

УДК 681.18.656.25

А.В. ФЕДУХИН, В.В. ФЕДОРОВСКИЙ, А.И. СУХОМЛИН, А.М. ШАЛЕЙКО

СИСТЕМЫ РАДИОУПРАВЛЕНИЯ СТРЕЛКАМИ И СИГНАЛАМИ НА ПРОМЫШЛЕННОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Анотація. Наведено аналіз існуючих систем радіоуправління транспортними об'єктами, представлено опис нової гарантоздатної цифрової системи радіоуправління і контролю стрілками та сигналами на промисловому залізничному транспорті.

Ключові слова: радіоуправління, стрілочний електропривод, маршрут руху.

Аннотация. Проведен анализ существующих систем радиоуправления транспортными объектами, дано описание новой гарантоспособной цифровой системы радиоуправления и контроля стрелками и сигналами на промышленном железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: радиоуправление, стрелочный электропривод, маршрут движения.

Abstract. The analysis of existing systems of transport facilities radio control was given; a description of a new dependable digital radio control system and the switches and signals control on the industrial railway service were introduced.

Keywords: radio control, electric switch mechanism, traffic route.

1. Введение

Промышленный железнодорожный транспорт имеет ряд специфических особенностей, отличающих его от магистрального железнодорожного транспорта, а именно: большая интенсивность движения, короткие расстояния перевозок, отсутствие пассажирского движения, пониженные требования к безопасности движения, малые радиусы кривых рельсовых путей, сильная загрязненность рельсовых путей, значительная стесненность и разнообразность топологии путевого развития и т.п.

Крупные промышленные предприятия часто располагают разветвленной сетью железнодорожного путевого развития, которая нередко имеет протяженность в несколько сотен километров, исключающей возможность визуального наблюдения, контроля и управления ее объектами посредством единого диспетчера.

Внутризаводской транспорт, осуществляя перевозку грузов к инфраструктурным единицам (цехам, складам, отвалам сырья и отходам производства), органически связан с основным производственным циклом предприятия. На подъездных путях имеется большое количество стрелочных переводов, которые рассредоточены по всей территории предприятия и удалены на значительные расстояния от ближайшей товарной станции, обслуживающей данное предприятие.

В этих условиях работа машиниста маневрового тепловоза и его помощника – составителя отцепов является очень напряженной и часто затрудняется ограниченной видимостью путей, что имеет место при движении вагонами вперед. Поэтому автоматизация промышленного железнодорожного транспорта имеет важную роль в повышении эффективности работы предприятия и обеспечении безопасности труда бригад составителей.

Эти и другие особенности промышленного железнодорожного транспорта требовали создания принципиально новых систем автоматизации перевозок. В 70-е годы прошлого столетия в Киевском институте автоматики под руководством В.В. Федоровского был разработан ряд телемеханических систем [1, 2], учитывающих перечисленные выше тре-

бования. Эти системы основывались на использовании беспроводного канала (радиоканала) для передачи информации для телеуправления и телесигнализации о транспортных объектах (стрелках и сигналах), что давало существенные преимущества перед системами, используемыми на магистральном железнодорожном транспорте. Рассмотрим более подробно эти системы.

2. Системы радиоуправления транспортными объектами

Требования к управлению стрелками на промышленном железнодорожном транспорте не однородны по многим технологическим причинам. Некоторые стрелочные переводы располагаются кустами по 5–10 шт. в зонах постоянного производства маневровых работ с приписанными к ним локомотивами и с удовлетворительной видимостью сигналов в пределах зоны, другие – в маневровых зонах с плохой видимостью или наличием кривых рельсового пути малого радиуса. Большая часть стрелочных переводов (до 40%) располагается на веее путевого развития в произвольном порядке, и по ним обращаются локомотивосоставы, работающие по свободному циклу. Каждый локомотив может работать в любой зоне предприятия.

Приведенные выше технологические особенности предопределили подход к созданию новых технических средств управления стрелками и сигналами, который сводится к следующему:

- максимально приблизить пункт управления к объектам управления;
- в качестве пункта управления использовать локомотив;
- в качестве канала связи принять радиоканал;
- иметь выход для связи с другими устройствами и системами автоматизации (системами автоматической переездной сигнализации, системами электрической централизации стрелок и сигналов на станциях, системами диспетчерского контроля и т.д.).

Исходя из перечисленных требований, был разработан ряд систем радиоуправления стрелками и сигналами на промышленном железнодорожном транспорте [1, 2].

Система РУСП-1М

Система предназначена для управления из кабины локомотива стрелочными переводами до 5 шт., расположенными в маневровых районах промышленного железнодорожного транспорта. В качестве канала связи между локомотивом и исполнительными объектами (стрелками) используется канал радиосвязи с применением импульсно-частотного кода.

Система увязывается с типовыми электроприводами, а также с электрическими рельсовыми цепями, устраиваемыми на коротких изолированных стрелочных участках. У каждой стрелки устанавливается двухсторонний двузначный светофорный указатель.

Нормально по обеим сторонам указателя горят ровным светом белые (плюсовое положение стрелки, движение по прямому направлению) или желтые (минусовое положение стрелки, движение по ответвлению) огни. Непрерывно горящие огни запрещают движение по стрелке, а после ее электрического замыкания белые или желтые огни начинают мигать, что соответствует разрешению для движения по стрелке.

Электрическое размыкание стрелки происходит автоматически после проследования подвижной единицей изолированного стрелочного участка. Приемно-исполнительное устройство размещается в напольном шкафу специальной конструкции, на котором установлены антенна и щиток резервного управления стрелками. Исполнительные блоки управления стрелочными электроприводами (до 5 комплектов) располагаются в типовых шкафах железнодорожной автоматики.

Система предусматривает поочередное управление стрелками и стрелочными указателями, входящими в маршрут движения локомотивосостава. Исключение одновременной передачи распорядительных приказов с нескольких локомотивов достигается путем

блокировки с помощью схемы контроля занятости канала их передающих устройств локомотивом, первым, вышедшим в эфир для передачи управляющей команды на одну из стрелок.

Для связи локомотива с исполнительными устройствами используются передатчики и приемники собственной разработки с радиусом действия от 600 м до 5 км.

Система РУСП-10

Система аналогична предыдущей системе, но с увеличенными функциональными возможностями управления до 10 стрелок. В отличие от системы РУСП-1М для предотвращения перевода стрелок под составом и для автоматического их размыкания вместо коротких рельсовых цепей применяются датчики занятости пути.

Система РУТО-100

Система аналогична предыдущей системе, но с увеличенными функциональными возможностями управления до 100 стрелок. Система рассчитана на использование локомотивов со свободным циклом работы. Система предназначена для дистанционного управления транспортными объектами – стрелками, сигналами, автошлагбаумами переездов и т.п.

Каждое напольное приемно-исполнительное устройство может управлять до 10 четырехпозиционными транспортными объектами, образуя совместно с ними отдельные «кусты», общее количество которых в пределах одного предприятия не должно превышать 10. Размещается данное устройство на схеме путевого развития, как правило, в центре «куста».

Таким образом, с каждого подвижного пункта управления (локомотива) может передаваться до 400 команд. Для увеличения количества команд применяется частотно-комбинационный метод кодирования, при котором код состоит из двух частей: контрольной и информационной. Контрольная часть кода представляет собой постоянную фиксированную частоту, которая является общей для всех команд и служит для осуществления контроля занятости радиоканала, а также подготовки приемно-исполнительных устройств для восприятия информационной части кода. Информационная часть кода состоит из двух составляющих. Первая половина предназначена для выбора одной из 10 групп стрелок, другая – для выбора стрелки и ее позиции (положения) и направления движения.

Контроль о выполнении команды на перевод стрелки машинист локомотива получает визуально по огням двухстороннего стрелочного светофорного указателя. В отличие от систем РУСП здесь стрелочный светофорный указатель имеет подсветку и в ночное время номер стрелки освещается. Кроме того, схема включения позволяет зажигать разрешающие огни в выбранном направлении движения и одновременно гасить их для встречного движения.

Напольная аппаратура системы увязывается с датчиками занятости пути, которые служат для предотвращения перевода стрелок под составом и их автоматического размыкания.

Система БУК-10С

Система предназначается для дистанционного управления и контроля 10 стрелками с движущегося локомотива в условиях, когда хорошая видимость напольных стрелочных сигналов отсутствует. Система позволяет осуществлять также управление и контроль из помещения стационарного стрелочного поста. Алгоритм работы системы ориентирован на использование в качестве каналов управления и контроля двух самостоятельных каналов радиосвязи. В связи с тем, что на передвижном пункте управления необходимо параллельно принимать сигналы контроля состояния стрелок и контроля занятости радиоканала передачи управляющих команд, локомотив оборудуется двумя антеннами.

Напольное устройство наделено функцией передачи данных, причем известительная информация передается в эфир только при изменении состояния хотя бы одного управляемого объекта – стрелки и содержит данные о ее положении после перевода и

электрического замыкания и данные о полном освобождении локомотивосоставом стрелочного изолированного участка при использовании маршрута. Воспроизведение информации о результатах выполненной команды управления производится автоматически зажиганием зеленой полосы на мнемосхеме пульта-табло, установленного в кабине машиниста.

Как и в предыдущей системе, для повышения ее живучести предусмотрены также светофорные стрелочные указатели и щитки резервного управления стрелками. Для предотвращения перевода стрелок под составом и их размыкания используются датчики занятости пути.

В свое время данные системы представляли собой научно-технический прорыв в направлении автоматизации промышленного железнодорожного транспорта. К сожалению, в настоящее время данные системы не проектируются, а оставшиеся в эксплуатации экземпляры на ряде предприятий Украины и России постепенно приходят в негодность по причине отсутствия запасных частей для их ремонта.

Системы прекрасно зарекомендовали себя в эксплуатации, хотя в качестве их общих недостатков можно отметить следующие:

- устаревшая элементная база и отсутствие возможности тиражирования систем в настоящее время;
- низкая помехозащищенность аналоговых каналов передачи данных;
- низкое быстродействие по передаче управляющих команд и известительных сообщений;
- снижение производительности работы локомотивов, связанное с блокировкой управления стрелками на период занятости канала связи (при одновременной работе нескольких локомотивов в одном районе), и отсутствие контроля выполненной команды;
- отсутствие возможности выхода на другие устройства и системы автоматики, полной или частичной их замены;
- большие габариты устройств, размещаемых в кабине машиниста;
- отсутствие специальных интегрированных методов и средств обеспечения высокой безотказности, достоверности, безопасности и отказоустойчивости (гарантоспособности) схемных решений.

Рассмотрим один из современных подходов к инжинирингу системы радиуправления транспортными объектами с учетом требований по гарантоспособности, а именно: требований к безотказности, отказоустойчивости, многоверсийности проектирования, прогнозированию технического состояния, безопасности и живучести [3].

3. Цифровая гарантоспособная система радиуправления и контроля стрелками и сигналами (ЦГС РУКСС)

Сформулируем основные технические требования, предъявляемые к вновь разрабатываемым системам такого класса:

- система должна осуществлять надежное и устойчивое управление и контроль стрелочными переводами с движущегося локомотива как при движении состава перед ним, так и вагонами вперед;
- система должна разделяться на командно-передающую подсистему (КПП), устанавливаемую на локомотиве, и приемно-исполнительную подсистему (ПИП), располагаемую в напольных шкафах в непосредственной близости от управляемых стрелочных переводов;
- для обеспечения высокого уровня восстанавливаемости, ремонтпригодности и готовности в основу системы должен быть положен блочный принцип построения;
- связь между КПП и ПИП должна осуществляться по дуплексному цифровому радиоканалу передачи данных с интерфейсом RS 232;

– для обеспечения передачи информации каждому состоянию объекта управления присваивается индивидуальное кодовое сообщение;

– продолжительность передачи одной команды телеуправления (без учета времени фактического срабатывания объекта управления, например, перевода стрелки) не более 3 с;

– при отказе элементов и составных частей КПП и ПИП система должна продолжать исправно работать и сигнализировать о неисправности или переходить в состояние защитного отказа;

– система должна обеспечивать исключение одновременной подачи управляющей команды телеуправления на один объект с нескольких локомотивов;

– электрическое замыкание управляемой стрелки должно наступать после окончательного ее перевода с проверкой соответствия посылаемой и выполняемой команд;

– осуществление визуального контроля положения стрелки и ее электрического замыкания в элементарном маршруте должно осуществляться с помощью специального двухстороннего стрелочного светофорного указателя, устанавливаемого возле каждой стрелки;

– с целью обеспечения живучести системы должна быть предусмотрена возможность местного (резервного) электрического и механического управления стрелками, а также их искусственное размыкание;

– система должна обеспечивать управление типовыми стрелочными электроприводами и стыковаться с датчиками контроля свободности стрелочного перевода от подвижного состава;

– выбор типа датчика свободности стрелочного перевода от подвижного состава осуществляется с учетом особенностей путевого хозяйства (рельсовые цепи, пассивные и активные точечные датчики);

– электрическое размыкание стрелки должно наступать только после полного освобождения локомотивосоставом стрелочного перевода;

– при неполном переводе вследствие попадания постороннего предмета между острием пера и рамным рельсом стрелка должна автоматически вернуться в исходное положение;

– электронная часть ПИП должна размещаться в специальном шкафу, а стрелочные исполнительные блоки (СИБ) (при кустовом расположении стрелок) располагаются в типовых напольных шкафах, предназначенных для размещения аппаратуры железнодорожной автоматики;

– для двухсекционных локомотивов вторая кабина должна также оборудоваться пультом-табло со всеми функциями по управлению и контролю;

– электронная часть системы должна обеспечивать устойчивую работу в диапазоне температур от -30°C до $+50^{\circ}\text{C}$;

– вся аппаратура КПП и ПИП должна проектироваться во влагоустойчивом и виброустойчивом исполнении.

К схемам СИБ предъявляются следующие основные технические требования:

– обеспечение надежного перевода стрелки в «плюсовое» или «минусовое» положение;

– электрическое замыкание стрелки после окончательного ее перевода с проверкой соответствия полученной и выполненной команде;

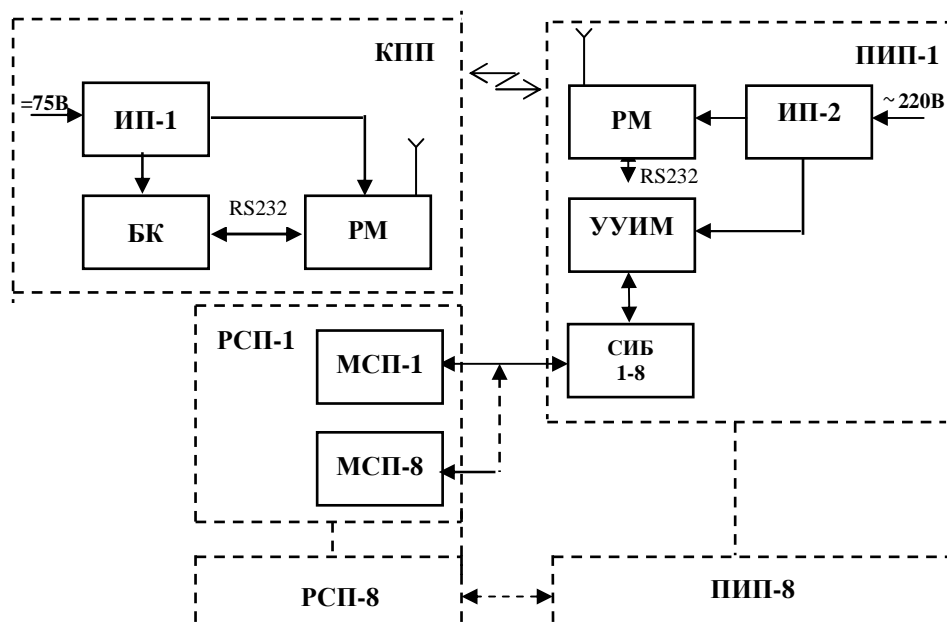
– автоматическое размыкание стрелки после проследования локомотивосоставом путевого датчика;

– автоматический возврат стрелки с любого промежуточного положения при неполном ее переводе;

- увязка с исполнительными блоками смежных стрелок или с существующими устройствами железнодорожной автоматики;
- контроль положения стрелки и ее состояния (замкнута или разомкнута) на лицевой панели блока;
- увязка с путевыми датчиками контроля свободности стрелочного перевода от подвижного состава;
- регистрация происходящих изменений в положении контактов автопереключателя стрелочного электропривода;
- управление сигнальными огнями двузначного двухстороннего стрелочного светового указателя;
- обеспечение возможности повторного перевода стрелки с локомотива, если она не довелась при первой попытке и автоматически вернулась в исходное положение;
- обеспечение возможности опробования механиком работы мотора привода на фрикцию под закладку посредством специального коммутатора.

Представляемая к рассмотрению новая современная система ЦГС РУКСС лишена перечисленных выше недостатков ее предшественников и полностью удовлетворяет сформулированным техническим требованиям. Система рассчитана на использование локомотивов со свободным циклом работы.

Структурная схема системы ЦГС РУКСС приведена на рис. 1.



- КПП – командно-передающая подсистема;
- ПИП – приемно-исполнительная подсистема;
- ИП-1, ИП-2 – источники питания;
- БК – бортовой компьютер;
- РМ – радиомодем;
- УУИМ – устройство управления исполнительными механизмами;
- СИБ 1,...,СИБ 8 – стрелочные исполнительные блоки;
- РСП-1,..., РСП-8 – районы стрелочных переводов с 1 по 8;
- МСП-1,..., МСП-8 – механизмы СП.

Рис. 1. Структурная схема системы ЦГС РУКСС

Система ЦГС РУКСС состоит из двух подсистем КПП и ПИП. В подсистему КПП входят следующие блоки:

- ИП-1 – источник питания DC/DC, который преобразует постоянное входное напряжение 75В в постоянное напряжение 12В для питания БК и блока РМ.

- БК – бортовой планшетный компьютер с сенсорным экраном.
- РМ – радиомодем.

Радиомодем РМ предназначен для передачи и приема цифровой информации при функционировании в составе средств телеметрии. Модем работает в диапазоне частот 433,92 МГц и имеет выходную мощность до 10 мВт. Скорость передачи в эфире составляет от 4800 до 19200 бод.

Подсистема ПИП предназначена для управления стрелками в заданном районе. Максимальное количество стрелок в заданном районе – 8, максимальное количество районов – 8, требуемое количество подсистем ПИП-8.

Подсистема ПИП состоит из:

- ИП-2 – источника питания АС/DC, который преобразует переменное однофазное напряжение 220В в постоянные 12В для питания РМ и 5В для питания блока УУИМ;
- УУИМ – устройства управления исполнительными механизмами;
- СИБ 1-8, обеспечивающих выработку сигналов управления механизмами стрелочных переводов (МСП) в выбранном районе стрелочных переводов (РСП).

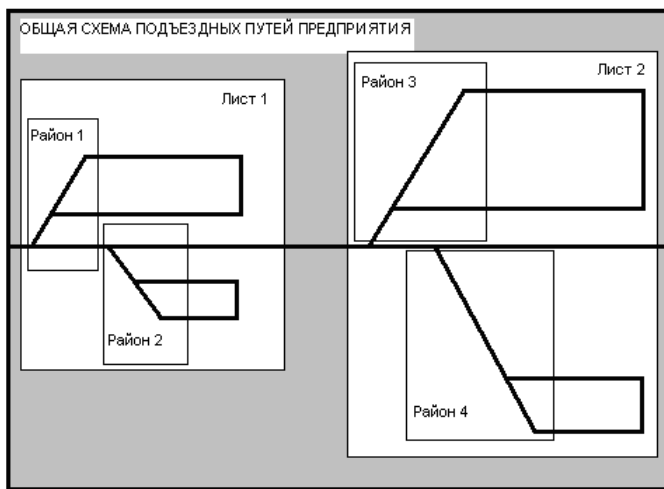


Рис. 2. Общая схема подъездных путей предприятия

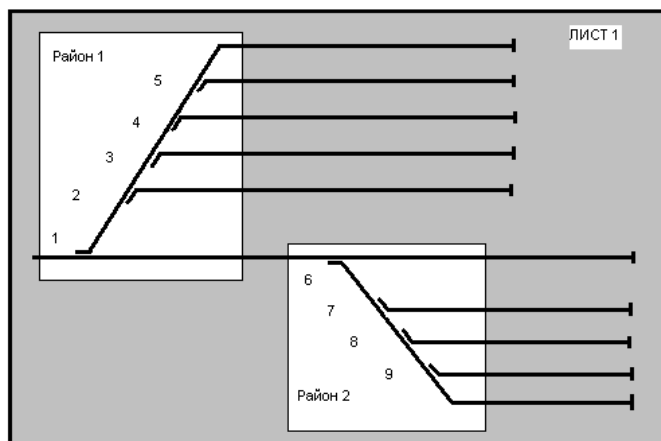


Рис. 3. Детализация Листа 1 схемы подъездных путей предприятия

на которой изображены стрелки с номерами 1 – 9 и обозначены стрелочные районы 1 и 2.

Для управления стрелками необходимо выбрать Район и раскрыть его детализацию. На рис. 4 в качестве примера приведена экранная форма Района 2.

На этой экранной форме изображены стрелочные переводы с их номерами 6–9 и положениями стрелок («+» и «->»), а также подъездные пути П с номерами 1–5.

УУИМ состоит из блока микроконтроллера (БК), распределительного блока (РБ), который выбирает соответствующий блок СИБ, блока сопряжения сигналов (БСС), который выполняет функцию согласования по уровням входных и выходных сигналов и гальваническую развязку РБ со схемами СИБ, расположенными в напольных шкафах.

При включении электропитания системы осуществляется загрузка операционной системы БК и его тестирование. После этого на цветном экране БК появляется главная страница графической поддержки системы – Общая схема подъездных путей предприятия, пример экранной формы которой приведен на рис. 2.

Схема разбита на Листы, на каждом Листе схематично изображены стрелочные Районы и подъездные пути к инфраструктурным подразделениям предприятия. Все надписи на схеме сенсорно активные и легким прикосновением пальца человека можно развернуть на экране любую детализацию схемы. Например, на рис. 3 приведена экранная форма Листа 1,

на которой изображены стрелки с номерами 1 – 9 и обозначены стрелочные районы 1 и 2.

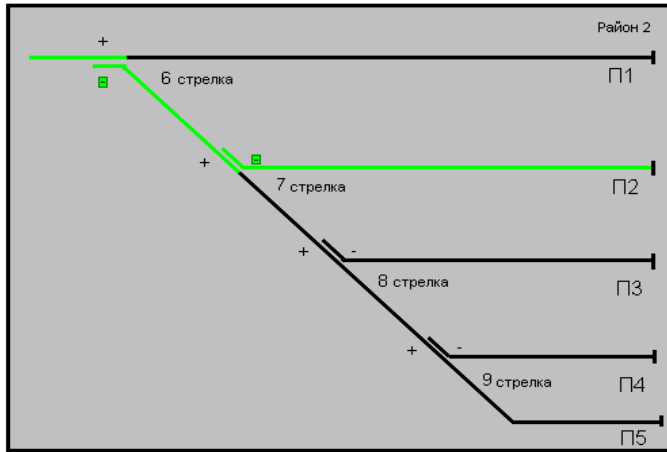


Рис. 4. Схема стрелочных переводов и подъездных путей Района 2

передается далее в эфир. Все ПИП с помощью своих РМ принимают эту команду и передают в блок УУИМ для анализа и исполнения. В блоке УУИМ происходит проверка соответствия номера команды (стрелки) номеру района (проверка «свой-чужой»). Если стрелка «своя» и находится в данном районе, то УУИМ формирует команду на ее перевод в соответствующее положение. Как и в системе БУК-10С, напольные подсистемы ПИП наделены функциями передачи данных о положении стрелок, их электрическом замыкании и данные о полном освобождении локомотивосоставом стрелочного участка при использовании маршрута. Известительная информация передается в эфир с помощью РМ только при изменении состояния хотя бы одного управляемого объекта – стрелки, а воспроизведение информации о результатах выполненной команды управления производится на мониторе БК локомотива изменением цвета участка маршрута с черного на зеленый. Например, маршрут в Районе 2 на подъездной путь П2 по минусовому положению стрелок 6 и 7 (рис. 4).

Как и в системе БУК-10С, для повышения живучести предусмотрены также световые стрелочные указатели и щитки резервного управления стрелками. Для предотвращения перевода стрелок под составом, их электрического замыкания и размыкания используются датчики занятости пути (электромагнитные или доплеровские).

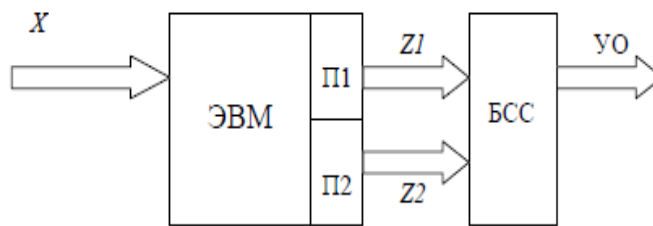


Рис. 5. Одноканальная система с диверситетными программами

Для обеспечения требований по отказоустойчивости подсистем КПП и ПИП выбран и реализован принцип построения одноканальной системы с диверситетными программами [4] (рис. 5). Одноканальная система с диверситетными программами использует две различные и независимые программы (П1 и П2) для реализации одних и тех же функций. Результаты выполнения программ Z1 и Z2 сравниваются внешней безопасной схемой сравнения (БСС). Уровень безопасности данной системы зависит от степени различия (диверситета) двух программ и от интервала времени обращения к данным. Диверситет программ достигается привлечением к разработке программного обеспечения разных программистов и использованием ими разных алгоритмов, подходов к программированию и методов описания спецификаций.

Система работает следующим образом: в фиксированные моменты времени считываются и запоминаются входные данные; выполняются обработка данных программой П1

На схеме Района машинист выбирает соответствующие стрелки для прокладки маршрута и отмечает нажатием пальца на значки «+» или «-» те положения стрелок, в которые их нужно перевести для выбранного маршрута. Выбор и управление переводом стрелок по маршруту может выполняться или индивидуально по каждой стрелке или в пакетном режиме.

БК, получив задание на управление стрелками, формирует и передает по интерфейсу RS 232 команду, которая поступает в РМ, кодируется и

передается в эфир. Все ПИП с помощью своих РМ принимают эту команду и передают в блок УУИМ для анализа и исполнения. В блоке УУИМ происходит проверка соответствия номера команды (стрелки) номеру района (проверка «свой-чужой»). Если стрелка «своя» и находится в данном районе, то УУИМ формирует команду на ее перевод в соответствующее положение. Как и в системе БУК-10С, напольные подсистемы ПИП наделены функциями передачи данных о положении стрелок, их электрическом замыкании и данные о полном освобождении локомотивосоставом стрелочного участка при использовании маршрута. Известительная информация передается в эфир с помощью РМ только при изменении состояния хотя бы одного управляемого объекта – стрелки, а воспроизведение информации о результатах выполненной команды управления производится на мониторе БК локомотива изменением цвета участка маршрута с черного на зеленый. Например, маршрут в Районе 2 на подъездной путь П2 по минусовому положению стрелок 6 и 7 (рис. 4).

и запоминание результатов; выполняются обработка данных программой П2 и n -кратное сравнение результатов на совпадение; при каждом совпадении происходит передача результирующего выходного воздействия на УУИМ. В противном случае осуществляются блокировка подсистемы и переход ее в защитное состояние, исключающее формирование ложных команд на управление и телесигнализацию.

В системе заложена временная и информационная избыточность. Временная избыточность используется путем тестирования вычислительного канала и повторной n -кратной передачи управляющих команд. Тестовые программы выполняются в фоновом режиме и обеспечивают обнаружение отказов аппаратных средств и интерфейсов БК, УУИМ и РМ. Информационная избыточность реализуется избыточным кодированием передаваемой информации и помехоустойчивыми кодами.

Подводя итоги, следует еще раз подчеркнуть, что основными достоинствами способа радиоуправления стрелками и сигналами на промышленном железнодорожном транспорте являются:

- отсутствие необходимости в прокладке большого количества кабелей связи;
- возможность маршрутного управления группой смежных стрелок;
- минимизация перепробега локомотивосоставов при угловых заездах;
- простота увеличения емкости системы по количеству управляющих и известительных команд;
- простота увеличения дальности радиоуправления путем изменения мощности приемопередатчиков.

4. Выводы

Предлагаемая цифровая гарантоспособная система радиоуправления и контроля стрелками и сигналами, построенная по принципу одноканальной системы с диверситетными программами, является логическим продолжением работ в этой области, но на современной элементной базе и с применением современных информационных технологий. Кроме ее непосредственного предназначения для управления стрелками на промышленных предприятиях, ЦГС РУКСС удовлетворяет требованиям по безопасности, предъявляемым к системам управления электрифицированными шлагбаумами переездов, расположенных в зоне промышленного предприятия. Система ЦГС РУКСС также позволяет управлять группами стрелок на тупиковых станциях магистрального железнодорожного транспорта и сортировочных горках, не оборудованных горочными системами автоматизации роспуска составов.

Передача функций перевода стрелок локомотивной бригаде значительно облегчает условия работы составителей, повышает производительность и безопасность их труда, обеспечивает ускорение оборота вагонов и увеличивает пропускную способность путевого развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоровский В.В. Телемеханические системы на промышленном транспорте / В.В. Федоровский, Ф.И. Марушко. – М.: Транспорт, 1977. – 175 с.
2. Радиотелеуправление транспортными объектами в металлургии / В.В. Федоровский, Г.П. Кудинов, А.С. Хоружий [и др.]. – М.: Металлургия, 1977. – 272 с.
3. Basic Concepts and Taxonomy of Dependable and Secure Computing / A. Avizienis, J.-C. Laprie, B. Randell [et al.] // IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing. – 2004. – Vol. 1, N 1. – P. 11 – 33.
4. РТМ 32 ЦШ 1115842.01-94. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Методы и принципы обеспечения безопасности микроэлектронных СЖАТ. – СПб.: ПГУ ПС, 1994. – 120 с.

Стаття надійшла до редакції 30.08.2012