

АНАНЬЕВА О. М., канд. техн. наук (Украинский государственный университет железнодорожного транспорта)

Математическая модель смеси сигнала и многокомпонентной помехи на входе путевых устройств железнодорожной автоматики

Полезные сигналы, поступающие на вход путевых приемников устройств железнодорожной автоматики, наблюдаются на фоне совокупности различных помех. Потенциально плодотворным решением задачи помехоустойчивого приема этих сигналов может служить совместная оценка параметров сигнала и помех с последующим вынесением решения о виде принятого сигнала. Рассмотрена ситуация, когда сигнал наблюдается в аддитивной смеси одновременно с тремя помехами наиболее распространенных типов. Показано, что моделями двух из них могут служить детерминированные функции времени с неизвестными параметрами, а моделью третьей помехи – гауссовский стационарный случайный процесс.

Ключевые слова: автоматическая локомотивная сигнализация, помехоустойчивый прием, оценка параметров, помеховая обстановка, импульсная помеха.

Введение

Полезные сигналы, поступающие на вход путевых приемников рельсовых цепей, точечных и индуктивно-проводных датчиков, локомотивных приемников систем автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа (АЛСН), а также других устройств железнодорожной автоматики, наблюдаются на фоне совокупности помех, состав и характеристики которых очень динамичны и малопредсказуемы [1, 2]. Поэтому задача их обнаружения, анализа и оптимальной обработки в настоящее время является весьма актуальной. В работе на примере обеспечения помехоустойчивого приема информационных сигналов АЛСН рассмотрена ситуация, при которой сигнал наблюдается в аддитивной смеси одновременно с тремя помехами наиболее распространенных типов.

Постановка задачи и анализ исследований

Система АЛСН является важной составной частью комплекса средств, обеспечивающих безопасность движения поездов по железным дорогам многих стран. Стационарные технические средства АЛСН используют рельсовые нити как провода линии связи, формируя в них кодированные импульсы тока, несущие информацию о сигнальном показании светофора, к которому приближается поезд, на протяжении блок-участка пути, предшествующего этому светофору. Мобильные технические средства АЛСН расположены на локомотиве поезда. Используя индуктивную связь с рельсовыми нитями, эти средства формируют в кабине машиниста сигнал, дублирующий показания вышеупомянутого светофора [3 - 5].

Различные варианты системы АЛСН давно находятся в эксплуатации, и в силу технических и экономических причин можно ожидать, что в ряде стран их будут эксплуатировать и далее в течение достаточно длительного времени. Последнее означает, что проблема повышения их технических показателей остается актуальной.

Важнейшим из этих показателей является достоверность отображаемой в кабине машиниста информации о сигнальных показаниях путевого светофора. Даже исключив из рассмотрения влияние на данную достоверность такого фактора, как техническая надежность функционирования аппаратной части системы АЛСН, мы остаемся с проблемой, общей для всех систем передачи информации, а именно с проблемой помехоустойчивого приема сигналов. Изучение видов и характеристик помех, действующих в канале передачи сигналов АЛСН, ведётся давно; близкая к всеобъемлющей классификация таких помех приведена в работе [3], следует также принять во внимание данные работы [4] и более поздних исследований [6 - 8]. На наш взгляд, основным выводом, следующим из этих работ, является то, что на практике прием сигналов АЛСН осуществляется на фоне совокупности помех, состав и характеристики которой в ходе движения локомотива по маршруту изменяются малопредсказуемым образом. Эта малопредсказуемость означает, что если мы хотим принимать сигнал с максимальной достоверностью, то в алгоритме обработки приемным устройством его входного электрического колебания должны быть приняты во внимание состав и характеристики текущей помеховой обстановки. Причём ревизия этих данных должна производиться в ходе обработки каждого кодового сигнала, так как от сигнала к

сигналу помеховая обстановка может измениться, а каждый кодовый сигнал имеет высокую информационную ценность с точки зрения безопасности движения. В итоге мы приходим к задаче обнаружения кодового сигнала и определения его вида в условиях действия совокупности помех, обладающей неизвестным составом и параметрами своих компонентов (под видом кодового сигнала подразумевается его соответствие одному из трёх возможных сигнальных показаний светофора – «зеленый» (З), «жёлтый» (Ж) или «красно-жёлтый» (КЖ)). Вид и часть параметров сигнала (а именно его амплитуда, начальная фаза и момент его появления) априори неизвестны, а известны лишь его несущая частота и законы амплитудной модуляции, соответствующие каждому сигнальному показанию светофора. Поскольку на практике нет возможности наблюдения помех в отдельном канале, то потенциально плодотворным решением этой задачи может служить совместная оценка параметров сигнала и помех с последующим вынесением решения о виде принимаемого сигнала. Традиционные методы оптимального приема сигналов на фоне многокомпонентных помех ориентированы на применение в условиях стационарной помеховой обстановки [10 - 14]. На наш взгляд, предложенный подход к помехоустойчивому приёму сигналов АЛСН не привлёк пристального внимания исследователей.

Целью данной работы является построение математической модели смеси сигнала и многокомпонентной помехи, поступающей на вход локомотивного приемника системы автоматической локомотивной сигнализации.

Основной материал

Математическая модель наблюдаемого процесса. Всеобъемлющая модель помеховой обстановки должна включать в себя более десяти компонентов, носящих как аддитивный, так и мультипликативный характер [1, 4], при этом совокупность помеховых компонент, присущая железным дорогам переменного тока, частично отличается от аналогичной совокупности, присущей железным дорогам постоянного тока. Чтобы получить обозримые результаты, ограничимся рассмотрением самых распространенных помех, присущих железным дорогам постоянного тока, а именно аддитивных импульсных помех, вызванных намагничиванием концов рельсов и острияков стрелок, аддитивной помехи, обусловленной близким расположением железнодорожного пути и линии электропередач (ЛЭП), а также аддитивной стационарной случайной помехи, имеющей гауссовскую плотность распределения вероятностей мгновенных значений. При этом мы полагаем, что эта аддитивная смесь наблюдается нами в виде

напряжения $u(t)$ на зажимах приёмных локомотивных катушек (t – время):

$$u(t) = s(t) + v_P(t) + v_E(t) + n(t), \quad (1)$$

где $s(t)$ – полезный сигнал;

$v_P(t)$ – импульсная помеха;

$v_E(t)$ – помеха от ЛЭП;

$n(t)$ – гауссовская стационарная случайная помеха.

Полезный сигнал АЛСН может быть представлен в следующем виде:

$$s(t) = U_{ms} \cdot f(t - \tau_s) \cdot \sin(\omega_s t + \varphi_s). \quad (2)$$

Здесь U_{ms} – амплитуда несущего синусоидального колебания; $f(t - \tau_s)$ – кодовая огибающая этого колебания; τ_s – временной сдвиг момента появления сигнала по отношению к точке начала отсчета времени; ω_s – угловая частота несущего синусоидального колебания; φ_s – начальная фаза этого колебания.

Величины U_{ms} , τ_s , и φ_s неизвестны, величина ω_s – известный параметр конкретной системы АЛСН. Заметим, что величина φ_s автоматически учитывает и неизвестный временной сдвиг t' несущей, так как $\sin[\omega_s(t - t') + \varphi] = \sin[\omega_s t + (\varphi - \omega_s t')]$, откуда, обозначив $(\varphi - \omega_s t')$ как φ_s , приходим к выражению (2).

Импульсные помехи, возникающие на зажимах локомотивных приемных катушек при проезде изолирующих стыков [1] и при проезде стрелок [7] визуально различны, однако анализ их опубликованных свойств показывает, что обе их можно описать выражением

$$v_P(t) = U_{mP} \cdot e^{-\alpha \cdot (t - \tau_P)^2} \cdot \sin[\beta \cdot (t - \tau_P) + \gamma\pi], \quad (3)$$

где U_{mP} – амплитуда помехового импульса;

α и β – известные величины, определяемые известной скоростью движения локомотива, а также

конструкция катушек и элементов их подвеса к локомотиву;

τ_P – сдвиг середины помехи по отношению к точке начала отсчета времени;

$$\gamma = \begin{cases} 0,5 & \text{для помехи, вызванной проездом стрелки} \\ 1,0 & \text{для помехи, вызванной проездом} \\ & \text{изолирующего стыка} \end{cases}$$

Неизвестными величинами в выражении (3) являются U_{mP} и τ_P , а величину γ можно считать условно известной (например, использовать два канала обработки, каждый для своей величины γ).

Помеха от ЛЭП может быть описана следующим выражением:

$$v_E(t) = U_{mE} \cdot \sin(\omega_E t + \varphi_E), \quad (4)$$

где U_{mE} – амплитуда помехи;

ω_E – угловая частота напряжения ЛЭП. Это известный параметр;

φ_E – начальная фаза помехи от ЛЭП.

Неизвестными величинами в выражении (4) являются U_{mE} и φ_E .

Таким образом, выражения (2)-(4) определяют состав совокупности параметров, подлежащих совместной оценке в процессе приема сигнала на фоне динамичной многокомпонентной помеховой обстановки.

Выводы

Разработана математическая модель сигнально-помеховой смеси, действующей на входе локомотивного приемника системы автоматической локомотивной сигнализации. Показано, что она аддитивным образом объединяет импульсные помехи от локальных магнитных неоднородностей рельсовой линии, квазигармоническую помеху от линий электропередач и стационарную случайную помеху. Аналитически описана каждая из указанных компонент.

Список використаних джерел

1. Ананьева, О. М. Математическая модель двухкомпонентной аддитивной помехи в виде марковского процесса [Текст] / О. М. Ананьева, М. Г. Давиденко, М. М. Бабаев // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2016. – № 4. – С. 20-24.
2. Ананьева, О. М. Виды и параметры помех, действующих в канале связи системы автоматической локомотивной сигнализации [Текст] / О. М. Ананьева, М. Г. Давиденко, М. М. Бабаев // 36. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 163. – С. 20-25.
3. Лисенков, В. М. Теория автоматических систем интервального регулирования [Текст] / В. М. Лисенков. – М.: Транспорт, 1987. – 150 с.
4. Леонов, А. А. Техническое обслуживание автоматической локомотивной сигнализации [Текст] / А. А. Леонов. – М.: Транспорт, 1982. – 256 с.
5. Эксплуатационные основы автоматики и телемеханики [Текст] / Вл. В. Сапожников, И. М. Кокурин, В. А. Кононов [и др.]; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Маршрут, 2006. – 248 с.
6. Шаманов, В. И. Устойчивость работы АЛСН при электротяге переменного тока [Текст] / В. И. Шаманов // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 8. – С. 6-10.
7. Шаманов, В. И. Индуктивная связь локомотивных катушек АЛСН с рельсовыми линиями [Текст] / В. И. Шаманов // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 11. – С. 2-5.
8. Шаманов, В. И. Защищенность локомотивных приемников АЛС от помех [Текст] / В. И. Шаманов // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 4. – С. 14-19.
9. Леушин, В. Б. Анализ причин сбоев в системе АЛСН [Текст] / В. Б. Леушин, К. Э. Блачев, Р. Р. Юсупов // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 4. – С. 20-25.
10. Djukanovic, S. A. Parametric Method for Multicomponent Interference Suppression in Noise Radars [Text] / S. Djukanovic, V. Popovic // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2012. – Vol. 48, No. 3. – P. 2730–2738.
11. An Error-Minimizing Frameworks for Localizing Jammers in Wireless Networks [Text] / Liu Zhenhua, Liu Hongbo, Xu Wenyan, Chen Yingying // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. – 2014. – Vol. 25, No. 2. – P. 508–517.
12. Ананьева, О. М. Синтез нелинейного приёмника сигналов АЛСН в условиях действия многокомпонентной аддитивной помехи [Текст] / О. М. Ананьева, М. Г. Давиденко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2015. – № 6. – С. 46–50.
13. Ананьева, О. М. Аппроксимация функции правдоподобия аддитивной смеси сигнала и двухкомпонентной помехи [Текст] / О. М. Ананьева, М. Г. Давиденко, М. М. Бабаев //

Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2016. – № 5. – С. 9–13.

14. Инженерная интерпретация функции правдоподобия аддитивной смеси сигнала и двухкомпонентной помехи [Текст] / С. В. Панченко, О. М. Ананьева, М. Г. Давиденко, М. М. Бабаев // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2017. – № 1. – С. 3–11.

О. М. Ананьева. Математична модель суміші сигналу й багатоконпонентної завади на вході колійних пристроїв залізничної автоматики. Корисні сигнали, що надходять на вхід колійних приймачів пристроїв залізничної автоматики, спостерігаються на тлі сукупності різних завад. Потенційно плідним вирішенням завдання завадостійкого приймання цих сигналів може служити спільна оцінка параметрів сигналу й завад з наступним винесенням рішення про вид прийнятого сигналу. Розглянуто ситуацію, коли сигнал спостерігається в адитивній суміші одночасно з трьома завадами найпоширеніших типів. Показано, що моделями двох з них можуть служити детерміновані функції часу з невідомими параметрами, а моделлю третьої завади – гауссівський стаціонарний випадковий процес.

Ключові слова: автоматична локомотивна сигналізація, завадостійке приймання, оцінка параметрів, завадова обстановка, імпульсна завада.

Ананьева Ольга Михайловна, кандидат технических наук, доцент, кафедра автоматики и компьютерного телеуправления движением поездов. Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, Харьков, Украина. E-mail: romashka13052015@gmail.com ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6686-8249>

Ананьева Ольга Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: romashka13052015@gmail.com ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6686-8249>

Olha Ananieva, PhD, Associate Professor, Department of automation and computer telecontrol train traffic, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: romashka13052015@gmail.com . ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6686-8249>

O. M. Ananieva. Mathematical model of mix of signal and multicomponent interference on entrance of track devices of railway automatic equipment. The useful signals arriving on entrance of traveling receivers of devices of railway automatic equipment are observed against set of different interferences. As potentially fruitful solution of problem of noiseproof reception of these signals the joint assessment of parameters of signal and interferences with the subsequent pronouncement of the decision on look made signal can serve. The situation when the signal is observed in additive mix along with three interferences of the most widespread types is considered. It is shown that as models of two of them the determined functions of time with unknown parameters, and model of the third interference-Gaussian stationary accidental process can serve.

Keywords: automatic cab signaling, noiseproof reception, assessment of parameters, interfering situation, pulse interference.

Надійшла 28.11.2017 р.