

**М.Ф. Карамшук, В.В. Стаматин
С.С. Карпенко, В.В. Гаврилко**

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ НА ХАРЬКОВСКОМ МЕТРОПОЛИТЕНЕ

Сегодня в системах сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) метрополитенов остро стоят задачи перевода аппаратуры на новую элементную базу (бесконтактную) и внедрения нового принципа построения этих систем управления движением поездов, что позволит существенно снизить количество отказов в устройствах СЦБ, снизить стоимость данных устройств и трудозатраты на их обслуживание.

Специфика систем СЦБ не позволяет просто перейти на новые аппаратные средства, как это делается во многих других отраслях хозяйства, а требует детального и тщательного исследования существующей проблемы с целью дальнейшего поэтапного ее решения.

Специалистами Харьковского метрополитена, в течение последних 15 лет, в тесном сотрудничестве с научно-производственным потенциалом предприятий Харькова были разработаны и введены в эксплуатацию системы управления движением поездов (АСУ-МРЦ) в которых аппараты управления и контроля были заменены на ЭВМ и промежуточный микроконтроллерный пункт сопряжения, а релейная система продолжала выполнять свои прежние функции. АСУ-МРЦ, сыграв важную роль в развитии систем СЦБ метрополитенов, позволила успешно решить вопрос улучшения интерфейса и телеуправления.

В настоящее время существует необходимость продолжать развитие устройств СЦБ в направлении доработки и совершенствования новой высокотехнологичной системы МПЦ-М (микропроцессорной централизации метрополитенов) которая в 2010 – 2011 годах введена в эксплуатацию на станциях Алексеевская и Холодная гора КП "Харьковский метрополитен". По сравнению с АСУ-МРЦ система МПЦ-М позволяет расширить функции систем СЦБ метрополитенов: упростить вопросы наладки и реконструкции; исключить из эксплуатации часть аппаратуры, непосредственно не связанной с наполненным оборудованием тоннелей.

К системам СЦБ метрополитенов предъявляются жесткие требования по обеспечению безопасности. Микропроцессорная элементная база не относится к элементам первого класса надежности, поэтому имеется множество трудностей по доказательству безопасности, и без применения специальных технических решений нет возможности обеспечить требуемую безопасность.

При разработке системы МПЦ-М были поставлены следующие основные задачи:

1. В разрабатываемой микропроцессорной системе (МПЦ-М) все логические функции СЦБ, влияющие и не влияющие на безопасность системы, должны осуществляться аппаратными и программными средствами программируемых логических контроллеров (ПЛК) и промышленных компьютеров (ПромЭВМ).

2. Разрабатываемая МПЦ-М должна иметь как высокую безопасность, так и отказоустойчивость, чтобы нарушение в работе МПЦ-М не приводило к появлению опасного отказа и срыву сложного технологического процесса работы метрополитена (нарушение интенсивного графика движения поездов, остановка подвижного состава с пассажирами в тоннеле и большое скопление пассажиров на станциях метрополитена).

3. В МПЦ-М должны использоваться серийно выпускаемые технические средства с открытыми протоколами передачи данных.

МПЦ-М построена на высокотехнологичных, серийно выпускаемых технических средствах серии "Quantum" и "M340" фирмы "Schneider Electric" с открытыми протоколами передачи данных и представляет собой совокупность аппаратных и программных средств, которые обеспечивают управление движением поездов с обязательным обеспечением требований, предъявляемых к системам управления в метрополитене, а также самодиагностирование.

Технические средства с программной логикой обеспечивают выполнение логики централизации с проверкой условий безопасности в соответствии с требованиями,

предъявляемыми к системам управления движением в метрополитене, а также самодиагностирование. В состав комплексных технических средств МПЦ-М входят:

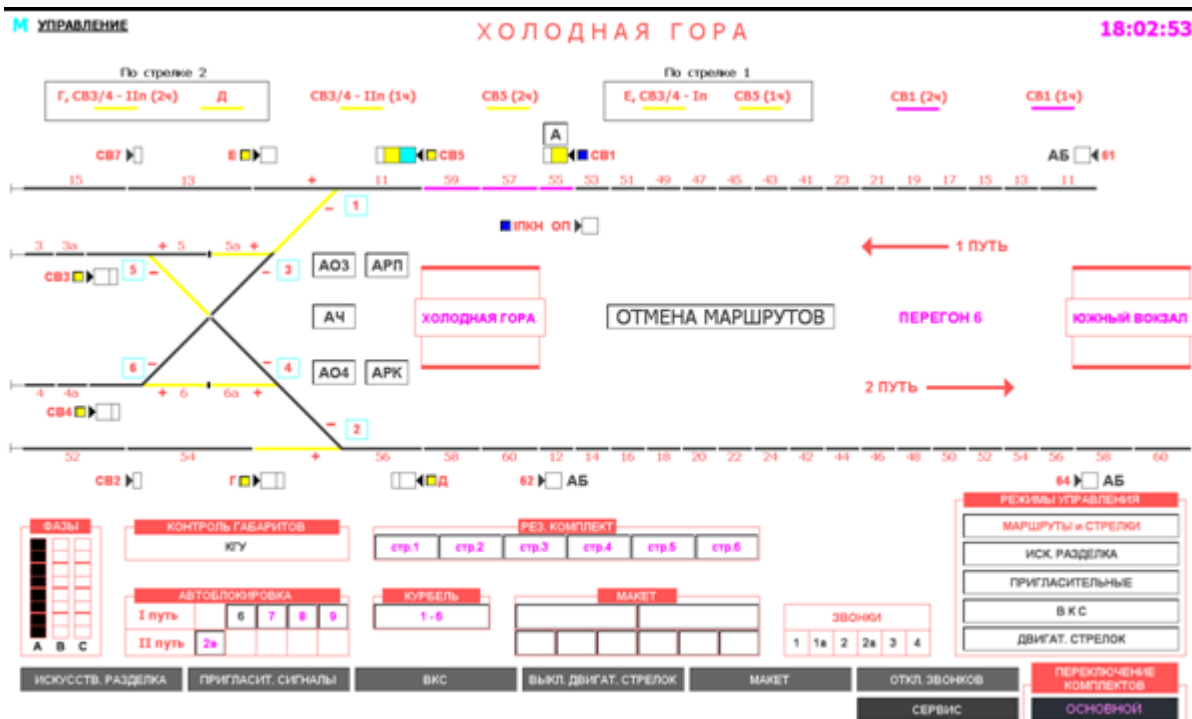
- автоматизированное место дежурного станционного поста централизации (АРМ ДСЦП) включающее в себя два комплекта обработки и отображения информации на базе ПромЭВМ;
- автоматизированное место дежурного обслуживающего персонала (АРМ ШН) в составе одного комплекта обработки и отображения информации на базе ПромЭВМ;
- двухканальную систему технических средств МПЦ-М, в составе двух комплектов ПЛК (основной и резервный) на каждый канал с двумя аппаратными каналами сбора и обработки информации;
- объектные контроллеры управления генераторами АЛС-АРС (ОКГ), а так же стрелками и светофорами (ОКСС) связанные с ПЛК информационными каналами передачи данных.
- программное обеспечение среднего (ПЛК, ОКГ, ОКСС) и верхнего (АРМ) уровней управления.

Так же непосредственно к системе МПЦ-М подключено рабочее место поездного диспетчера на базе ПЭВМ.

Различные комплексы технических средств образуют в целом три уровня управления и контроля:

- **верхний уровень** - подсистема диалога МПЦ-М с дежурным станционного поста централизации (ДСЦП) и обслуживающим персоналом (ШН);
- **средний уровень** - подсистема логики централизации;
- **нижний уровень** - подсистема управления исполнительными устройствами и контроля состояния устройств централизации и АРС.

Подсистема диалога МПЦ-М с ДСЦП и ШН включает в себя автоматизированное рабочее место (АРМ) с ПЭВМ ДСЦП, которое осуществляет фиксацию и обработку управляющих команд с проверкой на допустимость их реализации.



Видеокадр автоматизированного рабочего места ДСЦП станции «Холодная гора» КП «Харьковский метрополитен»

Также в эту подсистему входит АРМ с ПЭВМ ШН, которое выполняет функцию по

фиксации, обработке и отображению информации о состоянии устройств централизации, АРС и МПЦ-М.

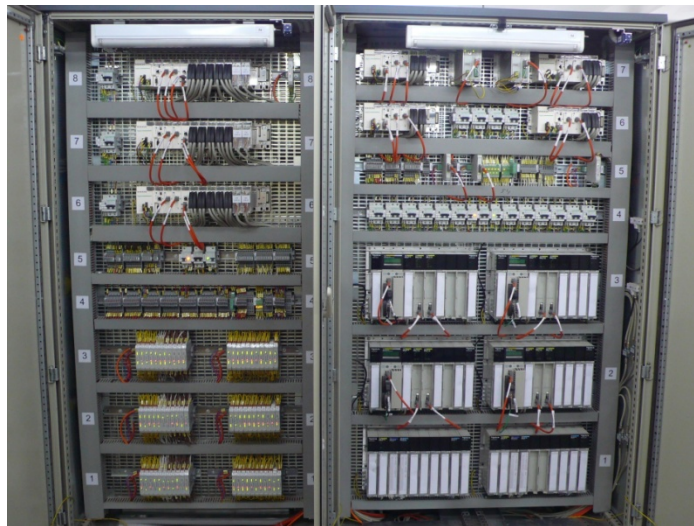


*Автоматизированное рабочее место
электромеханика СЦБ станции
«Алексеевская»
КП «Харьковский метрополитен»*

В тех случаях, когда команда не может быть реализована, сохраняется также информация о причинах, помешавшим выполнению этой команды. В этой подсистеме фиксируется и отображается изменение состояния напольного оборудования и технических средств МПЦ-М и время, когда происходит изменение. Вся информация, которая поступает в подсистему, хранится длительное время.

Подсистема логики централизации выполняет управление стрелками и сигналами, а также проверку логических взаимозависимостей между ними. В подсистему с датчиков вводится информация о состоянии устройств централизации. После обработки эта информация

вместе с информацией о работе технических средств подсистемы логики централизации передается в подсистему диалога МПЦ-М с ДСЦП и ШН. Все функции по управлению, контролю и обеспечению безопасности возложены на технические средства подсистемы логики централизации.



Размещение оборудования в электротехнических шкафах

Подсистема управления исполнительными устройствами включает: схемы коммутации, схемы управления напольными устройствами, сами исполнительные устройства, датчики состояния устройств централизации, и непосредственно генераторы управляющих сигналов АРС. Схемы управления напольным оборудованием обеспечивают непосредственное воздействие на исполнительные устройства с соблюдением основных требований по выполнению условий безопасности.

Разработанная система централизации позволяет функционировать в двух режимах:

а) **местный режим управления МПЦ-М** - в этом режиме управление устройствами МПЦ-М осуществляется с одной из ПЭВМ ДСЦП;

б) **диспетчерский режим управления МПЦ-М** - в этом режиме управление устройствами МПЦ-М осуществляется с ПЭВМ поездного диспетчера посредством устройств модемной связи.

Переход из одного режима в другой осуществляется ДСЦП с помощью ключа-жезла на рабочем месте ДСЦП.

При разработке системы учтено, что МПЦ-М может взаимодействовать с другими системами, использующими для

контроля и управления цифровые интерфейсы передачи данных, которые поддерживают различные стандартные

протоколы обмена данными. Также система МПЦ-М может быть интегрирована в автоматизированные и информационно-управляющие системы верхнего уровня, поддерживая при этом принятый внутри системы протокол

обмена данными. В качестве транспортного протокола в МПЦ-М используются протоколы "Modbus" на основе TCP/IP и Ethernet.

Для обеспечения высокой отказоустойчивости в МПЦ-М применены следующие технические решения:

- резервирование технических средств с программной логикой, которые обеспечивают: выполнение функций МПЦ-М; передачу данных между микропроцессорными устройствами и электропитание;

- резервные технические средства, работающие в горячем ненагруженном режиме и автоматически подключающиеся при отказе основных технических средств;

- во время работы резервных технических средств основные должны быть восстановлены и автоматически подключены после установки их техническим персоналом;

- использование высоконадежного оборудования, которое можно менять в "горячем" режиме;

- применение стандартных протоколов передачи данных;

- обмен информацией между всеми микропроцессорными устройствами выполняется по высокоскоростным каналам передачи данных;

- осуществление контроля и управления периферийными объектами (стрелками, светофорами) по принципу "два из трёх".

Безопасность системы обеспечивается:

- использованием двухканальной схемы для технических средств с программной логикой среднего уровня МПЦ-М;

- использованием двухполюсного включения силовых коммутирующих элементов двухканальными микропроцессорными устройствами, которые, в данном случае, является решающим устройством, сравнивающим результаты работы двух независимых каналов;

- непрерывным перекрестным контролем исправности входов и выходов модулей ввода/вывода информации;

- проверкой условий безопасности на программном уровне в соответствии с существующими типовыми решениями и требованиями, предъявляемым к системам управления движением в метрополитене;

- исключением на программном уровне ошибочных действий ДСЦП при вводе команд в МПЦ-М;

- путем организации безопасного интерфейса взаимодействия МПЦ-М с оператором при вводе в систему ответственных команд управления.

Структура схема МПЦ-М представлена на рис.1. и состоит из: двух компьютеров промышленного типа (основная и резервная ПромЭВМ), которые выполняют функции АРМ ДСЦП; одной ПромЭВМ - АРМ ШН; двух сетей обмена данными между АРМами и ПЛК (сетевых каналов типа "Ethernet"), дополнительных сетей обмена данными между ПЛК (сетевых каналов типа "ModbusPlus"), двух независимых вычислительных каналов "А" и "В", включающих: по два логически-программируемых контроллера (основной и резервный ПЛК), *n*-ое количество модулей удаленного ввода/вывода, по две сети обмена данными (основная и резервная) между ПЛК и удаленными модулями ввода/вывода типа "RIO" и по каналу передачи данных между основным и резервным ПЛК одного канала типа "Hot Standby".

Информация о команде управления, после предварительной обработки в ПромЭВМ АРМ ДСЦП, передается одновременно на основной и резервный ПЛК каждого вычислительного канала по независимым групповым каналам передачи данных "Ethernet". Приоритет по выдаче управляющих команд имеет основная ПромЭВМ АРМ ДСЦП. В случае ее отказа, команды выдаются резервной ПромЭВМ АРМ ДСЦП.

По каналу "Ethernet" информация о командах управления также поступает в ПромЭВМ АРМ ШН для протоколирования действий оперативных работников и работы каналов передачи данных сетей.

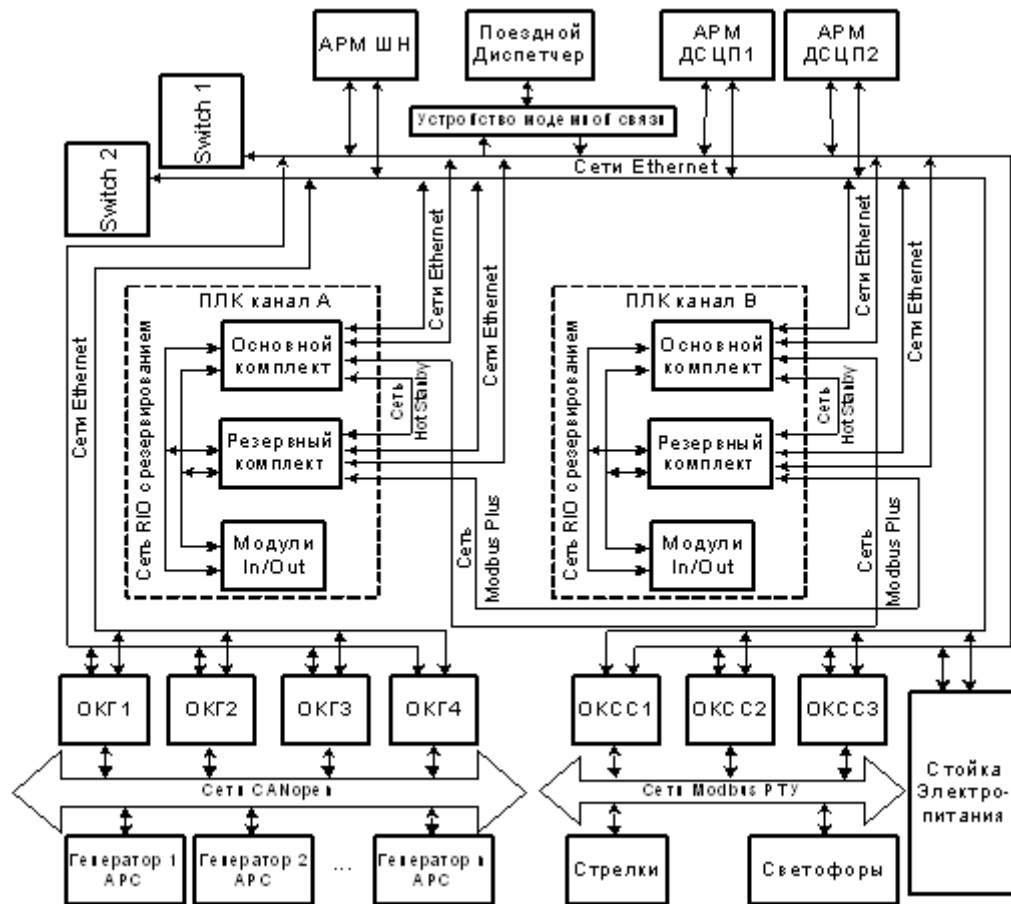


Рис. 1. Структурная схема МПЦ-М

После обработки управляющих команд в основном и резервном ПЛК каждого из вычислительных каналов осуществляется управление исполнительными устройствами с помощью удаленных модулей ввода/вывода, а так же выдача команд управления и исполнительной информации на ОКГ и ОКСС. Информация и управляющие воздействия поступают с основного ПЛК при условии, что он исправен. В противном случае, удаленные модули ввода/вывода и объектные контроллеры работают с резервным ПЛК. Удаленные модули ввода/вывода для каждого вычислительного канала управляются одновременно по двум отдельным независимым групповым каналам передачи данных сети "RIO". Приоритетным каналом является основной. Когда он откажет или удаленный модуль ввода/вывода примет ошибочную информацию, тогда будет задействован резервный канал. Объектные контроллеры обмениваются данными с ПЛК по каналу "Ethernet". Каждый из ОКГ либо ОКСС соединён с ПЛК двумя независимыми каналами "Ethernet"- основным и резервным. Принцип восприятия информации объектными контроллерами аналогичен удалённым каналам ввода/вывода.

Удаленные модули ввода/вывода по индивидуальным каналам связи передают управляющие воздействия на схемы управления напольным оборудованием. Аналогично ОКСС осуществляет коммутацию управляющих цепей своих объектов.

Информация от датчиков, контролирующих состояние стрелок, сигналов, рельсовых цепей и прочих объектов СЦБ, поступает одновременно в оба канала ПЛК системы МПЦ-М, либо непосредственно через модули удалённого ввода, либо через сеть связи с ОКГ и ОКСС. Далее, в ПЛК каждого канала осуществляется её обработка и сравнение между собой. При условии совпадения информации о состоянии объектов, данные реализуются в исполнительной программе и через информационную сеть системы передаются на основную и резервную ПромЭВМ АРМ ДСЦП, на АРМ ШН, а также с помощью устройства модемной связи - на АРМ поездного диспетчера. В ОКГ и ОКСС также осуществляется обработка поступающей информации, но сравнение между каналами не производится, а результат выдаётся на

исполнительный элемент, который, в данном случае, сам определяет его достоверность по мажоритарному принципу. Одновременно с этим, данный результат от каждого ОКГ и ОКСС поступает в ПЛК, который сравнивает их, определяя степень достоверности по тому же мажоритарному принципу. Такой способ реализации позволяет значительно уменьшить время от восприятия контрольной информации до выдачи управляющего воздействия и применяется в схемах, где время реакции системы является критически важным элементом (выдача частот АРС, управление огнями светофоров и т.п.).

Обмен данными между ПЛК вычислительных каналов по средствам сетей "Ethernet" и "ModbusPlus" позволяет обеспечить непрерывный перекрестный контроль исправности входов и выходов удаленных модулей ввода/вывода информации.

Между основным и резервным ПЛК каждого вычислительного канала имеется "горячая" связь, которая использует канал передачи данных "Hot Standby". С помощью этой связи осуществляется обмен информацией об исправности технических средств ПЛК. На основании этой информации, принимается решение: какой ПЛК, основной или резервный ПЛК будет участвовать в передаче команд управления.

Ввод команд управления в МПЦ-М осуществляется при помощи манипулятора типа «мышь» ПромЭВМ АРМ ДСЦП. Введенная в ПромЭВМ АРМ ДСЦП команда управления проверяется на правильность действий ДСЦП. Если команду можно реализовать, тогда она передается в ПЛК вычислительных каналов для реализации. В противном случае, введенная команда в ПЛК не передается, а в АРМ ДСЦП фиксируется время получения команды, ее тип и причина, по которой она не была выполнена.

ПЛК вычислительных каналов обрабатывают поступившую от ПромЭВМ АРМ ДСЦП команду. В случае выполнения необходимых логических условий формируются необходимые сигналы управления. Иначе передается информация в ПромЭВМ АРМ ДСЦП и ПромЭВМ АРМ ШН о причине, по которой команда не была выполнена ПЛК.

В МПЦ-М осуществляется непрерывный контроль состояния объектов, включая состояние устройств электропитания и работоспособность технических средств обработки и передачи данных. Получение информации о состоянии устройств централизации осуществляется с помощью датчиков дискретной или аналоговой информации, которые опрашиваются непрерывно через заданный промежуток времени.

Для получения информации о работоспособности технических средств выполняется:

- непрерывная внутренняя самодиагностика аппаратных средств вычислительных каналов;
- сравнение всей информации, полученной из разных каналов передачи данных, на верхнем и среднем уровне МПЦ-М;
- проверка на программном уровне в ПЛК наличия на входах и выходах удаленных модулей ввода/вывода и

модулей ввода/вывода ОКСС импульсного сигнала с заданными временными параметрами.

Информация о состоянии напольных устройств и о наличии отказов технических средств МПЦ-М передается в ПромЭВМ АРМ ДСЦП. Вся полученная информация воспроизводится на схематическом плане станции. На плане определенным цветом (в соответствии с инструкциями) отображается текущее состояние объектов управления и контроля, а также в виде дополнительных индикаторов исправное состояние технических средств МПЦ-М. Подробная информация о состоянии устройств централизации и технических средств записывается в ПромЭВМ АРМ ШН с указанием времени изменения их состояния.

Информация о работоспособности технических средств используются ПромЭВМ, ПЛК, ОКГ и ОКСС для принятия решения об использовании основных или резервных элементов системы МПЦ-М, а также о выдаче или снятии управляющих воздействий на схемы управления напольным оборудованием.

Проведенное в октябре 2011 года, на базе Коммунального предприятия «Харьковский метрополитен», совещание руководителей и специалистов Служб сигнализации и связи метрополитенов стран СНГ подтвердило жизненную необходимость внедрения микропроцессорных систем в решении задач обеспечения гарантированной безопасности пассажирских перевозок. Выбранное направление технического развития систем автоматизации движения поездов Харьковского метрополитена на практике подтверждает его правильность и эффективность. Система признана достойной для внедрения во всех метрополитенах СНГ.