

## ВЫЯВЛЕНИЕ НАВОДОК В ИНТЕРФЕРОГРАММЕ ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТРА МЕТОДОМ ФАЗОВОЙ КОРРЕКЦИИ

© 1997 г. Г. Г. Горбунов, канд. техн. наук, Д. А. Яшков

– ВНИЦ "ТОИ им. С.И. Вавилова"

Предложен новый метод выявления регулярно повторяющихся выбросов в интерферограммах с помощью фазовой коррекции.

Поступила в редакцию 26.12.96

В интерферограммах, зарегистрированных на быстросканирующих фурье-спектрометрах, зачастую кроме белого шума присутствуют и регулярно повторяющиеся выбросы-наводки. Кардинальным способом борьбы с наводками является возможность перевода их в частотную область, не занятую полезным сигналом. Однако и в этих случаях, в связи с достаточно сложной формой сигнала, возможно ухудшение отношения сигнал/шум и в области, занятой полезным сигналом. Значительно сильнее влияние регулярных составляющих в интерферограммах, если основной их спектр лежит в полосе частот сигнала. Это наиболее часто стало проявляться в высокоразрешающих, быстросканирующих фурье-спектрометрах. Например, в случае фурье-спектрометра ДОПИ [1] (спектральное разрешение  $0,03 \text{ см}^{-1}$ , скорость регистрации одной интерферограммы  $\sim 1 \text{ с}$ , область спектра  $2 - 16 \text{ мкм}$ ) на интерферограмме (рис. 1) присутствуют периодические выбросы. Эти выбросы, вызванные работой замкнутой системы охлаждения, имеют довольно сложную форму и дают значительное ухудшение отношения сигнал/шум в спектре, которое и так незначительно, ввиду достижения большого разрешения, получаемого в спектре за очень короткое время. Сравнительно небольшая величина наводок, амплитуда которых не превышала максимальных выбросов шума, делала невозможным прямое их исключение при предварительном анализе и значительно ухудшала обрабатываемую информацию.

Нами был найден метод, решающий одновременно как задачу фазовой коррекции двусторонней интерферограммы, так и задачу выявления неслучайных наводок, даже в случае небольшой их интенсивности.



Рис. 1. Интерферограмма ДОПИ, содержащая фазовую ошибку. На выделенном участке показана наводка от замкнутой системы охлаждения (масштаб 5:1).

Наводки, как правило, представляют собой асимметричные относительно нулевой разности хода, быстрозатухающие биения, повторяющиеся через некоторое количество точек по всей длине интерферограммы. Суть метода заключается в вычислении фазового спектра "короткой" интерферограммы, т.е. перекрывающей лишь небольшой диапазон времен запаздывания. Далее производится свертка всей интерферограммы с функцией фазовой коррекции, в результате чего интерферограмма оказывается скорректированной по фазе и почти симметричной [2]. Однако асимметрия участков, содержащих наводки на концах интерферограммы, будет выражена ярче, ввиду того что их исходная асимметрия не была вызвана фазовой ошибкой. Этот факт позволяет провести вычитание правой и левой частей интерферограммы и результат будет представлять собой степень асимметрии частей. Затем на основе участков с наибольшей интенсивностью можно определить местонахождение наводок в исходной интерферограмме. Метод тесно связан с методом Формана для фазовой коррекции интерферограмм. Действительно, согласно [2], имея исходную асимметричную интерферограмму  $M(\sigma)$ , проводим вычисление фазового спектра  $f(v)$  "короткой" интерферограммы в предположении, что фазовая ошибка – гладкая функция. Затем симметризуем интерферограмму путем свертки с функцией фазовой коррекции  $F(\sigma)$ :

$$M(\sigma) = M(\sigma) \otimes F(\sigma) \dots$$

$$\text{где, } F(\sigma) = \int \exp(f(v)i) \exp(-2\pi i v \sigma) dv$$

Таким образом, мы используем одно и то же вычисление свертки как для фазовой коррекции, так и для усиления асимметрии наводок на фоне всей интерферограммы, что и позволяет их дальнейшее распознавание после вычисления разности правой и левой частей.

Вся практическая работа проводилась при помощи созданного программного обеспечения, предназначенного для работы с интерферограммами ДОПИ и представляющего возможности моделирования интерферограмм и спектров, исследования различных методов коррекции интерферограмм.

В качестве модели была взята затухающая косинусоидальная интерферограмма из 2048 точек, дающая в спектре лоренцевскую линию вида

$$B(\sigma) = \frac{A\xi}{(\sigma - \sigma_0)^2 + \xi^2},$$

В нее при помощи дискретного преобразования Фурье была искусственно введена линейная фазовая ошибка, а также случайный шум таким образом, чтобы соотношение сигнал/шум интерферограммы стало равно десяти. Далее была смоделирована кратковременная периодическая наводка, амплитуда которой не превышала максимальных выбросов шума. Вид такой интерферограммы показан на рис. 2а. Следуя методу Формана, была проведена свертка этой интерферограммы с функцией фазовой коррекции, причем сам фазовый спектр вычислялся по числу точек на порядок меньшему, чем количество точек исходной интерферограммы. Для вычисления свертки использовалось быстрое преобразование Хартли [3], благодаря чему время вычисления составило несколько секунд на компьютере класса АТ 486-DX33. Получившаяся скорректированная интерферограмма и результат вычитания правой и левой частей показаны на рис. 2б. При данных условиях интенсивность разности в районе наводки оказалась в 5 раз больше средней, что позволяет алгоритмически обнаружить ее местонахождение в исходной интерферограмме.

Таким образом, предложенный метод позволяет обнаруживать несимметричные относительно точки нулевой разности хода наводки, вызванные, например, биениями системы охлаждения. Метод ра-

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Furer R., Rubin H., Schaale M., Poberovsky A.V., Mironenkov A.V., Timofeev Yu.M. "MIRIAM" a spaceborne sun occultation experiment for atmospheric trace gas spectroscopy // GEO Journal. - 1994. - Vol. 32. - P.17-27.
2. Forman M., Steel W., Vanasse G. Correction of asymmetric interferograms obtained in Fourier spectroscopy // JOSA. - 1966. - Vol. 56, N 1. - P. 59-63.
3. Bracewell R.N. The Hartley transform. - Oxford: University press, 1986.

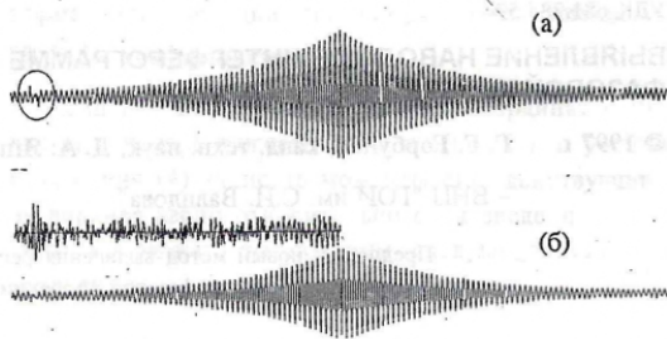


Рис. 2. Интерферограмма лоренцевской линии, содержащая линейную фазовую ошибку, случайный шум и наводку (а); эта же интерферограмма после фазовой коррекции и результат вычитания правой и левой частей (б).

ботает даже для небольших наводок. К достоинствам метода можно отнести возможность использования его совместно с методом Формана фазовой коррекции, благодаря чему осуществляется значительная экономия вычислений. Помимо этого нет необходимости знать частоты наводок, они могут быть обнаружены и удалены непосредственно в интерферограмме до вычисления спектра. По мнению авторов, подход к чистке интерферограмм до преобразования Фурье и аподизации является более экономичным, отсутствует зависимость от вида самого спектра. Говоря о границах применимости, можно указать, что метод применим сугубо к двусторонним интерферограммам и оптимально работает для интерферограмм с линейной фазовой ошибкой или небольшим чирпингом.