

УДК 656.259.2

К. В. ГОНЧАРОВ – к.т.н., доцент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, goncharov_k@inbox.ru

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАЗЛИЧЕНИЯ СИГНАЛОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКОМОТИВНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Статью представил д.физ. - мат. н., проф. В. И. Гаврилюк

Постановка проблемы

Автоматическая локомотивная сигнализация (АЛС) предназначена для обеспечения безопасности движения поездов и улучшения условий труда локомотивных бригад. Устройства АЛС осуществляют передачу сигнальных показаний путевых светофоров в кабину машиниста и отображение этих показаний на локомотивном светофоре. Кроме этого, система АЛС выполняет контроль скорости поезда и проверку бдительности машиниста.

На железных дорогах Украины наиболее широко применяется автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного типа с числовым кодированием (АЛСН) [1, 5]. В такой системе для передачи информации о показаниях впередилежащих путевых светофоров применяются три кодовые комбинации электрических сигналов, которые посылаются в рельсовую цепь навстречу поезду. В качестве селективных признаков таких сигналов применяются временные параметры передаваемых импульсов, а также количество импульсов в кодовом цикле.

Система АЛСН имеет ряд недостатков: малую значность сигнализации, низкую помехоустойчивость, высокую инерционность. Особенно сильно данные недостатки проявляются в условиях скоростного движения поездов. Кроме этого, устройства АЛСН разрабатывались в середине прошлого века на основе релейной и дискретной электронной элементной базы, что обу-

славливает их высокую стоимость, низкую функциональную гибкость, значительные эксплуатационные расходы на техническое обслуживание. Например, проверка релейного дешифратора числового кода АЛСН представляет собой сложный и трудоемкий процесс, связанный с измерением электрических, временных и механических параметров входящих в состав дешифратора реле [5]. В связи с этим задача модернизации устройств автоматической локомотивной сигнализации является актуальной.

Один из путей совершенствования системы АЛСН связан с переводом технических средств на более надежную микроэлектронную элементную базу. Современный уровень развития цифровых сигнальных процессоров (ЦСП) [2] позволяет строить на их основе компактные надежные устройства, выполняющие довольно сложные алгоритмы цифровой обработки сигналов. Использование цифровых технологий при построении локомотивного приемника позволит расширить его функциональные возможности, снизить энерго- и материалоемкость аппаратуры, упростить техническое обслуживание. Применение новых, более совершенных алгоритмов обработки сигналов АЛСН, реализация которых на старой элементной базе была затруднительной или принципиально невозможной, обеспечит повышение помехозащищенности и устойчивости функционирования системы локомотивной сигнализации в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов.

Анализ последних исследований и публикаций

В работах [3, 4, 9] рассматриваются вопросы усовершенствования локомотивного приемника АЛСН. Для повышения помехоустойчивости предлагается использовать дополнительную обработку сигналов АЛС: определение эффективного значения напряжения сигналов числового кода, дополнительную фильтрацию, временную селекцию сигналов [3, 4]. В работе [9] предлагается выполнять дешифрацию кода АЛС по спектральному признаку. Для этого в локомотивном приемнике должна определяться спектральная характеристика полученного сигнала и сравниваться с эталонными характеристиками различных числовых кодов. Предложенные методы обработки сигналов АЛС базируются на детерминированных подходах. В то же время на вход локомотивного приемника поступает аддитивная смесь случайной помехи и кодового сигнала со случайной амплитудой. Поэтому для обработки сигналов АЛС целесообразно использовать статистические методы [6].

Цель работы

Целью данной работы является поиск новых более совершенных методов обработки сигналов автоматической локомотивной сигнализации, синтез помехоустойчивого цифрового локомотивного приемника АЛСН.

Критерий обнаружения и различения сигналов АЛСН

В системе АЛСН для передачи на локомотив информации о показаниях впереди лежащих светофоров применяются электрические сигналы с различным числом импульсов переменного тока в кодовом цикле. При приближении поезда к светофору с зеленым огнем передается код «З», содержащий три импульса в кодовом цикле (рис. 1, а), к светофору с желтым огнем – код «Ж» с двумя импульсами в цикле

(рис. 1, б). Если впереди поезда расположен светофор с красным огнем, то в рельсовую линию посылается код «КЖ», в каждом цикле которого передается один импульс (рис. 1, в), причем длительность цикла в два раза меньше, чем для кода «З» и «Ж». При движении поезда по занятому блоку участка сигнал АЛС отсутствует. Длительность импульсов и пауз для различных кодовых сигналов задается передающим устройством АЛСН, в качестве которого применяется кодовый путевой трансмиттер. Для разделения кодовых циклов между ними передается длинный интервал. Сигналы АЛС наводятся в приемных катушках локомотива и поступают на вход локомотивного приемника. Вместе с полезным сигналом на вход приемника поступают различные помехи, создаваемые тяговым током, линиями электропередач и другими источниками. Таким образом, локомотивный приемник решает задачи обнаружения сигнала АЛСН на фоне помех и различения сигналов АЛСН между собой.

На вход локомотивного приемника поступает реализация случайного сигнала $\xi(t)$, представляющая собой аддитивную смесь сигнала локомотивной сигнализации и помехи

$$\xi(t) = \theta \cdot s_i(t, \bar{\lambda}_i) + n(t), \quad 0 \leq t \leq T, \quad (1)$$

где θ – параметр обнаружения сигнала АЛС ($\theta = 1$ – при наличии, $\theta = 0$ – при отсутствии сигнала); $s_i(t, \bar{\lambda}_i)$ – один из трех кодовых сигналов АЛС; $i = \overline{1, 3}$; $\bar{\lambda}_i = \{A_i, \tau_i, \phi_i\}$ – вектор случайных параметров принятого сигнала; A_i – амплитуда сигнала; τ_i – время появления сигнала; ϕ_i – фаза сигнала; $n(t)$ – аддитивная помеха; T – интервал наблюдения. В результате анализа принятого колебания $\xi(t)$ приемник принимает одно из четырех решений (гипотез):

H_0 – сигнал АЛСН отсутствует ($\theta = 0$);

H_1 – получен сигнал $s_1(t)$ (код «З»);

H_2 – получен сигнал $s_2(t)$ (код «Ж»);

H_3 – получен сигнал $s_3(t)$ (код «КЖ»).

В результате действия помех и других дестабилизирующих факторов при принятии решения приемник может совершать ошибки. Разделим все возможные ошибки на две группы. К ошибкам первого рода отнесем неверные решения, приводящие к индикации на локомотивном светофоре более запрещающих показаний (неопасные ошибки):

1) передается код «З», а считается, что принят код «Ж» (обозначим вероятность такого события $P(H_2|s_1)$);

2) передается код «З», а считается, что принят код «КЖ» (вероятность $P(H_3|s_1)$);

3) передается код «З», а считается, что сигнал АЛС отсутствует (вероятность $P(H_0|s_1)$);

4) передается код «Ж», а считается, что принят код «КЖ» (вероятность $P(H_3|s_2)$);

5) передается код «Ж», а считается, что сигнал АЛС отсутствует (вероятность $P(H_0|s_2)$);

6) передается код «КЖ», а считается, что сигнал АЛС отсутствует (вероятность $P(H_0|s_3)$).

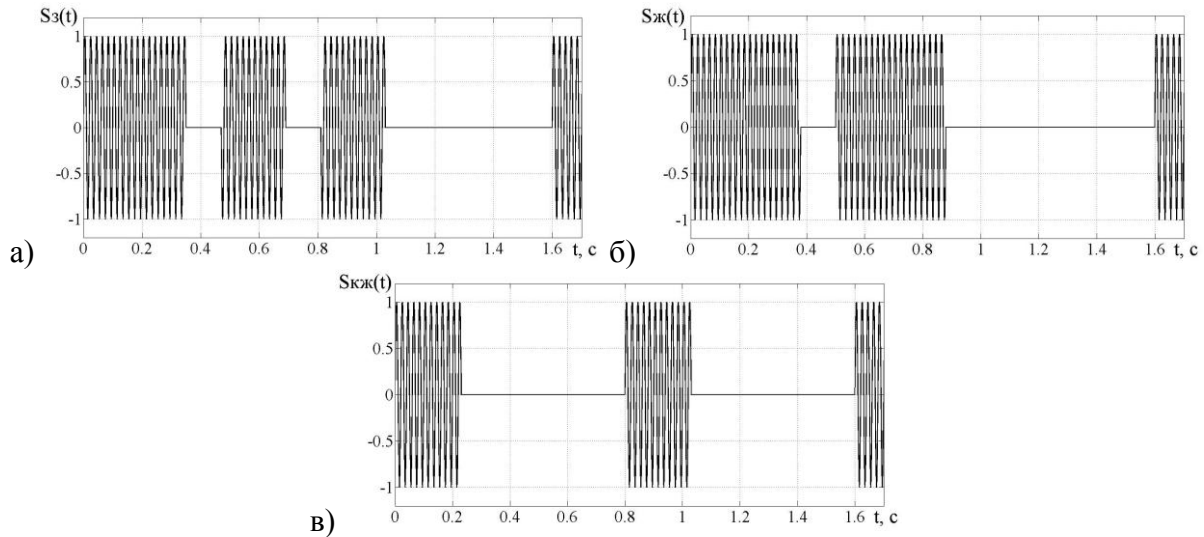


Рис. 1. Числовые кодовые сигналы АЛСН:
 а – код «З»; б – код «Ж»; в – код «КЖ»

Так как перечисленные выше события являются несовместными, то результирующая вероятность ошибки первого рода равняется

$$P_I = P(H_2|s_1) + P(H_3|s_1) + P(H_0|s_1) + P(H_3|s_2) + P(H_0|s_2) + P(H_0|s_3). \quad (2)$$

К ошибкам второго рода отнесем неверные решения, приводящие к индикации на локомотивном светофоре более разрешающих показаний (опасные ошибки):

1) передается код «КЖ», а считается, что принят код «З» (вероятность $P(H_1|s_3)$);

2) передается код «КЖ», а считается, что принят код «Ж» (вероятность $P(H_2|s_3)$);

3) передается код «Ж», а считается, что принят код «З» (вероятность $P(H_1|s_2)$);

4) сигнал АЛС отсутствует, а считается, что принят код «З» (вероятность $P(H_1|\theta=0)$);

5) сигнал АЛС отсутствует, а считается, что принят код «Ж» (вероятность $P(H_2|\theta=0)$);

6) сигнал АЛС отсутствует, а считается, что принят код «КЖ» (вероятность $P(H_3|\theta=0)$).

Результирующая вероятность ошибки второго рода определяется выражением

$$P_{II} = P(H_1 | s_3) + P(H_2 | s_3) + P(H_1 | s_2) + \\ + P(H_1 | \theta = 0) + P(H_2 | \theta = 0) + \\ + P(H_3 | \theta = 0). \quad (3)$$

Вероятность правильного решения равняется

$$P_D = 1 - P_I - P_{II}. \quad (4)$$

Можно сформулировать следующий критерий обнаружения и различения сигналов АЛСН: локомотивный приемник должен максимизировать вероятность правильного решения P_D при заданной вероятности опасной ошибки P_{II} . Иными словами приемник должен обеспечивать как можно лучшую помехоустойчивость при заданном уровне функциональной безопасности.

Алгоритм обнаружения сигнала АЛСН

Локомотивный приемник выполняет обнаружение на фоне помех одного из сигналов АЛСН вида

$$s_i(t, \bar{\lambda}) = \\ = \sum_{j=0}^N A_i \eta_i(t - \tau_i - jT_{\text{ц}}) \cos(\omega t + \phi_i), \quad (5)$$

где ω – частота сигнала; N – количество циклов на интервале наблюдения; $T_{\text{ц}}$ – длительность цикла; $\eta_i(t - \tau_i - jT_{\text{ц}})$ – нормированная огибающая сигнала АЛСН, принимающая значения ноль или единица. Например, для кода «Ж», содержащего два импульса в цикле

$$\eta_2(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < t_{\text{иж}} \\ 0, & t_{\text{иж}} \leq t < t_{\text{иж}} + t_{\text{пж}} \\ 1, & t_{\text{иж}} + t_{\text{пж}} \leq t < 2t_{\text{иж}} + t_{\text{пж}} \\ 0, & 2t_{\text{иж}} + t_{\text{пж}} \leq t < T_{\text{ц}} \end{cases}, \quad (6)$$

где $t_{\text{иж}}$ и $t_{\text{пж}}$ – длительность импульсов и паузы в коде «Ж». Аналогично можно описать огибающую других кодовых сигналов.

Так как сигналы АЛСН периодические, то достаточно проанализировать только один период таких сигналов

$$s_i(t, \bar{\lambda}) = A_i \eta_i(t - \tau_i) \cos(\omega t + \phi_i). \quad (7)$$

Степень правдоподобия той или иной гипотезы определяется ее апостериорной вероятностью [8]

$$P_{ps}(H_i) = P(H_i | \xi_0^T) = \\ = k P_{pr}(H_i) P(\xi_0^T | H_i), \quad (8)$$

где ξ_0^T – реализация входного сигнала приемника на интервале $[0, T]$; $P_{pr}(H_i)$ – априорная вероятность гипотезы H_i ; $L(H_i) = P(\xi_0^T | H_i)$ – функция правдоподобия гипотезы H_i . Коэффициент k определяется из условия нормировки. Решение о наличии сигнала s_i принимается, если выполняется условие

$$P_{ps}(H_i) > P_{ps}(H_0). \quad (9)$$

На работу локомотивной сигнализации наиболее сильное влияние оказывают широкополосные импульсные помехи [1]. Поэтому в качестве модели аддитивной помехи $n(t)$ выберем белый гауссовский шум со спектральной плотностью N . В этом случае функция правдоподобия для гипотезы H_0 равняется [8]

$$L(H_0) = \exp \left\{ -\frac{1}{N} \int_0^T \xi_0^2(t) dt \right\}. \quad (10)$$

Функция правдоподобия для гипотезы H_i определяется выражением [8]

$$L(H_i) = \\ = \exp \left\{ -\frac{1}{N} \int_0^T (\xi_0(t) - s(t, \bar{\lambda}))^2 dt \right\}. \quad (11)$$

Энергия сигнала АЛС на интервале наблюдения $[0, T]$ равняется

$$E_i = \int_0^T s_i^2(t, \bar{\lambda}) dt = \frac{A_i^2 \alpha_i}{2}, \quad (12)$$

где α_i – эквивалентная длительность сигнала АЛСН на интервале $[0, T]$. С учетом этого получим

$$L(H_i) = \exp \left\{ -\frac{1}{N} \int_0^T \xi^2(t) dt \right\} \times \exp \left\{ -\frac{(A_i - m_{Ai})^2}{2\sigma_{Ai}^2} \right\}, \quad (15)$$

$$\times \exp \left\{ -\frac{E_i}{N} + \frac{2}{N} \int_0^T \xi(t) s_i(t, \bar{\lambda}_i) dt \right\}. \quad (13)$$

Подставляя выражения (10), (13) в (8), (9), после упрощения получим условие обнаружения сигнала s_i

$$q_i = \int_0^T \xi(t) s_i(t, \bar{\lambda}_i) dt > \frac{N}{2} \ln \left(\frac{P_{pr}(H_0)}{P_{pr}(H_i)} \right) + \frac{E_i}{2} = h_i. \quad (14)$$

Таким образом, в локомотивном приемнике должна вычисляться взаимная корреляция q_i принятого колебания $\xi(t)$ и образцового сигнала s_i . Если q_i превышает пороговый уровень h_i , то должно приниматься решение о наличии сигнала s_i .

При нахождении условия обнаружения (14) не учитывался случайный характер параметров сигнала s_i : амплитуды, фазы и времени появления. Известно, что при перемещении локомотива вдоль рельсовой цепи амплитуда сигнала АЛСН может изменяться в 10...15 раз [1]. Кроме этого, уровень сигнала АЛСН во многом зависит от сопротивления балласта рельсовой цепи, которое также может изменяться в значительных пределах при разных погодных условиях и различной степени загрязнения балласта. Для стабилизации амплитуды сигнала применяются локомотивные усилители с автоматической регулировкой усиления (АРУ). Благодаря этому, уровень сигнала на выходе усилителя колеблется вблизи некоторого фиксированного значения. Поэтому будем считать, что амплитуда сигнала s_i распределена по нормальному закону

$$P_{pr}(A_i) = \frac{1}{\sigma_{Ai} \sqrt{2\pi}} \times$$

где m_{Ai} и σ_{Ai} – математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение амплитуды.

Для устранения зависимости апостериорной вероятности гипотезы H_i от случайной величины A_i произведем усреднение по этой величине

$$P_{ps}(H_i) = \int_0^\infty P_{pr}(A_i) P_{ps}(H_i, A_i) dA_i. \quad (16)$$

После интегрирования получим

$$P_{ps}(H_i) = k_1 P_{pr}(H_i) \times \exp \left\{ \frac{4\sigma_{Ai}^2 q_i^2 + 4m_{Ai} N q_i - m_{Ai}^2 N \alpha_i}{2N^2 + 2\sigma_{Ai}^2 N \alpha_i} \right\} \times \left(\operatorname{erf} \left\{ \frac{m_{Ai} N + 2\sigma_{Ai}^2 q_i}{\sigma_{Ai} \sqrt{2N^2 + 2\sigma_{Ai}^2 N \alpha_i}} \right\} + 1 \right), \quad (17)$$

где $k_1 = \frac{k}{2} \sqrt{\frac{N}{N + \alpha_i \sigma_{Ai}^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{N} \int_0^T \xi^2(t) dt \right\}$, $\operatorname{erf}(x)$ – функция ошибок [7].

Кроме множителя $\exp \left\{ -\frac{1}{N} \int_0^T \xi^2(t) dt \right\}$, который является общим для апостериорных вероятностей $P_{ps}(H_0)$ и $P_{ps}(H_i)$, принятое колебание $\xi(t)$ в выражении (17) входит только в корреляционный интеграл q_i . Учитывая монотонный характер функций $\exp(x)$ и $\operatorname{erf}(x)$, сравнение вероятностей $P_{ps}(H_0)$ и $P_{ps}(H_i)$ можно заменить сравнением взаимной корреляции q_i принятого колебания $\xi(t)$ и нормированного образцового сигнала s_i с некоторым эквивалентным пороговым уровнем. Таким образом, случайный характер амплитуды сигнала АЛСН не влияет на алгоритм обнаружения. В то же время, закон распределения и числовые характеристики амплитуды сигнала влияют на вероятность появления

ошибок, а также должны учитываться при выборе пороговых уровней.

Значения пороговых уровней могут быть получены с учетом выбранного критерия обнаружения сигнала АЛСН

$$P(H_i | \theta = 0) = \int_{hi}^{\infty} P(q_i | \theta = 0) dq_i. \quad (18)$$

Вероятности опасных ошибок $P(H_i | \theta = 0)$ следует выбирать с учетом заданного уровня функциональной безопасности локомотивного приемника.

В соответствии с полученным условием обнаружения сигнала АЛСН значение корреляционного интеграла q_i сравнивается с пороговым уровнем в конце интервала наблюдения T . Так как сигналы АЛСН являются периодическими, то в качестве интервала наблюдения можно выбрать один цикл кодовой комбинации. С учетом случайного времени появления сигнала АЛСН локомотивный приемник должен содержать систему цикловой синхронизации. Для устранения влияния случайного характера фазы сигнала можно реализовать приемник по квадратурной схеме или использовать согласованные фильтры для определения корреляционных интегралов [8].

Алгоритм различения сигналов АЛСН

Задача различения сигналов АЛСН между собой решается путем сравнения апостериорных вероятностей гипотез H_1 , H_2 , H_3 [8]

$$P_{ps}(H_i) > P_{ps}(H_j), i \neq j. \quad (19)$$

Считается, что принят сигнал s_i , если его апостериорная вероятность является наибольшей.

Рассмотрим случай, когда сигналы s_i являются детерминированными, а помеха представляет собой белый гауссовский шум. Подставляя выражения (8), (13) в (19), получим

$$P_{pr}(H_i) \exp \left\{ -\frac{E_i}{N} + \frac{2}{N} \int_0^T \xi(t) s_i(t) dt \right\} > P_{pr}(H_j) \times \exp \left\{ -\frac{E_j}{N} + \frac{2}{N} \int_0^T \xi(t) s_j(t) dt \right\}. \quad (20)$$

Считая, что энергии сигналов на интервале наблюдения одинаковы $E_i = E_j$, получим условие различения сигналов

$$\int_0^T \xi(t) s_i(t) dt > \frac{N}{2} \ln \frac{P_{pr}(H_j)}{P_{pr}(H_i)} + \int_0^T \xi(t) s_j(t) dt. \quad (21)$$

Таким образом, для различения сигналов локомотивной сигнализации в приемнике должны вычисляться и сравниваться между собой взаимные корреляции принятого колебания и опорных сигналов, соответствующих различным числовым кодам АЛСН. При этом в соответствии с условием (21) должны учитываться априорные вероятности различных кодов, а также уровень шума.

При равной амплитуде энергии различных кодовых сигналов АЛСН за одинаковый интервал наблюдения будут отличаться. Это обусловлено различной эквивалентной длительностью сигналов. Для выравнивания энергий необходимо обеспечить определенные соотношения между амплитудами сигналов. Например, приравняем энергии сигналов «З» и «КЖ»

$$E_3 = \frac{A_3^2 \alpha_3}{2} = E_{кж} = \frac{A_{кж}^2 \alpha_{кж}}{2}. \quad (22)$$

Для равенства энергий этих сигналов необходимо, чтобы $A_{кж} = A_3 \sqrt{\frac{\alpha_3}{\alpha_{кж}}}$. Для кодов, формируемых кодовым путевым трансмиттером КПТШ-5, $A_{кж} = 1,31A_3$. При получении данного соотношения учитывалась общая длительность импульсов в одном цикле кода «З» и суммарная длительность импульсов в двух циклах кода «КЖ».

Также как и при решении задачи обнаружения можно показать, что случайный характер амплитуды сигналов АЛСН не влияет на алгоритм различения сигналов. Однако от закона распределения и числовых характеристик амплитуды зависит вероятность появления ошибок.

Структура цифрового локомотивного приемника

В соответствии с алгоритмом обнаружения и различения сигналов АЛСН была построена структурная схема цифрового локомотивного приемника (рис. 2). Рассмотрим принцип действия приемника.

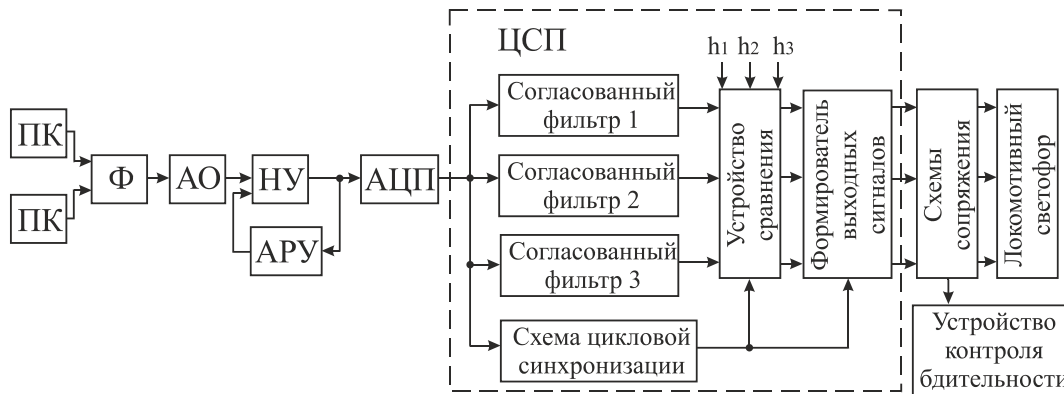


Рис. 2. Структурная схема цифрового локомотивного приемника АЛСН

Сигналы АЛСН наводятся в приемных катушках (ПК) локомотива и поступают на полосовой фильтр (Ф), в котором выполняется первоначальное подавление помех и частотная селекция полученных сигналов. Мощные импульсные помехи подавляются с помощью амплитудного ограничителя (АО). Для согласования уровней сигналов АЛСН с диапазоном входных напряжений аналого-цифрового преобразователя (АЦП) применяется нормирующий усилитель (НУ). Использование схемы автоматической регулировки усиления (АРУ) позволяет стабилизировать амплитуду сигнала АЛСН. С помощью АЦП выходной сигнал усилителя преобразуется в цифровую последовательность, которая в режиме реального времени обрабатывается цифровым сигнальным процессором (ЦСП).

Для определения взаимных корреляций принятого колебания и опорных сигналов, соответствующих различным кодам АЛСН, применяются согласованные фильтры. В конце каждого кодового цикла выполняется сравнение полученных взаимных корреляций с пороговыми уровнями h_1 , h_2 , h_3 . При превышении хотя бы одного порога прини-

мается решение о наличии сигнала АЛСН. Если срабатывает несколько пороговых элементов, то дальнейшее различение сигналов АЛСН выполняется в соответствии с условием (21). После принятия одного из кодовых сигналов в трех последовательных циклах на выходе ЦСП формируются управляющие сигналы, которые через схемы сопряжения поступают на устройство контроля бдительности машиниста, а также на локомотивный светофор, на котором появляется соответствующее сигнальное показание.

Мы рассмотрели одноканальный цифровой локомотивный приемник. Однако высокая степень интеграции современных микросхем, низкие массогабаритные показатели микроэлектронных устройств упрощают задачу резервирования аппаратуры. Использование двух- или трехканальных локомотивных приемников позволит повысить их надежность и функциональную безопасность.

Выводы

1. Использование цифровых технологий при построении локомотивного приемника

АЛСН позволит расширить его функциональные возможности, снизить энерго- и материалоемкость аппаратуры, упростить техническое обслуживание, обеспечит повышение помехозащищенности и устойчивости функционирования системы локомотивной сигнализации в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов.

2. При обнаружении и различении сигналов АЛСН локомотивный приемник должен максимизировать вероятность правильного решения при заданной вероятности опасной ошибки.

3. Для обнаружения и различения сигналов локомотивной сигнализации в приемнике должны вычисляться и сравниваться с пороговыми уровнями, а также между собой взаимные корреляции принятого колебания и опорных сигналов, соответствующих различным числовым кодам АЛСН. При этом должны учитываться априорные вероятности различных кодов, а также уровень шума.

4. Дальнейшие исследования в данном направлении связаны с определением вероятностных характеристик синтезированного локомотивного приемника.

Библиографический список

1. Автоматическая локомотивная сигнализация и авторегулировка [Текст] / А. М. Брылеев и др. – М.: Транспорт, 1981. – 320 с.
2. Кестер, У. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов [Текст] / У. Кестер, А. А. Власенко. – М.: Техносфера, 2010. – 328 с.
3. Кошевий, С. В. Додаткова обробка сигналів числового коду локомотивними пристроями АЛСН [Текст] / С. В. Кошевий, В. Б. Романчук // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2011. – № 3. – С. 82-90.

4. Кошевий, С. В. Загальні властивості інформаційних сигналів в локомотивних приймальних пристроях АЛСН [Текст] / С. В. Кошевий, М. С. Кошевий // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту. – Донецьк, 2009. – № 19. – С. 72-82.
5. Леонов, А. А. Техническое обслуживание автоматической локомотивной сигнализации [Текст] / А. А. Леонов. – М.: Транспорт, 1982. – 255 с.
6. Майстренко, В. А. Статистические методы приема и обработки сигналов в системах радиосвязи [Текст] / В. А. Майстренко, В. Ф. Попов. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2009. – 120 с.
7. Прудников, А. П. Интегралы и ряды. Элементарные функции [Текст] / А. П. Прудников, Ю. А. Брычков, О. И. Маричев. – М.: Наука, 1981. – 800 с.
8. Тихонов, В. И. Оптимальный прием сигналов [Текст] / В. И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
9. Чепцов, М. М. Методи синтезу сигнально-процесорної централізації стрілок і сигналів [Текст]: монографія / М. М. Чепцов, А. Б. Бойнік, Д. М. Кузьменко. – Донецьк: ДонІЗТ, 2010. – 181 с.
10. Smith, S. W. Digital signal processing [Текст] / S. W. Smith. – California Technical Publishing, 1999. – 650 с.

Ключові слова: автоматична локомотивна сигналізація, завади, критерій виявлення та розрізнення сигналів, узгоджений фільтр.

Ключевые слова: автоматическая локомотивная сигнализация, помехи, критерий обнаружения и различения сигналов, согласованный фильтр

Keywords: automatic locomotive signaling, noise, criterion of detection and identification the signals, matched filter.

Надійшла до редколегії 13.02.2013