

При отсутствии потребителя электроэнергии в контактной сети включается тиристор VS3 и реализуется процесс замещающего реостатного торможения на резистор $R_{\text{торм.1}}$.

Также следует отметить, что импульсные преобразователи VS1 и VS2 используются и в режиме тяги, что дополнительно позволяет повысить электроэффективность электропоезда за счет отсутствия потерь энергии в пусковых реостатах.

Заключение

1. При модернизации пригородных электропоездов постоянного тока целесообразно применять системы импульсного регулирования, позволяющие реализовать безреостат-

ный пуск и рекуперативное торможение до 10 км/ч.

2. Применение сочетания традиционного рекуперативного торможения при высоких скоростях и импульсного при низких позволяет получить наилучшие тягово-энергетические показатели системы торможения электропоезда.

Библиографический список

1. **Электропоезда** постоянного тока ЭД2 Т, ЭТ2 М, ЭД4 М, ЭР2 Т, ЭТ2 / под ред. Д. В. Пегова. – Москва : Центр Коммерческих Разработок, 2008. – 192 с. : табл., ил.

2. **Энергосберегающее** оборудование электропоездов / А. С. Мазнев, А. М. Евстафьев и др. // Локомотив. – 2007. – № 1. – С. 3.

УДК 656.257+681.5.075

Д. В. Ефанов, А. А. Блюдов

Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ДАТЧИКОВ КОНТРОЛЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТРЕЛОК

Рассматриваются возможности повышения надежности датчиков контроля положения железнодорожных стрелок (ДСТ) в системе микропроцессорной централизации стрелок и сигналов МПЦ-МПК. Описывается структура ДСТ, принципы его работы, а также меры обеспечения безопасности его функционирования. Указано место помехоустойчивого кодирования в процессе получения ответственной контрольной информации, а также недостатки применяемого вида кодирования. Предлагается использование модульно-модифицированного кода Бергера для исключения сбоев в управлении удаленными стрелками. Доказана целесообразность выбора данного варианта кодирования для работы в системе управления движением поездов.

управление движением на станциях; МПЦ-МПК; железнодорожная стрелка; датчик стрелки; код с суммированием.

Введение

Железнодорожная автоматика и телемеханика (ЖАТ) представляет собой важную от-

расль техники, особенно в эпоху повышения скоростей перемещения грузов и пассажиров [1]. Именно устройства и системы ЖАТ являются последними звеньями в обеспечении

безопасности перевозочного процесса [2, 3]. В Транспортной стратегии развития Российской Федерации до 2030 г., например, отмечаются вопросы развития высокоскоростного движения во многих направлениях [4]. Как следствие, будут совершенствоваться и системы ЖАТ.

Для управления передвижениями на станциях железных дорог России активно развиваются и внедряются системы электрической централизации на микропроцессорной основе [5, 6]. Одной из таких систем является система МПЦ-МПК, разрабатываемая на кафедре «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» в Центре компьютерных железнодорожных технологий (ЦКЖТ) [7].

Как и любая система управления и контроля, МПЦ-МПК строится по многоуровневой структуре: от периферийных устройств до интерфейса управления дежурного по станции. К оборудованию МПЦ-МПК относят:

- автоматизированные рабочие места персонала;
- микропроцессорное и электротехническое оборудование, размещенное в специализированных шкафах;
- релейное и электротехническое оборудование, размещенное на релейных станинах;
- напольное технологическое оборудование (стрелочные электроприводы, светофоры и т. д.).

В состав МПЦ-МПК входят:

- автоматизированные рабочие места (АРМ) технического персонала;
- центральная вычислительная система, отвечающая за безопасную реализацию взаимозависимостей стрелок, сигналов и маршрутов для управления электрической централизацией, информационный обмен между всеми абонентами локальной вычислительной сети, сопряжение с системами удаленного контроля, управления и мониторинга;
- контроллеры безопасного сопряжения с объектами (КБСО), предназначенные для увязки центральной вычислительной системы и реализации алгоритмов управления напольными технологическими объектами;

- блоки сопряжения с дискретными объектами управления и контроля в цепях МПЦ-МПК, не отвечающие за безопасность движения;

- оборудование релейной, кабельная сеть, напольное оборудование, вспомогательное электротехническое оборудование системы, обеспечивающее передачу контрольных и управляющих воздействий между микропроцессорной частью МПЦ-МПК и объектами контроля и управления;

- устройства бесперебойного питания [7].

Для управления напольным технологическим оборудованием применяются специализированные КБСО, которые разделяются на несколько типов в зависимости от управляемых и контролируемых ими объектов. Например, за работу железнодорожной стрелки отвечает контроллер КБСО-СТ.

В основе всех контроллеров лежит использование специализированного контроллера с двухканальной структурой, имеющего контрольную схему с несимметричной характеристикой отказов. В зависимости от типа КБСО комплектуются различными силовыми платами и программным обеспечением.

В данной статье рассматриваются вопросы повышения надежности функционирования датчиков положения стрелок ДСТ, входящих в состав МПЦ-МПК [8]. ДСТ размещается в муфте стрелочного электропривода и связывается с объектным контроллером КБСО-СТ.

1 Датчик ДСТ

Датчик положения стрелки ДСТ предназначен для контроля положения стрелок в системе МПЦ-МПК. ДСТ анализирует входные кодовые последовательности и генерирует ответные кодовые последовательности [8]. Конструктивно ДСТ состоит из двух независимых блоков, размещенных в одном корпусе. При этом оба блока имеют различное программное обеспечение, выводы микроконтроллера и расположение элементов на печатных платах.

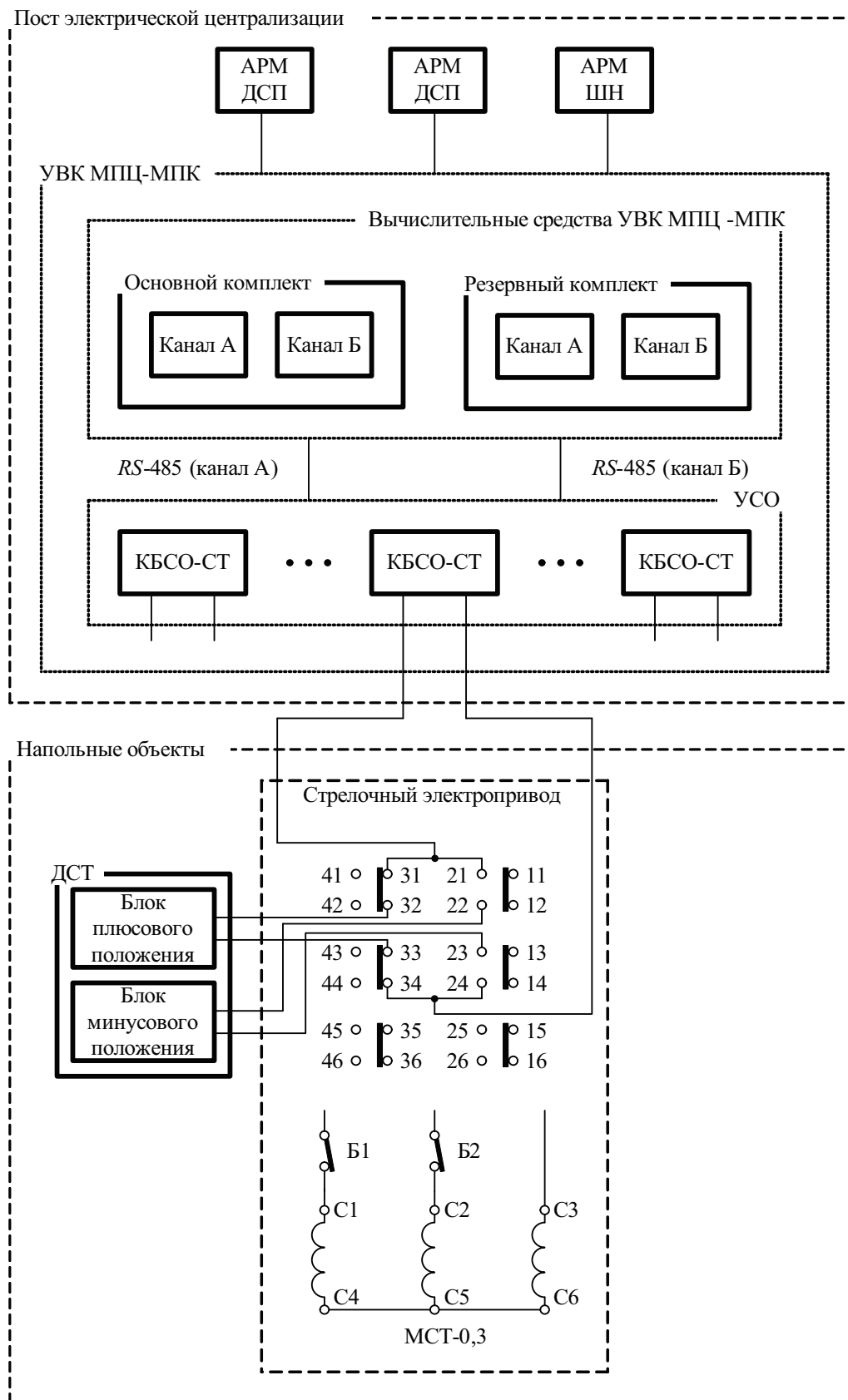


Рис. 2. Схема подключения ДСТ

тока, необходимого для его функционирования, передаче логического нуля соответствует замыкание датчиком контроля положения стрелки линии передачи. При этом ток потребления ДСТ значительно возрастает. ДСТ не имеет отдельных цепей питания, а необходимая ему для функционирования энергия передается кодовой посылкой от контроллера КБСО-СТ.

2 Кодирование передаваемой информации в ДСТ

Для управления стрелочным датчиком используется специально разработанное программное обеспечение, в функции которого входит прием кодовой последовательности, обработка полученных данных и отправка ответной кодовой последовательности. В ДСТ используется разный алгоритм обработки данных для каждого из блоков положения стрелки, таким образом, на запросы объектного контроллера КБСО-СТ блоки ДСТ будут отвечать разными кодовыми последовательностями. На основе этого принципа реализован механизм контроля положения стрелочного привода. ДСТ и линия подключены к контактам автопереключателя стрелочного электропривода таким образом, что в крайнем положении стрелки в линии может функционировать только один блок ДСТ.

Обмен данными между объектным контроллером и ДСТ осуществляется посредством кодовых посылок, для чего используется помехоустойчивое кодирование. При этом кодовая посылка, передаваемая контроллером КБСО-СТ, состоит из одного из шестнадцати случайных байтов информации. Обработка кодовой посылки осуществляется датчиком положения стрелки с использованием следующего алгоритма.

1. Для блока, подключаемого к линии контактами автопереключателя в минусовом положении, вычисляется сумма по модулю «два» между полученным первым байтом и байтом 170 (AAh). Для блока, подключаемого к линии контактами автопереключателя в плюсовом

положении, вычисляется сумма по модулю «два» между полученным первым байтом и байтом 85 (55h). На рис. 3 показан результат вычислений для примера полученной кодовой посылки <00101101>.

Блок плюсового положения	Блок минусового положения
$\begin{array}{r} 00101101 \\ \oplus 01010101 \\ \hline 01111000 \end{array}$	$\begin{array}{r} 00101101 \\ \oplus 10101010 \\ \hline 10000111 \end{array}$

Рис. 3. Принцип вычисления ответа ДСТ на запрос КБСО-СТ

2. Рассчитывается контрольное слово ответа ДСТ на запрос КБСО-СТ.

3. Производится как непосредственное вычисление результата с помощью арифметико-логического устройства, так и выбор значения из подготовленной при программировании микроконтроллера таблицы, расположенной во флэш-памяти программ. При идентичности полученных данных находится контрольный вектор для результата вычислений, ответный пакет передается в аппаратный приемопередатчик для отправки в линию. Информация об исправности устройства, получении пакета и его корректности передается на диагностический разъем.

Такой обмен посылками происходит каждые 50 мс.

Для расчета контрольного вектора ответа ДСТ применяется систематический код, к которому предъявляется ряд требований. Они определяются последствиями наиболее вероятных отказов системы из линии связи, блока ДСТ и автопереключателя.

Во-первых, циклический сдвиг пакета ответа ДСТ не должен являться разрешенным словом. Так как в работоспособном состоянии контроллера КБСО-СТ запрос от него может иметь вид только одного из восьми байт (из 256 возможных восьмиразрядных комбинаций), то и разрешенных ответов от ДСТ может

быть только шестнадцать (восемь от «плюсовых» датчиков и восемь от «минусовых»). Остальные слова, даже если они принадлежат выбранному коду, разрешенными не являются. Во-вторых, при инверсии всех информационных и контрольных разрядов не должно образовываться кодовое слово выбранного для организации кодирования кода. В-третьих, при наложении кодовых комбинаций ответов от разных ДСТ на один и тот же запрос КБСО-СТ не должно образовываться разрешенное кодовое слово.

В разработке ЦКЖТ 2010 г. для кодирования ответа датчика положения стрелки был использован код Хэмминга [9]. В коде Хэмминга контрольные разряды занимают в кодовом векторе разряды с двоичными номерами, равными степени числа «два»: $1, 2, 4, \dots, 2^i$. Каждый контрольный разряд вычисляется как сумма по модулю «два» значений информационных разрядов, стоящих на определенных позициях в информационном векторе. Суммируемые позиции определяются двоичными номерами информационных и контрольных векторов. Для получения значения i -го контрольного разряда берется линейная сумма тех информационных разрядов, в двоичном эквиваленте номеров которых на i -м месте справа расположена единица. Таким образом, число контрольных разрядов находится в зависимости от числа информационных: это ближайшее целое, удовлетворяющее неравенству $2^k - k \geq m + 1$, где m – число информационных разрядов; k – число контрольных разрядов. Общая длина кодовой комбинации, соответственно, равна $n = m + k$. Пользуясь введенными обозначениями, код Хэмминга обозначим как $H(n, m)$ -код.

Кодовый вектор такого кода при длине информационного слова $m = 8$ содержит число контрольных разрядов $k = 4$, т. е. используется $H(12, 8)$ -код.

Таким образом, ответ ДСТ состоял из 12 битов информации, а общий цикл передачи данных между контроллером КБСО-СТ и датчиком содержал 20 бит. Так, например, на запрос $\langle 00101101 \rangle$ следовал ответ $\langle 10011111000 \rangle$,

если стрелка находилась в плюсовом положении, и $\langle 001100010111 \rangle$, если стрелка находилась в минусовом положении. Один цикл работы контроллера предполагал передачу и прием суммарно 20 бит информации.

Для стрелок, расположенных на небольшом удалении от поста электрической централизации, передача двух кодовых комбинаций требует времени на порядок меньше, чем цикл работы контроллера КБСО-СТ. Однако для связи с удаленными стрелками (4–6 км) длительность импульса увеличивалась до 2 мс. Это позволяло придать сообщению энергию, необходимую для гарантированного распознавания сигнала, передающегося постоянным током на километровые расстояния, а также достаточную для устойчивого питания блока ДСТ. При неблагоприятных условиях передачи сигнала обмен послылками с удаленной стрелкой мог занять более 50 мс, т. е. становился равным длительности цикла работы КБСО-СТ. При этом передача данных в линию сразу с обоих концов в начале следующего цикла передачи не была гарантированно защищена от сбоев в работе контроллера и, как следствие, сбоев в работе МПЦ-МПК.

Таким образом, для обеспечения надежности работы ДСТ необходимо было применить код с меньшим количеством контрольных разрядов. Анализ методов помехоустойчивого кодирования показал, что наиболее эффективным техническим решением является применение модульно-модифицированных кодов, разработанных в [10].

Модульно-модифицированный код строится по следующим правилам:

1. Подсчитывается вес информационного вектора r ;
2. Выбирается модуль $M = 2^{\lceil \log_2(m+1) \rceil - 1}$;
3. Вес r подсчитывается по выбранному модулю $(r) \bmod M$;
4. Подсчитывается специальный поправочный коэффициент α как сумма по модулю «два» заранее выбранных информационных разрядов;
5. Подсчитывается результирующий вес информационного слова $W = (r) \bmod M + \alpha M$;

6. Число W представляется в двоичном виде.

Модульно-модифицированные коды обозначают как $RSM(n, m)$ -коды. В [10] подробно изучены свойства модульно-модифицированных кодов. Показано, что при вычислении коэффициента α как суммы по модулю «два» $\frac{m}{2}$ при четном числе информационных разрядов и суммы по модулю «два» $\frac{m+1}{2}$ при

нечетном числе информационных разрядов дает возможность получения $RSM(n, m)$ -кода с минимальным общим числом необнаруживаемых искажений. В табл. 1 приводятся несколько примеров получения контрольных векторов для $RS2(10,8)$ -кода, у которого поправочный коэффициент вычисляется как $\alpha = x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_4$.

Для гарантированной реализации полного цикла опроса ДСТ в течение отведенного на

это времени для любой удаленной стрелки в самых неблагоприятных условиях передачи $H(12,8)$ -код было решено заменить на $RS2(10,8)$ -код. Данный код имеет на два контрольных разряда меньше, чем код Хэмминга (рис. 4).

Выбранный $RS2(10,8)$ -код полностью удовлетворяет всем условиям, предъявляемым к варианту кодирования:

1. Циклический сдвиг разрядов в кодовой комбинации не приводит к формированию разрешенной комбинации. Например, если ответ датчика плюсового положения на запрос $\langle 00101101 \rangle$ имеет вид $\langle 01111000.10 \rangle$ (точкой разделены информационный и контрольный векторы), то кодовое слово $\langle 11110001.00 \rangle$, представляющее собой циклический сдвиг ответа влево, не является разрешенным словом – вектором $RS2(10,8)$ -кода;

2. Инверсия разрядов не является кодовым словом $RS2(10,8)$ -кода. Например, в результате такой инверсии слово $\langle 01111000.10 \rangle$ преоб-

ТАБЛИЦА 1. Некоторые векторы $RS2(10,8)$ -кода

Информационные разряды								r	$(r)_{mod M}$	α	W	Контрольные разряды	
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8					y_1	y_2
0	1	0	1	0	1	0	0	3	1	0	1	0	1
0	1	0	0	0	0	1	0	2	0	1	2	1	0
0	1	1	1	1	0	0	0	4	0	1	2	1	0
0	1	1	0	1	1	1	0	5	1	0	1	0	1



Рис. 4. Сравнение полных циклов опроса ДСТ при различных вариантах кодирования

разуется в $\langle 10000111.01 \rangle$, и преобразованная посылка не принадлежит $RS2(10,8)$ -коду;

3. При наложении кодовых комбинаций от ДСТ различных положений не получается кодовой комбинации $RS2(10,8)$ -кода. Например, ответом датчика плюсового положения на запрос $\langle 00101101 \rangle$ является $\langle 01111000.10 \rangle$, а датчика минусового положения – $\langle 10000111.10 \rangle$. Результатом наложения комбинаций может стать конъюнкция или дизъюнкция значений соответствующих разрядов. Таким образом, в результате подключения к линии связи обоих ДСТ (по любой причине) контроллер КБСО-СТ примет ответ вида $\langle 11111111.10 \rangle$ либо $\langle 00000000.10 \rangle$. Обе этих кодовых комбинации не являются разрешенными словами $RS2(10,8)$ -кода.

Подобным образом были проанализированы все возможные ответы ДСТ при использовании $RS2(10,8)$ -кода. В табл. 2 приведен перечень всех возможных запросов, передаваемых контроллером КБСО-СТ, находящимся

в работоспособном состоянии, и ответов на них «плюсовым» и «минусовым» каналами блока ДСТ.

Заключение

При создании современных систем ЖАТ на микропроцессорной основе учитывается опыт эксплуатации систем прошлых поколений, а также достижения в области построения контролепригодных дискретных устройств, при работе которых определяются любые потенциально опасные нарушения. Развитию теории создания элементной базы, имеющей высокий уровень надежности и безопасности, посвящено множество работ, например [11–16]. В данной работе показано, как можно повысить надежность современных микропроцессорных систем управления и контроля за счет применения модульно-модифицированных кодов с суммированием [10]. $RSM(n,m)$ -коды,

ТАБЛИЦА 2. Таблица истинности для кодовых посылок

Запрос								Положение стрелки	Ответ ДСТ								Контрольный вектор $RS2(10,8)$ -кода	
0	0	0	0	0	0	0	1	+	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
0	0	0	1	0	1	1	1	+	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0
0	0	1	0	1	1	0	1	+	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0
0	0	1	1	1	0	1	1	+	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1
0	1	0	0	1	1	1	1	+	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1
0	1	0	1	1	0	0	1	+	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	1	+	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0
0	1	1	1	0	1	0	1	+	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	–	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1
0	0	0	1	0	1	1	1	–	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0
0	0	1	0	1	1	0	1	–	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1
0	0	1	1	1	0	1	1	–	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1
0	1	0	0	1	1	1	1	–	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1
0	1	0	1	1	0	0	1	–	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
0	1	1	0	0	0	1	1	–	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0
0	1	1	1	0	1	0	1	–	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1

в отличие от классических кодов Хэмминга, имеют фиксированное число контрольных разрядов (в зависимости от значения модуля M), что позволяет эффективно использовать их в системах диагностирования и передачи данных. $RSM(n,m)$ -коды соответствуют требованиям безопасности, предъявляемым к устройствам автоматического управления и контроля, и позволяют гарантированно передавать информационные послышки, укладываемые в цикл опроса.

Таким образом, разработанные в [10] модульно-модифицированные коды позволяют повысить эффективность управления напольным технологическим оборудованием железнодорожных станций. Практическим результатом исследования является применение $RS(10,8)$ -кода взамен $H(12,8)$ -кода при реализации программного обеспечения ДСТ на станциях «Ангариц» и «Хонных» Забайкальской железной дороги [17].

Библиографический список

1. **Основы** проектирования электрической централизации промежуточных станций : учеб. пособие / В. А. Кононов, А. А. Лыков, А. Б. Никитин. – Москва : ФГБОУ Учеб.-методич. центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2013. – 348 с.
2. **Автоматизированная** система экспертизы схемных решений железнодорожной автоматики и телемеханики / М. Н. Василенко, А. М. Горбачев, Д. В. Зуев, Е. В. Григорьев // Транспорт РФ. – 2011. – № 5 (36). – С. 64–67.
3. **Техническое** диагностирование и мониторинг состояния устройств ЖАТ / А. А. Лыков, Д. В. Ефанов, С. В. Власенко // Транспорт РФ. – 2012. – № 5 (42). – С. 67–72.
4. **Аспекты** создания интегрированной сети скоростного и высокоскоростного сообщения в Российской Федерации / А. С. Мишарин // Транспорт РФ. – 2014. – № 2 (51). – С. 9–13.
5. **Тенденции** развития электрической централизации и компьютерных систем оперативного управления движением поездов на станциях / А. Б. Никитин, С. В. Бушуев // Транспорт Урала. – 2006. – № 2. – С. 14–18.
6. **Микропроцессорные** системы централизации : учеб. для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / Вл. В. Сапожников и др. – Москва : ГОУ учеб.-методич. центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2008. – 398 с.
7. **МПЦ-МПК** : Система микропроцессорной централизации [Электронный ресурс]. – URL : <http://www.crtc.ru/mpc.php> (дата обращения 07.04.2014).
8. **Микропроцессорная** централизация на базе микроЭВМ и программируемых контроллеров МПЦ-МПК. Стрелочный датчик ДСТ. Доказательство безопасности. ЦКЖТ. 668991.617 ДБ. – Санкт-Петербург : ЦКЖТ. – 2010. – 22 с.
9. **Hamming, R. W.** (1950). Error detecting and correcting codes // Bell System Tech. J. – 29 (2), 147–160.
10. **Efanov, D.**, Sapozhnikov, V., Sapozhnikov, V.I., Blyudov A. (2013). On the problem of selection of code with summation for combinational circuit test organization // Proceedings of 11th IEEE East-West Design & Test Symp. (EWDTS'2013), Rostov-on-Don, Russia, Sept. 27–30, 261–266.
11. **Методы** обеспечения безопасности дискретных систем / Д. В. Гавзов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 8. – С. 3–50.
12. **Методы** построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Х. А. Христов, Д. В. Гавзов. – Москва : Транспорт, 1995. – 272 с.
13. **Устройства** защиты от импульсных перенапряжений электронных систем / А. Б. Никитин, А. Д. Манаков // Транспорт : наука, техника, управление. – 2010. – № 5. – С. 14–17.
14. **Рабочее** диагностирование безопасных информационно-управляющих систем / А. В. Дрозд, В. С. Харченко, С. Г. Антошук и др. ; под ред. А. В. Дрозда, В. С. Харченко. – Харьков : Нац. аэрокосмический ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2012. – 614 с.
15. **Обеспечение** тестируемости задержек путей при синтезе схем покрытием BDD-графов / А. Ю. Матросова, Д. В. Кудин, Е. А. Николаева, Е. В. Румянцева // Вестн. Томск. гос. ун-та (Управление, вычислительная техника и информатика). – 2013. – № 2 (23). – С. 130–139.
16. **Синтез** детекторов равновесных кодов с использованием монотонных функций / А. Ю. Матросова, Н. Б. Буторина, Н. О. Якимова // Изв. высш. учеб. заведений (Физика). – 2013. – Т. 56, № 9–2. – С. 171–173.
17. **Исследование** модифицированных кодов с суммированием в системах технической диагностики и обработки информации в устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / Блюдов Антон Александрович. – Санкт-Петербург, 2010. – 20 с.