

Спектральный анализ стабิโลграфических сигналов методами Фурье и Гильберта – Хуанга

М.В. Дакинова
Казанский (Приволжский)
федеральный университет
Казань, Россия
MVDakinova@stud.kpfu.ru

Л.М. Бикчентаева
Казанский (Приволжский)
федеральный университет
Казань, Россия
leysanbm@mail.ru

О.А. Саченков
Казанский (Приволжский)
федеральный университет
Казань, Россия
OASachenkov@kpfu.ru

Т.В. Балтина
Казанский (Приволжский)
федеральный университет
Казань, Россия
tvbaltina@kpfu.ru

Г.Г. Яфарова
Казанский (Приволжский)
федеральный университет
Казань, Россия
Gusel.Yafarova@kpfu.ru

Аннотация—Спектральный анализ представляет собой важную часть при цифровой обработке сигналов с целью получить информацию о свойствах, содержащихся в них. Часто используемый метод преобразования Фурье, ограничен при обработке нестационарных и нелинейных сигналов. С каждым годом все больше людей применяют спектральный анализ преобразования Гильберта – Хуанга, в основе которого лежат спектр Гильберта и эмпирическая модовая декомпозиция. Рассмотрим данный метод, применив его к данным стабิโลграммы, служащим оценкой человеком функции равновесия и механизмов поддержания вертикального положения.

Ключевые слова— преобразование Гильберта – Хуанга, эмпирическая модовая декомпозиция, преобразование Фурье, стабิโลграмма, спектральный анализ.

1. ВВЕДЕНИЕ

На данный момент в пакетах прикладных программ анализ стабิโลграмм базируется на классическом методе преобразования Фурье, однако существуют некоторые значительные ограничения спектрального Фурье-анализа: исследуемая система должна быть линейной, а анализируемые данные – стационарными [2]. Для точного определения характеристик стабิโลграммы, воспользуемся преобразованием Гильберта – Хуанга. Данный метод основан на построении спектра Гильберта с использованием эмпирической модовой декомпозиции (ЭМД). ЭМД предложен Норденом Хуангом в 1998 году и представляет собой разложение сложно структурных сигналов на эмпирические моды (ЭМ). Ключевая идея метода состоит в построении базисных функций сигнала, формирующиеся адаптивно из входных данных. Главным свойством ЭМД является его применимость для любых исходных данных.

2. МЕТОДИКА

Цель исследования - спектральный анализ стабิโลграфических сигналов методами Фурье и Гильберта - Хуанга. Задача заключается в декомпозиции сигнала стабิโลграммы на ЭМ и применении их к спектру Гильберта, а также получении параметров спектрограммы.

К механизмам поддержания равновесия у человека относятся: вестибулярная, зрительная и сенсорные системы. В процессе удержания человеком равновесия и поддержания вертикального положения возникают микро

колебательные движения, которые фактически незаметны визуально [1]. Эти колебательные движения отражены на стабิโลграмме и имеют характерные физические свойства.

Чтобы провести частотно – временной анализ стабิโลграммы, строится спектр Гильберта, примененный к ЭМ. Для его построения необходимо знать мгновенную энергию и частоту, которые рассчитываются по следующим формулам:

$$e = |A(t)|^2, \quad (1)$$

$$\omega(t) = d\varphi(t)/dt. \quad (2)$$

Суть ЭМД состоит в том, чтобы представить исходный сигнал суммой компонент, каждая из которых характеризуется колебательным процессом с определенной частотой, присущей исходным данным, и остатком, который показывает тренд, содержащийся в исходных данных.

$$f(t) = \sum imf f_i + res. \quad (3)$$

Подробный алгоритм ЭМД и получение формул (1) – (3) приведено в [5].

Реализация ЭМД и спектра Гильберта производится в пакете прикладных программ MATLAB. Для стандартного способа анализа спектрограммы преобразованием Фурье рассчитаны классические стабิโลграфические показатели [3].

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для реализации поставленной задачи, были обработаны данные стабิโลграммы, когда человек стоит в течение минуты без дополнительных условий, и рассматриваются следующие диапазоны спектров: 0 – 0.1 Гц, 0.1 – 0.5 Гц, 0.5 – 2 Гц, 2 – 4 Гц.

На Рис. 1 представлена спектрограмма, построенная с помощью преобразования Фурье, в которой по диапазонам считают следующие параметры: средние и максимальные амплитуды, процентный вклад мощности, абсолютное значение мощности спектра мощности, а также 60% мощности во всем рассматриваемом диапазоне. Рассчитанные параметры для данной стабิโลграммы представлены в Таблице I.

Таблица 1. ПАРАМЕТРЫ СПЕКТРОГРАММЫ

ПАРАМЕТРЫ																
МАКС-НАЯ АМПЛ-ДА (ММ)				СРЕДНЯЯ АМПЛ-ДА (ММ)				60% (Гц)	МОЩНОСТЬ (%)				АБСОЛ-НАЯ МОЩНОСТЬ (ММ ² /СЕК)			
1	2	3	4	1	2	3	4		1	2	3	4	1	2	3	4
0,6823	0,4451	0,1573	0,0123	0,3673	0,1641	0,0304	0,0021	0,403	24	42	29	5	0,0168	0,0156	0,0027	0,000038

На Рис. 2 представлен гильбертов спектр с наиболее выраженными пятью участками. Из него можно проанализировать частотно – временную зависимость, а также мгновенную энергию, изменяющуюся по ходу эксперимента. Из Рис. 2 и Рис. 3 можно сделать вывод о том, как происходили колебательные процессы в процессе стояния человека. Наиболее высокие частоты с выраженной энергией приходятся на первые секунды, что объясняется установлением равновесия на старте эксперимента. Заметно, что с середины эксперимента снова начинает возрастать значение энергии. Со временем баланс начинает нарушаться, так как возникает незначительное утомление, и амплитуда колебаний увеличивается. Для балансировки тела начинает использоваться голеностопная стратегия, помогающая восстановить общий центр масс движениями в голеностопных суставах, которые активируют лодыжки, колени, бедра и их мышцы [4].

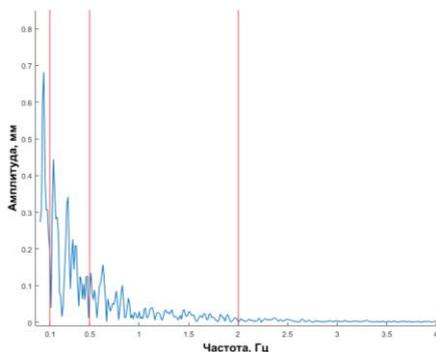


Рис.1. Амплитудный спектр преобразования Фурье с выделенными на частотной области рассматриваемыми диапазонами

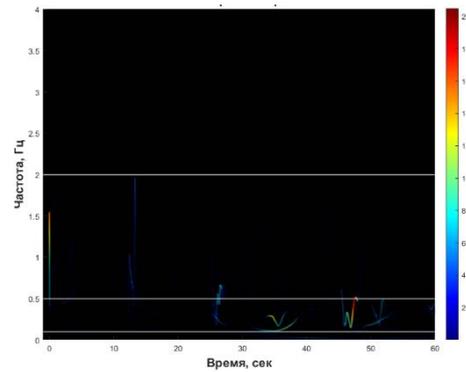


Рис.2. Спектр Гильберта с выделенными на частотной области рассматриваемыми диапазонами

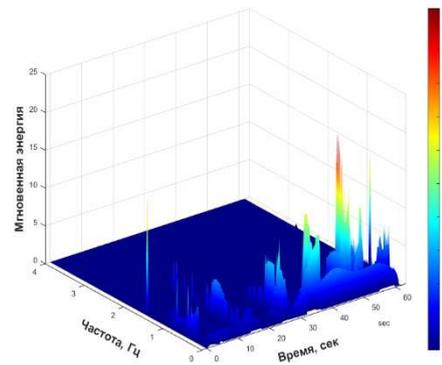


Рис.3. Трехмерное представление зависимостей частота – время – энергия, полученных при преобразовании Гильберта – Хуанга

4. БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № 0671-2020-0059.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Доценко, В.И. Современные алгоритмы стабилметрической диагностики постуральных нарушений в клинической практике / В.И. Доценко, В.И. Усачев, С.В. Морозова, М.А. Скедина // МС. – 2017.
- [2] Микулович, А.В. Анализ нестационарных сигналов на основе преобразования Гильберта–Хуанга / А.В. Микулович, Ш.Ч. Кан, В.И. Микулович // Информатика. – 2010. – № 2. – С. 25-35.
- [3] Руководство пользователя «Стабилан – 01 – 2». – Таганрог: ЗАО «ОКБ РИТМ».
- [4] Скворцов, Д.В. Стабилметрическое исследование: краткое руководство / Д.В. Скворцов. – М.: Маска, 2010. – 176 с.
- [5] Huang, N.E. The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert Spectrum for Nonlinear and Nonstationary Time Series Analysis / N.E. Huang, Z. Shen, S.R. Long, M.C. Wu, H.H. Shih, Q. Zheng, N.C. Yen, C.C. Tung, H.H. Liu // Proceedings of the Royal Society of London. Series A: mathematical, physical and engineering sciences. – 1971. – Vol. 454. – P. 903-995.