

УДК 681.518.3:004.3.122

**В. А. Засов, канд. техн. наук**Кафедра «Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте»,  
Самарский государственный университет путей сообщения

## **КОМПЕНСАЦИЯ ПОМЕХ В ПРИЕМНИКАХ СИГНАЛОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКОМОТИВНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ**

В условиях априорной неопределенности характеристик помех для повышения помехозащищенности систем автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа в приемниках сигналов целесообразно применять методы адаптивной компенсации помех. Целью работы является исследование возможностей одного из методов адаптивной обработки сигналов – адаптивной фильтрации помех – для повышения помехоустойчивости приема сигналов систем автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа. Решены следующие задачи: разработана математическая модель принимаемых сигналов на входах приемных устройств систем; обоснованы функциональная схема и алгоритм адаптации базового и модифицированного многоканальных адаптивных фильтров для приемных устройств систем; произведено компьютерное моделирование работы рассмотренных адаптивных фильтров, подтверждающее достоверность полученных результатов и их эффективность для компенсации помех. Отличительной особенностью предложенных для компенсации помех в сигналах систем автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа адаптивных фильтров, существенно расширяющей их функциональные возможности, является использование в алгоритмах адаптации априорной информации о наличии пауз в сигналах данных систем.

автоматическая локомотивная сигнализация; компенсация помех; математическая модель; адаптивные фильтры; алгоритм адаптации; паузы в сигналах; компьютерное моделирование

DOI: 10.20295/2412-9186-2019-1-32-44.

### **Введение**

В системах автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа (АЛСН) процесс передачи электрическими сигналами сообщений на локомотивы по рельсовым линиям ходового пути подвержен интенсивным воздействиям помех различной физической природы [1–3].

В первую очередь приемные локомотивные устройства АЛСН (индуктивные приемные катушки, посредством которых сигналы из рельсовой линии поступают в локомотив) подвергаются постоянному и сильному воздействию гармонических, шумовых и импульсных помех от протекающих по рельсам тяговых токов и их гармоник [1, 2, 4, 5].

Существенным источником помех для приемных устройств АЛСН являются воздушные и кабельные линии электропередачи (ЛЭП), электромагнитное поле которых создает гармонические помехи в местах сближения ЛЭП с железной дорогой [6].

Экспериментально установлено, что разность высот подвески к корпусу локомотива приемных катушек АЛСН, разброс их электрических параметров, а также колебания локомотивных приемных катушек АЛСН вызывают наводку в катушках ЭДС помех с частотой, зависящей от скорости движения локомотива [2]. Похожей причиной помех является неравномерная намагниченность рельсов с объемной закалкой [там же]. Таким образом, система АЛСН, обеспечивающая безопасность движения поездов, функционирует в условиях воздействия разнообразных случайных помех от многих источников, поэтому подавление помех для повышения надежной работы АЛСН является актуальной задачей.

В ряде случаев для устранения источников помех важно также выделить сигналы помех, чтобы определить их физическую природу, т. е. идентифицировать источники помех [7]. Это необходимо производить, например, в вагонах-лабораториях автоматики и телемеханики железных дорог, осуществляющих мониторинг – контроль и диагностику состояния рельсовых цепей и систем АЛСН.

Характерной особенностью вышеописанных помех является априорная неопределенность и изменчивость во времени статистических закономерностей и параметров мешающих сигналов [3], что снижает эффективность устройств обработки сигналов АЛСН, ориентированных на априорные данные о помехах [3, 8]. Поэтому в условиях априорной неопределенности характеристик помех для повышения помехозащищенности систем АЛСН в приемниках сигналов АЛСН целесообразна адаптивная компенсация помех.

Целью работы является исследование возможностей одного из методов адаптивной обработки сигналов – адаптивной фильтрации (АФ) помех [9, 10] для повышения помехоустойчивости приема сигналов АЛСН.

Необходимо решить следующие задачи:

- разработать математическую модель принимаемых сигналов на входах приемных устройств АЛСН;
- обосновать функциональные схемы и алгоритмы работы адаптивных фильтров для приемных устройств АЛСН;
- произвести моделирование работы предложенных адаптивных фильтров для подтверждения достоверности полученных результатов и оценки их эффективности для компенсации помех.

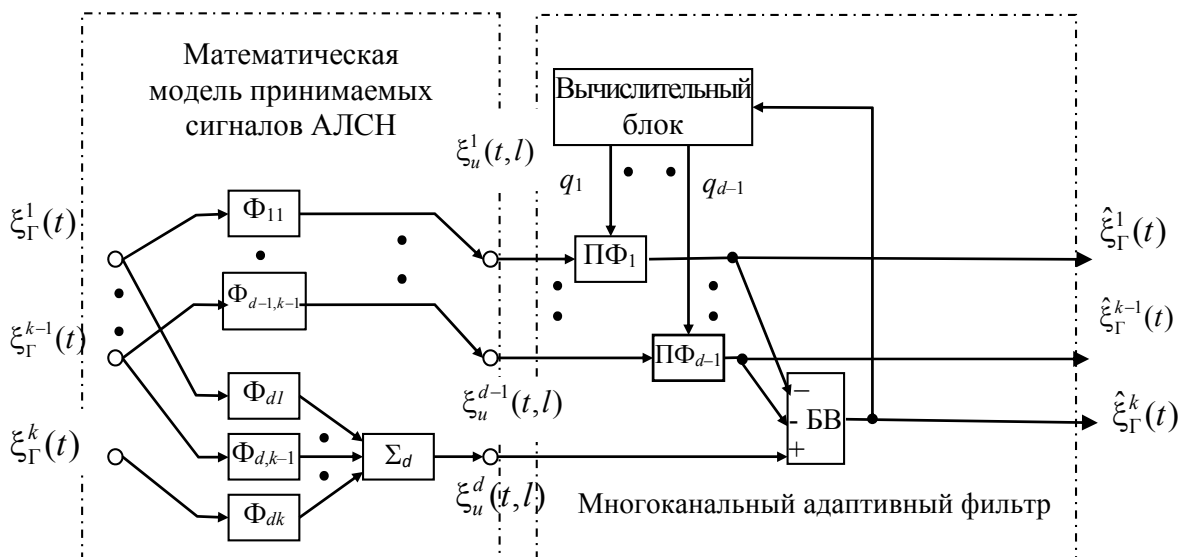
## 1. Многоканальный адаптивный фильтр для компенсации помех в приемниках сигналов систем автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа

Модель принимаемых сигналов на входе приемных устройств АЛСН представим в виде многоканальной системы передачи сигналов (рис. 1), которая имеет  $k$  источников сигналов (входов)  $\xi_{\Gamma}^s(t)$ ,  $s = \overline{1, k}$  и  $d$  приемников сигналов (выходов), сигналы на которых обозначим  $\xi_u^p(t, l)$ ,  $p = \overline{1, d}$ , причем источники сигналов некоррелированы (независимы) и  $d = k$ . Каждый из  $d$  выходов такой многоканальной системы связан с  $k$  входами линейными каналами преобразования и передачи сигналов – информационными каналами  $\Phi_{ps}$ , где  $p = \overline{1, d}$  и  $s = \overline{1, k}$  с динамическими характеристиками  $h_{ps}(t, l)$  или  $H_{ps}(\omega, l)$ , которые в общем случае не являются постоянными, что отражается введением независимой переменной  $l$  [7].

Сигнал  $\xi_u^d(t, l)$  на выходе  $d$  модели соответствует сигналу с выхода приемных катушек АЛСН и равен сумме сигналов  $\xi_{\Gamma}^s(t)$ ,  $s = \overline{1, k-1}$  от  $k-1$  источников помех и кодового сигнала  $\xi_{\Gamma}^k(t)$  АЛСН из рельсовой линии, определяющего сигнальные показания светофора. Другими словами, это аддитивная смесь сигнала АЛСН и помех. Сигналы  $\xi_u^p(t, l)$ ,  $p = \overline{1, d-1}$  – это сигналы, передающие информацию о помехах и измеряемые дополнительными токовыми и индуктивными датчиками, установленными на локомотиве. Учитывая различную физическую природу помех, положим, что сигнал на выходе каждого из указанных  $d-1$  приемников зависит от сигнала только одного из источников, а сигналы от других узлов, поступающие на приемник, малы и ими можно пренебречь. Другими словами, перекрестные каналы передачи сигналов для этой группы из  $d-1$  приемников отсутствуют. Сигналы  $\xi_u^p(t, l)$ ,  $p = \overline{1, d-1}$  этой группы выходов модели назовем опорными. Рассмотренную графическую модель принимаемых на входе системы АЛСН сигналов представим в виде математической модели, описываемой следующей системой интегральных уравнений:

$$\begin{cases} \xi_{\Gamma}^1(t) * h_{11}(t, l) = \xi_u^1(t, l) \\ \dots \\ \xi_{\Gamma}^{k-1}(t) * h_{(d-1)(k-1)}(t, l) = \xi_u^{d-1}(t, l), \\ \sum_{s=1}^k \xi_{\Gamma}^s(t) * h_{ds}(t, l) = \xi_u^d(t, l), \end{cases}$$

где знак  $*$  обозначает свертку.



**Рис. 1.** Модель принимаемых сигналов АЛСН и функциональная схема многоканального адаптивного фильтра

Очевидно, для такой математической модели практический интерес представляет определение составляющей кодового сигнала  $\xi_{\Gamma}^k(t)$  из аддитивной смеси  $\xi_u^d(t, l)$  кодового сигнала и сигналов  $\xi_{\Gamma}^s(t)$ ,  $s = \overline{1, k-1}$  помех на выходе приемных катушек, т. е. сигнала, генерируемого  $k$ -м источником или преобразованного каналом  $\Phi_{dk}$  сигнала  $\xi_{\Gamma}^k(t) * h_{dk}(t, l) = \tilde{\xi}_{\Gamma}^k(t)$ . Этот сигнал  $\tilde{\xi}_{\Gamma}^k(t)$  на  $k$ -м входе блока  $\Sigma_d$  суммирования не искажен помехами, линейно связан с сигналом  $\xi_{\Gamma}^k(t)$  и поэтому достоверно определяет кодовый сигнал АЛСН [7, 11].

Решение системы интегральных уравнений на с. 34 обычно достигается путем минимизации значения целевой функции

$$F^d(q) = E[\xi_u^d(t, l) - \sum_{p=1}^{d-1} \xi_u^p(t, l) * q_p(t, l)]^2,$$

где  $E\{\dots\}$  – среднее значение заключенной в скобках величины; параметр  $q_p(t)$ ,  $p = \overline{1, d-1}$  – импульсные переходные характеристики перестраиваемых фильтров  $\Pi\Phi_p$ ,  $p = \overline{1, d-1}$ .

Группа ПФ входит в состав многоканального адаптивного фильтра (МАФ), функциональная схема которого изображена на рис. 1. Поскольку в сигнале  $\xi_u^d(t, l)$  аддитивные составляющие  $\xi_{\Gamma}^s(t) * h_{ds}$ ,  $s = \overline{1, k-1}$  коррелированы с опорными сигналами  $\xi_u^p(t, l) * q_p$ ,  $p = \overline{1, d-1}$ , при  $d = s$  минимум целевой функции  $F^d(q)$  равен  $\min F^d(q) = E[\xi_{\Gamma}^k(t) * h_{dk}(t, l)]^2$ .

В процессе работы вычислительный блок МАФ осуществляет вычисление таких параметров (весов)  $q_p(t)$ ,  $p = \overline{1, d-1}$  перестраиваемых фильтров ПФ<sub>p</sub>,  $p = \overline{1, d-1}$ , при которых значение целевой функции  $F^d(q)$  будет минимальным [7, 11]. Другими словами, при достижении минимума целевой функции  $F^d(q)$  вычисленный сигнал  $\hat{\xi}_\Gamma^k(t)$  на выходе блока вычитания МАФ близок по критерию наименьших квадратов составляющей кодированного сигнала  $\tilde{\xi}_\Gamma^k(t)$  АЛСН из аддитивной смеси сигналов на выходе приемных катушек.

Таким образом, происходит компенсация помех в аддитивной смеси «сигнал АЛСН – сигналы помех» на выходе приемных катушек в условиях, когда динамические характеристики (импульсные переходные характеристики)  $h_{ps}(t, l)$ ,  $p = \overline{1, d}$  и  $s = \overline{1, k}$  каналов неизвестны и при движении постоянно изменяются. Кроме того, сигналы  $\hat{\xi}_\Gamma^1(t), \dots, \hat{\xi}_\Gamma^{k-1}(t)$  на выходах ПФ (входах блока вычитания БВ) после завершения процесса адаптации близки по критерию наименьших квадратов соответствующим сигналам помех  $\xi_\Gamma^1(t), \dots, \xi_\Gamma^{k-1}(t)$ , поэтому могут использоваться для анализа источников помех при мониторинге системы АЛСН, например мобильными вагонами-лабораториями.

Среди многочисленных алгоритмов адаптации [9, 10], приводящих к минимуму целевую функцию  $F^d(q)$  – алгоритмов Ньютона, наискорейшего спуска, по критерию наименьшего среднего квадрата (LMS – Least Mean Square), рекурсивного по критерию наименьших квадратов (RLS – Recursive Least Square) и других – для рассмотренного выше МАФ выбран алгоритм адаптации LMS.

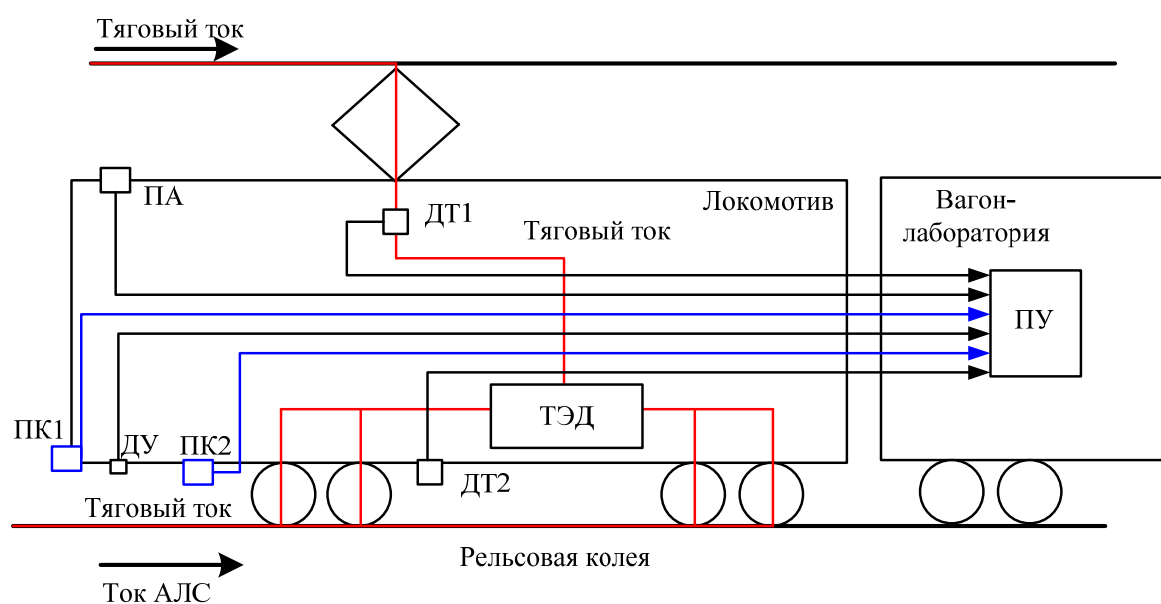
Данный алгоритм выгодно отличается наименьшей вычислительной сложностью среди известных алгоритмов адаптивной фильтрации [9, 10]. Для каждого шага расчета  $N$  весов ПФ по этому алгоритму требуется выполнить  $N+1$  пар операций «умножение – сложение». Это важное преимущество алгоритма LMS используется для обеспечения реального масштаба времени обработки сигналов АЛСН встраиваемыми вычислительными устройствами (микроконтроллерами, сигнальными процессорами, программируемыми логическими интегральными схемами (ПЛИС)), имеющими, как правило, ограниченные вычислительные ресурсы. Для сравнения: число операций в алгоритме RLS квадратично возрастает с увеличением порядка  $N$  ПФ [9, 10].

Существенной особенностью исследований по адаптивной фильтрации сигналов АЛСН является применение многоканальной адаптивной обработки сигналов помех [7, 11]. Для измерения сигналов помех  $\xi_u^1(t, l), \dots, \xi_u^{d-1}(t, l)$ , поступающих на опорные входы МАФ, предлагается использо-

вать приемники сигналов, один из вариантов схемы расположения которых на локомотиве приведен на рис. 2.

Это следующие приемники:

- ПА помех от воздушных ЛЭП;
- ДТ1 (например, токовый датчик LT 1000-SI) помех, возникающих при коммутации электрических цепей тяговых электродвигателей (ТЭД), нарушений контакта пантографа и контактного провода;
- ДТ2 помех от обратных тяговых токов при движении локомотива на станциях, кабельных ЛЭП, а также намагниченности рельсов;
- ДУ помех из-за колебаний приемных катушек – двух дополнительных ПК1 и двух штатных локомотивных ПК2.



**Рис. 2.** Вариант схемы расположения приемников сигналов АЛСН и помех на локомотиве

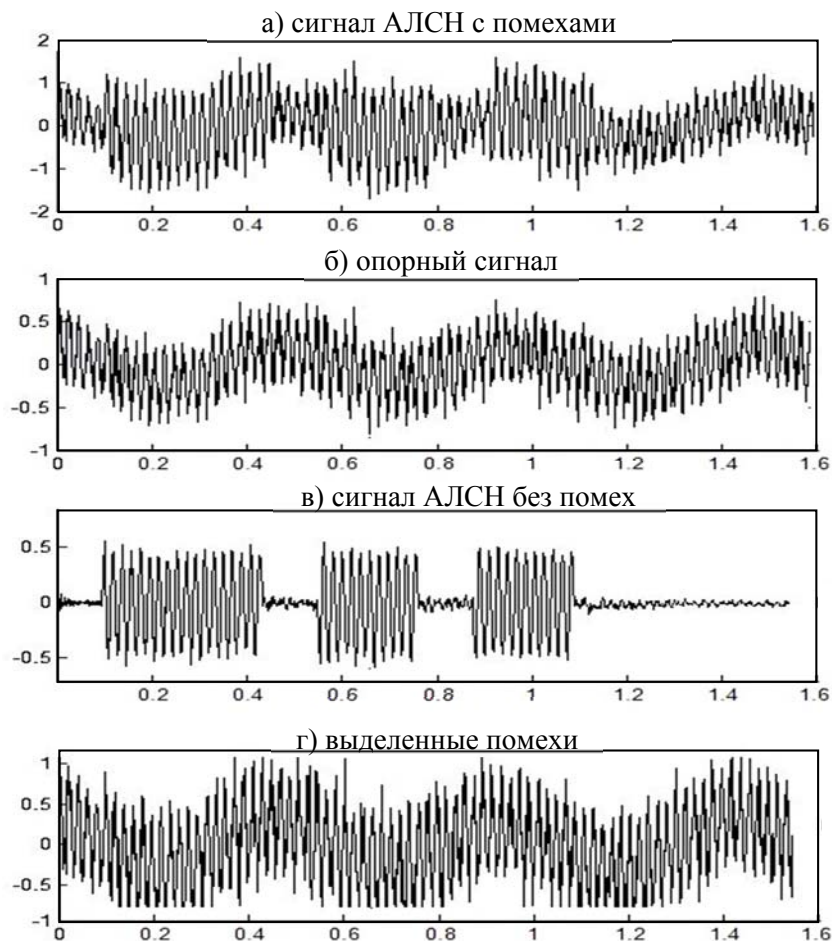
Приведенная на рис. 2 пара навесных приемных катушек ПК1 устанавливается дополнительно при использовании вагона-лаборатории для мониторинга систем АЛСН. На рисунке показан обобщенный вариант схемы расположения приемников сигналов, потенциально мешающих работе АЛСН и служащей для пояснения предлагаемого подхода к адаптивной компенсации помех. Конечно, вклад каждого из видов помех различен, как и условия их влияния на разных полигонах железных дорог.

Число входов МАФ (количество приемников помеховых сигналов) при необходимости несложно масштабировать, учитывая особенности условий эксплуатации АЛСН. Все приемники помех – индуктивные (обмотки на сердечниках) датчики, сигналы от которых, вместе с сигналами локомотивных приемных катушек, поступают через согласующие усили-

тели на входы МАФ, входящего в состав приемного устройства сигналов АЛСН. Приемное устройство может находиться как в локомотиве (в штатном режиме используются приемные катушки ПК2), так и в вагонелaborатории (в режиме мониторинга системы АЛСН используются дополнительные навесные приемные катушки ПК1).

Средствами математического пакета MATLAB произведено моделирование адаптивной компенсации помех в сигналах АЛСН с помощью рассмотренного выше МАФ. Результаты моделирования приведены на рис. 3. Для моделирования МАФ использовались адаптивные фильтры, реализующие алгоритм адаптации LMS, число весов МАФ – 32, частота дискретизации сигналов – 1000 Гц, разрядность цифрового кода равна 8. На рис. 3 показаны: а) сигнал АЛСН (код зеленого огня светофора) с помехами; б) сигналы помех на опорных входах МАФ; в) сигнал АЛСН (код зеленого огня светофора), в котором помехи подавлены; г) выделенные помехи (для возможного анализа их природы).

Результаты моделирования демонстрируют эффективность компенсации помех с помощью предложенного МАФ за время, не превышающее период следования кодов АЛСН.



**Рис. 3.** Результаты моделирования компенсации помех МАФ с определением вкладов полезного сигнала АЛСН и помех в выходном сигнале приемных катушек

## 2. Модифицированный адаптивный фильтр, использующий паузы при адаптации в сигналах систем автоматической локомотивной сигнализации непрерывного типа

Недостатком рассмотренного выше МАФ является существенное искажение выделенных из помех полезных сигналов в случаях, когда полезные сигналы и сигналы помех коррелированы. Применительно к сигналам АЛСН это случай, когда помехи являются гармоническими сигналами с частотами, равными или близкими частотам несущих сигналов АЛСН. Например, помехи от ЛЭП на участках с электрической тягой постоянного тока и тепловозной тягой, когда устройства АЛСН работают на частоте 50 Гц [2]. В этом случае происходит подавление как гармонической помехи, так и сигнала АЛСН.

Для устранения данного недостатка предлагается модифицированный МАФ, в котором алгоритм адаптации использует априорную информацию о наличии пауз (интервалов) в сигналах АЛСН [12]. Функциональная схема модифицированного МАФ изображена на рис. 4.

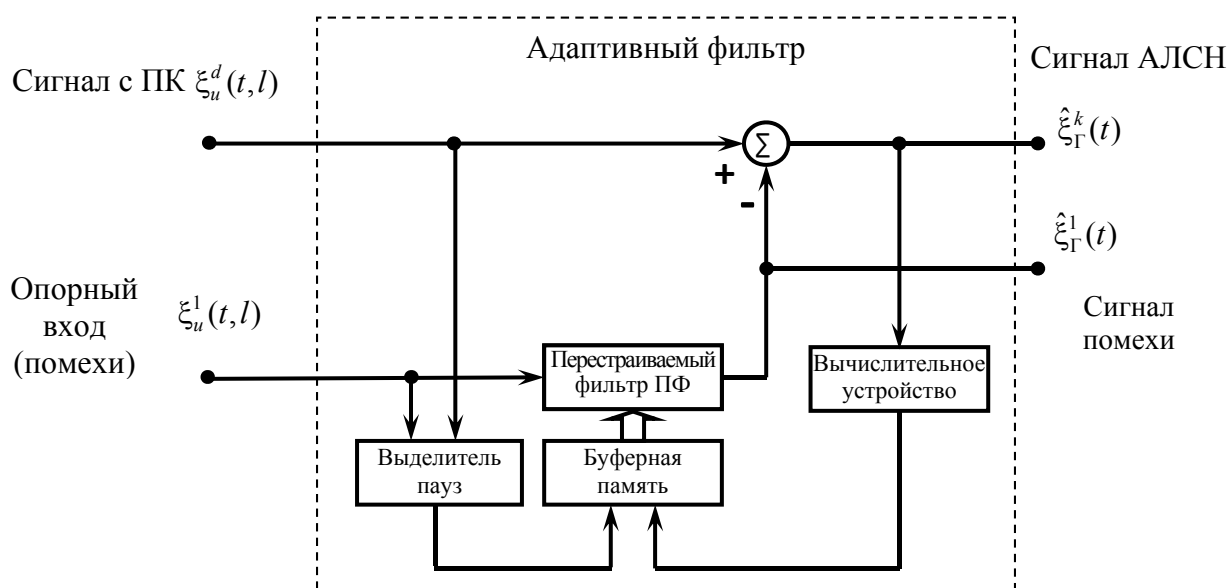


Рис. 4. Функциональная схема модифицированного адаптивного фильтра, использующего априорную информацию о паузах (интервалах) в сигналах АЛСН

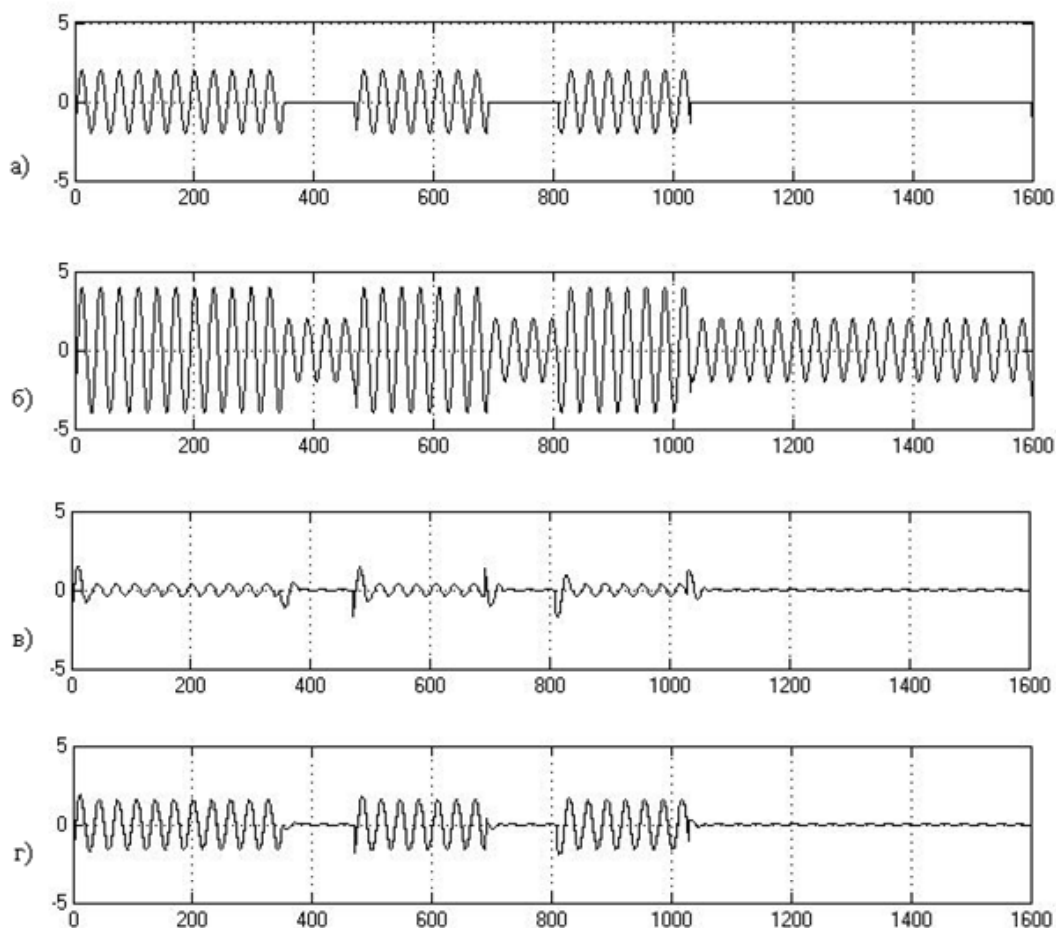
В предлагаемом АФ [12] вычисление весовых коэффициентов перестраиваемого фильтра (настройка АФ) производится только в паузах, т. е. при отсутствии сигнала  $\xi_u^d(t, l)$  АЛСН или когда его мощность ниже установленного порога.

При наличии сигнала (вне паузы) разделение сигнала производится в перестраиваемом фильтре с весовыми коэффициентами, вычисленными в конце предшествующей паузы и записанными в буферную память. Из-за



запрета адаптации при наличии сигнала  $\xi_u^d(t, l)$  подавляется (вычитается) только сигнал  $\xi_u^1(t, l)$  от источников помех, а сигнал  $\xi_u^d(t, l)$  не подавляется. Выделение пауз в сигнале  $\xi_u^d(t, l)$  можно производить, например, путем вычисления величины мощности сигнала на сигнальном входе АФ и сравнения этой величины с порогом.

Средствами математического пакета MATLAB произведено моделирование адаптивной компенсации гармонических помех в сигналах АЛСН с помощью предложенного модифицированного АФ, использующего априорную информацию о паузах в сигналах. Результаты моделирования приведены на рис. 5. Условия проведения моделирования такие же, как в эксперименте с адаптивной компенсацией базовым МАФ.



**Рис. 5.** Результаты моделирования компенсации гармонических помех в сигналах АЛСН модифицированным адаптивным фильтром, использующим априорную информацию о паузах в сигналах

На рис. 5 показаны: а) сигнал АЛСН (код зеленого огня светофора); б) аддитивная смесь сигнала АЛСН и гармонической помехи с частотой, равной частоте несущей сигнала АЛСН; в) неудовлетворительные для практики результаты компенсации гармонической помехи в сигнале АЛСН базовым МАФ; г) результаты компенсации гармонической помехи в сигнале АЛСН модифицированным АФ, использующим априорную информацию о паузах в сигналах АЛСН.

Практическая реализация предложенных АФ обеспечивается многочисленными серийно выпускаемыми типами вычислительных устройств для встраиваемых приложений: микроконтроллерами и мобильными компьютерами [13], сигнальными процессорами [14], ПЛИС, например [15], методами, алгоритмами и различными программами для цифровой обработки сигналов [16].

## Заключение

На основе разработанной нами математической модели принимаемых сигналов на входах приемных устройств АЛСН обоснованы функциональные схемы и алгоритмы адаптации базового и модифицированного многоканальных АФ для приемных устройств АЛСН.

Отличительной особенностью предложенных для компенсации помех в сигналах АЛСН АФ, существенно расширяющей их функциональные возможности, является использование в алгоритмах адаптации априорной информации о наличии пауз (интервалов) в сигналах АЛСН.

Компьютерное моделирование работы рассмотренных АФ подтверждает достоверность полученных результатов и их эффективность для компенсации помех.

## Библиографический список

1. Леонов А. А. Техническое обслуживание автоматической локомотивной сигнализации / А. А. Леонов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1982. – 255 с.
2. Кравцов Ю. А. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики / Ю. А. Кравцов, В. Л. Нестеров, Г. Ф. Лекута, И. М. Кокурин, В. А. Кононов, Л. И. Борисенко, П. Ф. Бестемьянов, И. В. Беляков, И. Д. Долгий, Л. В. Пальчик. – М. : Транспорт, 1996. – 400 с.
3. Горелов Г. В. Теория передачи сигналов на железнодорожном транспорте / Г. В. Горелов, А. Ф. Фомин, А. А. Волков, В. К. Котов. – М. : УМЦ образования на железнодорожном транспорте, 2013. – 532 с.
4. Шаманов В. И. Моделирование генерации помех токами рельсовой тяговой сети / В. И. Шаманов // Автоматика, связь, информатика. – 2014. – № 10. – С. 5–9.
5. Леушин В. Б. Помехоустойчивость приемников АЛСН при приеме кодовых комбинаций в условиях действия флуктуационных помех / В. Б. Леушин, Р. Р. Юсупов, Э. К. Блачев, Н. Р. Барашкова // Вестник транспорта Поволжья. – 2009. – № 3 (19). – С. 39–41.

6. Леушин В. Б. Влияние помех от высоковольтных ЛЭП на работу приемников канала АЛСН локомотивного устройства безопасности КЛУБ / В. Б. Леушин, Р. Р. Юсупов, Э. К. Блачев, Н. Р. Барашкова // Вестник транспорта Поволжья. – 2009. – № 3 (19). – С. 33–48.
7. Засов В. А. Алгоритмы и устройства для идентификации входных сигналов в задачах контроля и диагностики динамических объектов / В. А. Засов, М. А. Тарабардин, Е. Н. Никоноров // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. акад. С. П. Королева. – 2009. – № 2 (18). – С. 115–122.
8. Шаманов В. И. Защищенность локомотивных приемников АЛС от помех / В. И. Шаманов // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 4. – С. 14–19.
9. Haykin S. Adaptive filter theory / S. Haykin. – 4 edition. – Prentice Hall, 2001. – 936 p.
10. Джиган В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы / В. И. Джиган. – М. : Техносфера, 2013. – 528 с.
11. Засов В. А. Алгоритмы контроля устойчивости решения задачи разделения источников сигналов в условиях априорной неопределенности / В. А. Засов, Е. Н. Никоноров // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения (УКИ-10) : мат-лы российской с международным участием конференции. – М. : Изд-во РАН ; Ин-т проблем управления им. В. А. Трапезникова, 2010. – С. 482–491.
12. Пат. № 148878. Адаптивный компенсатор помех в прерывистых сигналах / Засов В. А., Ромкин М. В. ; 12.08.2014. Оpubл. 20.12.2014, бюл. № 35.
13. Дмитриев В. В. Разработка устройства контроля параметров автоматической локомотивной сигнализации на базе современного смартфона / В. В. Дмитриев, Д. М. Смирнов // Автоматика на транспорте. – 2016. – № 4. – С. 497–512.
14. Сперанский В. С. Сигнальные микропроцессоры и их применение в системах телекоммуникаций и электроники / В. С. Сперанский. – М. : Горячая линия – Телеком. – 2008. – 170 с.
15. Глазков В. В. Программируемые логические интегральные схемы фирмы Altera / В. В. Глазков ; МГТУ им. Н. Э. Баумана. – М. : Горячая линия – Телеком, 2014. – 53 с.
16. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. – 3-е изд. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.

*Valeriy A. Zasov*

«Mechatronics, Automation and Control in Transport» department  
Samara State Transport University

### **Compensation of noise in signal receivers automatic locomotive signaling**

Under conditions of a priori noise uncertainty, it is effective to use adaptive compensation of noise techniques to improve noise protection of continuous automatic locomotive signaling (CALS) receivers. The purpose of this article is to study the possibilities of an adaptive signal-processing technique, adaptive noise filtration (AF), providing better noise resistance of the CALS signals. To achieve this goal, the following problems are solved: a mathematical model of the CALS receivers' input signals is developed, a functional circuit and adaptation algorithm of a basic and a modified multichannel CALS receivers' adaptive filters is substantiated, and a computer simulation of adaptive filters is performed, confirming the accuracy of the obtained results and effectiveness of such filters for noise reduction. A distinctive feature of the proposed filters, which significantly

expands their functionality, is a priori information on the presence of breaks in the CALS signals used in the adaptive algorithms.

automatic locomotive signaling; compensation of noise; mathematical model; adaptive filters, adaptive algorithm; breaks in signals; computer simulation

## References

1. Leonov A. A. (1982). Maintenance of automatic train signals [Tekhnicheskoe obsluzhivanie avtomaticheskoy lokomotivnoy signalizatsii], 5th edition, revised and enlarged. Moscow, Transport. – 255 p.
2. Kravtsov Yu. A., Nesterov V. L., Lekuta G. F., Kokurin J. M., Kononov V. A., Borisenko L. J., Bestemianov P. F., Belyakov J. V., Dolgi J. D., Palchik K. V. (1996). Systems of Railway Automatics and Telemechanics [Sistemy zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki]. Moscow, Transport. – 400 p.
3. Gorelov G. V., Fomin A. F., Volkov A. A., Kotov V. K. (2013). The theory of signals transferring at railways [Teoriya peredachi signalov na zheleznodorozhnom transporte]. Moscow, EMC of education on railway transport [UMC obrazovaniya na zheleznodorozhnom transporte]. – 532 p.
4. Shamanov V. I. (2014). Modeling of noise generation by currents of a rail traction network [Modelirovaniye generatsii pomekh tokami relsovoy tyagovoy seti]. Automation, communication, computer science [Avtomatika, svyaz, informatika], issue 10. – Pp. 5–9.
5. Leushin V. B., Yusupov R. R., Blachev E. K., Barashkova N. R. (2009). The interference immunity of CALS receivers when receiving code combinations under conditions of action of fluctuation noise [Pomehoustoychivost priemnikov ALSN pri prieme kodovykh kombinatsiy v usloviyakh deystviya fluktuatsionnykh pomekh]. Volga transport bulletin [Vestnik Transporta Povolzh'ya], issue 3. – Pp. 39–41.
6. Leushin V. B., Yusupov R. R., Blachev E. K., Barashkova N. R. (2009). How noises induced by high-voltage power transmission line influence onto continuous automatic locomotive signaling receivers operation at KLUB safety device for locomotive [Vliaynie pomekh ot visokovoltnykh LEP na pabotu priemnikov kanala ALSN lokomotivnogo ustroystva bezopasnosti CLUB]. Volga transport bulletin [Vestnik Transporta Povolzh'ya], issue 3. – Pp. 33–48.
7. Zasov V. A., Nikonorov E. N., Tarabardin M. A. (2009). Algorithms and devices for identification of input signals in problems of control and diagnostics of dynamic objects [Algoritmy i ustroystva dlya identifikatsii vhodnykh signalov v zadachah kontrolya i diagnostiki dinamicheskikh ob'ektov]. Bulletin of Samara state aerospace university behalf of S. P. Korolev [Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im S. P. Koroleva], issue 2 (18). – Pp. 115–122.
8. Shamanov V. I. (2013). Security of locomotive receivers ALS from noise. [Zaschischennost lokomotivnykh priemnikov ALS ot pomekh]. Automation, communication, computer science [Avtomatika, svyaz, informatika], issue 4. – Pp. 14–19.
9. Haykin S. (2001). Adaptive Filter Theory, 4-ed. Prentice Hall. – 936 p.
10. Dzhigan V. I. (2013). Signals Adaptive Filtering: Theory and Methods [Adaptivnaya fil'tratsiya signalov: teoriya i algoritmy]. Moscow, Tekhnosfera. – 528 p.
11. Zasov V. A., Nikonorov E. N. (2010). Algorithms for Verifying the Stability of a Solution to the Problem of Separating Signal Sources under Conditions of Prior Uncer-

- tainty [Algoritmyi kontrolya ustoychivosti resheniya zadachi razdeleniya istochnikov signalov v usloviyah apriornoy neopredelennosti]. Published in Hardware and Software Means for Management, Control, and Measurement Systems: Proceedings of a Conference with Russian and International Attendance [Tehnicheskie i programmnyie sredstva sistem upravleniya, kontrolya i izmereniya (UKI-10): materialyi rossiyskoy s mezhdunarodnyim uchastiem konferentsii]. Moscow, Russian Academy of Sciences, Trapeznikov Institute of Control Sciences Press. – Pp. 482–491.
12. Zasov V. A., Romkin M. V. (2014). Adaptive compensation of noise in intermittent signals [Adaptivnyiy kompensator pomeh v preryivistyih signalah], RF Patent 148878 [Patent na poleznuyu model N 148878 ot 12.08.2014], Byull. Izobret., issue 35.
  13. Dmitriev V. V., Smirnov D. M. (2016). Design of parameter control device for continuous automatic train signaling system on the base of a modern smartphone [Razrabotka ustroystva kontrolya parametrov avtomaticheskoy lokomotivnoy signalizatsii na baze sovremennogo smartfona], Automation on transport [Avtomatika na transporte], vol. 2, issue 4. – Pp. 497–512.
  14. Speransky V. S. (2008). Signaling microprocessors and their application in telecommunications and electronics systems [Signal'nie mikroprocessori i ih primenenie v sistemah telekommunikatsiy i elektroniki]. Moscow, Hot line-Telecom [Gor'achay linia – Telekom]. – 170 p.
  15. Glaskov V. V. (2014). Programmable logic integrated circuits of Altera [Programmiruemie logicheskie integral'nie shemi firmi Altera]. Moscow, Hot line-Telecom [Gor'achay linia – Telekom]. – 53 p.
  16. Sergienko A. B. (2011) Digital signal processing [Cifrovay obrabotka signalov]. St. Petersburg, BKhV-Peterburg. – 768 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии В. А. Ходаковским  
Поступила в редакцию 26.01.2018, принята к публикации 06.09.2018*

*ЗАСОВ Валерий Анатольевич* – кандидат технических наук, профессор кафедры «Мехатроника, автоматизация и управление на транспорте» Самарского государственного университета путей сообщения.

e-mail: vzasov@mail.ru

© Засов В. А., 2019