

УДК 656.256.3

Д. А. Никитин, канд. техн. наук

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»,
Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I

ПОВЫШЕНИЕ ИНФОРМАТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ АЛС-ЕН ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДУЛЬНО ВЗВЕШЕННОГО КОДА С СУММИРОВАНИЕМ

Описываются назначение системы локомотивной сигнализации, основные функции, структурные схемы и их разновидности. Производится сравнительный анализ плюсов и минусов существующих систем локомотивной сигнализации. Более подробно рассмотрена система многозначной локомотивной сигнализации единого ряда АЛС-ЕН. Предложен метод модификации алгоритмов кодирования сигнала, передаваемого по рельсовой линии в системе АЛС-ЕН, проведен анализ помехоустойчивых свойств системы при замене модифицированного кода Бауэра на модульно взвешенный код с суммированием. Произведен анализ всех возможных ложных переходов кодовых комбинаций в канале передачи данных. Представляются результаты сравнения обнаруживающей способности рассматриваемых кодов в канале, а также основные причины отказов современных систем локомотивной сигнализации. Полученные методы модификации программных модулей шифрации и дешифрации данных позволили расширить значность системы в 4 раза – с 256 команд до 1024, отвечая всем требованиям безопасности при передаче данных.

локомотивная сигнализация; интервальное регулирование; значность системы; взвешивание разрядов; модульный код; избыточность; обнаруживающая способность

Введение

Система локомотивной сигнализации АЛС-ЕН предназначена для повышения безопасности движения поездов, увеличения пропускной способности и улучшения условий труда локомотивных бригад [1]. Системы локомотивной сигнализации разделяют на точечные и непрерывные. Точечные решения применялись ранее, и информация с путевого оборудования на локомотив поступала в определенные моменты пересечения поездом передающих устройств; в непрерывных системах локомотивной сигнализации информация постоянно передается с рельсовой линии на приемное оборудование локомотива посредством индуктивной связи по пути следования состава.

Системы АЛС состоят из напольного и локомотивного оборудования, которые позволяют решать следующие задачи:

- 1) ступенчатый контроль скорости поезда;
- 2) предоставление машинисту информации о состоянии участков пути;
- 3) предоставление информации о показаниях путевых светофоров, определяющих допустимую скорость движения;
- 4) повышение безопасности перевозочных процессов.

Наиболее распространенной системой локомотивной сигнализации на данный момент является АЛС непрерывного действия (АЛСН). В данной системе амплитудно-модулированный сигнал передается по рельсовой линии и с помощью приемных катушек на локомотиве поступает на дешифраторы локомотивного оборудования. АЛСН имеет следующие недостатки: малая значность системы (коды КЖ, Ж, З); низкая устойчивость к помехам за счет использования амплитудной модуляции; частые сбои из-за зависимости от напряжения; применение числового кода для кодирования информации; использование в конструкции электромагнитных реле; большое количество соединений; прием сигналов с соседних путей; прием сигналов с впередилежащего блок-участка.

С развитием высокоскоростных магистралей увеличилась длина тормозного пути поездов, появилась необходимость передачи информации не только о свободности пути, но и о допустимой скорости движения в зависимости от технического состояния пути (кривые участки, недостаточная прочность участков, искусственные сооружения) [1]. Таким образом, была разработана система АЛС-ЕН, позволяющая передавать на локомотив расширенную информацию, а именно:

- 1) о количестве свободных блок-участков (до 6);
- 2) скорости проследования следующего по ходу движения светофора (существует 16 градаций в диапазоне от 0 до 200 км/ч);
- 3) длине впередилежащего блок участка (длина больше или меньше тормозного пути нормативного поезда);
- 4) об отметке о движении поезда по главному пути или по отклонению на боковой путь;
- 5) сообщения о приближении к светофору с запрещающим проезд показанием, светофору с пригласительным огнем;
- 6) о номере пути (четный или нечетный) при двухпутной организации движения, что обеспечивает исключение подпиток с соседних путей;
- 7) о четном или нечетном блок-участке, что обеспечивает исключение подпиток от смежных блок-участков и из-под колес впередиидущего поезда.

Надежность системы АЛС-ЕН обеспечивается за счет использования элементов микросхем малой и средней степени интеграции, а также троирования напольного оборудования и дублирования локомотивных устройств. Для пере-

дачи информации по рельсовой линии используется сигнал несущей частоты 174,38 Гц фазоразностной модуляции, что дает некоторый выигрыш в помехозащищенности системы по сравнению с амплитудно-модулированным сигналом системы АЛСН. Информация передается по двум подканалам: по первому – информация о градации скоростей, а по второму – данные синхрогруппы для исключения подпиток [2].

1 Структура системы АЛС-ЕН

Напольные устройства системы АЛСН-ЕН (рис. 1) состоят из формирователя сигналов (ФС-ЕН), усилителя мощности (УМ), устройства защиты и согласования (УЗС), блока питания формирователя сигналов (БПФС), сетевого трансформатора (ПТ).

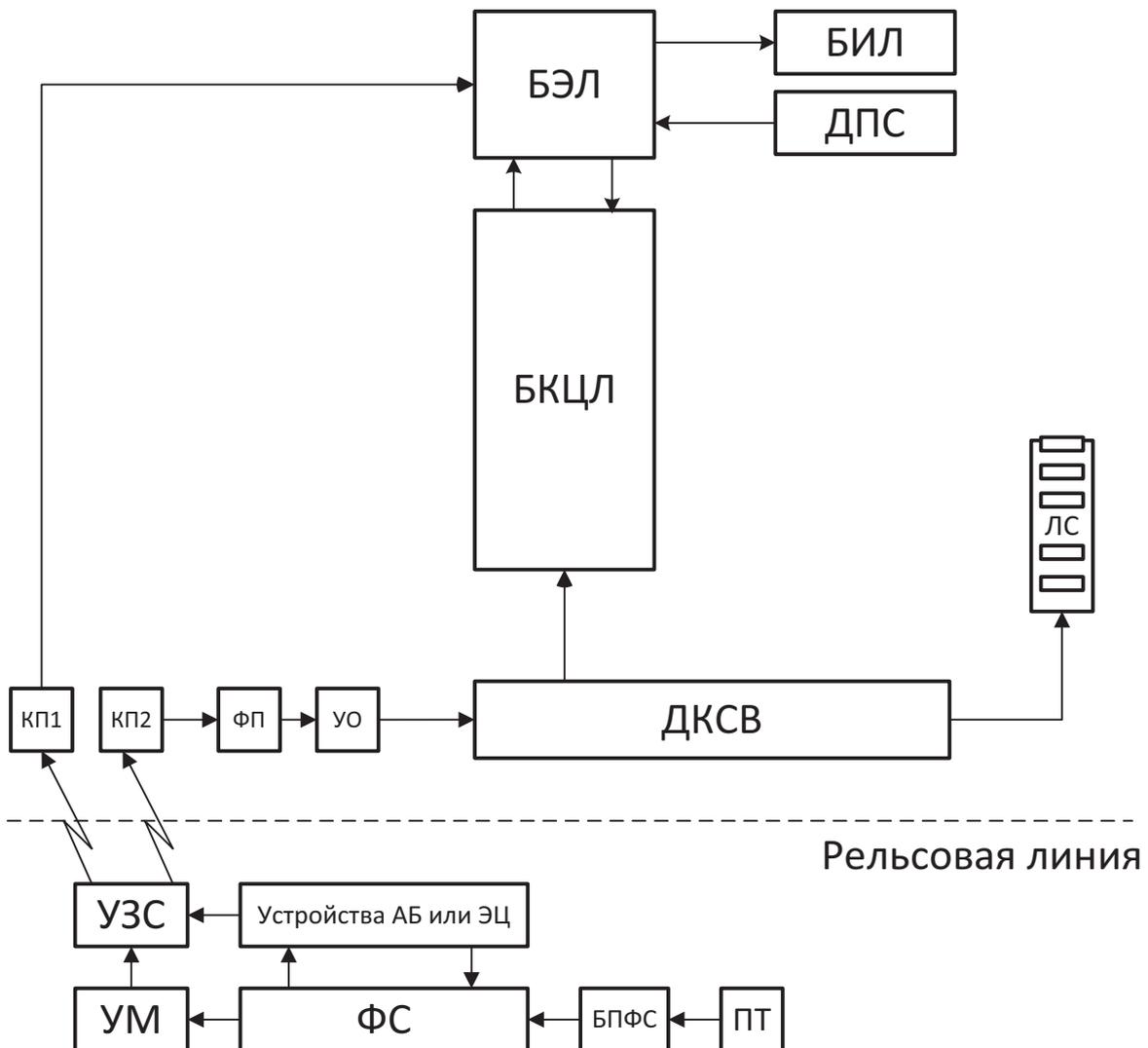


Рис. 1. Структурная схема АЛС-ЕН

Сетевой трансформатор ПТ обеспечивает подачу необходимых питающих напряжений на блок БПФС, который, в свою очередь, подает питание на формирователь сигналов (ФС). Блок ФС формирует фазоманипулированные сигналы частотой 174,38 Гц, которые в дальнейшем поступают на усилитель мощности и далее на блок УЗС, реализующий совместимость системы АЛС-ЕН и автоблокировки в рельсовой линии. Блок УМ питается от источника переменного тока частотой 50 Гц [2, 3].

ФС состоит из задающего генератора, датчиков кодовых комбинаций по двум подканалам, а также модулятора для модуляции сообщений, закодированных модифицированным кодом Бауэра [2]. Сигналы на блоке ФС формируются в зависимости от показаний устройств автоблокировки (АБ) или электрической централизации (ЭЦ); блок ФС имеет два выхода: частичного отказа, полного отказа. Это позволяет фиксировать сбои в режиме работы napольного оборудования АЛС-ЕН.

Блок УМ включает в себя сам усилитель мощности, а также кодовый трансформатор. УМ гарантирует необходимый ток на рельсовой линии.

Основные локомотивные устройства в системе АЛС-ЕН состоят из двух приемных катушек (КП1 и КП2), которые снимают показания с рельсовой линии за счет индуктивной связи, полосового фильтра (ФП), усилителя-ограничителя (УО), электронного блока (БЭЛ), блока индикации локомотива (БИЛ), а также блока коммутации цепей локомотива (БКЦЛ) и датчиков скорости (ДПС).

Катушки КП1 и КП2 работают для разных систем локомотивной сигнализации: КП1 для АЛС-ЕН, КП2 для АЛСН (в случае, когда локомотивная сигнализация АЛСН-ЕН невозможна). Обе системы, АЛСН и АЛСН-ЕН, реализованы в качестве локомотивного оборудования, переход осуществляется в автоматическом режиме в том случае, когда на катушку КП1 не приходят сигналы АЛС-ЕН. При возобновлении поступления сигналов АЛС-ЕН на катушке КП1 локомотивное оборудование вновь переключается на работу более современной системы сигнализации [2, 3].

С катушки КП1 на БЭЛ поступают кодовые сигналы. БЭЛ состоит из приемника сигналов системы АЛС-ЕН, измерителя скорости движения поезда, связанной с датчиком пути, датчика скорости ДПС, который устанавливается на редуторе или буксе локомотива. БЭЛ содержит декодер для сигналов системы АЛС, ячейку логической обработки для сравнения фактической скорости и допустимой в соответствии с информацией, полученной от декодера, устройство контроля правильной работы всей системы и усилитель сигналов управления экстренным торможением через БКЦЛ.

БИЛ, в соответствии с входными данными, может отображать количество свободных блок-участков, тип блок-участка (нормальный/укороченный), сигнал («красный»/«желтый с красным»/«желтый»/«зеленый»/«белый»/«белый мигающий»), маршрут следования (прямой/с отклонением), на циф-

ровых индикаторах – значение контролируемой скорости (скорости, которую поезду необходимо иметь в конце блок-участка), значение допустимой скорости (скорости, при которой будет применено экстренное торможение), индикаторы движения по перегону/по отклонению на боковой путь станции, индикаторы длины впередилежащего блок-участка [4].

БКЦЛ связан с различными датчиками, предоставляющими данные о состоянии локомотива. Контролируются контакты контроллера и рукоятки реверса, контакты рукоятки (педали) бдительности и кнопка выключения красного огня в случае, если поезд движется по участку без локомотивной сигнализации [2, 3].

Для обеспечения безопасности при использовании системы АЛС-ЕН путевая аппаратура строится с использованием трехкратного резервирования, а локомотивная – с двукратным резервированием основных блоков. Правильность функционирования блока ФС обеспечивается мажоритарной схемой «2 из 3» [4].

2 Принципы кодирования информации в системе АЛС-ЕН

При передаче данных с путевого оборудования на локомотивное в системе АЛС-ЕН в канале рельсовой линии сигнал имеет несущую частоту 174,38 Гц с применением двукратной фазоразностной модуляции и модифицированного кода Бауэра с количеством информационных битов $m = 4$, количеством контрольных битов $k = 4$ (табл. 2). Каждая посылка, состоящая из одного бита информации для подканала состоит из 16 периодов от несущей частоты (пример – на рис. 2). При условии использования разности фаз по каналу можно передавать двухбитную комбинацию одновременно, соответственно по двум подканалам передается информация, состоящая из 8-битовых сообщений, необходимых для регистрации обновленной информации на приемном оборудовании локомотива. Скорость передачи сообщений в таком канале составляет 10,9 бит/с.

Таблица 1. Информация в подканалах для различных фаз

Фазовый сдвиг (в градусах)	Информация в первом подканале	Информация во втором подканале
0	0	0
90	0	1
-90	1	0
180	1	1

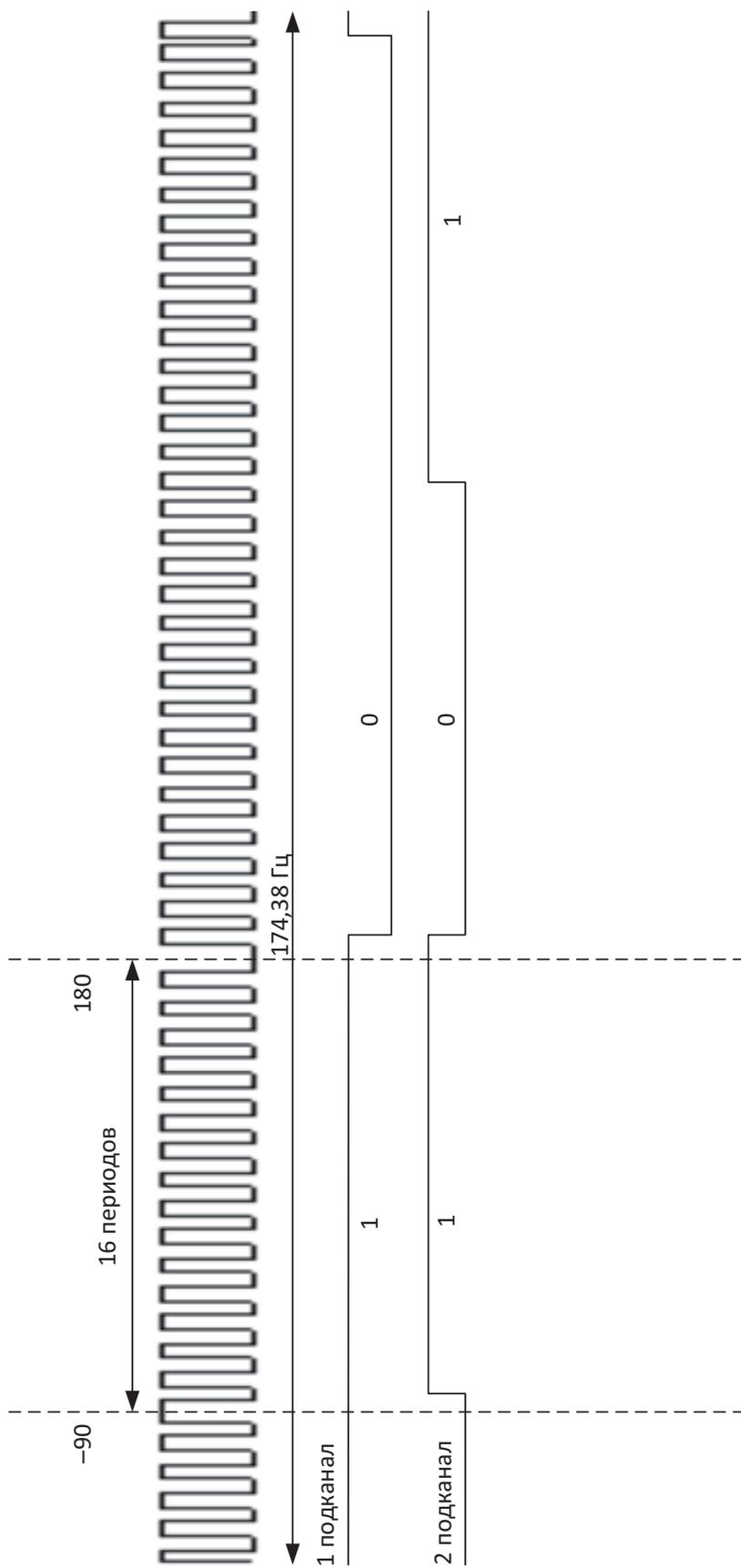


Рис. 2. Кодирование двух подканалов в системе АЛС-ЕН

Модифицированный код Бауэра строится следующим образом:

1. Производится операция сложения по модулю два всех разрядов информационного вектора $x_1 \oplus x_2 \oplus x_3 \oplus x_4$.

2. Если после выполнения предыдущего действия результат нулевой, то значение младшего разряда (x_1) инвертируется, а значения остальных разрядов не инвертируются и записываются в той же последовательности в контрольную часть кодового слова.

3. Если после выполнения пункта 1 алгоритма результат равен единице, то значение младшего разряда (x_1) не инвертируется, а все остальные разряды при этом инвертируются, полученное слово записывается в контрольную часть кодового слова.

В табл. 2 приведены все возможные кодовые комбинации при использовании модифицированного кода Бауэра в системе АЛС-ЕН.

Таблица 2. Кодовые комбинации модифицированного кода Бауэра

№	Информационный вектор	Значение операции \oplus	Контрольный вектор	Кодовое слово
0	0000	0	0001	00000001
1	0001	1	1111	00011111
2	0010	1	1100	00101100
3	0011	0	0010	00110010
4	0100	1	1010	01001010
5	0101	0	0100	01010100
6	0110	0	0111	01100111
7	0111	1	1001	01111001
8	1000	1	0110	10000110
9	1001	0	1000	10011000
10	1010	0	1011	10101011
11	1011	1	0101	10110101
12	1100	0	1101	11001101
13	1101	1	0011	11010011
14	1110	1	0000	11100000
15	1111	0	1110	11111110

Такой метод кодирования обеспечивает обнаружение всех возможных искажений в информационной части слова. В табл. 3 представлен пример передачи информации в канале рельсовой линии при использовании кода Бауэра.

Таблица 3. Передача информации в системе АЛС-ЕН

Сдвиг фазы	0°	0°	+90°	180°	-90°	-90°	180°	-90°	Кодовая комбинация
Информация в 1-м подканале	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Информация во 2-м подканале	0	0	1	1	0	0	1	0	3

3 Анализ сбоев в системах передачи данных

С развитием высокоскоростного движения на линии Санкт-Петербург – Москва была проведена модернизация оборудования, используемого для локомотивной сигнализации. Переход с систем АЛСН/АЛСЧ* на АЛС-ЕН повлек за собой немалое количество сбоев системы, вызванных несовместимостью оборудования. Система АЛСЧ работала на предельной скорости до 160 км/ч, дальнейшее увеличение скорости движения привело к состязаниям в элементах логических схем и снижению надежности аппаратуры в целом. За последние годы достигнуто существенное снижение этих нарушений.

Рассмотрим причины возникновения сбоев системы АЛС-ЕН. Статистические данные были включены в комплексную автоматизированную систему учета, контроля устранения отказов технических средств и анализа их надежности (КАСАНТ) и собраны с использованием систем диагностирования и удаленного мониторинга АПК-ДК. В табл. 4 представлены данные по Горьковской, Октябрьской и Московской железным дорогам за 2016 год.

Из таблицы 4 можно сделать вывод о том, что количество сбоев локомотивной аппаратуры примерно в два раза больше, чем на путевых устройствах. Поскольку информация АЛС-ЕН передается по рельсовой линии, рассмотрим более подробно распределение сбоев путевых устройств по службам (рис. 3).

Большинство сбоев происходит по вине службы Ш, следовательно, отдельно стоит рассмотреть причины отказов по хозяйству автоматики и телемеханики (рис. 4).

Основные проблемы создают релейные приборы, при этом следует отметить, что блок, отвечающий за генерацию кодовых сигналов ФС-ЕН, не является причиной сбоев, за 2016 год не было зафиксировано ни одного случая его отказа.

* Частотного типа.

Поскольку ФС-ЕН является высоконадежным устройством, за счет использования его ресурсов (модификации программного обеспечения) можно увеличить информативность системы, что актуально ввиду строительства скоростных магистралей.

Таблица 4. Анализ сбоев в работе устройств АЛС-ЕН за 2016 год

№	Причина	Количество сбоев
1	Путевые устройства	340
1.1	<i>По вине Ш</i>	148
1.1.1	Отказ блока ФС-ЕН	0
1.1.2	Неисправность монтажа	7
1.1.3	Неисправность разъема	8
1.1.4	Переходное сопротивление контактов или отказ реле	80
1.1.5	Отклонение тока АЛС от нормативных значений	8
1.1.6	Неисправность кабеля	4
1.1.7	Последствия нарушения правил производства работ	6
1.1.8	Причина не установлена	11
1.1.9	Другие причины	24
1.2	<i>По вине П</i>	13
1.2.1	Отсутствие (неисправность) соединителей	7
1.2.2	Последствия нарушения правил производства работ	1
1.2.3	Другие причины	5
1.3	<i>По вине Д. Не нажата кнопка скоростного режима</i>	22
1.4	<i>По вине завода-изготовителя и разработчика</i>	92
1.5	<i>Прочие</i>	65
2	<i>Локомотивные устройства</i>	708
2.1	<i>По вине Т</i>	14
2.2	<i>По вине ТР</i>	668
2.3	<i>По вине СЛП</i>	6
2.4	<i>По вине ДОСС</i>	8
2.5	<i>По вине ДМВ</i>	2

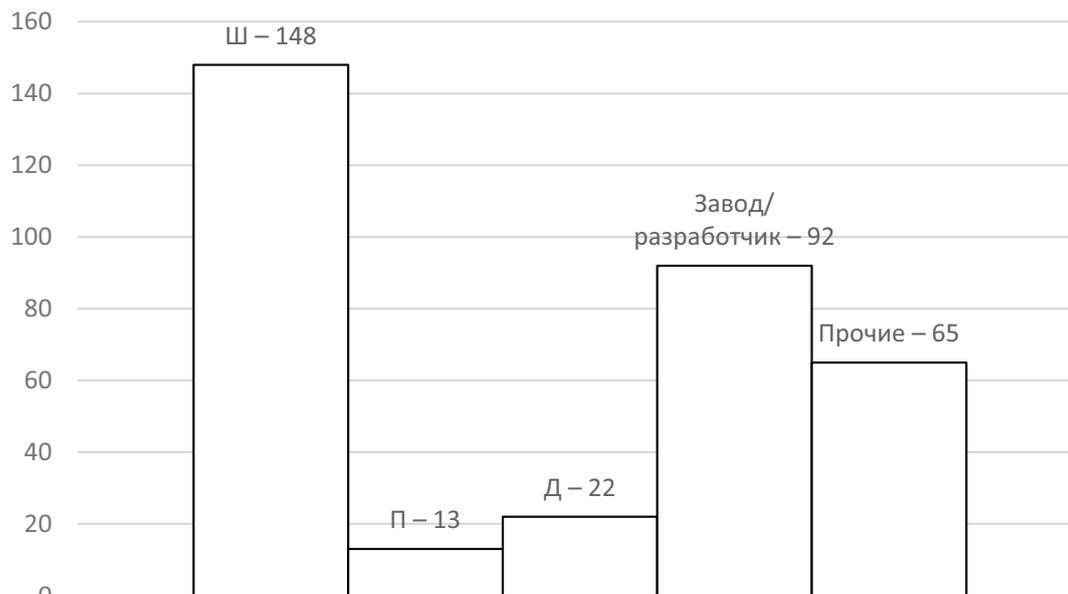


Рис. 3. Распределение сбоев АЛС-ЕН по службам

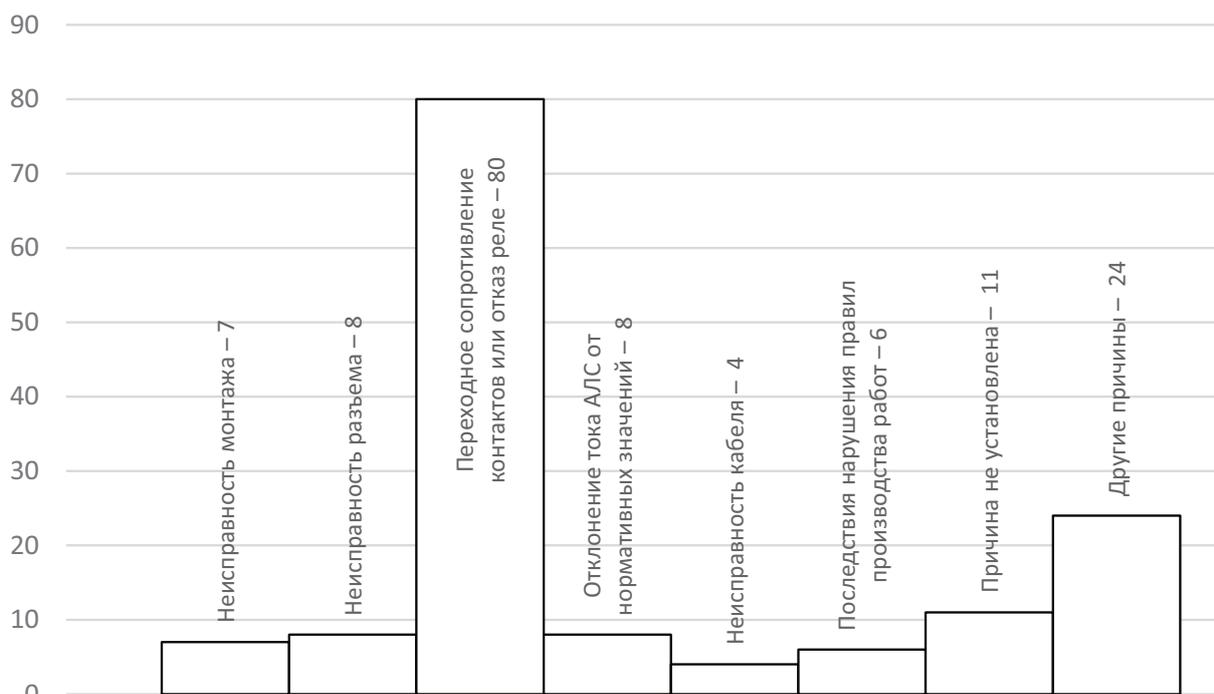


Рис. 4. Причины сбоев системы АЛС-ЕН по вине службы Ш

4 Способ увеличения количества передаваемой информации в системе АЛС-ЕН

При выборе способа кодирования данных были проанализированы различные варианты из кодов, имеющих небольшую избыточность и ориенти-

рованных на обнаружение ошибок, а не на их исправление [5–16]. Анализ показал, что наиболее эффективным для решения задачи может быть расширение информативности системы с применением модульно-взвешенного кода с суммированием – $WSM(5,3)$ -кода, где 5 и 3 – количество информационных и контрольных битов в слове [17, 18].

При использовании модульно взвешенного кода с суммированием $WSM(5,3)$ не изменяется длина посылок в каналах передачи данных, подбирается лишь иной алгоритм кодирования.

Проведем исследование модульного взвешенного кода с суммированием для передачи информации в канале и проанализируем его помехоустойчивые свойства. Рассмотрим правила построения модульного взвешенного кода с суммированием [17].

Алгоритм 1. Правила построения модульного кода с суммированием.

1. Устанавливается модуль $M = 2^{\log_2(m+1)}$.
2. Подсчитывается сумма весовых коэффициентов единичных разрядов – число W .
3. Число W вычисляется по модулю M : $W = W_m \pmod{M}$.
4. Полученное число W_m записывается в контрольный вектор в двоичном виде.

Для взвешенного модульного кода с суммированием $WSM(5,3)$ существует 32 кодовых комбинации против 16 в используемом АЛС-ЕН модифицированном коде Бауэра, это существенно увеличит значность системы АЛС-ЕН. Таким образом, мы имеем 32 кодовые комбинации с длиной каждой комбинации 8 битов.

Для примера составим таблицу кодовых расстояний между каждым кодовыми комбинациями для модифицированного кода Бауэра с тремя информационными битами. В табл. 5 представлены все векторы кода, а в табл. 6 вычислены все кодовые расстояния между векторами.

Таблица 5. Векторы кода Бауэра при $m = 3$

Номер кодовой комбинации	Комбинация	Обозначение
0	000001	v_0
1	001111	v_1
2	010100	v_2
3	011010	v_3
4	100010	v_4
5	101100	v_5
6	110111	v_6
7	111001	v_7

Таблица 6. Таблица кодовых расстояний между каждыми кодовыми комбинациями

	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7
v_0	0	3	3	4	3	4	4	3
v_1	3	0	4	3	4	3	3	4
v_2	3	4	0	3	4	3	3	4
v_3	4	3	3	0	3	4	4	3
v_4	3	4	4	3	0	3	3	4
v_5	4	3	3	4	3	0	4	3
v_6	4	3	3	4	3	4	0	3
v_7	3	4	4	3	4	3	3	0

Из табл. 6 можно сделать вывод о том, что количество ложных переходов кратности $d_3 = 32$, $d_4 = 24$.

С помощью программного обеспечения, написанного на языке высокого уровня Java, были рассчитаны все возможные необнаруживаемые ложные переходы при использовании кодирования $WSM(5,3)$ и модифицированного кода Бауэра (4,4). В табл. 7 представлены все возможные ложные переходы комбинаций по кратностям для $WSM(5,3)$ -кода и модифицированного кода Бауэра (4,4).

Таблица 7. Таблица ложных переходов

Код	Кратность перехода							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$WSM(5,3)$	0	88	240	304	240	88	0	32
Код Бауэра (4,4)	0	0	0	224	0	0	0	16

Как видно из табл. 7, количество ложных переходов в $WSM(m, k)$ -коде существенно больше по всем кратностям, чем в модифицированном коде Бауэра, но при этом количество информационных битов также увеличилось. Поэтому на основании данных, представленных выше, можно построить таблицу коэффициентов ложных переходов (табл. 8) [19] с использованием формулы

$$K_{\text{л}}(d) = \frac{1}{N_p} \frac{N_d}{C_n^d},$$

где N_p – число всех кодовых комбинаций, используемых для кодирования; N_d – количество ложных переходов кратностью d ; C_n^d – число сочетаний из n по d (n – длина кодовой комбинации).

Таблица 8. Таблица коэффициентов ложных переходов

Код	$K_{\text{л}}(d)$							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$WSM(5,3)$	0	0,098	0,134	0,136	0,134	0,098	0	1
Код Бауэра (4,4)	0	0	0	0,2	0	0	0	1

Таким образом, при увеличении числа информационных битов и такой же длине посылки в случае использования модульного взвешенного кода с суммированием не обнаруживается 9,8% двукратных искажений, 13,4% трехкратных искажений, 13,6% четырехкратных искажений, 13,4% пятикратных искажений, 9,8% шестикратных искажений и все восьмикратные искажения. Модифицированный код Бауэра не обнаруживает 20% четырехкратных искажений и все восьмикратные искажения.

Рассмотрим вероятности возникновения необнаруживаемой ошибки в канале передачи данных рельсовой линии при условии, что вероятность искажения каждого символа передаваемой последовательности $p_3 = 10^{-4}$, $p_3 = 10^{-3}$, $p_3 = 10^{-2}$.

Из [20, 21] известно, что для расчета вероятности возникновения ошибки кратностью d в канале используется формула

$$Q_d = K_{\text{л}}(d) C_n^d (1-p)^d p^{n-d},$$

где $K_{\text{л}}(d)$ – коэффициент ложных переходов данной кратностью; C_n^d – число сочетаний из n по d (n – длина кодовой комбинации); $p = 1 - p_3$ – достоверность передачи информации.

В табл. 9 представлены результаты вычислений вероятностей возникновения необнаруживаемого искажения в канале системы АЛС-ЕН для $WSM(5,3)$ -кода и модифицированного кода Бауэра (4,4).

При условии, что вероятность искажения одного бита $p_3 = 10^{-4}$ [21], инерционность системы АЛС-ЕН составляет около 3 с [2, 3], скорость передачи данных равна 10,9 бит/с [22], тогда за 3 секунды придет 4 посылки на локомотив с путевого оборудования, при этом достоверность принимаемой информации определяется по мажоритарной схеме «2 из 3». Следовательно, вероятность отображения неверных данных на блоке индикации по вине обнаруживающей способности кода $3 \cdot (2,75 \cdot 10^{-8})^2 + (2,75 \cdot 10^{-8})^3 \approx 8,25 \cdot 10^{-16}$.

Таким образом, увеличивая количество информации, передаваемой на локомотив в системе АЛС-ЕН с использованием $WSM(m,k)$ -кода, выполняется требование к приему данных ($P < 10^{-14}$) [23].

Следует также отметить, что основные сбои системы АЛС-ЕН в путевом оборудовании происходят по вине отказов релейных приборов и изменение

Таблица 9. Вероятность необнаруживаемого искажения по кратностям d

Для модульного кода $WSM(5,3)$								
p	$d=2$	$d=3$	$d=4$	$d=5$	$d=6$	$d=7$	$d=8$	Суммарная вероятность
0,9999	$2,75 \cdot 10^{-8}$	$7,50 \cdot 10^{-12}$	$9,50 \cdot 10^{-16}$	$7,50 \cdot 10^{-20}$	$2,75 \cdot 10^{-24}$	0	$1,00 \cdot 10^{-32}$	$2,75 \cdot 10^{-8}$
0,999	$2,73 \cdot 10^{-6}$	$7,46 \cdot 10^{-9}$	$9,46 \cdot 10^{-12}$	$7,48 \cdot 10^{-10}$	$2,74 \cdot 10^{-18}$	0	$1,00 \cdot 10^{-24}$	$2,74 \cdot 10^{-6}$
0,99	$2,59 \cdot 10^{-4}$	$7,13 \cdot 10^{-6}$	$9,13 \cdot 10^{-8}$	$7,28 \cdot 10^{-10}$	$2,70 \cdot 10^{-12}$	0	$1,00 \cdot 10^{-16}$	$2,66 \cdot 10^{-4}$
0,9	$2,75 \cdot 10^{-8}$	$4,43 \cdot 10^{-3}$	$9,13 \cdot 10^{-8}$	$5,47 \cdot 10^{-5}$	$2,23 \cdot 10^{-6}$	0	$1,00 \cdot 10^{-8}$	$4,49 \cdot 10^{-3}$
Для кода Бауэра								
0,9999	0	0	$1,40 \cdot 10^{-15}$	0	0	0	$1,00 \cdot 10^{-32}$	$1,40 \cdot 10^{-15}$
0,999	0	0	$1,39 \cdot 10^{-11}$	0	0	0	$1,00 \cdot 10^{-24}$	$1,39 \cdot 10^{-11}$
0,99	0	0	$1,34 \cdot 10^{-7}$	0	0	0	$1,00 \cdot 10^{-16}$	$1,34 \cdot 10^{-7}$
0,9	0	0	$1,34 \cdot 10^{-7}$	0	0	0	$1,00 \cdot 10^{-8}$	$1,44 \cdot 10^{-7}$

алгоритмов кодирования сигнала не изменит надежности системы в целом, при этом добавит системе значность.

Стоит отметить, что такой способ увеличения значности системы АЛС-ЕН с изменением способа кодирования информации и без внесения изменений в аппаратное обеспечение не требует экономических затрат, которые могли бы возникнуть вследствие проектирования модификаций систем АЛС-ЕН для увеличения градаций скоростей, передаваемых на локомотивные устройства. В случае изменения конструктивных особенностей генераторов сигналов ФС-ЕН, приемного оборудования, разработок по изменению кодирования канала, испытаний безопасности и переоборудования существующих решений затраты на реализацию могут достигать десятков миллионов рублей, и пройдет много лет до принятия новой системы в эксплуатацию.

Заключение

При использовании модульно взвешенного кода с суммированием для кодирования информации в подканалах системы АЛС-ЕН не изменяются характеристики сигналов в рельсовой линии, не требуется переработка оборудования генерации и приема сигналов, изменения затрагивают лишь программную реализацию расшифровки закодированного сообщения. Изменив алгоритм кодирования информации без увеличения длины передаваемых сообщений, удалось добиться расширения количества передаваемых команд с 16 до 32 в каждом подканале, что увеличило значность системы в четыре раза, при этом затраты на реализацию данного решения требуются лишь при

разработке обновленного программного обеспечения для оборудования системы АЛС-ЕН.

Библиографический список

1. Кравцов Ю. А. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики / Ю. А. Кравцов, В. Л. Нестеров, Г. Ф. Лекута ; под ред. Ю. А. Кравцова. – М. : Транспорт, 1996. – 400 с.
2. Лисенков В. М. Автоматическая локомотивная сигнализация АЛС-ЕН / В. М. Лисенков, Д. В. Шалягин, Г. А. Казимов // АТИС. – 1987. – № 12. – С. 26–29.
3. Лисенков В. М. Автоматическая локомотивная сигнализация АЛС-ЕН / В. М. Лисенков, Д. В. Шалягин, Г. А. Казимов, Е. Н. Розенберг // АТИС. – 1987. – С. 11–16.
4. Лисенков В. М. Системы управления движением поездов на перегонах : учебник для вузов ж.-д. транспорта : в 3 ч. Ч. 2 / В. М. Лисенков, П. Ф. Бестемьянов, В. Б. Леушин, А. В. Лисенков, А. Е. Ваньшин ; под ред. В. М. Лисенкова. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. – 324 с.
5. Ефанов Д. В. О свойствах кода с суммированием в схемах функционального контроля / Д. В. Ефанов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 6. – С. 155–162.
6. Сапожников Вал. В. Предельные свойства кода с суммированием / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2010. – № 3. – С. 290–299.
7. Блюдов А. А. Построение модифицированного кода Бергера с минимальным числом необнаруживаемых ошибок информационных разрядов / А. А. Блюдов, Д. В. Ефанов, Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Электронное моделирование. – 2012. – Т. 34. – № 6. – С. 17–29.
8. Ефанов Д. В. Три теоремы о кодах Бергера в схемах встроенного контроля / Д. В. Ефанов // Информатика и системы управления. – 2013. – № 1. – С. 77–86.
9. Сапожников Вал. В. Свойства кодов с суммированием взвешенных переходов с прямой последовательностью весовых коэффициентов / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, В. В. Дмитриев // Информатика и системы управления. – 2014. – № 4. – С. 77–88.
10. Sapozhnikov Val. Optimum Sum Codes, that Effectively Detect the Errors of Low Multiplicities / Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, D. Efanov, V. Dmitriev, M. Cherepanova // RadioElectronics & Informatics. – 2015. – № 1. – Pp. 17–22.
11. Дмитриев В. В. Особенности синтеза генераторов кодов с суммированием взвешенных переходов при различной полноте информации о контролируемой логической схеме / В. В. Дмитриев // Сборник материалов конференции «Проблемы безопасности и надежности микропроцессорных комплексов» ; под ред. д-ра техн. наук, профессора Вал. В. Сапожникова. – СПб. : ФГБОУ ВПО ПГУПС, 2015. – С. 158–166.

12. Дмитриев В. В. О двух способах взвешивания и их влиянии на свойства кодов с суммированием взвешенных переходов в системах функционального контроля логических схем / В. В. Дмитриев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2015. – № 3. – С. 119–129.
13. Sapozhnikov Val. Modular Sum Code in Building Testable Discrete Systems / Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, D. Efanov // Proceedings of 13th IEEE East-West Design & Test symposium (EWDTS'2015), Batumi, Georgia, September 26–29, 2015. – Pp. 181–187.
14. Сапожников Вал. В. Двухмодульный код с суммированием единичных информационных разрядов по модулю четыре в системах функционального контроля / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, В. А. Шагина // Информационные технологии на транспорте : сб. материалов секции «Информационные технологии на транспорте» юбилейной XV Санкт-Петербургской Международной конференции «Региональная информатика – 2016», Санкт-Петербург, 26–28 октября 2016 г. ; под. ред. Вал. В. Сапожникова. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – С. 9–16.
15. Ефанов Д. В. Анализ сложности технической реализации систем функционального контроля организованных на основе двухмодульных кодов с суммированием по модулю четыре / Д. В. Ефанов, В. А. Шагина // Транспортные интеллектуальные системы : сб. материалов I Международной научно-практической конференции «Транспортные интеллектуальные системы – 2017» (TIS-2017), Санкт-Петербург, 16–17 февраля 2017 г. ; под. ред. Вал. В. Сапожникова, Д. В. Ефанова. – СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2017. – С. 19–31.
16. Сапожников Вал. В. Новые структуры систем функционального контроля логических схем / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, В. В. Дмитриев // Автоматика и телемеханика. – 2017. – № 2. – С. 127–143.
17. Сапожников Вал. В. Модульно взвешенный код с суммированием для систем технического диагностирования / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, Д. А. Никитин // Информатика и системы управления. – 2015. – № 3. – С. 53–62.
18. Efanov D. Sum Code Formation with Minimum Total Number of Undetectable Errors in Data Vectors / D. Efanov, Val. Sapozhnikov, Vl. Sapozhnikov, D. Nikitin // Proceedings of 13th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2015), Batumi, Georgia, September 26–29, 2015. – Pp. 141–148.
19. Мельников Ю. Н. Достоверность информации в сложных системах / Ю. Н. Мельников. – М. : Советское радио, 1973. – 192 с.
20. Ефанов Д. В. Коды Хэмминга и их обнаруживающие способности в схемах функционального контроля / Д. В. Ефанов, А. А. Блюдов // Информатика и системы управления. – 2012. – № 2. – С. 100–111.
21. Переборов А. С. Диспетчерская централизация : учебник для вузов ж.-д. транспорта / А. С. Переборов, О. К. Дрейман, Л. Ф. Кондратенко ; под ред. Вал. В. Сапожникова. – М. : Транспорт, 1989. – 303 с.
22. Брылеев А. М. Автоматическая локомотивная сигнализация и авторегулировка / А. М. Брылеев, О. Поупе, В. С. Дмитриев, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский. – М. : Транспорт, 1981. – 319 с.

23. Сапожников Вл. В. Микропроцессорные системы централизации : учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта / Вл. В. Сапожников, В. А. Кононов, С. А. Куренков, А. А. Лыков, О. А. Наседкин, А. Б. Никитин, А. А. Прокофьев, М. С. Трясов ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2008.– 398 с.

Dmitry A. Nikitin

«Automation and remote control on railways» department
Emperor Alexander I St. Petersburg state transport university

Information capacity improvement of collision avoidance system for integrated continuous automatic cab signaling trains movement by means of modular weighted summation code

The purpose of a cab-signaling system, as well as basic functions, systems' structure and modifications were described in the study. The comparative analysis of advantages and disadvantages of the existing systems was given. The system of multivalued cab-signaling of integrated continuous automatic cab-signaling (ICACS) common range was examined in greater detail. The method of coding algorithm modification of a railway line transmitted signal in the system of ICACS was introduced in the given study, as well as the analysis of jam proof properties of a system was carried out, in the process of replacing a modified Bauer code with a modular weighted summation code. An in-depth analysis of all possible false transitions of signal code combinations in a data transfer circuit was performed. The results of comparing detection capacity of the examined codes in a circuit were presented, as well as the main reasons of modern cab signaling systems failure. The obtained methods of modification of data codification and code deciphering software modules made it possible to broaden the system's valence by four times from 256 to 1024 program orders, satisfying safety requirements in the process of data transfer.

cab signaling; collision avoidance; system's valence; weighing of bits; modular code; redundancy; detection capacity

References

1. Kravcov Yu.A., Nesterov V.L., Lekuta G.F. (1996). Ed. Yu.A. Kravcov. Railway automation and telemechanics systems [Sistemy zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki]. Moscow, Transport [Transport]. – 400 p.

2. Lisenkov V.M., Shalyagin D.V., Kazimov G.A. (1987). Automatic locomotive signaling ALS-EN [Avtomaticheskaya lokomotivnaya signalizaciya ALS-EN]. Automation, telemechanics and communication [ATIS], issue 112. – Pp. 26–29.
3. Lisenkov V.M., Shalyagin D.V., Kazimov G.A., Rozenberg E.N. (1987). Automatic locomotive signaling ALS-EN [Avtomaticheskaya lokomotivnaya signalizaciya ALS-EN]. Automation, telemechanics and communication [ATIS]. – Pp. 11–16.
4. Lisenkov V.M., Bestem'yanov P.F., Leushin V.B., Lisenkov A.V., Van'shin A.E. (2009). Ed. V.M. Lisenkova. Traffic control systems on trains, textbook [Sistemy upravleniya dvizheniem poezdov na peregonah, uchebnik dlya vuzov zh.-d. transporta: V 3 ch. Ch. 2.]. Moscow, FSBEI «Study and methodical railway transport education center» [GOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte». – 324 p.
5. Efanov D.V., Sapozhnikov Val.V., Sapozhnikov Vl.V. (2010). On summation code properties in functional control circuits [O svojstvakh koda s summirovaniem v skemah funkcional'nogo kontrolya]. Automation and Remote Control [Avtomatika i telemekhanika], issue 6. – Pp. 155–162.
6. Sapozhnikov Val.V., Sapozhnikov Vl.V., Efanov D.V. (2010). Berger Code Limit Properties [Predel'nye svojstva koda s summirovaniem]. Proceedings of Petersburg transport university [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya], issue 3. – Pp. 290–299.
7. Blyudov A.A., Efanov D.V., Sapozhnikov Val.V., Sapozhnikov Vl.V. (2012). Formation Berger modified code with minimum total number of undetectable errors in data bits [Postroenie modifitsirovannogo koda Bergera s minimal'nym chislom neobnaruzhivaemyh oshibok informacionnyh razryadov]. Electronic Modelling [Elektronnoe modelirovanie], vol. 34, issue 6. – Pp. 17–29.
8. Efanov D.V. (2013). Three theorems about Berger codes in builtin control circuits [Tri teoremy o kodah Bergera v skemah vstroennogo kontrolya]. Information science and control systems [Informatika i sistemy upravleniya], issue 1. – Pp. 77–86.
9. Sapozhnikov Val.V., Sapozhnikov Vl.V., Efanov D.V., Dmitriev V.V. (2014). Properties of codes with summation of transitions between data bits with direct sequence of weighting coefficient [Svojstva kodov s summirovaniem vzveshennyh perekhodov s pryamoj posledovatel'nost'yu vesovyh koehfficientov]. Information Science and control systems [Informatika i sistemy upravleniya], issue 4. – Pp. 77–88.
10. Sapozhnikov Val., Sapozhnikov Vl., Efanov D., Dmitriev V., Cherepanova M. Optimum sum codes, that effectively detect the errors of low multiplicities. Radioelectronics & informatics, N 1. – Pp. 17–22.
11. Dmitriev V.V. (2015). Features of synthesizing code with summation of weighted transitions generators with different completeness of information on the controlled logic scheme. Proceedings of scientific-practical conference: «Problems of safety and reliability of microprocessor complexes» in ed. Val.V. Sapozhnikov [Osobennosti sinteza generatorov kodov s summirovaniem vzveshennyh perekhodov pri razlichnoj polnote informacii o kontroliruemoj logicheskoy skheme. Sbornik materialov konferencii «Problemy bezopasnosti i nadezhnosti mikroprocessornyh kompleksov»; pod red. d-ra tekhn. nauk, professora Val.V. Sapozhnikova]. St. Petersburg, PSTU [PGUPS]. – Pp. 158–166.

12. Dmitriev V. V. (2015). On the two weighing methods and their influence on properties of sum codes of weighted transitions in functional logical scheme control systems [O dvuh sposobah vzveshivaniya i ih vliyaniy na svoystva kodov s summirovaniem vzveshennykh perekhodov v sistemah funktsional'nogo kontrolya logicheskikh skhem]. Proceedings of Petersburg transport university [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshcheniya], issue 3. – Pp. 119–129.
13. Sapozhnikov Val., Sapozhnikov Vl., Efanov D. Modular sum code in building testable discrete systems. Proceedings of 13th IEEE East-West Design & Test symposium (EWDTS'2015), Batumi, Georgia, September 26–29. – Pp. 181–187.
14. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Efanov D. V., Shchagina V. A. (2016). Two-modulus code with summation of ones in data bits by modulo «Four» in concurrent error detection systems [Dvuhmodul'nyj kod s summirovaniem edinichnykh informatsionnykh razryadov po modulyu chetyre v sistemah funktsional'nogo kontrolya]. Information technologies at transport: proc. section «Information technologies at transport» of Anniversary XV St. Petersburg int. conf. «Regional informatics–2016», St. Petersburg, 26–28 of Oct.; ed. Val. V. Sapozhnikov [Informatsionnye tekhnologii na transporte, sbornik materialov sekcii «Informatsionnye tekhnologii na transporte» Yubilejnoj XV Sankt-Peterburgskoj mezhdunarodnoj konferencii «Regional'naya informatika – 2016». St. Peterburg, 26–28 Oktyabrya 2016 g.; pod. red. Val. V. Sapozhnikova]. St. Petersburg, PSTU. – Pp. 9–16.
15. Efanov D. V., Shchagina V. A. (2017). Analysis of complexity of concurrent error detection system based on use of two-modulo codes with summation by modulo 4 technical realization [Analiz slozhnosti tekhnicheskoy realizacii sistem funktsional'nogo kontrolya organizovannykh na osnove dvuhmodul'nykh kodov s summirovaniem po modulyu 4]. Transport intelligent systems: proc. 1st int. scientific-practical conf. «Transport intelligent systems – 2017» (TIS-2017), St. Petersburg, 16–17 Feb. 2017, ed. Val. V. Sapozhnikov, D. V. Efanov [Transportnye intellektual'nye sistemy, sbornik materialov I mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Transportnye intellektual'nye sistemy – 2017» (TIS-2017), St. Peterburg, 16–17 Fevralya 2017 g., pod red. Val. V. Sapozhnikova, D. V. Efanova]. St. Petersburg, FGBOU VO PGUPS. – Pp. 19–31.
16. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Efanov D. V., Dmitriev V. V. (2017). New structures of the concurrent error detection systems for logic circuits [Nye struktury sistem funktsional'nogo kontrolya logicheskikh skhem]. Automation and remote control [Avtomatika i telemekhanika], issue 2. – Pp. 127–143.
17. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Efanov D. V., Nikitin D. A. (2015). Modulo weighted code with summation for technical diagnostics systems [Modul'no vzveshennyj kod s summirovaniem dlya sistem tekhnicheskogo diagnostirovaniya]. Information Science and control systems [Informatika i sistemy upravleniya], issue 3. – Pp. 53–62.
18. Efanov D., Sapozhnikov Val., Sapozhnikov Vl., Nikitin D. Sum code formation with minimum total number of undetectable errors in data vectors. Proceedings of 13th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2015), Batumi, Georgia, September 26–29. – Pp. 141–148.

19. Mel'nikov Yu. N. (1973). Reliability of information in complex systems [Dostovernost' informacii v slozhnyh sistemah]. Moscow, Union radio [Sov. radio]. – 192 p.
20. Efanov D. V., Blyudov A. A. (2012). The Hamming codes and their error detection abilities in functional control circuits [Kody Hehmminga i ih obnaruzhivayushchie sposobnosti v skhemah funkcional'nogo kontrolya]. Information science and control systems [Informatika i sistemy upravleniya], issue 2. – Pp. 100–111.
21. Pereborov A. S., Drejman O. K., Kondratenko L. F. (1989). Dispatching centralization, textbook, ed. Val. V. Sapozhnikov [Dispetcherskaya centralizaciya, uchebnik dlya vuzov zh. d. transp.; pod red. Val. V. Sapozhnikova]. Moscow, Transport [Transport], 1989. – 303 p.
22. Bryleev A. M., Poupe O., Dmitriev V. S., Kravcov Yu. A., Stepenskij B. M. (1981). Automatic locomotive signaling and auto-adjustment [Avtmatischeeskaya lokomotivnaya signalizaciya i avtoregulirovka]. Moscow, Transport [Transport]. – 319 p.
23. Sapozhnikov V. V., Kononov V. A., Kurenkov S. A., Lykov A. A., Nasedkin O. A., Nikitin A. B., Prokof'ev A. A., Tryasov M. S. (2008). Microprocessor interlocking, textbook [Mikroprocessornye sistemy centralizacii, uchebnik dlya tekhnikumov i kolle-dzhej zheleznodorozhnogo transporta]. V. V. Ed. Sapozhnikov [Pod red. V. V. Sapozhnikova]. Moscow, FSBEI «Study and methodical railway transport education center» [GOU «Uchebno-metodicheskij centr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte». – 398 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии О. А. Наседкиным
Поступила в редакцию 17.03.2017, принята к публикации 15.05.2017*

*Никитин Дмитрий Александрович – канд. техн. наук, аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I.
e-mail: nikitin239@gmail.com*

© Никитин Д. А., 2017