

ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕЕЗДНОЙ СИГНАЛИЗАЦИЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ



Ю.В. Соболев



А.Б. Бойник

*Кафедра автоматике и
компьютерных систем управления
Украинской Государственной
Академии железнодорожного
транспорта
Площадь Фейербаха, 7, Харьков, 61050
УКРАИНА
E-mail: bojnik@ukr.net*

1. Введение

В последнее время совершенствование перегонных устройств интервального регулирования движения поездов проходит в двух направлениях [1-3].

Первое из них - это разработка систем централизованного и децентрализованного размещения оборудования с путевыми датчиками без изолирующих стыков, способных функционировать при низком сопротивлении балласта. Эти "наземные" устройства размещаются

Рассмотрены общие принципы построения и особенности микропроцессорного управления ограждающими устройствами железнодорожных переездов с использованием спутниковых систем навигации. Предложены методики и математические модели, на основании которых могут быть сделаны следующие предварительные выводы: вероятность первого тройного, как опасного, отказа в двухканальной системе с жесткой синхронизацией приблизительно равна $P_{o.o}(t) \leq 10^{-10}$, что соответствует системам с высокими характеристиками безопасности; техническая реализация перспективных микропроцессорных систем с архитектурой нейронной сети является довольно сложной задачей, особенно с точки зрения алгоритмического обеспечения; вероятность первого тройного, как опасного, отказа в системе с архитектурой нейронной сети по известным методикам и моделям рассчитать довольно трудно, но предварительные расчеты показывают, что она равна $P_{o.o}(t) \leq 10^{-11}$, что соответствует системам с высокими характеристиками безопасности.

вдоль всей сети железных дорог и представляют собой дорогостоящее оборудование.

Эффективное функционирование указанных систем тесно связано с точным определением координаты места нахождения поездов, а также скорости и ускорения их движения [2]. Для этого необходимо прямое или условное деление железнодорожного пути на мелкие координатные участки с оборудованием их специальными путевыми датчиками.

В случае прямого деления железнодорожного пути на мелкие координатные участки требуется оборудование каждого из них своим путевым датчиком. Информация о состоянии рельсовых участков этих датчиков обрабатывается наполным логическим устройством и на ее основании формируется сигнал о допустимой скорости движения поездов.

В случае условного деления железнодорожного пути на мелкие координатные участки, вблизи или внутри рельсовой колеи располагаются специальные датчики контроля места нахождения подвижного состава. В качестве таких датчиков в мировой практике, в основном, используются особые кабельные шлейфы или другие линейные объекты с логическими устройствами обработки информации. Специальное размещение шлейфов и установка на локомотивах и последних вагонах поездов передающих устройств позволяет определить с достаточно высокой точностью координаты места нахождения и параметры их движения.

Такой путь совершенствования перегонных систем интервального регулирования движения поездов требует значительных капитальных затрат и сложного технологического обслуживания.

Второе и более перспективное направление - определение координат местонахождения поездов с помощью спутниковых систем навигации [1,3-4].

2. Принципы управления переездной сигнализацией с использованием спутниковых систем навигации

Эти устройства (рис.1) позволяют определить с высокой точностью координаты места нахождения впереди движущегося поезда в определенные периоды времени, а затем бортовыми локомотивными микропроцессорными контроллерами последующего поезда вычисляются необходимые параметры его движения. Современными локомотивными устройствами обеспечения безопасности эти параметры движения могут реализовываться как в автоматическом, так и ручном режимах. Одновременно, с помощью рассматриваемых устройств, организуется обмен необходимой сигнальной и технологической информацией, позволяющей после обработки и реализации повысить безопасность движения поездов.

Предполагаемая при этом ликвидация дорогостоящего наполного оборудования перегонных устройств интервального регулирования движения поездов усложняет вопросы безопасной эксплуатации железнодорожных переездов. Это связано с тем, что демонтаж перегонных путевых датчиков извещения и устройств логической увязки потребует обеспечения работы систем переездной сигнализации как полностью самостоятельных объектов железнодорожной автоматики. В таких случаях должны измениться принципы и структура построения, а также элементная база систем управления ограждающими устройствами переездов.

Момент включения ограждающих устройств должен определяться на основе анализа информации от спутниковой системы навигации, для чего в специальном модуле переезда устанавливается спутниковый навигационный приемник.

Для обеспечения надежности работы системы управления ограждающими устройствами функционирование переездного спутникового навигационного приемника должно осуществляться аналогично локомотивным устройствам.

В структуру систем управления ограждающими уст-

ройствами должны входить промышленные контроллеры с достаточным объемом электронной памяти для логической обработки и хранения большого объема информации о приближении поездов и параметрах их движения.

Контроль проследования поездом опасной зоны переездов и выключение ограждающих устройств должен осуществляться на основе информации, получаемой от путевых рельсовых датчиков.

Аварийная информация об опасных ситуациях на переездах и повреждениях элементов систем управления ограждающими устройствами должна автоматически передаваться на локомотивы поездов и водителям транспортных средств.

Техническая реализация рассмотренных принципов построения систем переездной сигнализации возможна на основе следующих систем:

- с фиксированным участком извещения АПС - ФЛИ;
- с фиксированным временем извещения АПС - ФтВ;
- с контролем параметров движения поездов АПС-КП.

Возможности указанных систем по обеспечению пропускной способности и безопасности движения транспорта во многом отвечают требованиям Белой книги Европейской комиссии "Европейская транспортная политика 2010г.: время решений", разработанной Международным союзом железных дорог (МСЖД), Союзом европейской железнодорожной промышленности (UNIFE), Международным союзом общественного транспорта (UITP), а также Европейской системы управления движением поездов (ETCS) [5].

Использование в системах управления ограждающими устройствами переездов микропроцессорных контроллеров требует исследования вопросов по обеспечению их надежного функционирования.

Отечественные и зарубежные исследования процессов функционирования микропроцессорных систем управления ответственными логическими устройствами, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности людей, свидетельствуют, что традиционный для микро-ЭВМ последовательный принцип обработки информации не всегда является эффективным [6]. Это вызвано тем, что быстродействие циклического обслуживания контролируемых входов и управляемых выходов находится в прямой зависимости от их количества. В результате этого весьма затрудняются важные операции параллельного самодиагностирования и использования естественных языков программирования, таких как технологические циклограммы, язык входных и выходных последовательностей и т.д.

Детальный анализ алгоритмов функционирования эксплуатируемых систем управления ограждающими устройствами показывает наличие наряду с последовательными циклами обработки информации и большого числа параллельных. В таком случае, для обеспечения достаточного уровня надежности функционирования микропроцессорных систем управления ограждающими устройствами, при традиционном принципе обработки информации требуется значительное увеличение их быстродействия, а при организации последовательно-параллельного принципа достаточно существующего. Это можно достичь следующим образом:

- применением проблемно-ориентированных последовательно- параллельных промышленных контроллеров;
- одновременного использования нескольких про-

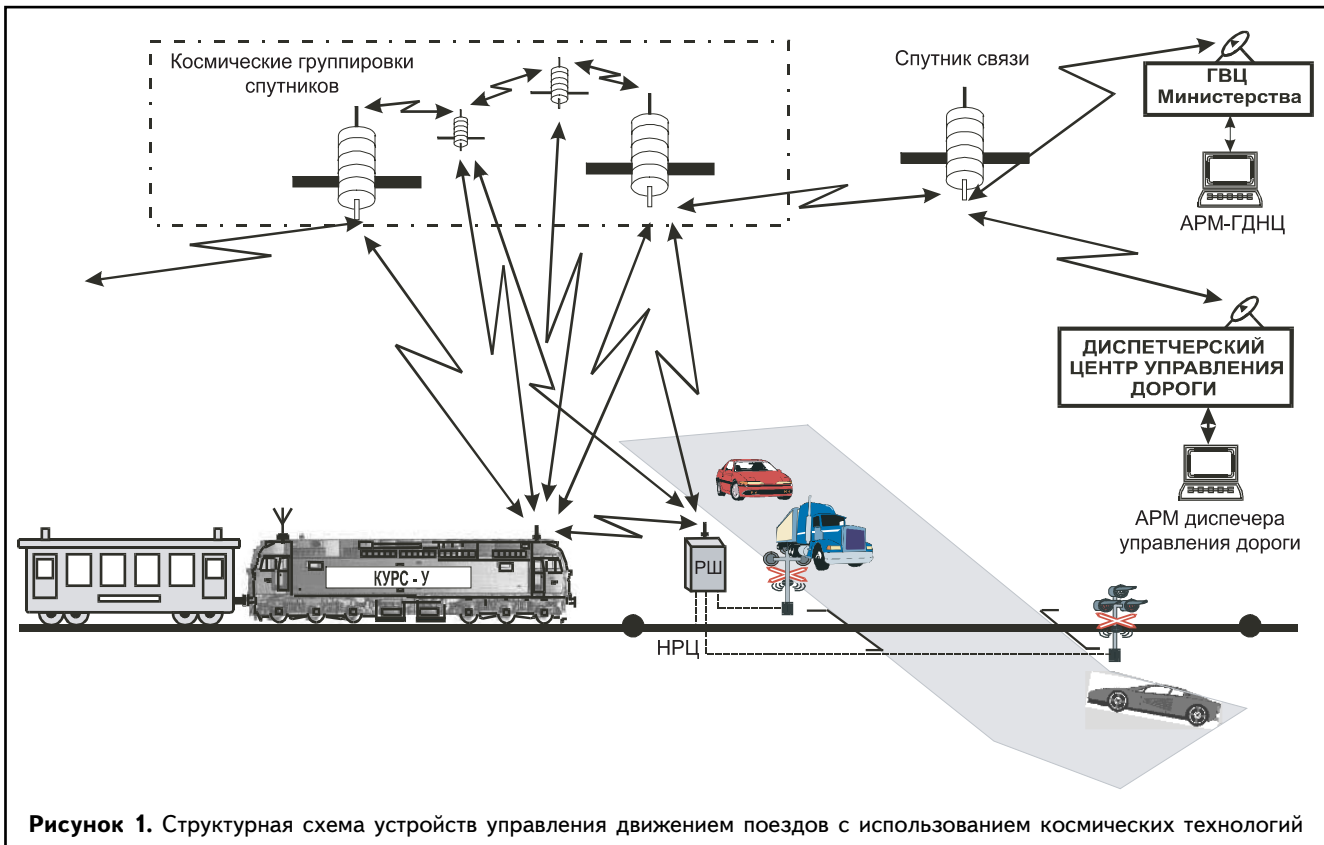


Рисунок 1. Структурная схема устройств управления движением поездов с использованием космических технологий

мышленных контроллеров с последовательной обработкой информации, функционирующих параллельно.

Анализ мирового опыта применения микропроцессорных устройств в системах железнодорожной автоматики, включая и переездную сигнализацию, свидетельствует об относительном приоритете в них нескольких промышленных контроллеров с последовательной обработкой информации [7]. Это, в основном, объясняется относительно небольшим количеством информационных входов и управляющих выходов.

В связи с этим, является целесообразным исследование возможных структур построения систем управления ограждающими устройствами.

Результаты исследований влияния отказов микропроцессорных систем управления технологическими процессами свидетельствуют, что их необходимо подразделять на аппаратные и программные, а по их воздействию на структуру построения и процессы функционирования - на разрушающие и неразрушающие [8].

В мировой практике в системах железнодорожной автоматики применяются микропроцессорные устройства только с неразрушающим принципом воздействия отказов. В соответствии с требованиями Европейского стандарта CENELEC ENV 50129, все отказы необходимо своевременно обнаруживать и классифицировать на опасные и неопасные с целью дальнейшего парирования их отрицательного воздействия на процесс движения транспорта [8].

В соответствии с этими требованиями, при опасных отказах в системах управления ограждающими устройствами железнодорожных переездов должен обеспечиваться их перевод в такое состояние, когда водители автотранспортных средств могут принимать безопасные для движения транспорта решения.

В таком случае процесс функционирования рассматриваемых систем должен одновременно подразделяться

на рабочий и контрольный. Рабочий процесс - это процесс управления ограждающими устройствами в зависимости от места расположения и параметров движения поездов, Контрольный - это процесс определения работоспособности системы и возможного влияния отказов на безопасность движения транспорта.

Учитывая, что полностью исключить опасные отказы микропроцессорных систем управления ограждающими устройствами затруднено, уже на стадии разработки их структуры должна учитываться возможность автоматического обнаружения отказов аппаратных средств и программного обеспечения, а также их парирования.

Из известных методов парирования опасных отказов аппаратных средств особый интерес представляют методы сравнения выходных параметров сигналов в нескольких каналах и промежуточных значений параметров сигналов в контрольных точках.

Наиболее эффективным методом парирования опасных отказов программного обеспечения является метод сопоставления промежуточных результатов обработки выходной информации, полученной с использованием различных версий программ.

Указанные методы парирования опасных отказов отличаются способами их технической реализации и подразделяются на методы с физическими и временными каналами.

Системы, реализованные с учетом метода парирования с физическими каналами, должны иметь несколько параллельных комплектов или каналов. Очевидно, минимальное число таких каналов должно быть равно двум. В свою очередь, такие системы могут быть реализованы по принципу идентичных каналов с жесткой и мягкой синхронизацией их работы, а также неидентичных каналов с мягкой синхронизацией [7].

Жесткой, как известно, считается синхронизация, когда работа комплектов или каналов синхронизируется с точностью до такта и эти комплекты или каналы долж-

ны быть совершенно идентичными. При отсутствии отказов в каналах сигналы на промежуточных и выходных контрольных точках должны полностью совпадать и число таких точек по возможности должно быть максимальным. Для полной синхронизации работы микропроцессорных контроллеров используется только один тактовый генератор. При расхождении параметров сигналов на выходах, что контролируется блоком диагностики, приостанавливается работа тактового генератора и на автодорожных светофорах выключаются бело-лунные огни.

Для хранения программ функционирования данная система должна иметь большой объем электронной памяти и осуществлять полное адаптивное алгоритмическое регулирование и частичное параметрическое.

Учитывая возможность возникновения симметричных отказов элементов и программ, в таких системах после каждого срабатывания ограждающих устройств должно осуществляться полное самодиагностирование.

Многоканальные системы с мягкой синхронизацией должны быть построены с учетом возможности синхронизации нескольких каналов, как по циклам исполненных команд, так и по времени.

В системах с мягкой синхронизацией по циклам исполненных команд сравнение результатов функционирования должно осуществляться после выполнения определенного цикла. Учитывая, что в каналах может использоваться разная тактовая частота выполнения операций, то процесс синхронизации должен осуществляться после реализации цикла в обоих каналах независимо от времени. Это указывает на то, что в системах управления ограждающими устройствами указанная частота может быть невысокой из-за возможности выполнения в разных каналах за любой цикл исполняемой операции

нескольких последовательностей микроциклов.

Синхронизация по временным циклам, как известно, характеризуется увеличенными интервалами времени. В таком случае процесс функционирования системы целесообразно разбивать на временные циклы по длительности,

каждый из которых содержит установленную последовательность операций. За время каждого такого цикла выполняется определенная подпрограмма обработки информации, а затем результаты сравниваются с аналогичными, получаемыми в другом канале. При этом целесообразно результаты обработки входных данных сравнивать на программном уровне, а выходные данные - на аппаратном уровне. Ошибки и отказы в такой системе обнаруживаются при сопоставлении результатов обработки информации в каждом из каналов на программном

уровне. При обнаружении опасного отказа система должна переходить в защитное состояние.

В системах с мягкой синхронизацией физических каналов для обнаружения отказов аппаратных средств и ошибок реализации программ затруднено использование их различных версий.

По причине сложного процесса функционирования двухпрограммных систем управления могут возникать задержки по выключению ограждающих устройств и тем самым вызываться излишние автотранспортные задержки. Поэтому такие системы наиболее эффективны на переездах с невысокой интенсивностью движения транспорта.

На железнодорожных переездах с высокой интенсивностью движения транспорта представляется целесообразным использование системы управления, реализованной на двух независимых каналах с жесткой синхронизацией в каждом из них. Структурная схема такой системы (рис. 2) состоит из одного устройства защиты и

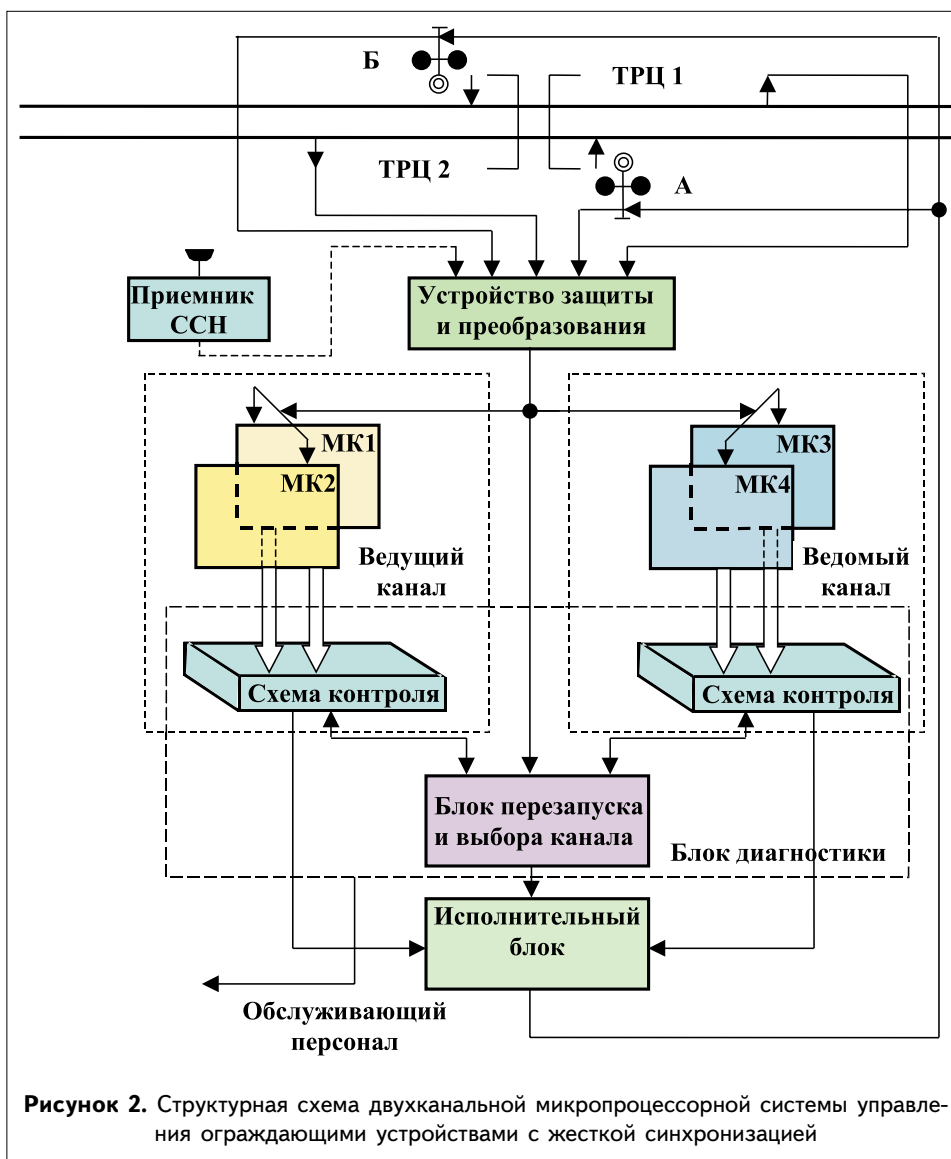


Рисунок 2. Структурная схема двухканальной микропроцессорной системы управления ограждающими устройствами с жесткой синхронизацией

преобразования и двух каналов с двумя микропроцессорными контроллерами в каждом, находящихся в рабочем состоянии.

Один из этих каналов является ведущим, а другой

ведомый. В процессе функционирования ведущего канала с контрольных точек первого и второго контроллера через узлы данных тестовые сигналы поступают на вход схемы контроля, где и осуществляется их сравнение. При рассогласовании в работе процессоров блоком перезапуска и выбора канала осуществляется их срочный перезапуск, а схемой контроля - постоянный контроль синхронности функционирования. При неисправности или отказе в ведущем канале блоком

перезапуска и выбора канала он отключается и к процессу управления ограждающими устройствами подключается второй - ведомый канал. Этот канал на определенное время управления переездной сигнализацией становится ведущим, а первый канал после диагностирования перезапускается.

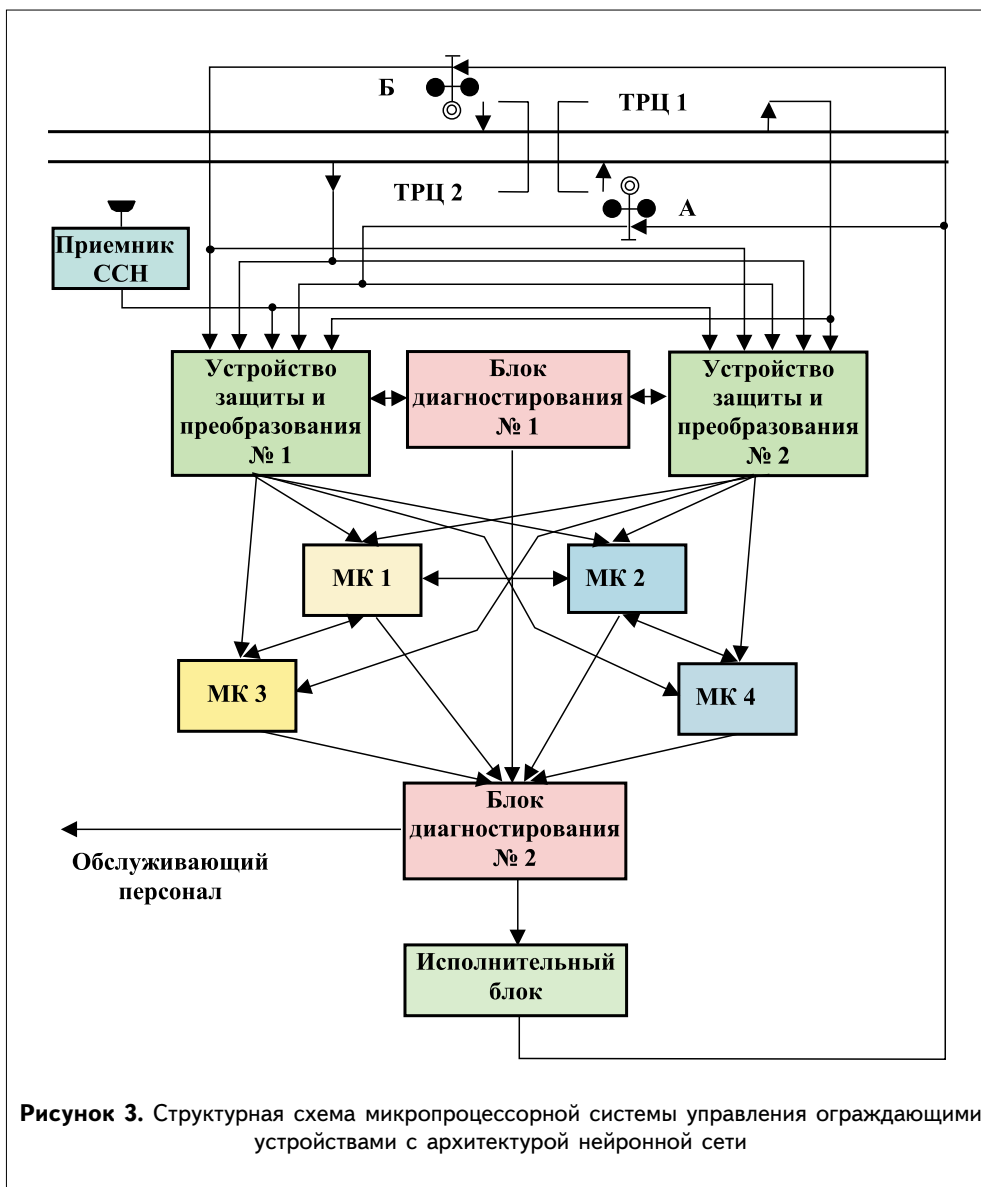
Если в течение определенного времени он не начал нормально функционировать, то информация о предотказном состоянии системы управления передается обслуживающему персоналу. Переход в защитное состояние системы управления происходит после рассогласования в работе контроллеров двух каналов.

Использование четырех микропроцессорных контроллеров и необходимость полного адаптивного регулирования указывает на возможность построения самой перспективной системы управления ограждающими устройствами с архитектурой нейронной сети (рис. 3). В такой системе четыре микропроцессорных контроллера

МК1, МК2, МК3 и МК4 одновременно являются условными нейронами как входящего, так и выходящего слоев. При этом каждый микропроцессор в любой момент времени может выполнять как присущую только ему,

так и любую другую задачу по поддержанию надежности системы на достаточном уровне. В процессе функционирования системы, построенной по такому принципу, одновременно все четыре микропроцессора могут выполнять одну и ту же операцию, в результате чего повышается надежность системы к возможным искажениям программных средств.

Искажения входной информации после преобразования контролируется первым блоком диагностирования, а выходной информации микропроцессорных



контроллеров - вторым блоком диагностирования.

В случаях опасных отказов система управления блоками диагностирования автоматически переводится в защитное состояние.

Техническая реализация рассмотренных систем управления ограждающими устройствами требует использования большого числа элементов и специально разработанных программ, имеющих различную вероятность отказов. Эти отказы, очевидно, определенным образом будут влиять на эффективность функционирования железнодорожных переездов и поэтому целесообразно определить сравнительные характеристики периодов времени их безопасной работы.

Анализу взаимосвязи надежности функционирования систем железнодорожной автоматики и их безопасности посвящено большое число работ, и в первую очередь, работы В. Швира [9], Дж. Кольера [10], С. Адомита, Вл. и В. Сапожниковых и Х.Христова [7] и их ре-

зультаты в определенной мере отражены в комплексе Европейских стандартов CENELEC [8].

3. Выводы

Исследование структур построения рассмотренных микропроцессорных систем управления ограждающими устройствами по предлагаемым методикам и математическим моделям позволяют сделать следующие предварительные выводы:

- вероятность первого тройного, как опасного отказа в двухканальной системе с жесткой синхронизацией приблизительно равна $P_{o.o}(t) \leq 10^{-10}$, что соответствует системам с высокими характеристиками безопасности;
- техническая реализация перспективных микро-

процессорных систем с архитектурой нейронной сети является довольно сложной задачей, особенно с точки зрения алгоритмического обеспечения;

- вероятность первого тройного, как опасного, отказа в системе с архитектурой нейронной сети по известным методикам и моделям рассчитать довольно трудно, но предварительные расчеты показывают, что она равна $P_{o.o}(t) \leq 10^{-11}$, что соответствует системам с высокими характеристиками безопасности.

Таким образом, все рассмотренные структуры построения микропроцессорной системы управления ограждающими устройствами железнодорожных поездов отвечают большинству требований по структуре построения Европейского стандарта CENELEC.

Литература

1. Зорин В.И. Современные системы обеспечения безопасности железнодорожного транспорта // Железнодорожный транспорт. - 2000.- № 11. -С. 52-53.
2. Соболев Ю.В. Путьевые преобразователи автоматизированных систем управления железнодорожного транспорта. - Харьков: ХФИ "Транспорт Украины", 1999. -200с.
3. Бойник А.Б., Коваленко Г.В., Макаренко Р.В. Перспективные системы интервального регулирования движения поездов на перегонах // Залізнич. транспорт України. - 2001. - № 6.- С.23-25.
4. Васекин А.И. Спутниковые технологии в управлении перевозочным процессом // Автоматика, телемеханика и информатика. -2001.- № 12. - С. 32-33.
5. Перспективные структуры управления на европейских железных дорогах // Железные дороги мира. - 2002.-№ 2.- С. 9-11.
6. Фурман И.А. Перспективы развития структуры и технологии применения параллельных логических контролеров// Электротехника. - 1990.-№ 4. - С.48-52.
7. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики/ Сапожников Вл.В., Сапожников В.В., Христов Х.А., Гавзов Д.В. / Под. ред. Вл.В. Сапожникова -М.: Транспорт, 1995.- 342с.
8. Стандарт CENELEC ENV 50129: Применение на железнодорожном транспорте электронных систем, связанных с обеспечением безопасности и предназначенных для сигнализации. 1998.
9. Швир В. Надежность электронных схем в устройствах СЦБ// Железные дороги мира. -1986.-№ 1.- С.59-67.
10. Кольер Дж. Системы, критичные по безопасности// IEE Computing Control Engineering Journal.- 1991.- № 9.-С.34-48.

Соболев Юрий Владимирович, доктор технических наук, профессор.

Ректор Украинской Государственной Академии железнодорожного транспорта

Научные интересы лежат в области автоматизированных систем и элементов управления на железнодорожном транспорте

Контактный тел.: +38 (0572) 21-20-67

Бойник Анатолий Борисович, кандидат технических наук, доцент.

Доцент кафедры "Автоматика и компьютерные системы управления" Украинской Государственной Академии железнодорожного транспорта.

Круг научных интересов: Автоматические системы и элементы управления ограждающими устройствами железнодорожных поездов

Контактный тел.: +38 (0572) 20-60-32
e-mail: bojnik@ukr.net