Комплексная система обеспечения безопасности и автоматизированного управления движением поездов метрополитена

Сергей Кузнецов, Виктор Половинкин

Приводится описание программно-технического комплекса, обеспечивающего безопасность и автоматизированное управление движением поездов Петербургского метрополитена. Основное внимание уделяется поездной аппаратуре и принципам построения бортовой многопроцессорной вычислительной системы поезда с использованием мажоритарной логики принятия решения и дублирования УСО, каналов и датчиков.

В 1994 году НИИ точной механики совместно с Петербургским метрополитеном и рядом соисполнителей были начаты работы по созданию принципиально новой для отечественного метрополитена системы обеспечения безопасности и автоматизированного управления движением поездов метрополитена — системы «Движение». В основу системы была заложена «Концепция интегрированной автоматизированной системы управления метрополитеном — ИАСУМ», разработанная к моменту начала работ группой ведущих специалистов отрасли. В ноябре 1996 года городской администрацией г. Санкт-Петербурга, Петербургским метрополитеном и НИИ точной механики была подписана «Комплексная программа модернизации систем управления Петербургского метрополитена до 2002 года», предусматривающая разработку и оснащение метрополитена техникой нового поколения, соответствующей требованиям нового тысячелетия. Программа предусматривает реализацию проектов «Движение», «Телемеханика-2000, «Связь-2000» и «Защита-2000». В настоящее время система «Движение» находится в стадии практического внедрения на одной из линий Петербургского метрополитена. Предприятием-разработчиком и изготовителем — НИИ точной механики — выпущено 48 комплектов поездной аппаратуры (один комплект на один состав). Поездная аппаратура успешно прошла все необходимые испытания: предварительные, сертификационные и приёмочные. Имеется сертификат Госстандарта РФ о соответствии поездной аппаратуры требованиям нормативных актов по безопасности железнодорожной автоматики.

К моменту написания статьи оснащены и находятся в эксплуатации 23 состава. Выпущено три комплекта станционной аппаратуры. Два полукомплекта аппаратуры смонтированы на первом пути опытного участка 1-й линии Петербургского метрополитена в зонах ответственности станций «Политехническая» и «Академическая». В 2000 году планируется завершить сертификационные и приемочные испытания станционной аппаратуры.

Разработан проект комплекса технических средств центрального поста, альфа- и бета-версии прикладного программного обеспечения. Планируемый срок внедрения на 2-й линии Петербургского метрополитена — 2001 год.

Система «Движение» должна полностью заменить целый ряд морально ус-



Петербургский метрополитен

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

таревшей действующей аппаратуры автоматического ведения и диспетчеризации, а также, соответственно, каналы связи «поезд-станция» и «станция-центральный пост».

Назначение системы «Движение»

Основное назначение системы — **централизованное графико-интервальное регулирование движения поездов метрополитена и обеспечение безопасности перевозок пассажиров**.

Система обеспечивает следующие функции:

- автоматическое управление нормальными и аварийными режимами движения и торможения подвижного состава, открытием-закрытием дверей, выдачей речевых сообщений;
- ритмичное движение поездов во времени и высокую пропускную способность за счет централизованного управления и оптимизации режимов ведения поездов, повышенной точности и интенсивности торможения;
- сведение действий машиниста к контролю за аппаратурой и внешними условиями;
- непрерывный контроль поездной обстановки, технического состояния устройств и отображение информации для операторов системы.

Следует отметить, что при внедрении данной системы уменьшается численность обращающегося по линиям подвижного состава за счет сокращения времени прохождения перегонов и тупиков. Благодаря автоматизации процесса ведения поездов по перегонам, которая практически исключает лишнее подтормаживание, оптимизируется расход электроэнергии. Особо следует подчеркнуть, что система «Движение» обеспечивает безопасность движения при любых отказах в самой системе, а также при неправильных действиях операторов и обслуживающего персонала.

Общие сведения и архитектура системы

Система «Движение» охватывает следующие структурные уровни метрополитена: центральный пост, аппаратуру станций и перегонов, поездную аппаратуру. Система работает в автоматизированном режиме с участием поездных диспетчеров линий, дежурных по посту централизации на станциях с путевым развитием и машинистов поездов.

В состав системы в соответствии с исходными требованиями входят три функциональные подсистемы: подсистема безопасности, подсистема автоматизированного управления движением поездов и подсистема информационного обмена.

Подсистема безопасности обеспечивает:

- интервальное регулирование движением поездов с использованием двух независимых каналов передачи данных — принципиально нового кодового рельсового канала связи с фазоразностной модуляцией (ФМК) и радиоканала (РК);
- управление стрелками и сигналами с бесконтактной коммутацией на базе микропроцессорной системы;
- контроль целостности рельсовых путей (КРЛ).

Подсистема автоматизированного управления движением поездов решает задачи:

- централизованное управление в соответствии с графиком;
- управление маршрутами движения;
- управление тягой-торможением поездов, временем хода по перегону в пределах его возможностей;
- управление дверьми станций закрытого типа (касается только ряда станций С.-Петербургского метрополитена).

Подсистема информационного обмена выполняет следующие функции:

- обмен информацией между поездом и станцией вблизи платформы и во время стоянки;
- обмен информацией по радиоканалу при движении;
- индикация, хранение, протоколирование событий и данных в удобной форме на автоматизированных рабочих местах (АРМ).

Укрупненная структурно-функциональная схема системы «Движение» приведена на рис. 1.

Устройства центрального поста осуществляют обеспечение графико-интервального режима движения поездов, задание номеров маршрутов поездов, «сборку» маршрута по линии с управлением стрелками и сигналами, контроль местоположения поездов на линии и положения стрелок. При этом обеспечивается запрет на сборку «враждебных» маршрутов и выдачу «неразрешенных» команд.

Стационарная аппаратура обеспечивает определение местоположения поездов на перегоне и вычисление допустимой скорости для каждого поезда, реализовывает команды управления стрелками и управляет открытием (закрытием) дверей поезда (станции) с передачей информации о стороне платформы, управляет устройством оповещения пассажиров. Аппаратура осуществляет запрет на сборку «враждебных» маршрутов при местном управлении движением поездов, а также выполняет контроль целостности рельсовых цепей, состояния металлоконструкций и положения стрелок.

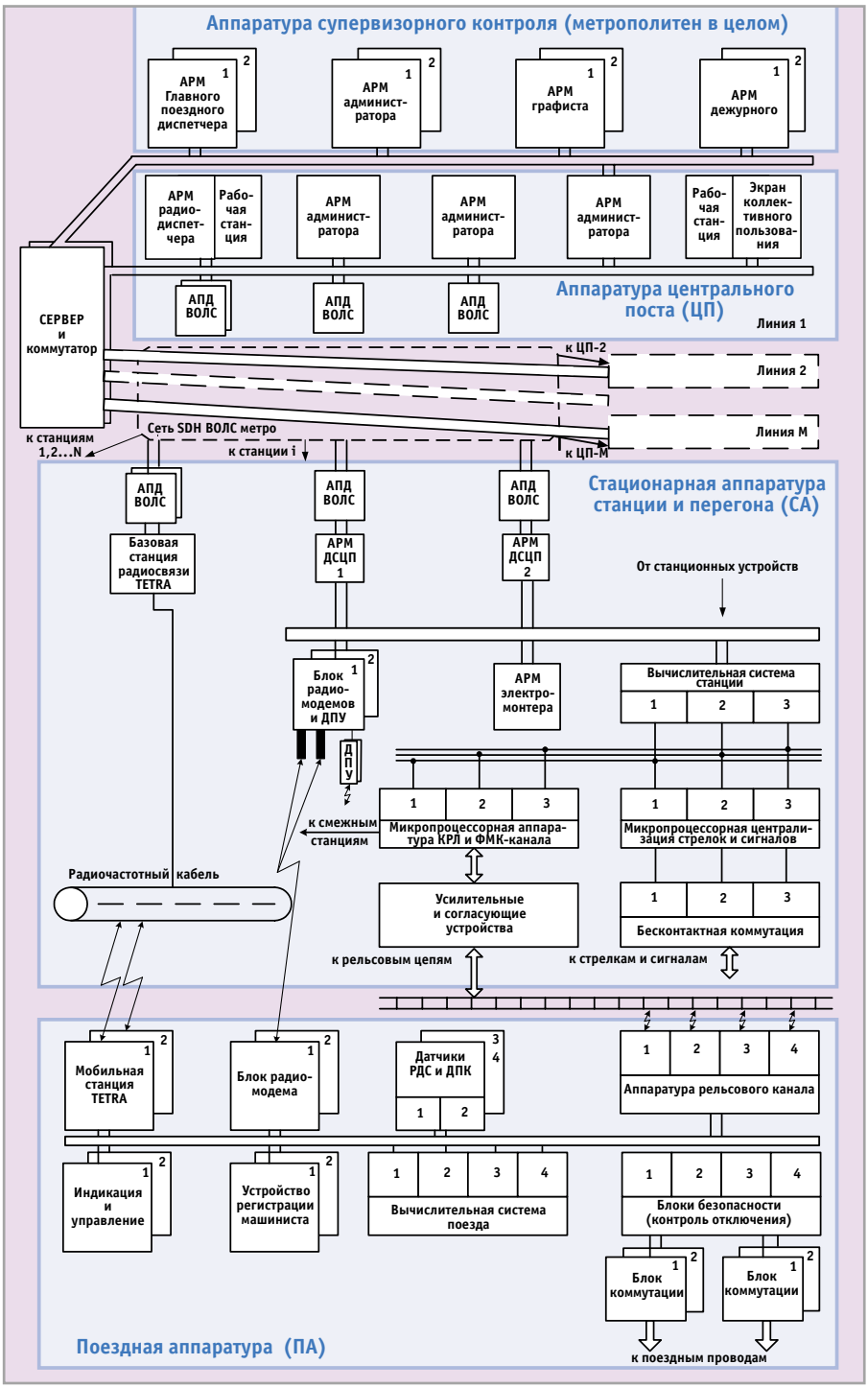
Поездная аппаратура вырабатывает команды управления конкретным поездом с учетом ограничения скорости, динамических характеристик поезда и обеспечения точности выполнения графика движения, определяет местоположение и скорость поезда, обеспечивает прицельное торможение на станции и связь с рельсовыми цепями по ФМК-каналу. Данная аппаратура выполняет также управление открытием (закрытием) дверей поезда и устройством оповещения пассажиров. Следует подчеркнуть, что все три вида аппаратуры самостоятельно обеспечивают контроль работоспособности оборудования своего структурного уровня.

Система «Движение» выдает следующую информацию:

- **поездному диспетчеру** о поездной обстановке на линии, положении стрелок и сигналов (в непрерывном режиме), а также сообщает о нарушениях в работе путевых устройств, подвижного состава и самой системы;
- **дежурным по постам централизации** о поездной обстановке на прилегающих перегонах, положении стрелок и сигналов (в непрерывном режиме) и о техническом состоянии аппаратуры станций и перегонов;
- **машинистам** о текущей, допустимой и рекомендуемой скорости движения, техническом состоянии состава (в непрерывном режиме), о требуемом времени отправления от станции;
- **в систему АСУ метро** как сообщения о неисправностях, так и данные для формирования отчетов о выполнении графиков движения;
- **пассажирам метро** речевые сообщения.

Сертификация по безопасности аппаратуры системы «Движение» осуществлена в соответствии с ОСТ, РД и РТМ МПС РФ по разделу «Безопасность технических средств железнодо-

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru



Условные обозначения:

АПД — автоматическая передача данных;

ДСЦП — дежурный по посту централизации;

ДПУ — датчик прибытия-убытия

Рис. 1. Укрупненная структурно-функциональная схема системы «Движение»

рожной автоматики». Данная работа была выполнена сертификационной лабораторией Госстандарта РФ при Петербургском государственном университете путей сообщения (ПГУПС).

Для обеспечения высокого уровня безопасности в системе предусмотрены не только специальные схемотехнические решения, но и целый ряд организационных мер. Например, разрешение на изменения в режимах функционирования системы выдаётся только по решению операторов двух уровней одновременно. К схемотехническим решениям следует отнести обязательное резервирование составных частей системы, а также реализацию интервального регулирования на основе двух независимых каналов, выполненных на различных физических принципах.

С точки зрения обеспечения безопасности следует подчеркнуть, что основными особенностями поездной аппаратуры системы «Движение» являются:

- аппаратное и программное объединение всех подсистем;
- устойчивость к двум последовательным отказам и повышенная живучесть за счет реконфигурации и наличия двух каналов связи в подсистеме безопасности;
- высокая аппаратная надежность как отдельных компонентов (наработка на отказ не менее 30 000 часов), так и поездной аппаратуры в целом;
- аппаратная и программная защита от несанкционированных или злоумышленных действий.

Для станционной аппаратуры системы характерны минимизация количества аппаратуры на пути, наличие двух каналов передачи и приема кодовых сигналов управления, использование унифицированных контроллеров, выполненных на безопасных принципах, и т.п.

Поездная аппаратура

Поездная аппаратура системы предназначена для эксплуатации на метрополитене в составе пассажирских электропоездов с вагонами серий 81-717, 81-714 и их модификаций. При необходимости аппаратура может быть адаптирована к вагонам других серий.

Поездная аппаратура (далее в тексте ПА) содержит следующие функциональные подсистемы:

- подсистему обеспечения безопасности движения;
- подсистему автоматизированного управления движением поезда;
- подсистему информационного обеспечения;
- подсистему контроля и диагностики.

Важно отметить, что ПА может функционировать в следующих трех режимах:

- основной режим автоведения (АВ);
- управление движением поезда машинистом под контролем ПА с ограничением скорости до величины допустимой скорости движения (КС);
- управление движением поезда машинистом под контролем ПА с ограничением скорости до 20 или 35 км/ч (ОС).

Подсистема обеспечения безопасности движения (БД) функционирует во всех трех режимах и обеспечивает выполнение следующих функций:

- непрерывный контроль за соблюдением допустимой скорости и автоматическое торможение поезда при ее превышении;
- автоматическое торможение поезда до полной его остановки при определенных ситуациях, а именно: перед

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

занятым участком пути, перед участком пути с нарушенной целостностью рельсовой цепи, при нарушении приема сигнальных команд поездом и т.д.;

- автоматическое прекращение торможения поезда после снижения скорости до предельно допустимой и подтверждения бдительности машинистом;
- предотвращение движения поезда при различных аварийных факторах и скатывания поезда после его остановки;
- выдача машинисту информации о скоростях, состоянии дверей поезда, расчетных параметрах и их предельных значениях, неисправностях ПА и других событиях.

Подсистема автоматизированного управления движением поезда (АУ) в режиме АВ обеспечивает прием и дешифрацию данных, а также исполнение команд управления поездом, поступающих от станционной аппаратуры, с учетом всех временных факторов, динамических характеристик поезда и ограничений, накладываемых подсистемой БД, и технического состояния поездной аппаратуры. В этом же режиме подсистема АУ выполняет прицельное торможение с точностью 35 см при коррекции пути за 300 м и 200 м до точки останова и с точностью до 1 м при отсутствии коррекции. Эта подсистема корректирует режимы ведения поезда на основании данных о реальных характеристиках поезда, выполняет запрет включения тягового режима от контроллера машиниста, производит расчет и включение ходового режима после сброса торможения по разрешению подсистемы БД. Подсистема АУ производит автоматическое открытие дверей поезда на станции и после подтверждения согласия машиниста — автоматическое закрытие.

В режимах КС и ОС подсистема автоматизированного управления поездом используется в качестве «подсказки».

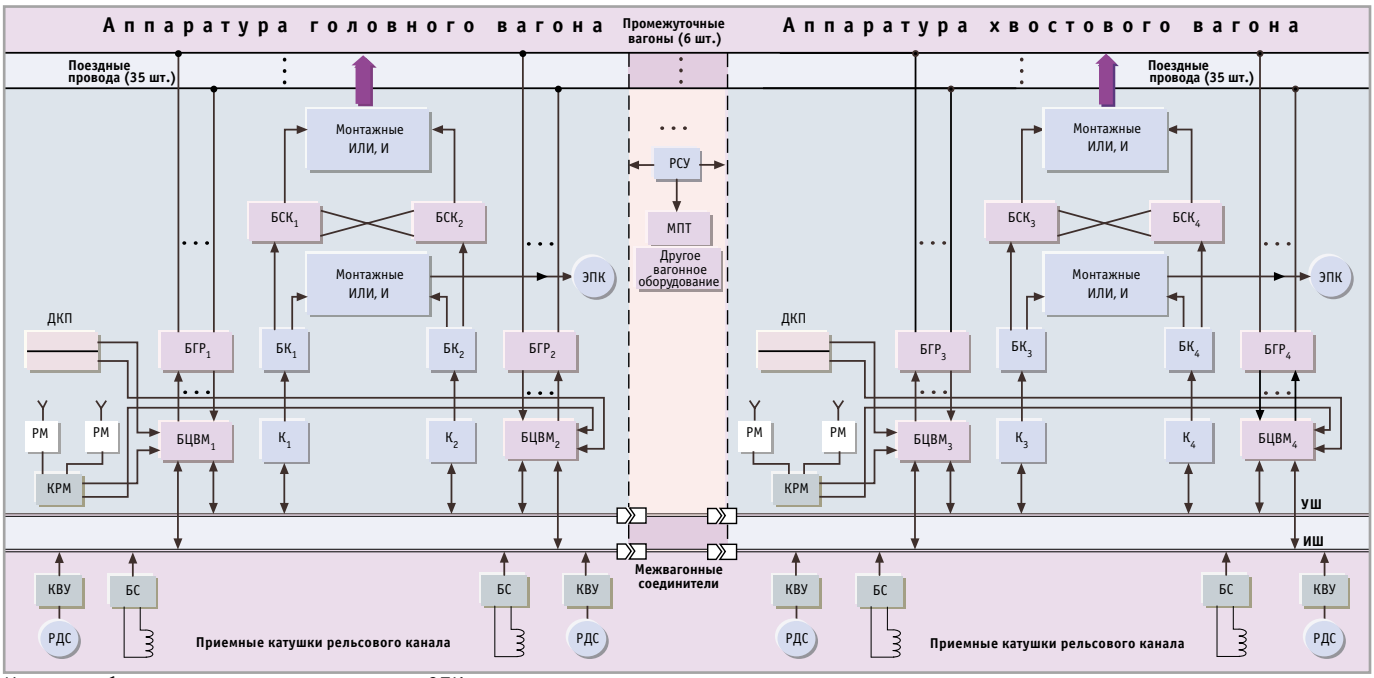
Функции подсистемы информационного обеспечения (ИО) реализуются ПА совместно со станционной аппаратурой (СА). Подсистема ИО обеспечивает:

- поддержку базы данных, содержащей всю необходимую информацию для выполнения функций подсистемами АУ и БД;
- поддержку интерфейса «человек-машина» на рабочем месте машиниста;
- предотвращение несанкционированного доступа к ПА с использованием магнитной карты и бесконтактного устройства регистрации;
- ввод и передачу информации на СА о номере маршрута, номере поезда, типе подвижного состава, информирование машиниста о состоянии ПА и т.д.;
- прием информации от СА и информирование машиниста о поступающих командах.

Подсистема контроля и диагностики (КД) включает в себя средства встроенного и внешнего контроля и диагностики ПА. Информация об отказах компонентов ПА и достижении предотказного состояния поступает в подсистему ИО.

Поездная аппаратура выполнена в виде двух одинаковых полукомплектов, расположенных в головном и хвостовом вагонах поезда. На рис. 2 приведена блок-схема ПА всего подвижного состава, а на рис. 3 показаны составные части и размещение полукомплекта ПА в головном вагоне. Связь полукомплектов осуществляется

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru



Условные обозначения:
ДКП — датчик коррекции пути;
РМ — радиомодем;
КРМ — контроллер радиомодема;
КВУ — контроллер внешнего устройства;
БС — блок связи с индуктивным каналом;
К — корректор;
РСУ — релейная схема управления;
МПТ — машины постоянного тока;
ЭПК — электропневмоклапан;
РДС — реверсивный датчик скорости;
БСК — блок силовой коммутации;
БК — блок коммутации;
БГР — блок гальванической развязки;
БЦВМ — бортовая ЦВМ;
УШ — управляющие шины (основная + резервная);
ИШ — информационные шины (основная + резервная)

Рис. 2. Блок-схема поездной аппаратуры всего подвижного состава

с помощью 4 линий (витая пара в экране), проложенных по подвагонным кондуитам с быстроразъемными вагонными соединителями.

Стойка поездной аппаратуры (рис. 4) имеет в своем составе 4 блока:

- блок связи с индуктивным каналом (БС);
- блок цифровой вычислительной системы (БЦВС);
- блок гальванической развязки (БГР);
- блок коммутации (БК) без силовой части.

Блок БС предназначен для приема команд о допустимой скорости движения поездов метрополитена ($V_д$) по индуктивному частотному каналу связи (ЧК) и индуктивному каналу с передачей информации методом двукратной фазоразностной модуляции с кодированием кодом Бауэра (ФМК). При этом прием команд по ЧК используется только на переходном этапе полной замены старой станционной аппаратуры на новую. Следует отметить, что ФМК, в отличие от ранее используемого канала, позволяет получить информацию о допустимой скорости не только на текущем, но и на следующем участке рельсовой цепи. БС также выполняет прием информации о скорости и направлении движения поезда от реверсивных датчиков скорости (РДС), от датчиков коррекции пути (ДКП), с пульта машиниста и схемы управления поезда. Информация от ДКП дешифрируется блоком, обрабатывается и передается в бортовую вычислительную систему по информационному каналу RS-485.

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

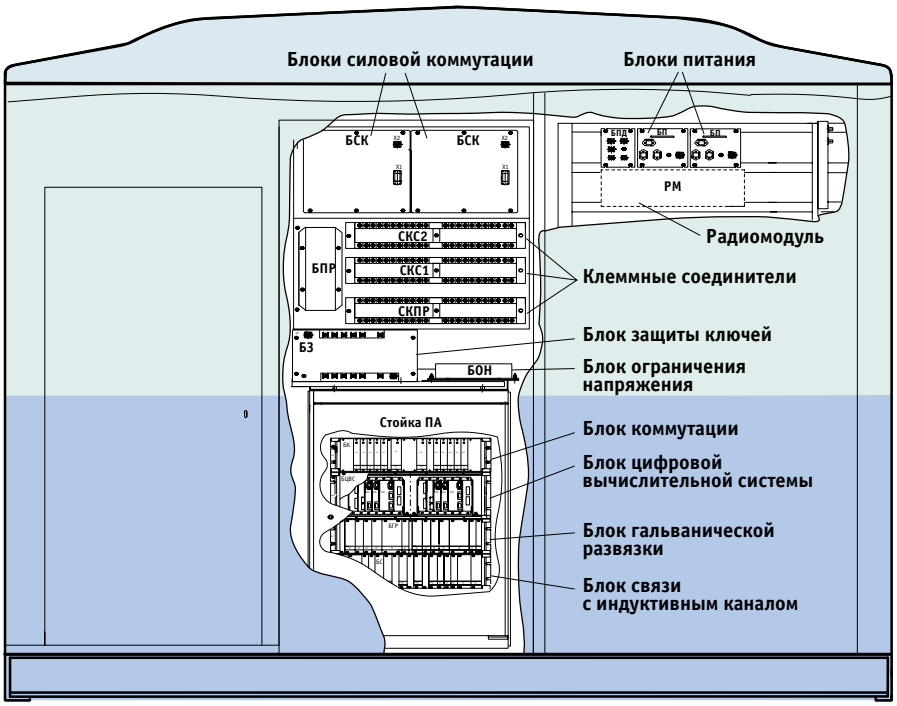


Рис. 3. Размещение полукомплекта ПА в головном вагоне



Рис. 4. Стойка поездной аппаратуры

Блок БЦВС каждого полукомплекта состоит из двух независимых бортовых цифровых вычислительных машин (БЦВМ), кабеля взаимного отключения блоков БЦВМ и объединяющего каркаса, выполненного в виде 19" конструктива (Евромеханика) высотой 4U. В свою очередь, каждая БЦВМ состоит из каркаса 5276, платы центрального процессора 5025А с объемом ОЗУ 4 Мбайт, платы дискретного ввода-вывода 5600 (изделия фирмы Octagon Systems) и 3 плат формата MicroPC разработки НИИ точной механики: платы контроллера интерфейса информационной шины (дублированный RS-485), платы контроллера интерфейса управляющей шины (дублированный RS-485), платы питания-отключения. Таким образом, вычислительная система поезда включает в себя четыре одновременно работающие БЦВМ, объединенные дублированными информационными и управляющими шинами.

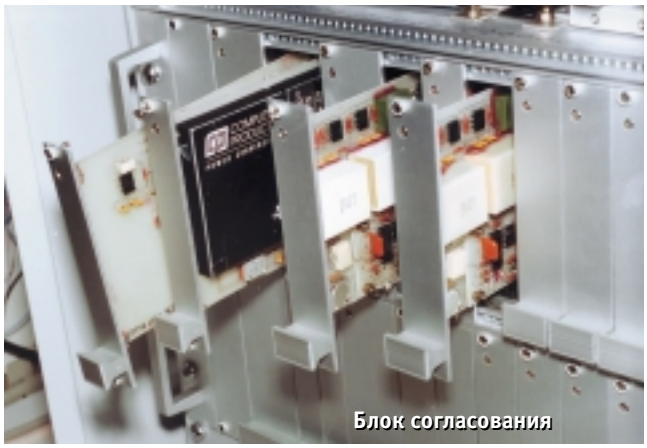
В качестве операционной системы реального времени используется ОС QNX версии 4.22.



Полукомплект поездной аппаратуры

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

Блок БЦВС выполняет прием информации о допустимой скорости от блока связи, о фактической скорости и пройденном пути от датчиков РДС, о состоянии поездных проводов от блока гальванической развязки и вырабатывает управляющие воздействия для системы управления поездом (СУП), передаваемые в блок коммутации. При этом вычислительная система поезда выполняет контроль адекватности мажоритарного управляющего воздействия на СУП в соответствии с алгоритмами управления поездом. БЦВС совместно с корректорами осуществляет контроль состояния ПА, производит отключение БЦВМ в случае обнаружения остальными БЦВМ отказа или невосстановимого сбоя в работе машины.


Блок согласования

Блок БГР предназначен для гальванической развязки и преобразования сигналов контроля поездных проводов к виду, пригодному для ввода в БЦВМ, а также для преобразования сигналов от БЦВМ к виду, пригодному для управления элементами сигнализации терминала машиниста. Основные технические характеристики БГР: количество входов 2·32, количество выходов 2·8, входное напряжение 0...90 В, выходное напряжение логической части ТТЛ с открытым коллектором, время включения не более 100 мкс, время выключения не более 50 мкс.


Рис. 5. Блок индикации и клавиатуры

Блок БК предназначен для приема команд управления поездом от 4 БЦВМ (от обоих полукомплектов), их мажорирования и формирования однобитовых команд управления силовыми коммутаторами исполнительных поездных устройств, а также синхронизации работы БЦВМ, определения сбойной или отказавшей БЦВМ, контроля исправности силовых коммутаторов и формирования безопасных сигналов управления электропневмоклапаном (ЭПК) поезда метрополитена. Основные технические характеристики БК: количество каналов управления коммутаторами 2·18, напряжение коммутации 90...105 В, максимальный ток коммутации 1 А, количество контролируемых силовых каналов 2·9, количество каналов управления ЭПК 2·1, количество каналов обмена информации по RS-485 (основная и резервная шина) 2·2. Блок БК, так же как блоки БС и БГР, выполнены в 19" конструктиве (Евромеханика) вы-

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru

сотой 4U и имеют габаритные размеры 483·230·132,5 мм.

Кроме оборудования стойки, в состав ПА входят блок индикации и управления, блок питания и блок силовой конструкции.

Блок индикации и клавиатуры (БИК), изображенный на рис. 5, предназначен для ввода информации машинистом, отображения информации для машиниста, бесконтактной регистрации машиниста, управления закрытием дверей поезда от кнопки «КСЗД», управления пуском поезда в режиме автоведения от тумблера «ВЗП», а также выдачи машинисту звуковой сигнализации. Блок выполнен в виде несущей панели с закрепленными на ней составными узлами. Блок встраивается в пульт машиниста и функционирует совместно с блоком терминала машиниста. Следует отметить, что в качестве индикаторов используются алфавитно-цифровые дисплеи фирмы IEE. Основной индикатор модели 036X2-124-09420 (4·20 символов, высота символов 9 мм) предназначен для отображения информации о режимах работы ПА и движения поезда. Резервный индикатор модели 036X2-105-05220 (2·20 символов, высота символов 5 мм) предназначен для отображения вспомогательной информации и в случае неисправности основного индикатора переключается машинистом для отображения минимально необходимой информации.



Рис. 6. Блок питания

Блок питания (БП), показанный на рис. 6, предназначен для электропитания поездной аппаратуры. Блок представляет собой устройство вторичного электропитания, преобразующее напряжение входной сети 75±15 В постоянного тока в стабилизированное напряжение 24 ±10% постоянного тока. Ток нагрузки 0-5 А.

Блок силовой коммутации (БСК) предназначен для осуществления бесконтактного силового управления исполнительными устройствами поезда метрополитена. Блок имеет 17 независимых гальванически развязанных каналов коммутации, 1 канал управления ЭПК. Напряжение коммутации 60...90 В, максимальный средний коммутируемый ток 20 А, максимальный импульсный коммутируемый ток 160 А. Габаритные размеры устройства 323·323·75 мм.



Рис. 7. Оптический ретрорефлективный датчик

Используемые датчики

НИИ ТМ имеет большой опыт разработки и изготовления специальных датчиков для особых условий эксплуатации. Таковыми являются, например, ранее упоминавшиеся датчики ДКП и РДС.

Оптический ретрорефлективный датчик ближнего действия (ДКП), изображенный на рис. 7, предназначен для коррекции пути, пройденного поездом, посредством формирования сигналов инфракрасного излучения и приема отраженного сигнала от специального рефлектора. В ДКП реализована гальваническая развязка сигнальных и питающих цепей. Этот датчик способен функционировать в условиях помех, вызванных отражением от стен туннеля или станции, засветки от различных световых и электромагнитных излучателей.

Основные технические характеристики ДКП:

- зона приема отраженных сигналов от датчика до отражателя 0,5...1,5 м и от оптической оси датчика симметрично в обе стороны 5 см;
- напряжение питания постоянного тока 7,5-15 В;
- ток потребления не более 0,1 А;
- время срабатывания не более 1,2 мс;
- габаритные размеры 185·41·43 мм.

Реверсивный датчик скорости (РДС), изображенный на рис. 8, служит для формирования сигналов, несущих информацию для определения скорости (сигнал ИИ) и направления движения (сигнал НД) поезда метрополитена с вагонами серий 81-717, 81-714, и контролирует движение ведомой шестерни редуктора колесной пары. РДС устанавливается на место крышки смотрового люка редуктора колесной пары вагонов метрополитена.



Рис. 8. Реверсивный датчик скорости

Основные технические характеристики РДС:

- диапазон измеряемых скоростей 0-100 км/ч;
- вероятность ошибки формирования сигналов ИИ и НД не более 10^{-5};
- допустимый зазор между рабочей поверхностью датчика и шестерней редуктора не более 3 мм;
- напряжение питания 0,5-13,5 В;
- ток потребления не более 50 мА;
- масса не более 1,25 кг.

Эксплуатационные характеристики ПА

Поездная аппаратура ПА предназначена для эксплуатации в условиях умеренного и холодного климата (исполнение УХЛ по ГОСТ 15150).

В соответствии с условиями размещения изделие работает без средств кондиционирования при температуре внешней среды до +50°С не менее 20 часов с последующим перерывом 1 час, а также должно сохранять работоспособность после отстоя поезда при температуре окружающего воздуха от –50 до +50°С.

Составные части ПА, устанавливаемые внутри вагона, имеют степень защиты IP32 по ГОСТ 14254. Составные части, устанавливаемые вне кузова вагона, имеют степень защиты IP54.

Электропитание изделия осуществляется от источника постоянного тока напряжением 75 В с допустимыми отклонениями в пределах от 60 до 90 В.

Изделие сохраняет работоспособность при воздействии на него по цепям питания импульсных помех в виде одиночных импульсов любой полярности напряжением до 1800 В.

Продолжение статьи будет опубликовано в ближайших номерах журнала «СТА» ●

С.В. Кузнецов —
Главный конструктор, первый зам. Генерального директора НИИ ТМ
Телефон: (812) 535-2200
В.М. Половинкин — сотрудник фирмы ПРОСОФТ
Телефон: (812) 325-3790
Факс: (812) 325-3791
Web: www.prosoft.ru

© 2000 СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 330-3650 http://www.cta.ru