

А.А. ОРЕХОВ, Н.В. ДОРОФЕЕВ

**Адаптивная фильтрация сигналов в  
системе геодинамического  
контроля при высоком уровне  
воздействия промышленных помех**

УДК 550.8.05

Муромский институт  
(филиал) ФГБОУ ВПО  
«Владимирский  
государственный  
университет имени  
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
г.Муром

*В данной статье разработан адаптивный фильтр, предназначенный для борьбы с промышленными помехами при регистрации и первичной обработке регистрируемых сигналов в системах мониторинга геодинамических объектов. Исследование системы геодинамического контроля с заданными характеристиками показало, что адаптивный фильтр 16 порядка, функционирующий по алгоритму RLS, устраняет наиболее распространённые промышленные помехи из регистрируемого сигнала.*

*Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ МК-3485.2012.8.*

В настоящее время при построении систем геодинамического контроля, работающих по принципу многополюсной электролокационной установки и использующих бесконтактные трансформаторные датчики, сталкиваются с рядом проблем. Прежде всего, это обеспечение надёжной помехоустойчивой регистрации электромагнитных сигналов, содержащих информацию о геодинамическом состоянии контролируемого объекта [2]. В связи с тем, что подобные системы предназначены для использования в условиях промышленно развитых и густозаселённых территорий, основной трудностью является борьба именно с промышленными электромагнитными помехами.

Как известно, системы геодинамического контроля, используемые в настоящее время, для борьбы с промышленными помехами содержат в измерительном тракте режекторный фильтр, настроенный на подавление помехи частотой 50 Гц [3]. Однако, как показы-

вает практика, спектр промышленной помехи имеет довольно сложную структуру и содержит гармоники различных частот в широком диапазоне. При проектировании системы невозможно предположить конкретное место её эксплуатации и характер воздействующих промышленных помех [1]. Таким образом, решением проблемы защиты системы геодинимического контроля от промышленных помех может являться применение адаптивных алгоритмов фильтрации при первичной обработке регистрируемых сигналов.

Целью данной работы является построение адаптивного фильтра, предназначенного для борьбы с промышленными помехами при регистрации и первичной обработке регистрируемых сигналов в системах мониторинга геодинимических объектов.

Как известно, адаптивные фильтры способны подстраиваться под некоторые статистические параметры регистрируемых сигналов и помех, изменяющихся в процессе функционирования системы. Адаптивные фильтры, используя дополнительную информацию о регистрируемых сигналах, минимизируют некоторую ошибку воспроизведения образцового сигнала. Блок адаптации анализирует ошибку и дополнительные данные, и соответствующим образом подстраивает коэффициенты фильтра [6].

Рассмотрим процесс регистрации сигналов в системе геодинимического контроля, работающей по принципу многополюсной электролокационной установки и использующей бесконтактные трансформаторные датчики (рисунок 1).

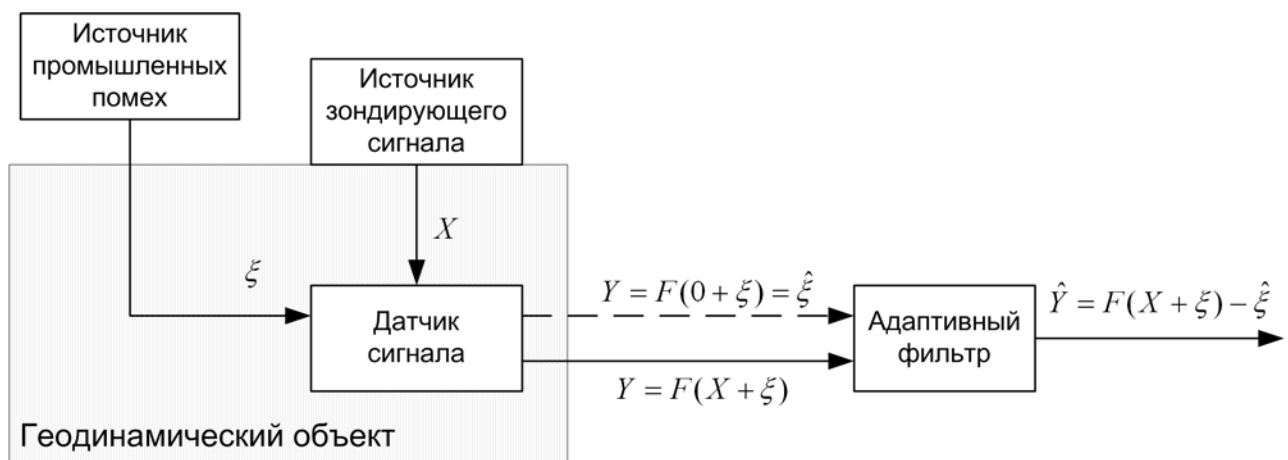


Рис. 1. Структура регистрации электромагнитного сигнала при адаптивной фильтрации

На геодинамический объект воздействует источник зондирующего сигнала  $X$  (на одной центральной частоте, либо на комбинированных частотах) и источник промышленных помех  $\xi$ . Следует отметить, что промышленные помехи воздействуют как на геодинамический объект, так и на датчик и на аппаратуру регистрации [4]. Датчик регистрирует сигнал  $Y$ , являющейся некоторой функцией зондирующего сигнала  $X$ , воздействующей помехи  $\xi$  и электромагнитных параметров среды. Т.е.  $Y = F(X + \xi)$ .

Как известно, адаптивному фильтру требуется некоторая дополнительная информация о регистрируемой помехе [6]. Для этого включается регистрация сигнала без включенного источника зондирующего сигнала. Таким образом, на входе адаптивного фильтра получаем оценку помехи  $\hat{\xi} = Y = F(0 + \xi)$ .

Затем, после включения источника зондирующего сигнала, на адаптивный фильтр поступает  $Y = F(X + \xi)$ . Адаптивный фильтр, подстроив свои параметры под конкретную шумовую обстановку, выдаёт оценку полезного сигнала  $\hat{Y} = F(X + \xi) - \hat{\xi}$ , которая уже используется для выяснения геодинамического состояния контролируемого объекта. Следует заметить, что шумовые случайные процессы при включенном и при выключенном источнике зондирующего сигнала будут коррелированными. Также очевидно, что помеха не коррелирована с сигналом зондирующих частот, содержащим информацию о геодинамических вариациях контролируемого объекта.

Алгоритм адаптивной фильтрации работает следующим образом [5]. Имеются некоторые отсчёты входного для адаптивного фильтра сигнала помехи  $\hat{\xi}(k)$ , обрабатываемые цифровым фильтром порядка  $N$  с коэффициентами  $w(i), i = 0..N$ . Таким образом, на его выходе будет:

$$\hat{\xi}'(k) = \sum_{i=0}^N w(i) \cdot \hat{\xi}(k - i) \quad (1)$$

В качестве образцового сигнала выступает сигнально-шумовая смесь  $y(k)$ . Алгоритм адаптивной фильтрации стремится преобразовать

звать сигнал помехи таким образом, чтобы он был как можно ближе к образцовому:

$$e(k) = y(k) - \sum_{i=0}^N w(i) \cdot \hat{\xi}(k-i) \quad (2)$$

Оптимизируемая функция выглядит как минимизация среднего квадрата ошибки:

$$J(w(i)) = \overline{e^2(k)} \rightarrow \min \quad (3)$$

Так как с входным сигналом адаптивного фильтра коррелирована только помеха в образцовом сигнале  $Y$ , после адаптации на его выходе будет только оценка шума  $\hat{\xi}$ , присутствующего в образцовом сигнале. Выходной полезный сигнал будет представлять собой разность между образцовым сигналом и выходом адаптивного фильтра  $\hat{Y} = F(X + \xi) - \hat{\xi}$ .

Минимизация функционала  $J$  производится при помощи адаптивного алгоритма рекурсивного метода наименьших квадратов (Recursive Least Square, RLS), позволяющего сократить вычислительные затраты. Подробное математическое описание алгоритма RLS приведено в [5].

Рассмотрим систему геодинамического контроля, использующую в качестве зондирующего монохроматический гармонический сигнал с центральной частотой 72 Гц, частота дискретизации 500 Гц. Как показывает практика, спектр промышленной помехи содержит частоты из очень широкого диапазона, однако наиболее значимыми является частота 50 Гц и её гармоники. Таким образом, спектр сигнала с помехой, поступающий на вход фильтра будет иметь вид, представленный на рисунке 2 (помеха 50 Гц по уровню в 2 раза превышает полезный сигнал, помех 100 Гц по уровню совпадает с полезным сигналом).

После прохождения через адаптивный фильтр 16 порядка, работающий по алгоритму RLS, получаем оценку шумового процесса, спектр которого представлен на рисунке 3.

После вычитания получаем очищенный от шума полезный сигнал (рисунок 4).

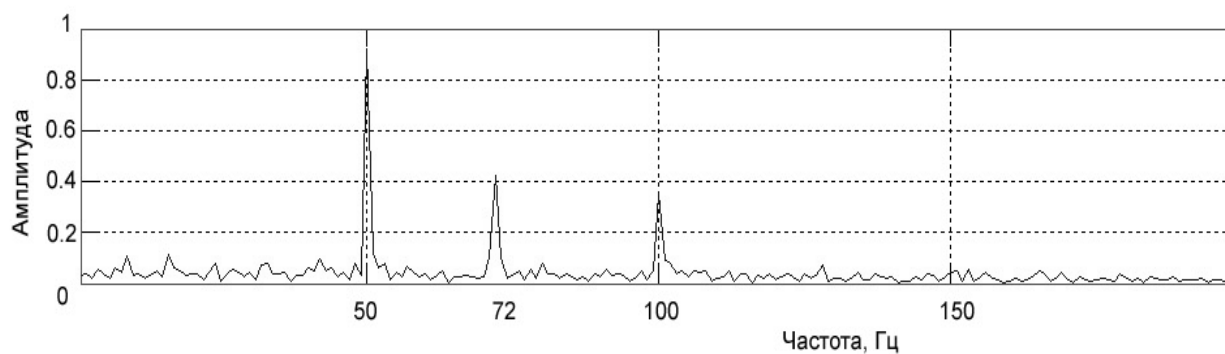


Рис. 2. Спектр сигнала с помехой

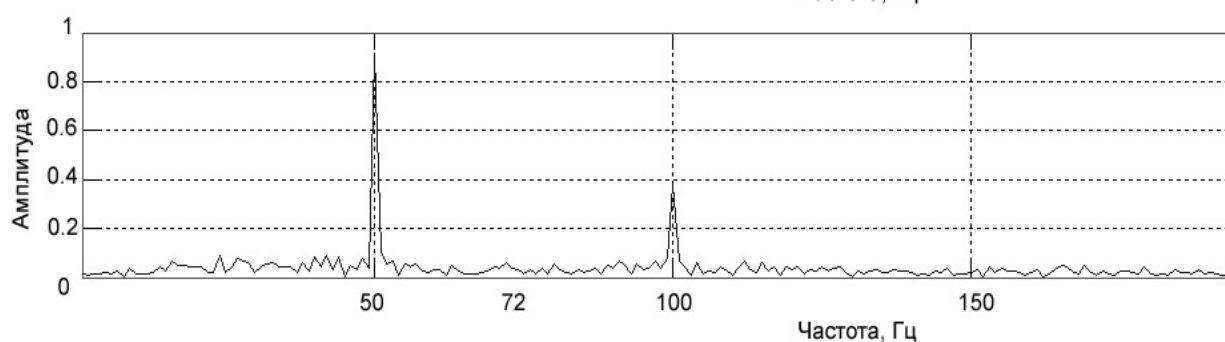


Рис. 3. Спектр шумового процесса

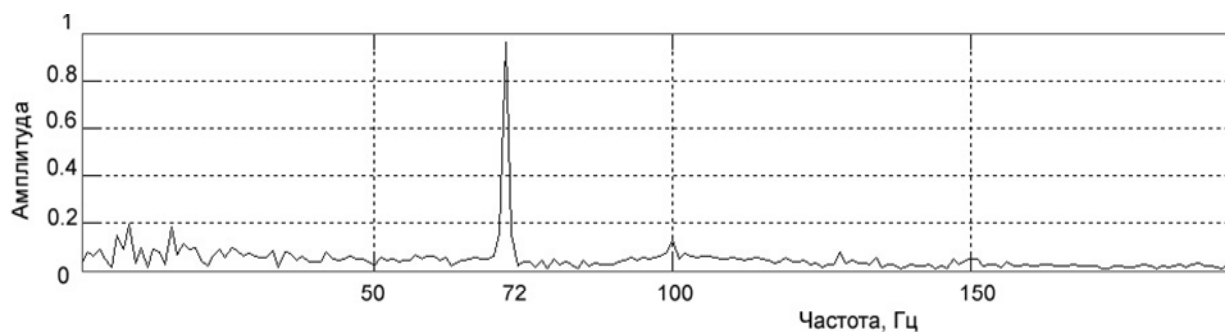


Рис. 4. Спектр полезного сигнала, очищенного от шума

Из рисунков видно, что полезный сигнал не содержит помехи, присутствующей в исходном сигнале. Было проведено исследование работы адаптивного фильтра при различных вариантах шумовой обстановки (рисунок 5 и 6). Как следует из рисунков, фильтр является вполне работоспособным.

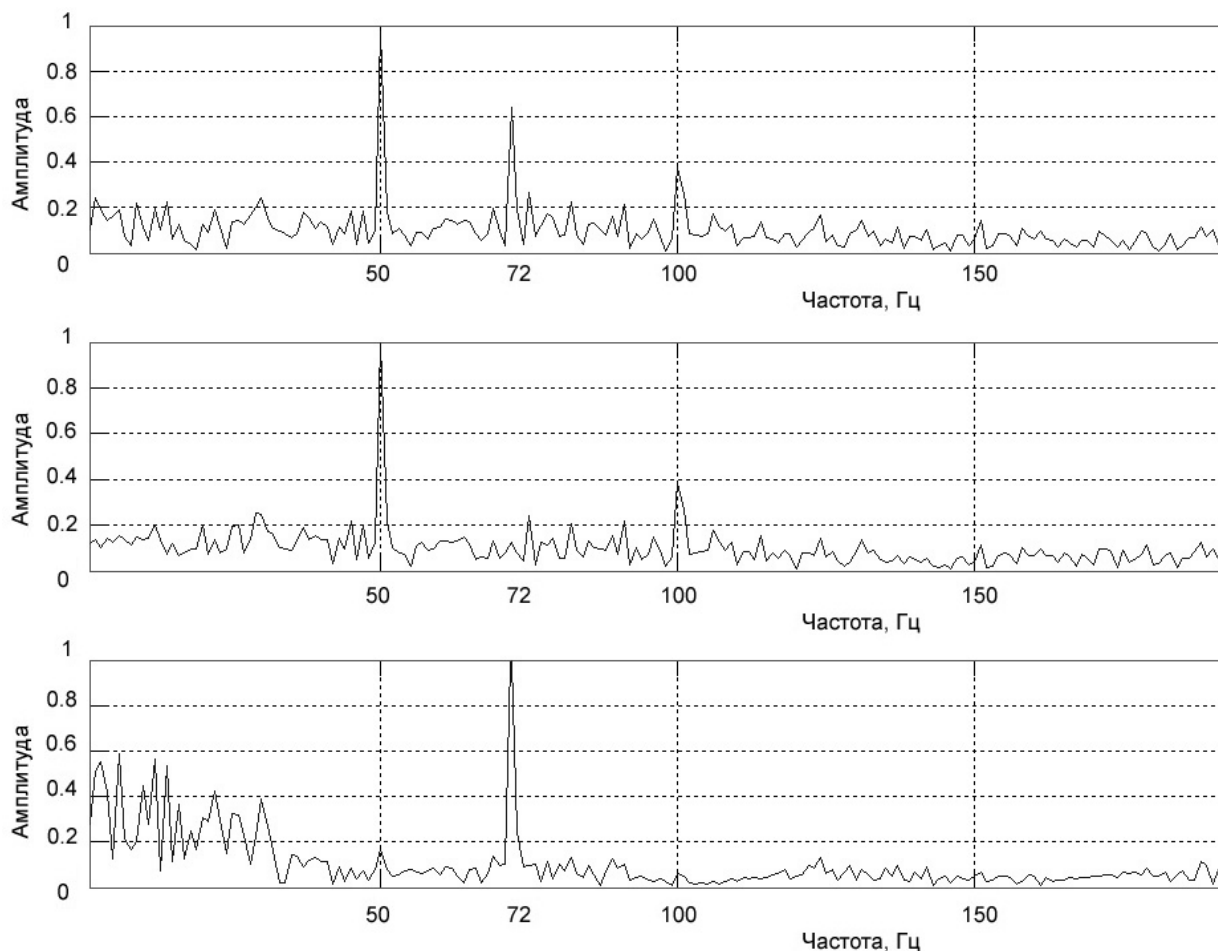


Рис. 5. Спектр сигнала с помехой, шумового процесса и полезного сигнала, очищенного от шума

Таким образом, в данной статье разработан адаптивный фильтр, предназначенный для борьбы с промышленными помехами при регистрации и первичной обработке регистрируемых сигналов в системах мониторинга геодинамических объектов. Разработан способ регистрации, при котором статистические характеристики шумового сигнала фиксируются отдельно от полезного. Набранные статистики используются для устранения помехи при регистрации полезного сигнала, содержащего информацию о геодинамических вариациях контролируемого объекта. Исследование системы геодинамического контроля с заданными характеристиками показало, что адаптивный фильтр 16 порядка, функционирующий по алгоритму RLS, устраняет наиболее распространённые промышленные помехи из регистрируемого сигнала.

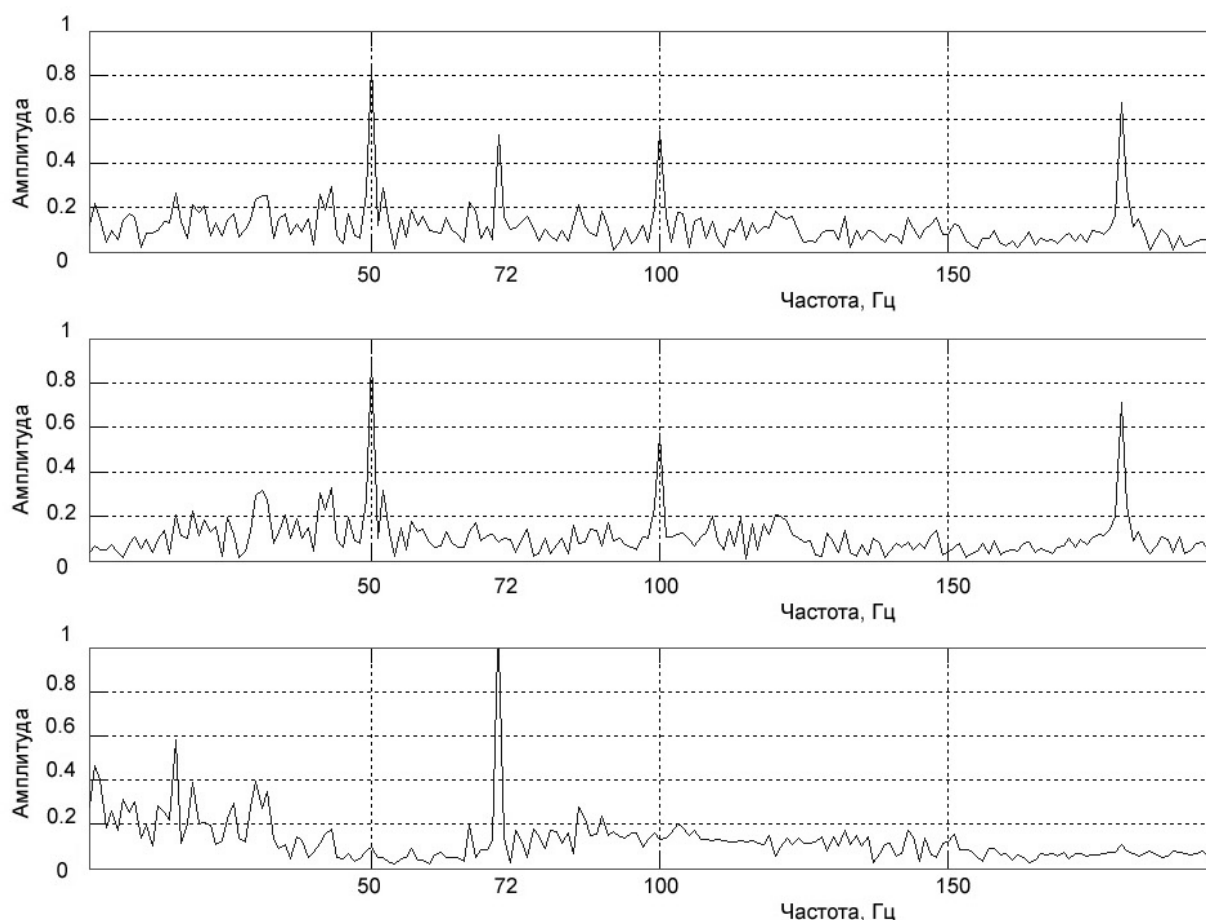


Рис. 6. Спектр сигнала с помехой, шумового процесса и полезного сигнала, очищенного от шума

## Литература

1. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с.
2. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 272 с.
3. Кузичкин О.Р., Орехов А.А. Проектирование измерительного тракта системы геоэлектрического контроля. //Проектирование и технология электронных средств. 2011. №1. С. 25-30.
4. Орехов А.А., Дорофеев Н.В. Структура обработки информации в системах электромагнитного геоэкологического мониторинга геодинамических объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. 2012. № 20. С. 69-76.
5. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2007. – 751 с.
6. Солонина А.И. Основы цифровой обработки сигналов: курс лекций. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 768 с.