A System for Sequential Circuit Synthesis / E. M. Sentovich, K. J. Singh, L. Lavagno, C. Moon, R. Murgai, A. Saldanha, H. Savoj, P. R. Stephan, R. K. Brayton, A. Sangiovanni-Vincentelli // *Electronics Research Laboratory, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California, Berkeley*, 4 May, 1992. – 45 p.
19. Сапожников Вал. В. Классификация ошибок в информационных векторах систематических кодов / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // *Известия вузов. Приборостроение*, 2015. – Т. 58. – № 5. – С. 333–343.

Email: webus@pisem.net

УДК 004.052.32:519.72

Т. Х. Черкасова, канд. физ.-мат. наукКафедра «Компьютерные информационные технологии»,
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ОБНАРУЖЕНИЕ ОШИБОК В СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ С ПОМОЩЬЮ КОДОВ БЕРГЕРА И ЕГО МОДИФИКАЦИЙ

Введение

В данной работе рассматриваются коды Бергера [1]. Из современных публикаций на эту тему [2–4] можно сделать выводы о том, что использование таких кодов актуально, ведутся исследования по их модификациям. Получены некоторые удобные формулы для классического кода Бергера и предложена некоторая его модификация, которая названа комбинированным кодом Бергера [5].

Коды Бергера используются в схемах встроенного контроля. Это нелинейные равномерные двоичные коды, к m информационным разрядам которого добавляются k контрольных разрядов, содержащих двоичное число единиц в информационных разрядах. Число $k = \lceil \log_2(m+1) \rceil$ – целое сверху числа $\log_2(m+1)$. Как известно, код Бергера обнаруживает любое нечетное количество ошибок. Он не обнаруживает ошибки четной кратностью, когда, например, две единицы преобразовались в нули, а два нуля в единицы.

В работе предлагается комбинированный код Бергера с проверкой на четность.

1. Комбинированный код Бергера

Пусть длина информационной части кода равна m . Тогда по правилу Бергера контролируем $(m-1)$ информационных разрядов, а m -й информационный разряд контролируем на четность вместе с первыми информационными разрядами. Кодовое слово $\alpha_1\alpha_2\ldots\alpha_{m-1}\alpha_m\alpha_{m+1}\ldots\alpha_{m+k}\alpha_{m+k+1}$, первые m разрядов информационные, следующие $k+1$ разрядов – контрольные, причем первые k контрольных разрядов организованы как в коде Бергера для $m-1$ первых информационных разрядов – это двоичное число единиц в $m-1$ разрядах, а $k+1$ -й контрольный разряд содержит сумму всех m информационных разрядов по модулю 2: $\alpha_{k+1} = \alpha_1 + \alpha_2 + \ldots + \alpha_m \bmod 2$.
Схема организации комбинированного кода

$$\underbrace{\alpha_{m+1} \dots \alpha_{m+k}}_{\alpha_{m+k+1} = \alpha_1 + \dots + \alpha_m \bmod 2} = \underbrace{(\alpha_1 + \dots + \alpha_{m-1})}_2 \cdot \underbrace{\alpha_m \alpha_{m-1} \alpha_{m-2} \dots \alpha_2 \alpha_1}_2.$$

Если в контролируемом слове комбинированного кода Бергера m информационных разрядов, то в кодовом слове будет такое же количество разрядов, как и в обычном коде Бергера, или на один больше.

Для примера получим значения разрядов вектора комбинированного кода Бергера для информационного слова $x = 0110$. Кодовое слово кода Бергера будет $y_B = 0110010$. Здесь 3 контрольных разряда, в трех разрядах записано число 2 – количество информационных единиц. Всего отведено 3 контрольных разряда, так как наибольшее количество информационных единиц всего 4, число 4 в двоичной записи 100 занимает 3 разряда. Комбинированный код Бергера $y_K = 0110100$.

По аналогии заполняются три контрольных разряда: в первых двух записывается количество единиц в старших разрядах, третий контрольный разряд содержит сумму всех четырех информационных разрядов по модулю 2, включая младший информационный разряд. Как известно, код Бергера обнаруживает любое нечетное количество ошибок. Предложенный комбинированный код Бергера тоже обнаруживает нечетное количество ошибок. Если нечетное количество ошибок в первых $m - 1$ информационных символах, то они обнаружатся кодом Бергера для этих разрядов; нечетное количество ошибок может быть таковым, что будет четным количеством ошибок в первых $m - 1$ разрядах, а так произойдет одна ошибка в младшем разряде, но при проверке на четность такое искажение тоже обнаружится. Как и для обычных кодов Бергера, найдем необнаруживаемые ошибки четной кратностью d , но только в $(m - 1)$ разрядах. В [2–4] показано, что для m информационных разрядов общее количество ошибок в информационных разрядах

$$NA_m = \sum_{d=2}^{m, (m-1)} \left(\sum_{r=\frac{d}{2}}^{\frac{m-d}{2}} C_m^r C_r^{\frac{d}{2}} C_{m-r}^{\frac{d}{2}} \right), \quad (1)$$

где $d = 2, 4, \dots, m$, если m – четное, $d = 2, 4, \dots, m - 1$, если m – нечетное.

Количество необнаруживаемых искажений кратностью d [2]

$$N_{m,d} = 2^{m-d} C_m^d C_d^{\frac{d}{2}}. \quad (2)$$

Если обозначить через m количество информационных разрядов, то количество необнаруживаемых ошибок кратностью d в $m - 1$ информационных разрядах

$$N_{m-1,d} = C_{m-1}^d C_d^{\frac{d}{2}} 2^{m-1-d}. \quad (3)$$

Количество необнаруживаемых ошибок кратностью d в комбинированном коде Бергера, имеющем m информационных разрядов, будет

$$NK_{m,d} = 2N_{m-1,d} = C_{m-1}^d C_d^{\frac{d}{2}} 2^{m-d}. \quad (4)$$

Это объясняется тем, что каждая из ошибок в $m - 1$ разряде кода может появиться при значении младшего разряда, равном единице или нулю. Общее количество необнаруживаемых ошибок в m информационных разрядах комбинированного кода

$$NK_m = \sum_{d=2}^{m-1,(m-2)} \left(C_{m-1}^d C_d^{\frac{d}{2}} 2^{m-d} \right). \quad (5)$$

2. Необнаруживаемые ошибки в комбинированных кодах Бергера

В работе [2] доказана теорема, утверждающая, что доля необнаруживаемых ошибок кратностью d в информационных разрядах от общего числа ошибок информационных разрядов данной кратностью не зависит от числа информационных разрядов и является постоянной величиной:

$$\beta_d = 2^{-d} C_d^{\frac{d}{2}}. \quad (6)$$

Относительное количество необнаруживаемых ошибок кратностью d для комбинированного кода Бергера:

$$\beta_{d,m} = \frac{NK_{m,d}}{2^m C_m^d} = \frac{2NK_{m-1,d}}{2^m C_m^d},$$

где $NK_{m,d} = 2NK_{m-1,d} = C_{m-1}^d C_d^{\frac{d}{2}} 2^{m-d}$ – число необнаруживаемых ошибок кратностью d в $m - 1$ информационных разрядах, в знаменателе – общее количество возможных ошибок в m разрядах.

Тогда доля необнаруживаемых ошибок кратностью d в m разрядах комбинированного кода Бергера

$$\beta_{d,m} = \frac{m-d}{m} 2^{-d} C_d^{\frac{d}{2}}. \quad (7)$$

Сравним этот коэффициент с коэффициентом обычного кода Бергера β_d . Видно, что $\beta_{d,m} = \beta_d \left(1 - \frac{d}{m}\right)$. Доля необнаруживаемых ошибок кратностью d в m разрядах для комбинированного кода Бергера меньше такой же доли для обычного кода Бергера. Коэффициент $\beta_{d,m}$ показывает, что в комбинированных кодах обнаруживаются все ошибки кратностью m . Для нечетных m это происходит из-за общей проверки на четность, при четных m в контролируемых по Бергеру $(m-1)$ разрядах $m-1$ – нечетное число ошибок, они обнаруживаются по правилу кода Бергера для $m-1$ разрядов.

В классическом коде Бергера могут быть только ошибки четной кратностью. Вычислим количество всех необнаруживаемых ошибок в m информационных разрядах. Для четного числа m ошибки могут быть кратностью $2, 4, \dots, m-2, m$. Общее количество необнаруживаемых ошибок

$$NA_m = \sum_{d=2k, k=1}^m N_d = \sum_{k=1}^{\frac{m}{2}} C_m^{2k} C_{2k}^k 2^{m-2k}.$$

Комбинаторную сумму в последней формуле можно вычислить. Для этого воспользуемся известной суммой [6]:

$$\sum_{k=0}^h C_n^{h+k} C_{h+k}^{2k} 4^{2k} = C_{2n}^{2h}. \quad (8)$$

Преобразуем выражение для NA_m . В сумме сделаем замену $j = \frac{m}{2} - k$.

Тогда $NA_m = \sum_{j=0}^{\frac{m}{2}-1} C_m^{m-2j} C_{\frac{m}{2}-j}^{\frac{m}{2}-j} 4^j$, так как $1 \leq k \leq \frac{m}{2}$, то $1 \leq j \leq \frac{m}{2} - 1, 2k = m - 2j$. Преобразуем выражение для NA_m , чтобы свести к известной сумме (8): $NA_m = \sum_{j=0}^{\frac{m}{2}} C_m^{m-2j} C_{\frac{m}{2}-j}^{\frac{m}{2}-j} 4^j - C_m^{m-2\frac{m}{2}} C_{\frac{m}{2}-\frac{m}{2}}^{\frac{m}{2}-\frac{m}{2}} 4^{\frac{m}{2}}$.

Преобразуем также выражение под знаком суммы:

$$C_m^{m-2j} C_{\frac{m}{2}-j}^{\frac{m}{2}-j} = \frac{m!}{(m-2j)!(2j)!} \cdot \frac{(m-2j)!}{\left(\frac{m}{2}-j\right)!\left(\frac{m}{2}-j\right)!} =$$

$$= \frac{m!}{\left(\frac{m}{2} - j\right)! \left(\frac{m}{2} + j\right)!} \cdot \frac{\left(\frac{m}{2} + j\right)!}{\left(\frac{m}{2} - j\right)! (2j)!} = C_m^{\frac{m}{2}+j} C_{\frac{m}{2}+j}^{2j}.$$

$$\text{Получим } NA_m = \sum_{j=0}^{\frac{m}{2}} C_m^{\frac{m}{2}+j} C_{\frac{m}{2}+j}^{2j} 4^j - C_m^0 C_0^0 4^{\frac{m}{2}} = \sum_{j=0}^{\frac{m}{2}} C_m^{\frac{m}{2}+j} C_{\frac{m}{2}+j}^{2j} 4^j - 2^m.$$

В выражении для NA_m первое слагаемое со знаком суммирования – это известная сумма, где $n = m$, $h = \frac{m}{2}$, поэтому $\sum_{j=0}^{\frac{m}{2}} C_m^{\frac{m}{2}+j} C_{\frac{m}{2}+j}^{2j} 4^j = C_{2m}^{\frac{2m}{2}} = C_{2m}^m$.

Значит,

$$NA_m = C_{2m}^m - 2^m. \quad (9)$$

Для нечетных m приведенная формула также справедлива, но непосредственно из формулы (3) ее трудно вывести. В этом случае следуем преобразованиям, предложенным в работах [7, 8]. Это метод формальных степенных рядов. И для общего количества необнаруживаемых ошибок четной кратностью в нечетном количестве информационных разрядов получим

$$NA_m = \sum_{d=2k, k=1}^{m-1} N_d = \sum_{k=1}^{\frac{m-1}{2}} C_m^{2k} C_{2k}^k 2^{m-2k}, \quad NA_m = C_{2m}^m - 2^m.$$

Итак, имеем простые формулы для вычисления общего числа ошибок в информационных разрядах кода Бергера. Применение формулы, аналогичной формуле (9), позволяет вычислить количество ошибок в комбинированном коде Бергера. Для комбинированного кода Бергера, имеющего m информационных разрядов, количество необнаруживаемых ошибок четной кратностью в два раза больше количества необнаруживаемых ошибок четной кратностью для обычного кода Бергера с $m - 1$ информационным разрядом:

$$NK_m = 2NA_{m-1} = 2(C_{2m-2}^{m-1} - 2^{m-1}) = 2C_{2m-2}^{m-1} - 2^m. \quad (10)$$

Предел отношения количества ошибок для сравниваемых кодов

$$k = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{NK_m}{NA_m} = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{C_{2m}^m - 2^m}{2C_{2m-2}^{m-1} - 2^m} = 2. \quad (11)$$

Заключение

Итак, для большого количества информационных разрядов общее число обнаруживаемых ошибок для комбинированного кода Бергера в два раза меньше общего числа обнаруживаемых ошибок для обычного кода Бергера. Возможны и другие модификации кода [5, 6], для которого общее число обнаруживаемых ошибок будет таким же, как и для приведенной модификации, но их распределение по кратностям будет иным.

Библиографический список

1. Berger J. M. A Note on Error Detecting Codes for Asymmetric Channels / J. M. Berger // *Information and Control*. – 1961. – Vol. 4. – Issue 1. – Pp. 68–73.
2. Ефанов Д. В. Три теоремы о кодах Бергера в схемах встроенного контроля / Д. В. Ефанов // *Информатика и системы управления*. – 2013. – № 1. – С. 77–86.
3. Ефанов Д. В. О свойствах кода с суммированием в схемах функционального контроля / Д. В. Ефанов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников / *Автоматика и телемеханика*. – 2010. – № 6. – С. 155–162.
4. Сапожников Вал. В. Предельные свойства кода с суммированием / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // *Известия университета путей сообщения*. – 2010. – № 3. – С. 290–299.
5. Грабко И. О. Комбинированный код Бергера / И. О. Грабко, Т. Х. Черкасова // *Неделя науки СПбГПУ : материалы Научно-практической конференции с международным участием ; Институт информационных технологий и управления СПбГПУ*. – СПб. : Изд-во Политехнического ун-та, 2014. – С. 253–255.
6. Грабко И. О. Коды с суммированием и их модификации в функциональных системах контроля / И. О. Грабко, Т. Х. Черкасова // *68-я региональная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Студенческая весна-2014» : сб. научных статей [Электронный ресурс]*. – С. 162–166.
7. Леонтьев В. К. Избранные задачи комбинаторного анализа / В. К. Леонтьев. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. – 184 с.
8. Егорычев Г. П. Комбинаторные суммы и метод производящих функций / Г. П. Егорычев. – Красноярск : Изд-во Красноярского гос. ун-та, 1974. – 200 с.

Email: cherkasova-tnz@yandex.ru

УДК 681.518.5:004.052.32

Вал. В. Сапожников, д-р техн. наук,**Вл. В. Сапожников, д-р техн. наук,****Д. В. Ефанов, канд. техн. наук,****М. Р. Черепанова**

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

ВЛИЯНИЕ ПРАВИЛ МОДИФИКАЦИИ КЛАССИЧЕСКИХ КОДОВ БЕРГЕРА НА СЛОЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ

Введение

При построении безопасных и надежных микропроцессорных систем управления часто используются принципы помехоустойчивого кодирования [1–5]. Использование помехоустойчивого кодирования, например, положено в основу построения систем функционального контроля комбинационных логических схем, входящих в структуры любых цифровых устройств [6–8].

Известны два подхода в организации систем функционального контроля. Первый подразумевает дополнение контролируемой логической схемы $f(x)$ специальным контрольным оборудованием в составе блока контрольной логики $g(x)$ и тестера (рис. 1). В процессе функционирования блок контрольной логики $g(x)$ вычисляет значения контрольных функций, а тестер проверяет их соответствие значениям функций, вычисленных контролируемым устройством. Второй подход основан на внесении избыточности в само контролируемое устройство (рис. 2). На этапе проектирования надежной дискретной системы осуществляется совместная реализация блоков основной и контрольной логики $f(x)$ и $g(x)$ с последующей оптимизацией полученной структуры. Полученная схема дополняется тестером.

Система, организованная согласно рис. 1, обнаруживает, как правило, большее количество ошибок на своих рабочих выходах, чем система, организованная согласно рис. 2. Однако второй способ позволяет получать более простую в техническом плане систему функционального контроля.

При построении систем функционального контроля часто применяют коды с суммированием (их информационные и контрольные векторы ставят в соответствие выходам блоков $f(x)$ и $g(x)$). Один из таких кодов описан Джемсом Бергером в [9]. В данной работе приводятся результаты экспериментальных исследований влияния правил модификации кодов Бергера на сложность технической реализации систем функционального контроля.

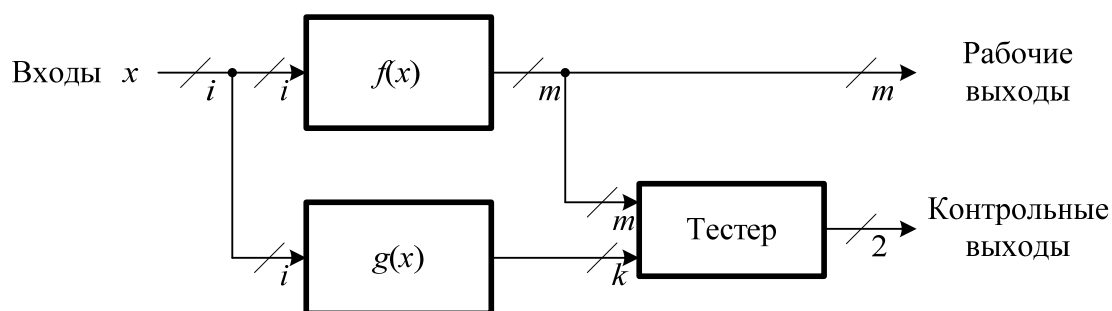


Рис. 1. Структура системы функционального контроля с раздельной реализацией блоков $f(x)$ и $g(x)$

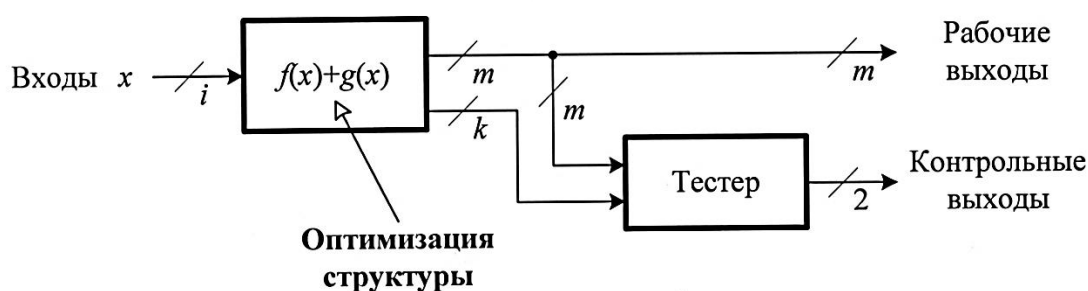


Рис. 2. Структура системы функционального контроля с совместной реализацией блоков $f(x)$ и $g(x)$

1. Классические и модифицированные коды Бергера

При определении значений разрядов контрольного вектора кода Бергера, или $S(m,k)$ -кода (m – длина информационного вектора, k – длина контрольного), подсчитывается вес информационного вектора r (число единичных разрядов), полученное число представляется в двоичном коде и записывается в разряды контрольного вектора. Количество разрядов в контрольном векторе $S(m,k)$ -кода $k = \lceil \log_2(m+1) \rceil$ (запись $\lceil \dots \rceil$ обозначает целое сверху от вычисляемого значения).

Коды Бергера вследствие неравномерности распределения информационных векторов между контрольными имеют низкую эффективность использования контрольных разрядов [10]. Для повышения эффективности обнаружения ошибок в информационных векторах классическими кодами с суммированием в [11, 12] был предложен алгоритм модификации:

1. Подсчитывается вес информационного вектора r .
2. Для данного значения m определяется число контрольных разрядов $k = \lceil \log_2(m+1) \rceil$ и модуль $M = 2^{k-1}$.

3. Определяется наименьший неотрицательный вычет веса r по модулю M : $(r) \bmod M$.

4. Для каждого информационного вектора подсчитывается поправочный коэффициент $\alpha = f_n \oplus f_{n-1} \oplus \dots \oplus f_{k+1}$ ($n = m + k$ – длина кодового слова).

5. Определяется модифицированный вес W по формуле: $W = (r) \bmod M + \alpha M$.

6. Число W представляется в двоичном виде и записывается в контрольный вектор.

Описанный метод построения модифицированного кода Бергера (будем далее обозначать его как $RS(m,k)$ -код) позволяет повысить количество обнаруживаемых ошибок в информационных векторах кодов почти вдвое [13]. При этом уменьшается и количество двукратных необнаруживаемых ошибок, что немаловажно для систем функционального контроля, где ошибки данной кратностью более вероятны, чем ошибки больших кратностей.

Свойства обнаружения ошибок в информационных векторах кодом с суммированием определяют и свойства обнаружения неисправностей в контролируемом устройстве самой системой функционального контроля. В [14] приводятся результаты экспериментов с набором специальных комбинационных схем, используемых для оценки эффективности вновь разрабатываемых методов технической диагностики. Эксперименты связаны с моделированием работы комбинационных схем при внесении в их структуру последовательно всех одиночных неисправностей на выходах внутренних логических элементов. Результаты подтверждают теоретические исследования – $RS(m,k)$ -коды обнаруживают большее количество ошибок в информационных векторах, чем классические $S(m,k)$ -коды.

Другим важным показателем систем функционального контроля является аппаратная избыточность. Она определяет площадь, занимаемую всем устройством на кристалле. От площади, в свою очередь, зависят и другие характеристики системы (быстродействие, энергопотребление, контролепригодность и пр.).

В следующем разделе статьи приводятся результаты экспериментов с системой контрольных комбинационных схем по сравнению площадей систем функционального контроля, организованных по $S(m,k)$ - и $RS(m,k)$ -кодам.

2. Экспериментальные результаты

Для сравнения сложности технической реализации структуры функционального контроля по $RS(m,k)$ -коду со структурой функционального контроля по $S(m,k)$ -коду были поставлены эксперименты с набором контрольных комбинационных схем LGSynth'91 [15]. Для эксперимента были выбраны 30 схем с различным числом входов и выходов. Целью эксперимента являлось определение эффективности применения $RS(m,k)$ -кода вза-

мен $S(m,k)$ -кода при организации контроля заданной комбинационной схемы $f(x)$.

Показателем сложности технической реализации, как упоминалось выше, является площадь (L). Площадь рассчитывается с применением известного интерпретатора SIS (Sequential Interactive Synthesis) [16], который дает возможность определения параметров логической схемы при синтезе ее в определенном функционально полном наборе логических элементов. Эти наборы составляют так называемые библиотеки логических элементов. Для постановки экспериментов нами была выбрана стандартная библиотека функциональных элементов `stdcell2_2.genlib`.

В эксперименте сравнивались между собой сложности систем функционального контроля с положенными в основу классическими $S(m,k)$ -кодами и модифицированными $RS(m,k)$ -кодами. Отдельно сравнивались площади систем функционального контроля при отдельной реализации блоков основной и контрольной логики и при совместной их реализации.

Эффективность использования модифицированного кода взамен классического при организации системы функционального контроля можно оценить отношением площадей новой и старой структур – коэффициентами θ^S и θ^J , выраженными в процентах (верхний индекс обозначает вид реализации: S (от *англ.* separate) – отдельная реализация, J (от *англ.* joint) – совместная реализация).

В таблице приведены результаты экспериментов для 30 контрольных комбинационных схем. Для 16 из 30 схем использование $RS(m,k)$ -кода при организации системы функционального контроля как при отдельной, так и при совместной реализации блоков основной и контрольной логики оказалось более эффективным, чем использование $S(m,k)$ -кода. Площадь систем функционального контроля для некоторых комбинационных схем была уменьшена почти на четверть (для схем `clpl` $\theta^S = 76,32\%$ и `p82` $\theta^S = 75,61\%$). Для 14 комбинационных схем применение $RS(m,k)$ -кода приводит к увеличению площади системы функционального контроля в сравнении с системой контроля по коду Бергера. Однако увеличение площади не превышает 10 % (для всех комбинационных схем $\theta^S < 110\%$). Похожие результаты имеют место и для системы функционального контроля с совместной реализацией блоков основной и контрольной логики. Для двух схем, `clpl` и `f51m`, было зафиксировано значительное ухудшение значения площади при использовании $RS(m,k)$ -кода по сравнению с системами с отдельной реализацией логических блоков. Для схемы `max1024`, наоборот, было достигнуто улучшение показателя площади более чем на 10 %. Отметим, что среднее значение коэффициента эффективности для всех рассмотренных в ходе эксперимента контрольных комбинационных схем $\theta^S = 96,249\%$ и $\theta^J = 96,433\%$.

№	Название контрольной схемы	Число входов/выходов	Площадь контрольной схемы	$L_{S(m,k)}^S$	$L_{RS(m,k)}^S$	$L_{S(m,k)}^J$	$L_{RS(m,k)}^J$	θ^S	θ^J	$\delta_{S(m,k)}$	$\delta_{RS(m,k)}$
1	apla	10/12	3048	14936	12800	14112	11968	85,699	84,807	94,483	93,5
2	b2	16/17	40952	75224	74984	57560	57728	99,681	100,292	76,518	76,987
3	b10	15/11	9168	33032	29680	31336	28048	89,852	89,507	94,866	94,501
4	br2	12/8	2952	8280	8376	7888	8304	101,159	105,274	95,266	99,14
5	clpl	11/5	640	4696	3584	3504	3264	76,32	93,151	74,617	91,071
6	dc1	4/7	976	3576	3472	3024	2952	97,092	97,619	84,564	85,023
7	dc2	8/7	2424	8368	8872	8056	8064	106,023	100,099	96,272	90,893
8	decoder	4/7	736	3328	3224	3016	2864	96,875	94,96	90,625	88,834
9	dist	8/5	6968	13264	12584	11856	10880	94,873	91,768	89,385	86,459
10	f51m	8/8	2272	13144	12368	11488	13120	94,096	114,206	87,401	106,08
11	gary	15/11	10688	35816	31808	32968	29864	88,809	90,585	92,048	93,888
12	in0	15/11	10704	35832	31824	32968	29864	88,814	90,585	92,007	93,841
13	in1	16/17	40952	75224	74984	57560	57728	99,681	100,292	76,518	76,987
14	m1	6/12	3064	13416	10936	11376	9032	81,515	79,395	84,794	82,59
15	m2	8/16	10096	30232	30896	24856	25560	102,196	102,832	82,218	82,729
16	m3	8/16	13464	34232	35056	25208	25680	102,407	101,872	73,639	73,254
17	m4	8/16	18704	40400	41688	28936	30320	103,188	104,783	71,624	72,731
18	max512	9/6	9632	15680	15960	15128	14176	101,786	93,707	96,48	88,822
19	max1024	10/6	17816	27576	29200	28936	27056	105,889	93,503	104,932	92,658
20	mlp4	8/8	7224	16776	18232	14800	16264	108,679	109,892	88,221	89,206
21	newapla1	12/7	736	4168	4032	3648	3592	96,737	98,465	87,524	89,087
22	newbyte	5/8	592	4624	4712	4616	4688	101,903	101,56	99,827	99,491
23	newcwp	4/5	440	2136	2048	2048	1904	95,88	92,969	95,88	92,969
24	newtpla2	10/4	840	2224	2344	1936	1904	105,396	98,347	87,05	81,229
25	p82	5/14	2368	16728	12648	15808	11688	75,61	73,937	94,5	92,41
26	root	8/5	3496	6384	6424	5368	5408	100,627	100,745	84,085	84,184
27	sqrt6	6/12	2648	14648	12128	14176	11552	82,796	81,49	96,778	95,251
28	t3	12/8	1768	5760	6008	5784	5992	104,306	103,596	100,417	99,734
29	tms	8/16	6784	26600	27208	24376	24976	102,286	102,461	91,639	91,797
30	wim	4/7	712	3248	3160	2888	2896	97,291	100,277	88,916	91,646
			Средние значения								
				96,249	96,433	89,103	89,233				

Таким образом, при увеличенных почти вдвое показателях обнаружения ошибок в контролируемых схемах модифицированный код Бергера также имеет преимущество перед классическим кодом Бергера по показателю площади.

В ходе экспериментов была дана оценка уменьшения площади при совместной реализации блоков основной и контрольной логики в сравнении с их отдельной реализацией для выбранного кода с суммированием.

Уменьшение площади структуры системы функционального контроля при совместной реализации блоков $f(x)$ и $g(x)$ по сравнению со структурой системы функционального контроля при отдельной реализации блоков $f(x)$ и $g(x)$ для выбранного кода с суммированием можно оценить коэффициентами $\delta_{S(m,k)}$ и $\delta_{RS(m,k)}$, также выраженными в процентах.

При совместной реализации блоков основной и контрольной логики в системе функционального контроля, организованной по классическому коду Бергера, удастся уменьшить площадь в среднем на 10,897 %. Для модифицированного кода Бергера этот показатель чуть ниже – 10,767 %. Для некоторых комбинационных схем совместная реализация блоков основной и контрольной логики дает уменьшение площади более чем на четверть (см. таблицу).

Заключение

Использование модифицированных кодов Бергера при организации систем функционального контроля как с отдельной, так и с совместной реализацией контролируемой комбинационной схемы и блока контрольной логики более эффективно не только с позиции количества обнаруживаемых одиночных неисправностей, но и по показателю аппаратных затрат. При отдельной реализации схем основной и контрольной логики в системе функционального контроля достигается улучшение показателя площади в среднем на 3,751 % по сравнению с системой контроля, организованной по классическому коду Бергера. Совместная реализация схем основной и контрольной логики при использовании модифицированного кода Бергера выгоднее на 3,567 %, чем при использовании классического кода Бергера. Коэффициент сжатия для системы функционального контроля по модифицированному коду Бергера $\delta_{RS(m,k)} = 89,233$ %. Таким образом, модифицированные коды Бергера могут быть эффективно использованы при построении надежных систем автоматики и телемеханики.

Библиографический список

1. Chandra V. Reliability and Safety Analysis of Fault Tolerant and Fail-Safe Node for Use in Railway Signalling System / V. Chandra, K. V. Kumar // Elsevier Journal on Reliability Engineering and system, 1997. – Vol. 57. – Issue 2. – Pp. 177–183.

2. 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.
3. Системы управления движением поездов на перегонах : учебник для вузов ж.-д. транспорта: в 3 ч. Часть 1: Функциональные схемы систем / В. М. Лисенков, П. Ф. Бестемьянов, В. Б. Леушин, Н. Е. Федоров, Л. Б. Смирнова ; под ред. В. М. Лисенкова. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 160 с.
4. Шаманов В. И. Электромагнитная совместимость систем железнодорожной автоматики и телемеханики / В. И. Шаманов. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. – 244 с.
5. Ходаковский В. А. Мера сходства узкополосных сигналов / В. А. Ходаковский, Т. В. Ходаковский // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 2. – С. 180–194.
6. Согомонян Е. С. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомонян, Е. В. Слабаков. – М. : Радио и связь, 1989. – 208 с.
7. Nicolaidis M. On-Line Testing for VLSI – A Compendium of Approaches / M. Nicolaidis, Y. Zorian // Journal of Electronic Testing: Theory and Applications. – 1998. – № 12. – Pp. 7–20.
8. Blanke M. Diagnosis and Fault-Tolerant Control: 2nd Edition / M. Blanke, M. Kinnaert, J. Lunze, M. Staroswiecki. – Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. – 672 p.
9. Berger J. M. A Note on Error Detecting Codes for Asymmetric Channels / J. M. Berger // Information and Control. – 1961. – Vol. 4. – Issue 1. – Pp. 68–73.
10. Ефанов Д. В. О свойствах кода с суммированием в схемах функционального контроля / Д. В. Ефанов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 6. – С. 155–162.
11. Блюдов А. А. Модифицированный код с суммированием для организации контроля комбинационных схем / А. А. Блюдов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2012. – № 1. – С. 169–177.
12. Blyudov A. Properties of Code with Summation for Logical Circuit Test Organization / A. Blyudov, D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov // Proceedings of 10th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2012), Kharkov, Ukraine, September 14–17, 2012. – Pp. 114–117.
13. Блюдов А. А. Построение модифицированного кода Бергера с минимальным числом необнаруживаемых ошибок информационных разрядов / А. А. Блюдов, Д. В. Ефанов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Электронное моделирование. – 2012. – Т. 34. – № 6. – С. 17–29.
14. Сапожников Вал. В. Применение кодов с суммированием при синтезе систем железнодорожной автоматики и телемеханики на программируемых логических интегральных схемах / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 1. – С. 84–107.
15. Collection of Digital Design Benchmarks [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ddd.fit.cvut.cz/prj/Benchmarks>.
16. SIS: A System for Sequential Circuit Synthesis / E. M. Sentovich, K. J. Singh, L. Lavagno, C. Moon, R. Murgai, A. Saldanha, H. Savoj, P. R. Stephan, R. K. Brayton, A. Sangiovanni-Vincentelli // Electronics Research Laboratory, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California, Berkeley, 4 May 1992. – 45 p.

Проблемы подготовки квалифицированных кадров

УДК 372.862+656.25

**Д. В. Ефанов, канд. техн. наук,
В. В. Дмитриев**

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

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ СЕМИНАР «АВТОМАТИКА И ДИСКРЕТНАЯ МАТЕМАТИКА»

Введение

Развитие железнодорожной автоматики и телемеханики идет по пути совершенствования элементной базы и методов синтеза надежных и безопасных систем управления и контроля [1–4]. В этом вопросе немаловажную роль играет подготовка квалифицированных кадров, способных ставить и решать новые для себя задачи.

Занятия в рамках учебных программ не позволяют обучающимся полностью проникнуть в суть изучаемой дисциплины и творчески посмотреть на сущность изучаемых вопросов. С целью развития научного потенциала студентов, аспирантов и преподавателей электротехнического факультета (ныне факультета «Автоматизация и интеллектуальные технологии») в начале 2012 г. группой молодых преподавателей кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» было принято решение о проведении научно-практических семинаров.

Последовав совету профессора кафедры «Прикладная математика» Петербургского государственного университета путей сообщения Е. Ф. Жигалко, ассистенты В. В. Дмитриев и Д. В. Ефанов стали регулярно проводить научно-технический семинар под названием «Автоматика и дискретная математика». Первый семинар состоялся 29 марта 2012 г. В нем приняли участие организаторы и студенты второго курса электротехнического факультета группы АТК-004. Сегодня семинар стал традиционным мероприятием кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах», он проводится еженедельно в течение всего учебного года и затрагивает актуальные проблемы создания, исследования и эксплуатации систем автоматического управления и контроля на транспорте (официальная страница семинара в социальной сети «ВКонтакте»: http://vk.com/at_pgups).

1. Работа семинара

В 2015 г. семинару «Автоматика и дискретная математика» исполнилось три года. Следует отметить, что в его работе принимало участие свыше ста человек. Это в основном студенты, аспиранты, преподаватели нашего вуза (рис. 1).



Рис. 1. Участники семинара весной 2013 г.

На семинаре рассматриваются как практические, так и теоретические задачи, используются современные микроэлектронные компоненты и программируемые логические устройства. Активно используются современные средства моделирования процессов в логических схемах, а также программные продукты ведущих вузов мира [5, 6]. Например, в 2012 г. участниками семинара был разработан и сконструирован макет участка железной дороги, являющийся уменьшенной в 87 раз копией «станции с кольцом» и работающий согласно реальным технологическим алгоритмам (рис. 2) [7, 8].



Рис. 2. Макет участка железной дороги

Участники семинара выступали с докладами на таких конференциях, как:

1. Международная конференция «IEEE East-West Design & Test Symposium» в 2012, 2013, 2014 и 2015 гг. (в 2014 и 2015 гг. в составе программного комитета), являющаяся основной конференцией по проектиро-

ванию и тестированию цифровых схем на постсоветском пространстве и проводимая профессором Харьковского национального университета радиоэлектроники (ХНУРЭ) В. И. Хахановым в городах России и ближнего зарубежья. Сайт конференции: <http://ewdtest.com/conf>.

2. Санкт-Петербургская Международная конференция «Региональная информатика» в 2012 и 2014 гг., проводимая в Санкт-Петербурге с 1992 г. под эгидой ЮНЕСКО и при поддержке Правительства Санкт-Петербурга, Российской Академии наук, Российской Академии образования, Министерства образования и науки РФ, Министерства связи и массовых коммуникаций РФ и других учредителей (в 2014 г. в составе программного комитета). Сайт конференции: <http://spoisu.ru/conf/ri2014>.

3. Международная научно-практическая конференция Intellect-Trans в 2012, 2013, 2014 и 2015 гг. (в 2015 г. в составе организационного комитета). Сайт конференции: <http://intellect-trans.ru>.

4. «Информационные технологии в управлении (ИТУ)» в 2012 г. Сайт конференции: <http://simulation.su/static/ru-itu-2012.html>.

5. Международная научно-практическая конференция «Техносферная и экологическая безопасность на транспорте (ТЭБТРАНС)» в 2012 г. Сайт конференции: <http://www.tebtrans-pgups.ru>.

Работа семинара позволила участникам защитить три кандидатские диссертации (рис. 3):

1. В 2013 г. Д. В. Зуеву – «Синтез объектной нейросетевой модели распознавания образов и ее применение в задачах железнодорожной автоматики» (под руководством д-ра физ.-мат. наук, доц. Е. А. Благовещенской).

2. В 2013 г. А. А. Блюдову – «Исследование модифицированных кодов с суммированием в системах технической диагностики и обработки информации в устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики» (под руководством д-ра техн. наук, проф. Вал. В. Сапожникова).

3. В 2014 г. С. В. Бочкареву – «Методы диагностирования и прогнозирования технического состояния стрелочного переводного устройства» (под руководством канд. техн. наук, доц. А. А. Лыкова).

Работа семинара оказалась продуктивной и не только для постоянных его участников. Например, 12 апреля 2013 г. на семинаре под руководством асс. Д. В. Зуева выступал Сергей Брыгин – школьник из Академической гимназии при СПбГУ (АГ СПбГУ). Юный математик рассказал о новом методе оптимизации процесса обучения нейронных сетей (рис. 4). В этом же году с докладом «Повышение скорости сходимости метода RPROP» Сергей занял второе место на Международной научной конференции школьников «XIII Колмогоровские чтения», проводимой Московским государственным университетом им. М. В. Ломоносова.



Рис. 3. Защита А. А. Блюдова в ноябре 2013 г.

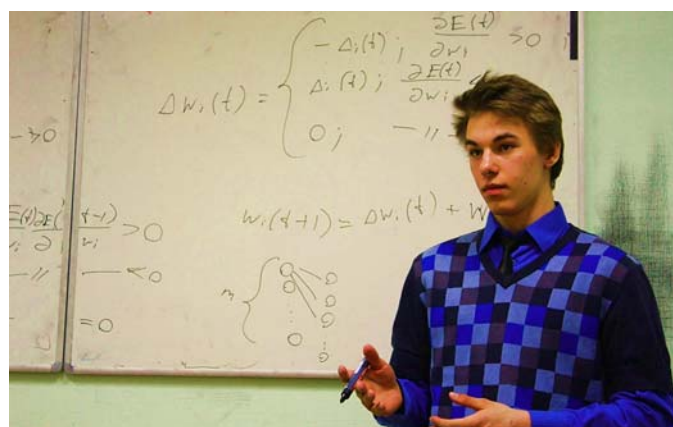


Рис. 4. Сергей Брыгин на семинаре
«Автоматика и дискретная математика»

Сегодня семинар «Автоматика и дискретная математика» активно развивается. На семинаре поднимаются нерешенные задачи современности, к их решению привлекаются студенты и аспиранты кафедры и факультета (рис. 5). Участники семинара публикуют научные работы в основных периодических журналах по специальности 05.13.06 «Автоматизация технологических процессов и производств (транспорт)», таких как: «Автоматика и телемеханика», «Транспорт Урала», «Известия Петербургского университета путей сообщения» и многих других.

При активной работе организаторов семинара в 2012, 2013 и 2014 гг. на кафедре выпущены сборники научных работ [9–11], а в 2015 г. организовано новое научное издание – журнал «Автоматика на транспорте», предназначенное для полного освещения научных и практических достижений в области автоматического и автоматизированного управления на транспорте.



Рис. 5. Участники семинара весной 2015 г.

2. Олимпиада по теоретическим дисциплинам

21 мая 2015 г. в рамках семинара «Автоматика и дискретная математика» была проведена первая олимпиада по теоретическим дисциплинам кафедры – «Теория дискретных устройств» и «Основы технической диагностики» (рис. 6 и 7). Цель олимпиады – популяризация теоретических дисциплин среди студентов Петербургского государственного университета путей сообщения, выявление творчески мыслящих людей и привлечение их к научной деятельности кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах».



Рис. 6. Участники первой олимпиады



Рис. 7. Участники первой олимпиады

В олимпиаде приняло участие 44 человека – студенты факультета «Автоматизация и интеллектуальные технологии» кафедр «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» и «Электрическая связь». Участникам олимпиады было предложено 15 задач по дисциплине «Теория дискретных устройств» и 10 задач по дисциплине «Основы технической диагностики» различной сложности. Первое место по «Теории дискретных устройств» заняла студентка группы АС-307 А. С. Хаткевич. По дисциплине «Основы технической диагностики» первое место разделили студент М. М. Иванов из группы АТ-203 и студент И. А. Яицкий из группы АТ-201. Победители олимпиады получили ценные призы.

Надеемся, что олимпиада, как и семинар, станет традиционным мероприятием, проводимым кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах».

Заключение

Становление грамотных специалистов в области автоматики, телемеханики и связи невозможно без творческой составляющей, которой на кафедре «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения является семинар «Автоматика и дискретная математика». Работа семинара в течение 2012–2015 гг. показала эффективность его проведения. Организаторам удалось достичь поставленной цели – создания научного общества среди студентов, аспирантов и преподавателей кафедры.

Дальнейшая работа семинара «Автоматика и дискретная математика» связана с его развитием и продолжением традиций научной школы братьев Сапожниковых.

Библиографический список

1. 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.
2. Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения в XX – начале XIX в. / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников [и др.]. – СПб. : ПГУПС, 2009. – 346 с.
3. Никитин А. Б. Управление стрелочными электроприводами в компьютерных системах горочной централизации / А. Б. Никитин, А. Н. Ковкин // Автоматика на транспорте. – 2015. – № 1. – С. 51–62.
4. Ходырев В. В. Синтез безопасных схемных решений на основе схем общего назначения / В. В. Ходырев, А. Г. Вяткин // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 3. – С. 298–310.
5. SIS: A System for Sequential Circuit Synthesis / E. M. Sentovich, K. J. Singh, L. Lavagno, C. Moon, R. Murgai, A. Saldanha, H. Savoj, P. R. Stephan, R. K. Brayton, A. Sangiovanni-Vincentelli // Electronics Research Laboratory, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California, Berkeley, 4 May 1992. – 45 p.
6. Collection of Digital Design Benchmarks [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ddd.fit.cvut.cz/prj/Benchmarks>.
7. Макет участка железной дороги для учебного процесса / А. А. Лыков, Д. В. Ефанов, А. А. Юдин, Р. А. Ковалев, И. П. Пантина // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2011. – № 2. – С. 234–243.
8. Модели систем ЖАТ и технологии макетирования в процессе обучения / А. А. Лыков, В. А. Кузнецов, Д. В. Ефанов, В. В. Дмитриев // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 9. – С. 32–35.
9. Теоретические и практические аспекты развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. / Под ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2012. – 117 с.
10. Актуальные вопросы развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. / Под ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2013. – 144 с.
11. Развитие элементной базы и совершенствование методов построения устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. тр. / Под ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2014. – 114 с.

Email: TrES-4b@yandex.ru

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Алексеев А. В. – **70–74**
Блюдов А. А. – **88–94**
Богданов Н. А. – **118–128**
Бутузов К. А. – **59–62**
Васильев Д. А. – **80–83**
Воронин С. Ю. – **10–17**
Гавзов А. Д. – **24–27**
Гизлер С. В. – **80–83**
Дмитриев В. В. – **158–166, 180–186**
Ефанов Д. В. – **118–128, 150–157, 173–179, 180–186**
Зозуля А. Р. – **136–149**
Иваникин М. С. – **150–157**
Иванов А. А. – **110–117**
Идуков А. Ю. – **24–27, 75–79**
Коваленко А. Н. – **24–27**
Ковкин А. Н. – **18–23**
Кондратенко С. Л. – **28–31**
Кононов С. В. – **63–65**
Королев И. Н. – **7–9**
Лазарев А. А. – **66–69**
Лазарев В. А. – **66–69**
Лазарева Н. В. – **66–69**
Легоньков А. К. – **110–117**
Молодцов В. П. – **110–117**
Наседкин О. А. – **80–83**
Никитин А. Б. – **7–9**
Никулин Д. Г. – **59–62**
Никульчиков П. М. – **32–39**
Плеханов П. А. – **95–109**
Рубцова С. В. – **129–135**
Рябов В. С. – **84–87**
Сапожников Вал. В. – **173–179**
Сапожников Вл. В. – **173–179**
Селезнев Р. И. – **28–31**
Федосеев А. А. – **10–17**
Хорьков А. Н. – **84–87**
Черепанова М. Р. – **173–179**
Черкасова Т. Х. – **167–172**
Шайфер М. П. – **80–83**
Шатохин В. А. – **40–48**
Шумаков К. А. – **49–58**

Научное издание

**Проблемы безопасности и надежности
микропроцессорных комплексов**

Сборник трудов научно-практической конференции

Под ред. Вал. В. Сапожникова

Ответственный секретарь **Д. В. Ефанов**

Редактор и корректор *И. А. Шабранская*

Компьютерная верстка *М. С. Савастеевой*

Дизайн обложки *С. А. Босова*

Подписано в печать с оригинал-макета 23.11.2015.

Формат 60×84¹/_{9,5}. Бумага для множ. апп. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 18,75. Тираж 500 экз.

Заказ 1092.

ФГБОУ ВПО ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.

Типография ФГБОУ ВПО ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.