

## УДК 656.259.2

К. В. ГОНЧАРОВ<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта goncharov\_k@inbox.ru

## СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО ЛОКОМОТИВНОГО ПРИЕМНИКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКОМОТИВНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

**Цель.** Автоматическая локомотивная сигнализация непрерывного типа с числовым кодированием (АЛСН) имеет ряд недостатков: малую значность сигнализации, низкую помехоустойчивость, высокую инерционность, низкую функциональную гибкость. Необходим поиск новых, более совершенных методов обработки сигналов автоматической локомотивной сигнализации, синтез помехоустойчивого цифрового локомотивного приемника АЛСН. **Методика.** Предложенный алгоритм обнаружения и различения сигналов локомотивной сигнализации базируется на определении взаимных корреляций принятого колебания и опорных сигналов. Для выбора пороговых уровней решающего устройства был сформулирован следующий критерий: локомотивный приемник должен установить максимально правильное решение при заданной вероятности опасной ошибки. **Результаты.** Установлено, что 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 учитываются при выборе пороговых уровней. В соответствии с полученным алгоритмом обнаружения и различения сигналов АЛСН был синтезирован цифровой локомотивный приемник, содержащий полосовой фильтр, амплитудный ограничитель, нормирующий усилитель со схемой автоматической регулировки усиления, аналого-цифровой преобразователь и цифровой сигнальный процессор. **Научная новизна.** Усовершенствована система АЛСН путем перевода технических средств на современную микроэлектронную элементную базу, применены более совершенные методы обнаружения и различения сигналов локомотивной сигнализации. **Практическая значимость.** Использование цифровых технологий при построении локомотивного приемника АЛСН позволит расширить его функциональные возможности, обеспечит повышение помехозащищенности и устойчивости функционирования системы локомотивной сигнализации в условиях воздействия различных дестабилизирующих факторов.

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

### Введение

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. В случае превышения допустимой скорости движения или неподтверждения машинистом бдительности осуществляется торможение поезда.

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 впереди лежащих 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 обуславливает их высокую стоимость, низкую функциональную гибкость, значительные эксплуатационные расходы на

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

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.

В работах [3, 4, 9] рассматриваются вопросы совершенствования 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 дешифрирование кода АЛС по спектральному признаку. Для этого в локомотивном приемнике должна определяться спектральная характеристика полученного сигнала, сравнивается 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 впередилежащих 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 блок-участку 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  $\theta$  – параметр обнаружения сигнала АЛС ( $\theta = 1$  – при наличии,  $\theta = 0$  – при отсутствии сигнала);  $s_i(t, \bar{\lambda}_i)$  – один из трех кодовых

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

сигналов АЛС;  $i = \overline{1,3}$ ;  $\overline{\lambda}_i = \{A_i, \tau_i, \varphi_i\}$  – вектор случайных параметров принятого сигнала;  $A_i$  – амплитуда сигнала;  $\tau_i$  – время появления сигнала;  $\varphi_i$  – 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»).

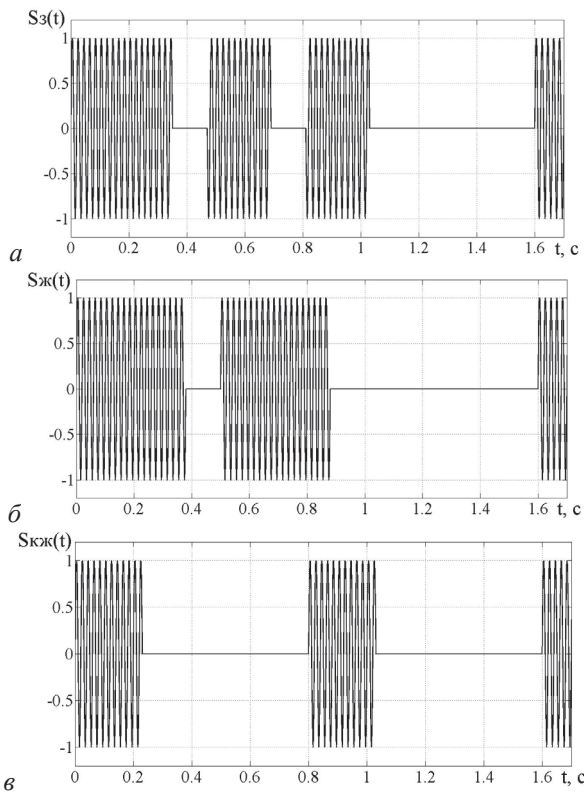


Рис. 1. Числовые кодовые сигналы АЛСН:  
а – код «З»; б – код «Ж»; в – код «КЖ»

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 разрешающих показаний (опасные 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  $P(H_0|s_3)$ ).

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:

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

локомотивний приймач повинен установити максимально правильне рішення  $P_D$  при заданій вероятності небезпечної помилки  $P_{II}$ . Іншими словами приймач повинен забезпечувати як можна кращу помехостійкість при заданому рівні функціональної безпеки.

**Алгоритм виявлення сигналу АЛСН**

Локомотивний приймач виконує виявлення на фоні шумів одного з сигналів АЛСН виду:

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

де  $\omega$  – частота сигналу;  $N$  – кількість циклів на інтервалі спостереження;  $T_{\text{ц}}$  – тривалість циклу;  $\eta_i(t - \tau_i - jT_{\text{ц}})$  – нормована обгортаюча сигналу АЛСН, приймаюча значення нуль або одиниця. Наприклад, для коду «Ж», що містить два імпульси в циклі

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

де  $t_{\text{иЖ}}$  і  $t_{\text{пЖ}}$  – тривалість імпульсів і паузи в коді «Ж». Аналогічно можна описати обгортаючі інших кодових сигналів.

Так як сигнали АЛСН періодичні, то достатньо проаналізувати тільки один період таких сигналів

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

Степень правдоподібності той чи іншої гіпотези визначається її апостеріорною вероятністю [8]

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

де  $\xi_0^T$  – реалізація входного сигналу приймача на інтервалі  $[0, T]$ ;  $P_{pr}(H_i)$  – априорна вероятность гіпотези  $H_i$ ;  $L(H_i) = P(\xi_0^T | H_i)$  – функція правдоподібності гіпотези  $H_i$ . Коefфіцієнт  $k$  визначається з умови нормування. Рішення про наявність сигналу  $s_i$  приймається,

якщо виконується умова

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

На роботу локомотивної сигналізації найбільш сильне впливають широкополосні імпульсні шуми [1]. Тому в якості моделі адитивного шуму  $n(t)$  виберемо білий гауссовський шум з спектральною густиною  $N$ . В цьому випадку функція правдоподібності для гіпотези  $H_0$  дорівнює [8]:

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

Функція правдоподібності для гіпотези  $H_i$  визначається виразом [8]:

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

Енергія сигналу АЛС на інтервалі спостереження  $[0, T]$  дорівнює

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

де  $\alpha_i$  – еквівалентна тривалість сигналу АЛСН на інтервалі  $[0, T]$ . З урахування цього одержимо

$$L(H_i) = \exp\left\{-\frac{1}{N} \int_0^T \xi^2(t) dt\right\} \times \exp\left\{-\frac{E_i}{N} + \frac{2}{N} \int_0^T \xi(t) s(t, \bar{\lambda}) dt\right\}. \quad (13)$$

Підставляючи вирази (10), (13) в (8), (9), після спрощення одержимо умову виявлення сигналу  $s_i$

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

Таким чином, в локомотивному приймачі повинна обчислюватися взаємна кореляція  $q_i$  прийнятого коливання  $\xi(t)$  і зразкового сигналу  $s_i$ . Якщо  $q_i$  перевищує пороговий рівень



## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

$h_i$ , 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:

$$P_{pr}(A_i) = \frac{1}{\sigma_{A_i} \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(A_i - m_{A_i})^2}{2\sigma_{A_i}^2}\right\}, \quad (15)$$

где  $m_{A_i}$  и  $\sigma_{A_i}$  – 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:

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

где  $k_1 = \frac{k}{2} \sqrt{\frac{N}{N + \alpha_i \sigma_{A_i}^2}} \exp\left\{-\frac{1}{N} \int_0^T \xi^2(t) dt\right\}$ , а  $\operatorname{erf}(x)$  – 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

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

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

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

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»:

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

Для равенства энергий этих сигналов необходимо, чтобы  $A_{\text{кж}} = A_3 \sqrt{\frac{\alpha_3}{\alpha_{\text{кж}}}}$  (для кодов, формируемых кодовым путевым трансмиттером КППШ-

5,  $A_{\text{кж}} = 1,31A_3$ ). 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 сигнала 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.

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 принимается 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 последо-

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

вательных 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 обслужи-

вание, 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 установить максимально правильное решение 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.

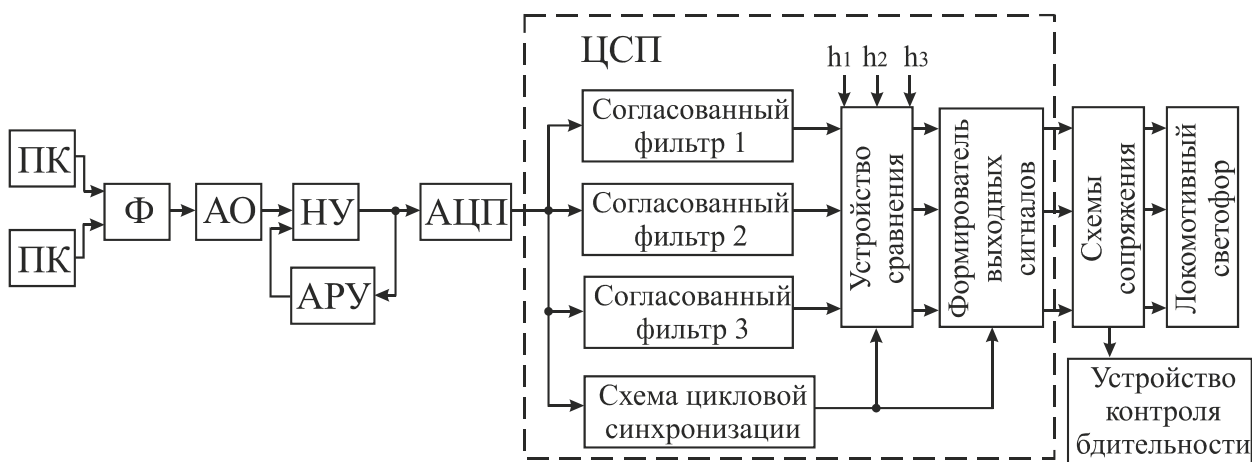


Рис. 2. Структурная схема цифрового локомотивного приемника АЛСН

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Автоматическая локомотивная сигнализация и авторегулировка / А. М. Брылеев, О. Поупе, В. С. Дмитриев, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский. – М. : Транспорт, 1981. – 320 с.
2. Кестер, У. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов / У. Кестер, А. А. Власенко. – М. : Техносфера, 2010. – 328 с.
3. Кошевий, С. В. Додаткова обробка сигналів числового коду локомотивними пристроями АЛСН / С. В. Кошевий, В. Б. Романчук // Інформаційно-керуючі системи на залізничному трансп. – 2011. – № 3. – С. 82–90.
4. Кошевий, С. В. Загальні властивості інформаційних сигналів в локомотивних приймальних пристроях АЛСН / С. В. Кошевий, М. С. Кошевий // 36. наук. пр. Донецького ін-ту залізнич. трансп. – Донецьк, 2009. – № 19. – С. 72–82.
5. Леонов, А. А. Техническое обслуживание автоматической локомотивной сигнализации / А. А. Леонов. – М. : Транспорт, 1982. – 255 с.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

6. Майстренко, В. А. Статистические методы приема и обработки сигналов в системах радиосвязи / В. А. Майстренко, В. Ф. Попов. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2009. – 120 с.
7. Прудников, А. П. Интегралы и ряды. Элементарные функции / А. П. Прудников, Ю. А. Брычков, О. И. Маричев. – М. : Наука, 1981. – 800 с.
8. Тихонов, В. И. Оптимальный прием сигналов / В. И. Тихонов. – М. : Радио и связь, 1983. – 320 с.
9. Чепцов, М. М. Методи синтезу сигнально-процесорної централізації стрілок і сигналів : монографія / М. М. Чепцов, А. Б. Бойнік, Д. М. Кузьменко. – Донецьк : ДонІЗТ, 2010. – 181 с.
10. Smith, S. W. Digital signal processing / S. W. Smith. – California : Technical Publishing, 1999. – 650 p.

К. В. ГОНЧАРОВ<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта goncharov\_k@inbox.ru

## СИНТЕЗ ЦИФРОВОГО ЛОКОМОТИВНОГО ПРИЙМАЧА АВТОМАТИЧНОЇ ЛОКОМОТИВНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

**Мета.** Автоматична локомотивна сигналізація безперервного типу з числовим кодуванням (АЛСН) має ряд недоліків: малу значність сигналізації, низьку завадостійкість, високу інерційність, низьку функціональну гнучкість. Потрібен пошук нових, більш досконалих методів обробки сигналів автоматичної локомотивної сигналізації, синтез завадостійкого цифрового локомотивного приймача АЛСН. **Методика.** Запропонований алгоритм виявлення та розпізнавання сигналів локомотивної сигналізації базується на визначенні взаємних кореляцій прийнятого коливання і опорних сигналів. Для вибору граничних рівнів вирішального пристрою був сформульований наступний критерій: локомотивний приймач повинен встановити максимально правильне рішення при заданій імовірності небезпечної помилки. **Результати.** Встановлено, що випадковий характер амплітуди сигналу АЛСН не впливає на алгоритм виявлення. В той же час, закон розподілу та числові характеристики амплітуди сигналу впливають на імовірність помилок, а також повинні бути враховані при виборі граничних рівнів. Згідно з отриманим алгоритмом виявлення та розрізнення сигналів АЛСН був синтезований цифровий локомотивний приймач, який містить смуговий фільтр, амплітудний обмежувач, нормуючий підсилювач зі схемою автоматичного регулювання посилення, аналого-цифровий перетворювач і цифровий сигнальний процесор. **Наукова новизна.** Удосконалення системи АЛСН шляхом переведення технічних засобів на сучасну мікроелектронну елементну базу, застосування більш досконалих методів виявлення і розрізнення сигналів локомотивної сигналізації. **Практична значимість.** Використання цифрових технологій при побудові локомотивного приймача АЛСН дозволить розширити його функціональні можливості, забезпечити підвищення завадостійкості та стійкості функціонування системи локомотивної сигналізації в умовах впливу різних дестабілізуючих факторів.

*Ключові слова:* автоматична локомотивна сигналізація; завади; критерій виявлення та розрізнення сигналів; узгоджений фільтр

К. V. GONCHAROV<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Department «Automation, Telemechanics and Communications» of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, 49010, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail goncharov\_k@inbox.ru

## SYNTHESIS OF DIGITAL LOCOMOTIVE RECEIVER OF AUTOMATIC LOCOMOTIVE SIGNALING

**Purpose.** Automatic locomotive signaling of continuous type with a numeric coding (ALSN) has several disadvantages: a small number of signal indications, low noise stability, high inertia and low functional flexibility.



## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Search for new and more advanced methods of signal processing for automatic locomotive signaling, synthesis of the noise proof digital locomotive receiver are essential. **Methodology.** The proposed algorithm of detection and identification locomotive signaling codes is based on the definition of mutual correlations of received oscillation and reference signals. For selecting threshold levels of decision element the following criterion has been formulated: the locomotive receiver should maximum set the correct solution for a given probability of dangerous errors. **Findings.** It has been found that the random nature of the ALSN signal amplitude does not affect the detection algorithm. However, the distribution law and numeric characteristics of signal amplitude affect the probability of errors, and should be considered when selecting a threshold levels According to obtained algorithm of detection and identification ALSN signals the digital locomotive receiver has been synthesized. It contains band pass filter, peak limiter, normalizing amplifier with automatic gain control circuit, analog to digital converter and digital signal processor. **Originality.** The ALSN system is improved by the way of the transfer of technical means to modern microelectronic element base, more perfect methods of detection and identification codes of locomotive signaling are applied. **Practical value.** Use of digital technology in the construction of the locomotive receiver ALSN will expand its functionality, will increase the noise immunity and operation stability of the locomotive signal system in conditions of various destabilizing factors.

*Keywords:* automatic locomotive signaling; noise; criterion of detection and identification the signals; matched filter

## REFERENCES

1. Bryleyev A.M., Poupe O., Dmitriyev V.S., Kravtsov Yu.A., Stepenskiy B.M. *Avtomaticheskaya lokomotivnaya signalizatsiya i avtoregulirovka* [Automatic locomotive signaling and automatic control]. Moscow, Transport Publ., 1981. 320 p.
2. Kester U., Vlasenko A.A. *Proyektirovaniye sistem tsifrovoy i smeshannoy obrabotki signalov* [Design systems for digital and mixed processing of signals]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2010. 328 p.
3. Koshevyi S.V., Romanchuk V.B. *Dodatkovaya obrobka syhnaliv chyslovoho kodu lokomotyvnykh prystroiyamy ALSN* [Additional signal processing of numeric code by locomotive ALSN devices]. *Informatsiionkeruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti – Information and controlling systems on the railway transport*, 2011, no. 3, pp. 82-90.
4. Koshevyi S.V., Koshevyi M.S. *Zahalni vlastyivosti informatsiinykh syhnaliv v lokomotyvnykh prymalnykh prystroiakh ALSN* [General properties of information signals in the receiving ALSN locomotive devices]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu* [Proc. of Donetsk Institute of Railway Transport], 2009, no. 19, pp. 72-82.
5. Leonov A.A. *Tekhnicheskoye obsluzhivaniye avtomaticheskoy lokomotivnoy signalizatsii* [Technical maintenance of automatic locomotive signaling]. Moscow, Transport Publ., 1982. 255 p.
6. Maystrenko V.A., Popov V.F. *Statisticheskiye metody priyema i obrabotki signalov v sistemakh radiosvyazi* [Statistical methods for receiving and processing signals in radio communication systems]. Omsk, OmGTU Publ., 2009. 120 p.
7. Prudnikov A.P., Brychkov Yu.A., Marichev O.I. *Integraly i ryady. Elementarnyye funktsii* [Integrals and series. The elementary functions]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 800 p.
8. Tikhonov V.I. *Optimalnyy priyem signalov* [Optimal signal receiving]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1983. 320 p.
9. Cheptsov M.M., Boinik A.B., Kuzmenko D.M. *Metody syntezu syhnalno-protseornoj tsentralizatsii strilok i syhnaliv* [Methods of synthesis signal processor centralizing of switches and signals]. Donetsk, DonIZT Publ., 2010. 181 p.
10. Smith S.W. *Digital signal processing*. California, Technical Publ., 1999. 650 p.

*Статья рекомендована к публикации д.ф.-м.н., проф. В. И. Гаврилюком (Украина); д.ф.-м.н., проф. А. В. Коваленко (Украина)*

Поступила в редколлегию 21.11.2012

Принята к печати 21.02.2013