

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПЕРЕКРЫТИЯ ОКОН ДПФ НА ИНФОРМАТИВНОСТЬ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ПРИ АНАЛИЗЕ КОРОТКИХ СИГНАЛОВ

Фаерман В.А.

Томский политехнический университет
faermanvlad@mail.ru

Решение широкого круга инженерных задач (таких как, например, диагностика эксплуатационного состояния технических объектов) требует эффективных методов анализа сигналов. Данное утверждение обуславливается, прежде всего тем, что для решения подобных задач необходимым является оценка значения некоторого информативного параметра, непосредственное измерение которого невозможно в силу влияния шумов [1]. Примером может служить задача определения местоположения утечек корреляционно-акустическим методом в трубопроводах, находящихся под давлением.

Суть упомянутого метода заключается в следующем. Пьезоэлектрические датчики вибрации устанавливаются (непосредственно на поверхность трубы) на обоих концах линейного участка трубопровода, на котором наблюдается утечка. Место истечения среды под давлением является источником акустической эмиссии и воспроизводит сигнал, который фиксируется обоими датчиками. При этом, различие в фазовых характеристиках сигналов, фиксируемых на концах обследуемого участка трубопровода, может быть использовано для определения местоположения течи [2].

Для анализа сигналов полученных описанным способом и определения местоположения утечки используется математический аппарат корреляционного анализа. В связи с современным распространением вычислительной техники, наибольшее распространение имеют цифровые корреляторы на базе микропроцессорных устройств. Корреляционный анализ при этом сводится к реализации алгоритма, основанного на поиске экстремума корреляционной функции $r_{12}(j)$ оцифрованных сигналов $\xi_1(i)$, $\xi_2(i)$ ($i = 0, 1, \dots, N-1$)

$$r_{12}(j) = \frac{1}{N_0} \cdot \frac{1}{K} \cdot F^{-1} \left(\sum_{k=0}^{K-1} (F[\xi_1(i)] \cdot F^*[\xi_2(i)]) \right) \quad (1)$$

где F - прямое дискретное преобразование Фурье (ДПФ); где F^{-1} - обратное ДПФ; F^* - комплексно-сопряженное представление результата ДПФ; N_0 - ширина окна ДПФ; $K = N/N_0$ - количество окон ДПФ шириной N_0 .

Стоит отметить, что для применения (1) необходимо, чтобы производимая утечкой полезная составляющая сигналов на входе коррелятора являлась стационарной. Под стационарностью полезной составляющей, в контексте рассматриваемой задачи, можно

понимать постоянство мгновенных спектров (как амплитудных, так и частотных) акустического сигнала, производимого средой, истекающей из трубы. На практике, как правило, данное условие в полной мере выполняться не может в связи с рядом факторов среди которых неравномерный расход жидкости, непостоянство параметров перекачки и другие [3]. Тем не менее, анализируемые сигналы могут рассматриваться как квазистационарные (то есть стационарные в течение некоторого непродолжительного момента времени). Таким образом, требование к стационарности накладывает ограничение на продолжительность анализируемых сигналов T и, следовательно, на количество анализируемых отсчетов

$$N = T \cdot f_d,$$

где f_d - частота дискретизации.

В общем случае, объем исследуемой выборки N оказывает влияние на качество анализа. Это обуславливается применением в (1) когерентного усреднения корреляционных функций, которое способствует подавлению шумов на выходе коррелятора и способствует различимости пика на коррелограмме [4]. Таким образом, невозможность использования выборок содержащих достаточное количество отсчета приводит к усложнению задачи анализа.

В тоже время, в силу особенностей контролируемого трубопровода, а также неблагоприятных условий проведения обследования, при обнаружении утечек не редко складывается ситуация, в которой корреляционный пик оказывается неразличим или не является единственным. В таких случаях, не представляется возможным однозначное определение местоположения пика [5]. Для разрешения данной проблемы находят применение различные методы дополнительного исследования сигналов, основанные на привлечение спектральной информации одним из которых является вычисление частотно-временных корреляционных функций [6]. Тем не менее, в случае если N оказывается не достаточно велик, вышеописанные меры также могут оказаться не эффективны.

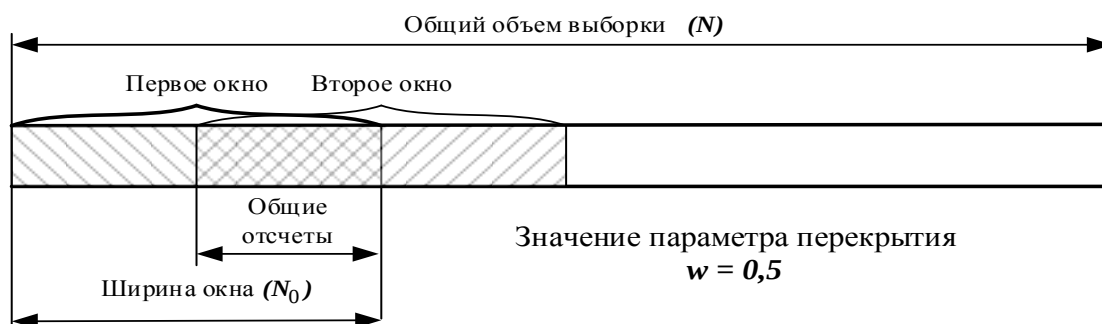


Рисунок – Параметр перекрытия при оконном анализе цифровых сигналов

Действенной мерой для искусственного увеличения числа интервалов, по которым может осуществляться усреднение корреляционной функции, с целью подавления случайных шумов на выходе коррелятора является введение параметра перекрытия [4]. Значение параметра перекрытия w ($0 \leq w < 1$) показывает долю общих отсчетов в двух любых соседних окнах анализируемых сигналов (см. рис.). Таким образом, при использовании перекрытия количество усредняемых корреляционных функций определяется следующим образом

$$K = 1 + \frac{\frac{N}{N_0} - 1}{(1 - w)}.$$

В таблице приводятся некоторые результаты исследования влияния w на информативность частотно-временной корреляционной функции (относительно минимального значения), полученной в результате анализа $N = 2^{14}$ отсчетов исходных сигналов. Ширина окна преобразования Фурье - 2^{12} . Тестовые сигналы генерировались в ППП Mathcad (отношение сигнал/шум на входе коррелятора -20 дБ). Для оценивания информативности использовался подход, описанный в [7].

Таблица. Влияние перекрытия окон

№	Перекрытие	Информативность
1	$w = 0, K = 4$	1,000
2	$w = 0,25, K = 5$	1,021
3	$w = 0,50, K = 7$	1,079
4	$w = 0,75, K = 13$	1,111

Описанный метод может быть использован для повышения качества анализа и подавления случайных шумов на выходе коррелятора ценой увеличения объема производимых вычислений пропорционально увеличению K . Стоит отметить, что результаты оценки информативности, не являются показательными, так как приращение информативности корреляционной функции находится в зависимости от отношения сигнал/шум на входе коррелятора. Последнее

обусловлено влиянием когерентного усреднения [4, 8].

Список использованных источников

1. Каневский И.Н., Сальникова Е.Н. Неразрушающие методы контроля: учеб. пос. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243 с.
2. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход: 2-е изд. : пер. с англ. – М.: Вильямс, 2004. – 992 с.
3. Строганов В.А., Хоролич В.Н. Экспериментальное исследование сигналов утечек подземных трубопроводов // Вестник Севастопольского национального технического университета. – 2010. – № 101. – С. 29-32.
4. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: пер. с англ.: второе издание. – М.: Бином-Пресс, 2006. – 656 с.
5. Аврамчук В.С. Частотно-временной корреляционный анализ в задачах определения координат утечек в трубопроводах / В.С. Аврамчук, В.И. Гончаров, Ч.В. Тъяу // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317. – № 2. – С. 70-73.
6. Фаерман В.А., Аврамчук В.С. Обзор методов повышения отношения сигнал/шум при решении задачи обнаружения сигналов неизвестной формы // Современные техника и технологии: сб. трудов XX межд. научно-практ. конф., 14-18 апреля 2014 г. – 2014. – Т. 2. – С. 261-262.
7. Фаерман В.А. Количественная оценка информативности корреляционного анализа при решении задач локации источника сигнала // Технологии Microsoft в теории и практике программирования: сб. трудов VII всеросс. научно-практ. конф., 25-26 марта 2015 г. – 2015. – С. 203-205.
8. Фаерман В.А. Применение когерентного анализа для повышения информативности частотно-временной корреляционной функции // Молодёжь и современные информационные технологии: сб. трудов XII межд. научно-практ. конф., 12-14 ноября 2014 г. – 2014. – Т. 1. – С. 98-99.