

Бесконтактная быстродействующая система управления движением для метрополитенов



А. А. Бородин,
директор
по развитию бизнеса
ООО «ЛокоТех-Сигнал»

В крупнейших промышленных и экономических центрах мира постоянно совершенствуются городские транспортные системы, обеспечивающие высокий пассажирооборот. Особое место в них занимают системы метрополитенов – городских железных дорог [1–5]. Развиваются метрополитены и в странах постсоветского пространства, в особенности в крупнейших мегаполисах – в Москве и в Санкт-Петербурге [6, 7].

Темп жизни городов-миллионников постоянно убыстряется, увеличивается население, растут потребности в перевозках, возрастает и нагрузка на метрополитены. Возникает необходимость модернизации систем управления, внедрения современных систем на развитой микроэлектронной и микропроцессорной базе, перехода к цифровизации метрополитенов.

Московский метрополитен активно развивается, строятся новые станции и линии. Соответственно увеличивается и пассажиропоток. Поэтому для повышения пропускной способности транспортной системы Москвы, улучшения ее управляемости и гарантии безопасности граждан требуются новые разработки.

В силу огромной степени ежедневной ответственности Московский метрополитен всегда предъявлял повышенные требования к безопасности, надежности и эффективности работы систем автоматики и телемеханики. Внедренный

в эксплуатацию в 1935 г., для регулирования движением поездов он до сих пор использует традиционные релейные системы автоматики и управления [8–10]. Микропроцессорные устройства фрагментарно тоже используются: в диспетчерской централизации, в постовом оборудовании рельсовых цепей. Однако целостной картины использования микропроцессорных систем нет, и основные компоненты автоматики телеуправления движением поездов (АТДП) – системы централизации и блокировки – все еще остаются релейными.

Они и сейчас обеспечивают безопасное движение с одним из самых коротких межпоездных интервалов в мире – 90 с. Однако с увеличением нагрузки на линии метрополитена релейные системы, вследствие устаревшей элементной базы, не способны удовлетворить современным требованиям перевозочного процесса. Релейная техника морально и физически устарела, требует повышенных затрат на техническое обслуживание и затрудняет дальнейшее развитие Московского метрополитена, в частности его переход к современным технологиям управления движением поездов [11, 12].

Переход к микропроцессорным системам управления движением, в том числе к микропроцессорной централизации (МПЦ) в столичном метро долго не осуществлялся, так как на рынке не было систем, способных удовлетворить все требования Московского метрополитена. Системы МПЦ для магистральных железных дорог не соответствовали требованиям метро в отношении быстродей-



ствия, эксплуатационной готовности и нуждались в серьезной доработке. На практике такая доработка приводит к существенному удорожанию системы.

В 2010 г. команда российских специалистов с большим опытом разработки систем автоматики и телемеханики для метро приступила к созданию специализированной системы БМЦ-М (бесконтактной микропроцессорной централизации метрополитена), поставив перед собой цель сделать компактную, быструю и надежную МПЦ. Система микропроцессорной централизации БМЦ-М разрабатывалась в тесном сотрудничестве с Московским метрополитеном, чтобы удовлетворить жесткие технические требования заказчика:

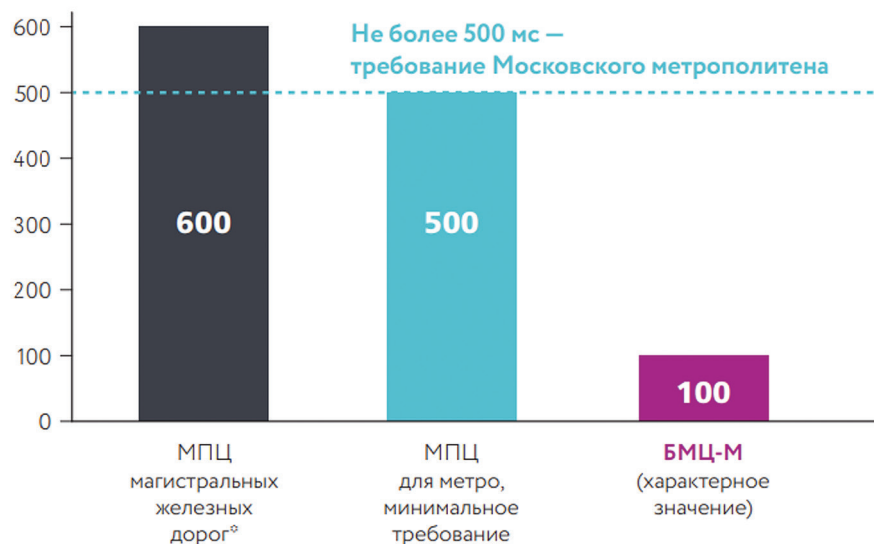
- обеспечение пропускной способности 40 пар поездов/ч;
- полный цикл работы системы — не более 500 мс;
- 100 %-ное резервирование всех компонентов системы;
- применение стандартного пользовательского интерфейса;
- электронное (без использования реле) управление стрелками, светофорами и рельсовыми цепями;
- воспроизведение в алгоритмах и технологии работы МПЦ схемных решений маршрутно-релейной централизации МРЦ.

Следует подчеркнуть, что за основу был взят принцип разработки с использованием open-source software (открытого программного обеспечения) отечественного производства, что весьма важно в стратегических условиях развития московского метрополитена.

Выбранные при создании системы БМЦ-М технические решения и общая идеология ее построения обеспечили выполнение всех требований и пожеланий Московского метрополитена. Оптимизация аппаратных средств, программного обеспечения и телекоммуникаций позволила сделать систему БМЦ-М действительно быстродействующей: время ее реакции составляет всего 100 мс. Столь высокое быстродействие отвечает не только существующим, но и перспективным требованиям (рис. 1).

Компоненты БМЦ-М, включая центральный процессор, объектные контроллеры, каналы связи и т. п., дублированы и работают в режиме горячего резервирования. Тем самым обеспечиваются высокая надежность и эксплуатационная готовность

Цикл работы системы микропроцессорной централизации, мс



^оТехнические требования; горячее резервирование объектных контроллеров не предусмотрено.

Рис. 1. Продолжительность цикла работы микропроцессорной централизации



Рис. 2. Шкафы системы БМЦ-М рядом с релейными стивами существующей системы электрической централизации на станции «Митино» во время опытной эксплуатации

БМЦ-М, необходимые для бесперебойной работы метрополитена. Повышению эксплуатационной готовности БМЦ-М способствуют также встроенные средства диагностики, контролирующие рабочие значения параметров системы и наполных устройств, чтобы своевременно выявлять нарушения в работе и фиксировать предотказные состояния компонентов [13]. Это позволяет обслуживающему персоналу вовремя произвести мероприятия по предотвращению отказа и дальнейшему снижению надежности функционирования системы управления.

Математическая модель, используемая в программируемых модулях централизации и блокировки системы БМЦ-М для вычисления управляющих воздействий, воспроизводит традиционную схему маршрутно-релейной централизации (МРЦ). Это позволяет использовать отработанные десятилетиями принципы проектирования систем централизации. Конфигурацию логических зависимостей конкретного объекта внедрения можно распечатать в виде комплекта релейных схем, хорошо

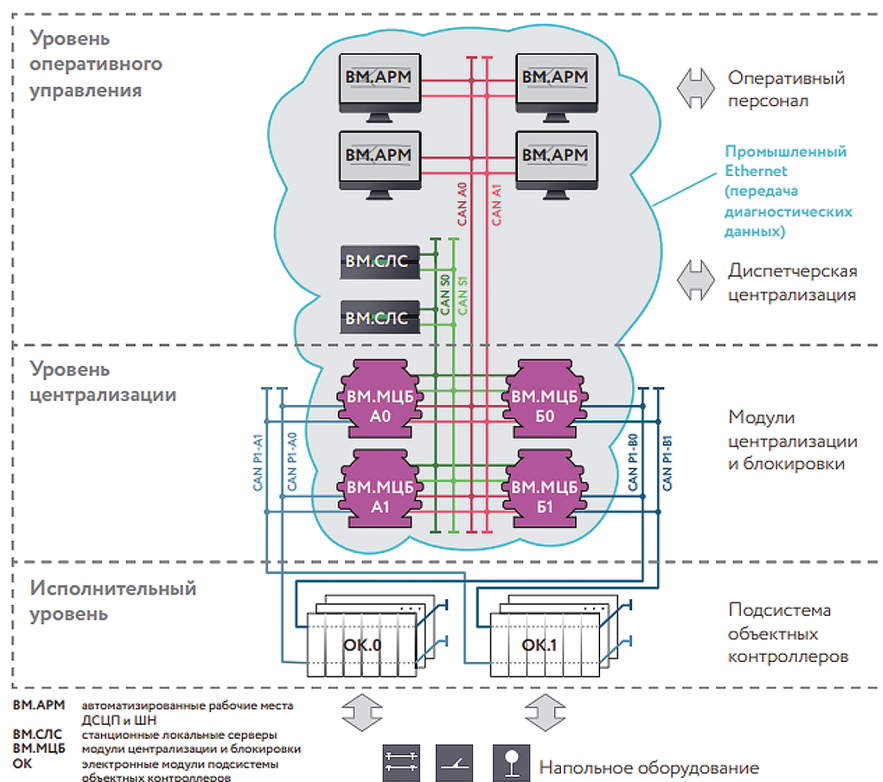


Рис. 3. Архитектура системы БМЦ-М

знакомых обслуживающему персоналу станции.

Микропроцессорная централизация БМЦ-М полностью совместима с напольным оборудованием, применяемым в метрополитенах СНГ: стрелками, светофорами и путевыми компонентами рельсовых цепей. При реконструкции действующих

объектов инфраструктуры метрополитенов не требуется ни замены устройств в тоннелях и на открытых участках, ни переподготовки технического персонала, обслуживающего напольное оборудование. Для электропитания БМЦ-М можно использовать любую современную систему, обеспечивающую электроснабжение



Рис. 5. Основной и резервный комплекты модуля централизации и блокировки

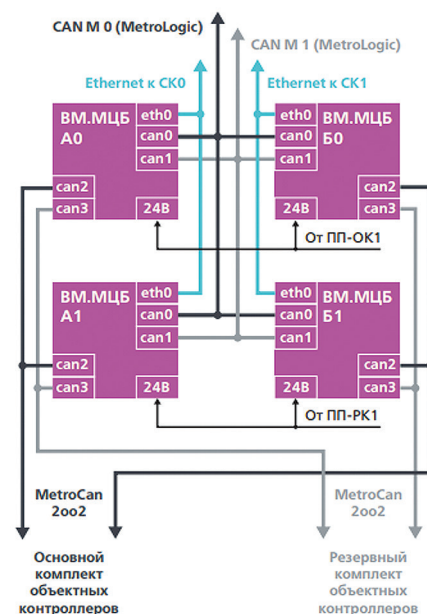


Рис. 4. Архитектура вычислительной системы централизации и блокировки

МПЦ от двух независимых источников и автоматический переход на резервный источник в случае отказа основного.

Автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов БМЦ-М имеют стандартный графический интерфейс, применяемый в системе диспетчерского управления движением поездов Московского метрополитена. Подключение БМЦ-М к системе диспетчерского управления возможно как по каналам передачи данных, так и традиционным для МРЦ способом — через контактные группы реле.

Система БМЦ-М имеет модульное построение и трехуровневую иерархическую структуру (рис. 3):

- уровень оперативного управления, на котором реализованы интерфейсы с вышестоящими системами управления и контроля, а также АРМ дежурного поста централизации (ДСЦП) и электро-механика (ШН);
- уровень централизации, где вычисляются логические зависимости и проверяются условия безопасности;
- исполнительный уровень, обеспечивающий непосредственное управление и контроль напольного оборудования.

Обмен информацией между отдельными уровнями системы осуществляется по сетям CAN и Ethernet. По сети CAN передается ответственная информация — команды управления и сообщения о состоянии объектов, причем

опрос модулей выполнен по синхронному принципу — состояние всех модулей системы опрашивается каждые 100 мс. Сеть Ethernet служит для передачи преимущественно диагностической информации.

Исполнительный уровень БМЦ-М сформирован подсистемой объектных контроллеров (ОК), включающей в себя электронные модули управления стрелочным приводом (ЭМУСП), светодиодным светофором (ЭМУСС) и рельсовыми цепями (ЭМУРЦ). Эти модули напрямую, без использования электромагнитных реле, управляют напольными устройствами. В подсистему ОК входят также модули цифрового ввода и вывода, необходимые, в частности, для увязки с системами маршрутно-релейной централизации соседних станций.

На уровне оперативного управления располагаются АРМ дежурного по станции и электромеханика, а также интерфейсы с вышестоящими системами. Отсюда на уровень централизации БМЦ-М поступают команды управления, в обратном направлении передаются сообщения о состоянии объектов.

Уровень централизации — ключевой компонент БМЦ-М, отвечающий за расчет логических зависимостей и безопасное управление движением поездов и маневровыми передвижениями. На этом уровне расположены модули централизации и блокировки (МЦБ), работающие по схеме 2oo2. Модули МЦБ принимают задания с уровня оперативного управления и после вычисления логических зависимостей выдают команды управления на исполнительный уровень. На уровне оперативного управления эти модули передают сообщения о состоянии МПЦ, используемые для визуализации информации на АРМ ДСЦП, АРМ ШН, транслируемые в систему ДЦ и регистрируемые в подсистеме хранения данных.

Подсистема АРМ БМЦ-М обеспечивает:

- задание и установку поездных и маневровых маршрутов, управление работой станции и перегонов в зоне действия МПЦ;
- контроль состояния устройств АТДП, включая компоненты системы централизации и напольные устройства;
- непрерывное протоколирование всех поездных и маневровых передвижений, параметров работы устройств и действий эксплуатационного пер-

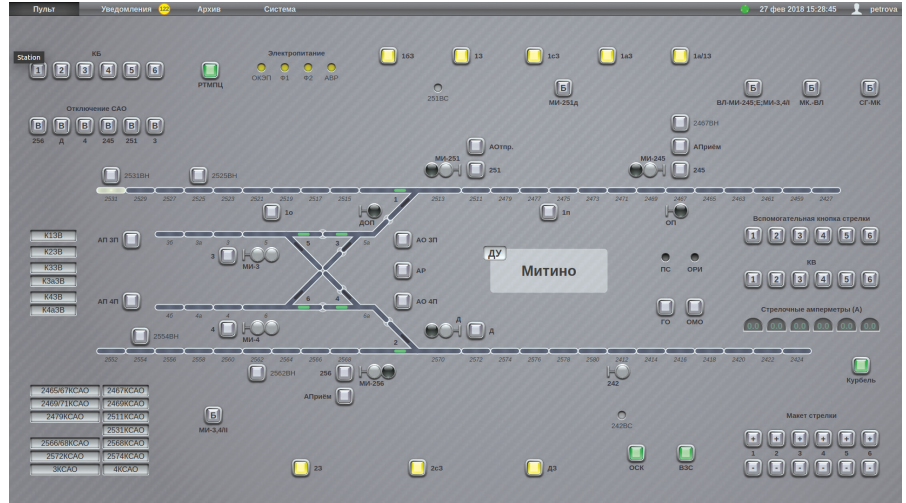


Рис. 6. АРМ ДСЦП

сонала с возможностью последующего просмотра.

В подсистеме АРМ реализованы рабочие места дежурного поста централизации (ДСЦП) и электромеханика СЦБ (ШН). Графические интерфейсы пользователя этих АРМ полностью соответствуют стандартам, принятым в Московском метрополитене: дежурный поста и оператор центра диспетчерского управления могут управлять микропроцессорной системой БМЦ-М так же, как обычной маршрутно-релейной централизацией (рис. 6). При вводе ответственных команд (например, искусственное размыкание маршрута) оператор должен подтверждать свои действия нажатием специальной кнопки. При помощи пользовательского интерфейса АРМ ШН дежурный электромеханик может получать детальную информацию о состоянии оборудования МПЦ и напольных устройств. В случае обнаружения предотказного состояния или отказа оборудования система БМЦ-М выдает оператору тревожное предупреждение.

Модуль МЦБ системы БМЦ-М реализует функции центрального процессора, отвечая за преобразование высокоуровневых команд, поступающих от АРМ ДСЦП или внешней системы диспетчерского управления, в низкоуровневые команды и их передачу объектным контроллерам для непосредственного управления напольными устройствами.

Модуль МЦБ построен на основе промышленных компьютеров повышенной надежности. Из них сформированы два комплекта (основной и резервный), каждый из них содержит два вычислительных канала, включенных по схеме 2oo2 (рис. 4, 5). Результаты об-

работки в этих каналах сравниваются на программном уровне, и только при их совпадении команды исполняются. Компьютеры МЦБ имеют пассивное охлаждение и пылезащищенное исполнение, т. е. исключается попадание внутрь корпуса металлосодежающей пыли, имеющейся в подземных помещениях метрополитенов. Особенности компьютеров МЦБ:

- командный интерфейс с подсистемой АРМ;
- расчет логических зависимостей централизации;
- выдача управляющих воздействий в электронные модули управления подсистемы объектных контроллеров;
- однонаправленный диагностический интерфейс с подсистемами хранения данных и АРМ;
- внутренние функции для обеспечения горячего резервирования оборудования подсистемы МЦБ.

ЭМУСП предназначен для управления стрелочным электроприводом, контроль положения которого осуществляется бесконтактными датчиками. Модуль непрерывно фиксирует электрические и временные параметры перевода стрелки, позволяя диагностировать предотказные состояния электропривода. Приведем основные функции ЭМУСП:

- получение команд и передача контролируемых параметров по двум независимым двухпроводным шинам CAN;
- измерение напряжения на каждой фазе электропривода;
- измерение тока по каждой фазе питания электропривода;
- измерение напряжения на выходе генератора для питания датчиков

плюсового (ПД) и минусового (МД) положения стрелки;

- измерение переменного напряжения, поступающего с датчиков ПД и МД стрелочного электропривода, и определение текущего положения стрелки;

- снятие напряжения со всех фаз двигателя после появления на входе ПД или МД

- получение значения переменного напряжения, соответствующего одному из крайних положений стрелки;

- защита от короткого замыкания выходных фаз.

В случае короткого замыкания модуль немедленно отключает преобразователь частоты и переходит в аварийный режим функционирования с соответствующей индикацией состояния.

ЭМУСС обеспечивает прием команд управления и передачу информации о состоянии светофора и маршрутного указателя. К основным функциям ЭМУСС относятся:

- независимая подстройка выходного напряжения на каждом из девяти каналов питания светодиодных излучателей для обеспечения стабильной работы светофора и маршрутного указателя при разных типах питающего кабеля той или иной длины;

- получение команд и передача контролируемых параметров по двум независимым двухпроводным шинам CAN;

- управление встроенными в светофор светодиодными излучателями ИСМПЛ;

- управление тремя каналами маршрутного указателя;

- измерение тока по каждой линии питания излучателя;

- обеспечение защиты от короткого замыкания и перегрузки по току по каждой линии питания ИСМПЛ и информирование об этих событиях;

- измерение выходного напряжения на каждой линии питания ИСМПЛ.

ЭМУРЦ замещает несколько традиционных корпусных приборов: генератор тональной рельсовой цепи (ТРЦ), приемник ТРЦ, генератор кодов автоматического регулирования скорости (АРС) основной частоты, генератор АРС предупредительной частоты (для питающего и релейного узлов). Преимущества ЭМУРЦ следующие:

- настройка конфигурации с персонального компьютера;

- наличие диагностических функций, визуализация происходящих процессов;

- возможность объединения рельсовых цепей при загрузке новой конфигурации с АРМ электромеханика без дополнительных переключений;

- 100 %-ное резервирование без использования дополнительных коммутационных устройств.

Модули цифровых вводов и модули цифровых выводов служат для сопряжения с релейными системами, специфичным наполненным оборудованием (например, с устройством контроля прохода в тоннель) и увязки с системами МРЦ соседних станций. Так, модуль цифрового вывода коммутирует выходы в соответствии с командами, получаемыми по шине CAN. Он способен управлять 16-ю выходами для подключения реле. Модуль цифрового ввода считывает логические сигналы с входов и передает эту информацию в модуль МЦБ. Один модуль может контролировать до 16-ти входов типа «сухой контакт».

БМЦ-М — современная микропроцессорная система управления движением поездов для метрополитенов. Ее внедрение в метрополитенах России и стран ближнего зарубежья способствует повышению пропускной способности линий до 40 пар поездов в час. В будущем планируется, что БМЦ-М станет основой для систем более высокого уровня, использующих радиоканал для регулирования движения [14]. Кроме того, ее использование в комплексе с современными системами управления и мониторинга объектов инфраструктуры метрополитенов, а также средствами моделирования и наблюдения за пассажиропотоками открывает пути к реализации концепции «цифровой метрополитен».

Литература

1. Баранов Л. А., Сидоренко В. Г. Автоматизация управления движением поездов // Наука и техника транспорта. 2003. № 1. С. 19–26.
2. Dipoppa G. D'Alessandro G., Semprini R., Tronci E. Integrating Automatic Verification Of Safety Requirements in Railway Interlocking System Design // Proceedings 6th IEEE International Symposium on High Assurance Systems Engineering. Special Topic: Impact of Networking, 22–24 October 2001, Boca Raton, FL, USA, pp. 209–219, doi: 10.1109/HASE.2001.966821.

3. Karvonen H., Aaltonen I., Wahlström M., Salo L., Savioja P. Norros L. Hidden Roles of the Train Driver: A Challenge for Metro Automation // Interacting with Computers. 2011. Vol. 23. Iss. 4. Pp. 289–298. DOI: 10.1016/j.intcom.2011.04.008.
4. Minea M., Gheorghiu R. A., Iordache V., Surugiu M. C., Dima M. A. Survey on ZigBee Communications Efficiency for Subway Additional Services // 41st International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP), 4–6 July 2018, Athens, Greece, pp. 1–5, doi: 10.1109/TSP.2018.8441391.
5. Никульчиков П. М. История, состояние и перспективы развития систем автоматического управления поездами метрополитена // Автомат. на трансп. 2016. Т. 2. № 3. С. 456–473.
6. Костроминов А. М., Стрекаловский Е. А., Тюляндин О. Н. Анализ и повышение точности RFID-навигации в условиях метрополитена // Транспорт Урала. 2018. № 4. С. 23–27.
7. Баранов Л. А., Максимов В. М. Повышение энергоэффективности управления движением метропоездов // Мир транспорта. 2016. Т. 14. № 4. С. 6–17.
8. Лаврик В. В. Электрическая централизация стрелок и сигналов метрополитенов. — М.: Транспорт, 1984. — 239 с.
9. Махмутов К. М. Устройства интервального регулирования движения поездов на метрополитене. — М.: Транспорт, 1986. — 351 с.
10. Баранов Л. А., Головичер Я. М., Ерофеев Е. В., Максимов В. М. Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / под ред. Л. А. Баранова. — М.: Транспорт, 1990. — 272 с.
11. Ефанов Д. В. Техническое диагностирование и мониторинг устройств автоматики в метрополитенах // Автомат. в промышл. 2014. № 3. С. 4–8.
12. Ефанов Д. В., Осадчий Г. В. Эволюция систем управления на железнодорожном транспорте // Транспорт РФ. 2018. № 3. С. 43–47.
13. Ефанов Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. — СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. — 171 с.
14. Nishida S., Ching G. S., Kishiki Y., Nakayama Y. Radio Propagation Measurement of Subway Tunnel for CBTC systems // International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), 24–28 October 2016, Okinawa, Japan, pp. 212–213.