



Безопасность и экономичность — главные черты системы управления движением поездов Казанского метрополитена

Виктор Белов, Анатолий Голынский, Константин Потапов, Михаил Гаркуша, Лев Коренев

Рассмотрены архитектура и состав системы управления движением поездов Казанского метрополитена, которая характеризуется высоким уровнем безопасности пассажиров и экономичностью эксплуатации. Эта система, в которой реализованы новейшие научные и практические достижения в области автоматизированного управления и организации движения поездов метро, представляет собой пример инновационной деятельности отечественной промышленности.

К тысячелетнему юбилею столицы Татарстана введён в эксплуатацию Казанский метрополитен, который, по мнению министра транспорта РФ, является лучшим в России по своему уровню безопасности [1]. И это действительно так. Казанский метрополитен оснащён современными системами бесперебойного электропитания и пожарной безопасности, средствами антитеррористической защиты и борьбы с грунтовыми водами. Вместе с тем наибольший интерес у отечественных и зарубежных специалистов в области эксплуатации метрополитенов вызывает аппаратно-программный комплекс управления движением поездов.

Движущийся поезд метрополитена, как известно, представляет собой не только средство для быстрого и комфортного передвижения, но и источник повышенной опасности для его пассажиров. Поэтому во всём мире к безопасности системы управления движением поездов метрополитенов всегда предъявлялись повышенные требования. Главная роль в решении этой задачи отводилась машинисту поезда. От его способности оперативно реагировать на опасные ситуации, принимать правильные решения во многом зависела жизнь и здоровье людей.

В основу построения системы управления движением поездов Казанского

метрополитена заложены идеи и принципы, обеспечивающие достижение высокого уровня безопасности, которые зародились в Санкт-Петербургском НИИ точной механики [2-5] и прошли экспериментальную проверку в метрополитене города на Неве. Уникальность Казанского метро заключается в полном отсутствии морально устаревших релейных средств управления и организации движения, которые до сих пор используются в метрополитенах нашей страны. На смену этим средствам пришли отвечающие современному мировому уровню бортовые и станционные вычислительные комплексы, способные самостоятельно обнаружить и локализовать угрозу безопасному состоянию находящихся в метрополитене людей.

Система управления движением поездов Казанского метрополитена по-



Поезд на станции Казанского метрополитена

строена по иерархическому принципу и включает в себя три уровня. На верхнем уровне располагается центр диспетчерского управления (ЦДУ). С его помощью осуществляется сбор необходимой информации, её оперативный анализ и выдача управляющих команд на средний уровень, который включает в себя оборудование, установленное на станциях метрополитена. Нижний уровень представляет собой аппаратуру, размещённую на поездах.

ЦЕНТР ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Всё оборудование и программное обеспечение центра диспетчерского управления разделено на две взаимосвязанные системы: комплексную систему «Движение» (КСД), которая осуществляет процесс организации движения поездов метрополитена, и комплексную автоматизированную систему диспетчерского управления (КАСДУ), решающую задачу управления внешними устройствами (имеет сертификат соответствия).

Информация о движении всех поездов, их техническом состоянии, а также о состоянии оборудования, установленного на станциях, и путевой аппаратуре передаётся на ЦДУ по дублированной волоконно-оптической связи и отображается на проекционных табло

коллективного пользования (рис. 1). Обработка информации, поступающей в ЦДУ, производится с помощью двух специализированных вычислительных комплексов, входящих в состав соответственно КСД и КАСДУ. Каждый из этих комплексов имеет двукратное резервирование и построен на базе серверов IBM X Series (рис. 2).

В состав системы КСД входят автоматизированные рабочие места (АРМ) старшего диспетчера, поездного диспетчера и инженера по автоматике, сигнализации и связи. Система КАСДУ состоит из автоматизированных рабочих мест диспетчера энергоснабже-

ния и диспетчера электромеханических устройств. Для контроля программного обеспечения центра диспетчерского управления используется АРМ системного программиста.

СТАНЦИОННЫЙ УРОВЕНЬ

На станционном уровне системы управления движением поездов Казанского метрополитена находятся средства пере-



Рис. 1. Проекционные tavolo и автоматизированные рабочие места центра диспетчерского управления

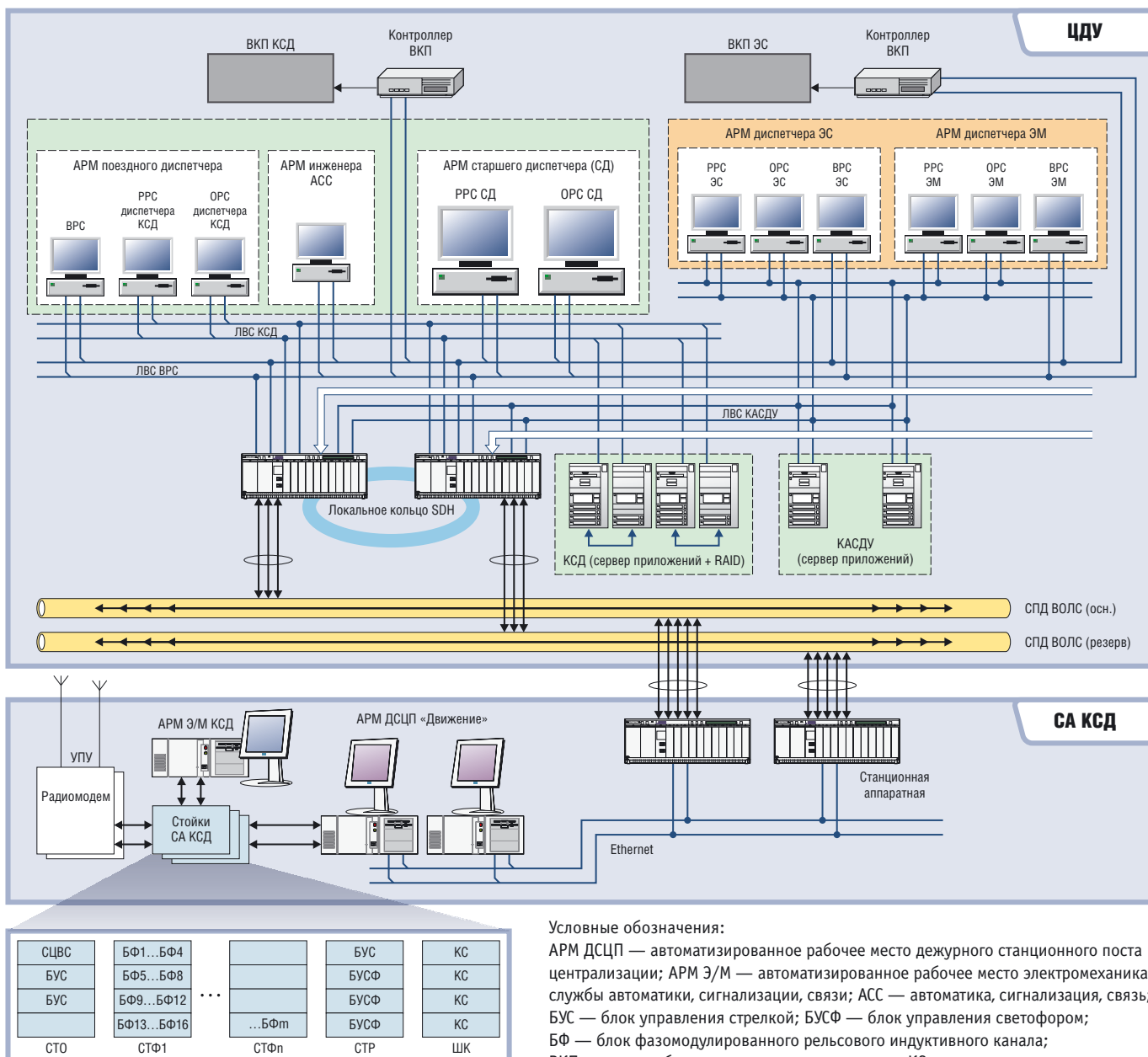


Рис. 2. Структурная схема центра диспетчерского управления (ЦДУ) и стационарной аппаратуры комплексной системы «Движение» (СА КСД)

Условные обозначения:

АРМ ДСЦП — автоматизированное рабочее место дежурного станционного поста централизации; АРМ Э/М — автоматизированное рабочее место электромеханика службы автоматики, сигнализации, связи; АСС — автоматика, сигнализация, связь; БУС — блок управления стрелкой; БУСФ — блок управления светофором; БФ — блок фазомодулированного рельсового индуктивного канала; ВКП — видеотабло коллективного пользования; КС — клеммные соединители; ЛВС — локальная вычислительная сеть; РС — рабочая станция (ОРС — основная, ВРС — вспомогательная, РРС — резервная); СПД ВОЛС — система передачи данных по волоконно-оптической линии связи; СТО — стойка управления основной; СТР — стойка расширения; СТФ — стойка фазомодулированного канала; СЦВС — стационарная цифровая вычислительная система; УПУ — устройство прибытия/убытия; ШК — шкаф клеммных соединителей; ЭМ — электромеханическая служба; ЭС — служба электроснабжения.

дачи информации в ЦДУ, средства связи с поездной аппаратурой и оборудованием соседних станций, стационарная аппаратура микропроцессорной централизации и АРМ дежурного по станции, которые также имеют сертификаты соответствия.

Источником информации, позволяющей однозначно определить положение поезда на линии, служит аппаратура фазомодулированного (ФМ) канала контроля рельсовых цепей. Эта аппаратура, кроме того, обеспечивает передачу на поездной уровень команд о допустимых значениях скоростей поезда. Для обработки поступающей на станцию информации, анализа этой информации и главных зависимостей по проверке маршрутов на безопасность, а также для выдачи управляющих воздействий на поезд, стрелки и светофоры на этом иерархическом уровне используется цифровая вычислительная система, которая состоит из трёх станционных цифровых вычислительных машин.

Помимо этого, решается комплекс задач контроля системы управления движением поездов метрополитена. В частности, контролируются параметры стрелочных переводов и светофоров, определяются техническое состояние и занятость рельсовых цепей, принимается диагностическая информация от прибывающих на станцию поездов, производятся расчёт и передача на поезда значений допустимых скоростей их движения. С помощью оборудования станционного уровня осуществляется обмен информацией с аппаратурой соседних станций и передача необходимых сведений в ЦДУ.

Поездной уровень

Поездной уровень представляет собой оборудование и аппаратуру поездов метрополитена, обеспечивающих движение поезда с заданной скоростью на каждом участке пути, торможение поезда на станции с требуемой точностью, открытие и закрытие дверей вагонов. Отличительной особенностью поезда, применяемого на Казанском метрополитене, является использование интеллектуального асинхронного тягового привода (АТП). Этот привод введён в контур управления движением поезда. Он обладает рядом преимуществ по сравнению с приводом постоянного тока. К достоинствам АТП относятся значительный экономический выигрыш при его эксплуатации, а также обеспе-

чиваемая им возможность более гибко управлять тягой и торможением, что создаёт условия для повышения плавности движения поезда. В результате использования АТП стала возможной реализация безударного алгоритма стабилизации скорости движения поезда, что особенно важно на этапах прохождения затяжных уклонов и подъёмов.

АТП не только потребляет электрическую энергию при разгоне, но и обладает способностью возвращать её при торможении, работая в режиме генератора. Наибольшей эффективности этот привод достигает при высокой частоте разгонов и торможений, что является отличительной особенностью движения поездов в метро. В результате можно существенно экономить потребляемую поездами электроэнергию в сравнении с приводами постоянного тока, применяемыми в большинстве российских метрополитенов.

Кроме того, релейно-контакторная система управления приводами постоянного тока требует частого обслуживания и ремонта, связанного с малыми ресурсными возможностями контактных устройств, что, в свою очередь, ведёт к значительным материальным затратам. Обслуживание и ремонт щёточно-коллекторных узлов представляют собой высокочрезвычайно дорогостоящие технологии, поскольку они являются достаточно сложными, трудоёмкими и требуют использования высококвалифицированных специалистов. Эксплуатационные расходы на техническое обслуживание АТП значительно меньше за счёт применения современных высоконадёжных полупроводниковых приборов, а межремонтные пробеги поездов при использовании АТП ощутимо больше, чем в немалой степени способствуют наличие у такого привода собственной системы диагностики, а также выполнение его настройки и периодической проверки на специализированном стендовом оборудовании [6].

Опыт эксплуатации асинхронного привода лучшими мировыми метрополитенами свидетельствует о том, что, хотя его стоимость достаточно высока, в процессе эксплуатации он полностью себя окупает.

АТП поездов Казанского метрополитена изготовлен на чешском предприятии «Шкода». Он управляется специализированным компьютером, который входит в состав привода. Компьютер тягового привода с помощью CAN-ин-

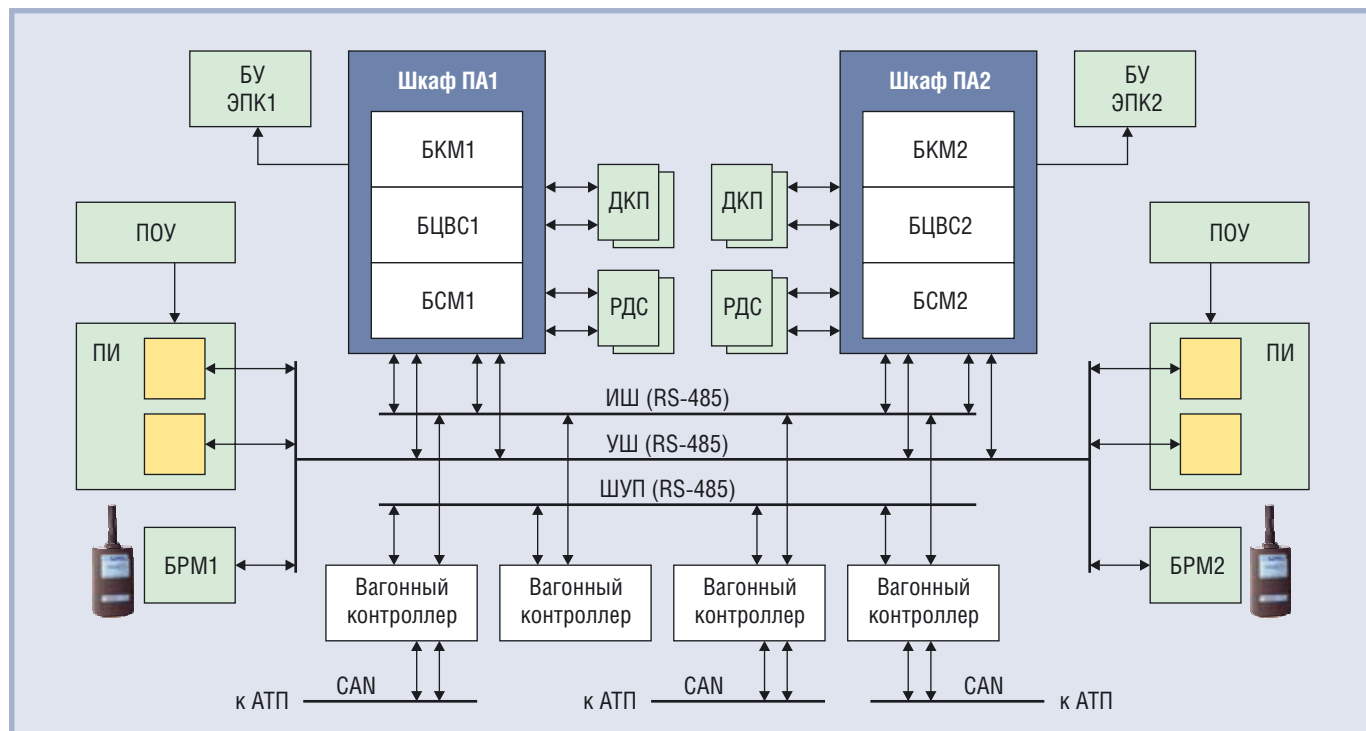
терфейса связан с бортовым прибором вагонных контроллеров, который содержит ведущий и ведомый контроллеры (рис. 3). Этот прибор выдаёт команды управления на компьютер асинхронного привода и принимает диагностическую информацию о техническом состоянии АТП. Вагонные контроллеры, в свою очередь, связаны с бортовым цифровым вычислительным комплексом (БЦВК, комплекс объединяет две системы БЦВС, по две машины БЦВМ в каждой) поезда, который получает информацию о текущей скорости движения от бортовых реверсивных датчиков скорости. Информация о допустимой скорости на данном участке пути поступает в БЦВК от аппаратуры станционного уровня по ФМ-каналу связи рельсовых цепей, которая в своём роде является уникальной и на которую направлено пристальное внимание не только в нашей стране, но и за рубежом.

На каждом из моторных вагонов установлены четыре тяговых асинхронных двигателя. Благодаря достаточно высокой мощности применяемого привода (170 киловатт) удалось укомплектовать поезд Казанского метрополитена, который пока состоит из четырёх вагонов, одним безмоторным вагоном.

Подсистема безопасности

При разработке системы управления движением поездов Казанского метрополитена главное внимание, наряду с экономичностью её эксплуатации, уделялось обеспечению высокого уровня безопасности. Эта задача решена путём использования современной высоконадёжной элементной базы и применения таких методов построения, при которых одиночные сбои или отказы не нарушают заданного процесса её функционирования, причём система управления движением поездов выполняет свои функции в полном объёме без снижения уровня безопасности. В том случае, когда при возникновении отказов у системы исчерпаны все её резервные возможности, она автоматически переходит в так называемое защитное состояние [2], сохраняя при этом безопасность пассажиров поезда метро.

Исключительная важность и ответственность задачи сохранения безопасного состояния пассажиров определили необходимость выделения специальной подсистемы — функциональной подсистемы безопасности. Эта подсистема имеет свои составляющие



Условные обозначения:

АТП — асинхронный тяговый привод; БЦВС — бортовая цифровая вычислительная система; БKM — блок коммутации; BRM — блок радиомодема; BCM — блок связи; БУ ЭПК — блок управления электропневмоклапаном; ДКП — датчик коррекции пути; ИШ — информационная шина; ПА — поездная аппаратура; ПИ — прибор индикации; ПОУ — прибор основного управления; РДС — реверсивный датчик скорости; УШ — управляющая шина; ШУП — шина управления приводом.

Рис. 3. Структурная схема поездной аппаратуры поезда с асинхронным тяговым приводом (ПА АТП)

на всех иерархических уровнях системы управления движением поездов Казанского метрополитена.

С помощью подсистемы безопасности своевременно обнаруживаются и оперативно пресекаются все возможные угрозы безопасному состоянию, которые могут возникнуть в процессе функционирования стационарной и поездной аппаратуры. К таким угрозам, в частности, относятся события, связанные с несвоевременным открытием или закрытием дверей вагонов, превышение допустимой скорости движения поезда, перевод стрелки под движущимся поездом, движение по занятому пути и т.п.

Опыт разработки и эксплуатации подобных систем свидетельствует о том, что одним из эффективных способов достижения необходимого уровня безопасности является использование структурной избыточности и разветвленной системы контроля и диагностики на всех иерархических уровнях системы управления. Так, на уровне ЦДУ все автоматизированные рабочие места являются дублированными.

На станционном уровне все блоки и устройства выполнены с применением различных видов резервирования. Например, устройство прибытия/убытия,

предназначенное для фиксации факта остановки поезда и обмена информацией между станционным оборудованием и поездной аппаратурой, представляет собой двухканальное устройство, каждый канал которого является дублированным.

На поездном уровне бортовой вычислительный комплекс представляет собой четырехмашинную вычислительную систему, которая связана с периферийными устройствами тремя дублированными системными шинами. Системные шины представляют собой независимые системные магистрали передачи данных типа RS-485.

Для исключения возможного накопления отказов аппаратура поезда содержит средства встроенного контроля и диагностики, с помощью которых с периодом 0,1 с проверяется правильность функционирования поездной аппаратуры. За это время происходит сравнение входной, внутренней и выходной информации от различных источников, выявляется рассогласование данных и определяется отказавший блок. По результатам работы системы контроля производится реконфигурация системы управления, то есть отключение от контура управления отказавшего блока.

Подсистема безопасности реализует принцип, согласно которому любой одиночный отказ не приводит к угрозе опасного состояния, при этом система управления сохраняет работоспособность. В случае возникновения такой угрозы аппаратно-алгоритмические средства подсистемы безопасности поездной аппаратуры переводят систему в защитное неработоспособное, но в то же время безопасное состояние. Основным оперативным средством обеспечения безопасности во время движения поезда является электропневматический клапан (ЭПК), который установлен в головных вагонах поезда и срабатывание которого переводит поезд в режим экстренного торможения. При этом подсистема безопасности поезда построена таким образом, что при отсутствии заданной эффективности торможения выдается команда на замещение электрического торможения пневматическим.

В кабине машиниста поезда установлен прибор индикации, содержащий два канала. С помощью этого прибора машинист взаимодействует в диалоговом режиме с бортовой вычислительной системой. По запросу машиниста на прибор выводятся данные, необходимые для управления движением поезда (рис. 4).



Рис. 4. Пульт машиниста

При внезапном ухудшении состояния здоровья машиниста или его несанкционированных действиях предусмотрена возможность автоматического ведения поезда. При этом информация записывается в приборе сбора и регистрации для дальнейшей расшифровки и определения неправомерных действий машиниста. В данном режиме поездной аппаратурой формируются и передаются команды управления асинхронными двигателями в соответствии с заданными алгоритмами автоматического ведения поезда. Во время прибытия на станцию торможение поезда производится с погрешностью его остановки, не превышающей ± 1 м. Для решения этой задачи на каждой станции установлены уголкового отражатели. За несколько метров до подъезда к месту установки отражателя в бортовой цифровой вычислительной машине (БЦВМ) формируется управляющая команда, которая через контроллеры блока связи поступает на датчик коррекции пути (ДКП). По этой команде включается источник оптического излучения, луч света которого должен быть отражён находящимся на станции отражателем. Контроллеры блока связи фиксируют поступление от ДКП отражённого сигнала и по каналу информационной шины (ИШ) передают в БЦВМ координату отражателя. После этого контроллеры по сигналам от четырёх реверсивных датчиков скорости, установленных по два в каждом головном вагоне, начинают отсчёт пути до следующего отражателя.

Для регистрации наиболее важной поездной телеметрической информации используется бортовой самописец, который в отличие от авиационного прототипа получил название «серый ящик».

ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА

При создании системы управления движением Казанского метрополитена использованы ранее разработанные узлы и блоки комплексной системы «Движение» [2], например, контроллеры интерфейса и контроллеры для обработки сигналов от датчиков.

ОАО «НИИ точной механики» использует в системе «Движение» комплектующие, поставляемые известными фирмами. Благодаря сотрудничеству с ними удалось добиться высокого качества аппаратуры при ценах, приемлемых в условиях бюджетного финансирования.

Из покупной элементной базы в проекте применяются платы CPU 5066 фирмы Octagon Systems, микроконтроллеры CPU188, одноплатные компьютеры CPU686-CAN, процессорные платы CPU686E, модули ввода-вывода UNIO96-5 и UNIO48-5, терминальные платы TBI-24/0C, TBI-16/8-C, TBR8, KIB 98501 фирмы Fastwel, а также монтажные каркасы фирм Octagon Systems и Fastwel, матричные плёночные клавиатуры СК-13 и СК-14 Nikkol, LC-дисплеи LQ104V1DG51 и LQ64D343 корпорации Sharp, DC/DC-преобразователи «М» серии Power One, устройство авторизации доступа DC1411-009 Dallas Semiconductor, радиомодемы типа SATELLINE 3AS EPIC фирмы SATEL OY и соединители фирмы Harting. Автоматизированные рабочие места станционного уровня и ЦДУ реализованы на базе промышленных рабочих станций IPC-510-SYS2 компании Advantech.

В то же время применение асинхронного тягового привода в поездах Казанского метрополитена и внедрение некоторых усовершенствований в станционную аппаратуру привело к необходимости проведения ряда модернизаций. В частности, по сравнению с поездной аппаратурой Санкт-Петербургского метрополитена модернизирован блок бортовой вычислительной системы: платы CPU 5025A и 5600 фирмы Octagon Systems заменены, соответственно, на платы CPU686 и UNIO48-5 фирмы Fastwel. Для решения вопросов защиты аппаратуры от импульсных помех применены защитные модули типа 286-831 компании WAGO.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система управления движением Казанского метрополитена разработана и введена в эксплуатацию благодаря многолетнему опыту создания подобных и других (в том числе космических) систем, который накоплен в Санкт-Петербургском НИИ точной механики. В этой системе управления реализованы практически все современные подходы, принципы и способы достижения высокой степени безопасности пассажиров, использована отвечающая мировому уровню элементная база, учтены рекомендации и требования, приведённые в европейских и международных стандартах в сфере безопасности. Наряду с задачей обеспечения безопасности при перевозке пассажиров в Казанском метрополитене решён комплекс задач, связанных со снижением эксплуатационных затрат и расходов на энергопотребление, сокращением штата обслуживающего персонала и улучшением условий его труда, повышением пропускной способности и комфортабельности проезда в поездах метро. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. По уровню безопасности казанское метро — лучшее в России, считает Игорь Левитин / Васильева Ю., Рошупкина Е. // Электронная газета Татарстана Intertat.ru. — 28.07.2005. — <http://intertat.ru/index.php?cat=r&bigoffset=0&offset=0&id=69747>.
2. Антонов Ю.В., Белов В.П., Голяков А.Д. и др. Надёжность и безопасность информационно-управляющих систем (методы оценивания и контроля). — СПб.: ОАО «НИИ ТМ», 2004. — 326 с.
3. Белов В.П., Голяков А.Д., Старков С.Я. О понятиях «надёжность» и «безопасность» технических систем с позиции разработчиков // Методы менеджмента качества. 2003. № 10.
4. Белов В.П., Голяков А.Д. Терминологическая база теории безопасности // Стандарты и качество. 2004. № 9.
5. Пат. 2261455 Российская Федерация. Способ контроля целостности силовых линий электропитания распределённой нагрузки; Приоритет изобретения 17.03.2004.
6. Ракин А. Будущее — за асинхронным приводом // Мир метро — <http://metroworld.ruz.net/trains/asyn.htm>.

**Авторы — сотрудники НИИ ТМ,
г. Санкт-Петербург
Телефон: (812) 535-2270
Факс: (812) 535-8374**