

Для примера на рисунке 1 приведен результат компьютерной спектральной обработки МАС ноты «до», сыгранной на музыкальном инструменте – альт.

Зона неопределенности МАС и его спектров обозначена ступенькой

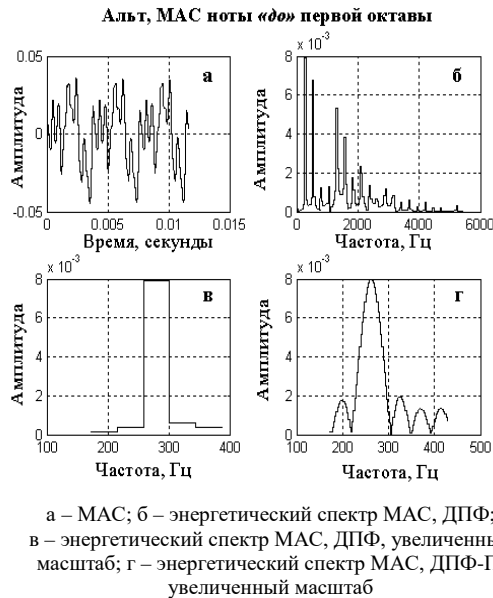


Рисунок 1 – Компьютерная спектральная обработка МАС ноты «до» первой октавы (альт)

Результаты экспериментальных исследований выделения основного тона (ОТ) МАС различных музыкальных инструментов (пианино, флейта, кларнет, скрипка, альт, электрическая гитара, труба, тромбон, гобой) подтвердили правильность выбора ДПФ-П в качестве основы новых методов, алгоритмов и средств выделения ОТ.

1. Пономарева, О.В. Развитие теории и разработка методов и алгоритмов цифровой обработки информационных сигналов в параметрических базисах Фурье: дис. д-ра техн. наук: 05.13.01 / Пономарева Ольга Владимировна. – Ижевск, 2016. – 357 с.
2. Пономарева, Н.В. Повышение точности и расширение функциональных возможностей цифровых фильтров на основе частотной выборки / О.В. Пономарева, Н.В. Пономарева // Приборы и методы измерений. – 2013. – № 2(7). – С. 114–119.
3. Пономарева, О.В. Метод эффективного измерения скользкого параметрического спектра Фурье / В.А. Пономарев, О.В. Пономарева, А.В. Пономарев // Автометрия. – 2014. – Т. 50. – № 2. – С. 31–38.
4. Пономарева, Н.В. Предобработка дискретных сигналов при спектральном анализе в системе компьютерной математики MATLAB / Н.В. Пономарева // Интеллектуальные системы в производстве. – 2016. – № 4 (31). – С. 32–34.

УДК 681.3

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДИСКРЕТНЫХ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СПЕКТРОВ СИГНАЛОВ НА КОНЕЧНЫХ ИНТЕРВАЛАХ

**Пономарева О.В.**

*Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашикова  
Ижевск, Российская Федерация*

Рассмотрим важную и актуальную проблему дискретных косвенных измерений (ДКИ) – **проблему разграничения измерительных и вычислительных процедур**, которая существует, в том числе, и при определении спектра дискретных сигналов на конечных интервалах.

На конечном интервале длительностью в  $N$  отсчетов дискретный электрический измерительный сигнал (ДЭИС)  $x(n); 0, (N-1)$ , можно представить (при выборе, дискретной базисной системы Фурье) в виде суммы ортогональных электрических сигналов с определенными амплитудами, частотами и фазами.

Совокупность значений параметров этих ортогональных электрических сигналов, принято называть соответствующим **спектром ДЭИС** в выбранной базисной системе [1,2].

В качестве базисных систем могут быть использованы различные дискретные базисные системы: Виленкина – Крестенсона (ВКФ) Уолша, Адамара, Лежандра.

На практике наибольшее применение получила базисная система Фурье, в основе

которой лежат дискретные экспоненциальные функции Фурье (ДФФ):

$$\begin{aligned} def(p, l) &= \exp(-j \frac{2\pi}{N} pl) = W_N^{pl} = \\ &= \cos(\frac{2\pi}{N} pl) - j \sin(\frac{2\pi}{N} pl); p, l = \overline{0, N-1}. \end{aligned} \quad (1)$$

Данная базисная система позволяет измерить амплитудный и фазовый спектры на определенных частотах методом дискретного преобразования Фурье (ДФФ) ДЭИС

$$\begin{aligned} S_N(k) &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{kn}; \\ k &= \overline{0, (N-1)}; W_N = \exp(-j2\pi/N), \end{aligned} \quad (2)$$

$S_N(k)$  – коэффициенты (бины) ДПФ (спектр).

Отметим, что благодаря свойству мультипликативности базисной системы Фурье возможно построение быстрых измерительных преобразований в частотной и частотно-временной областях – алгоритмов быстрого преобразования Фурье (БПФ) [1].

Отметим, что и в настоящее время поиск (синтез) наиболее адекватных измерительным задачам базисных систем является важной и актуальной задачей ДКИ. Так в монографии [3], посвященной основам теории линейных косвенных измерений параметров сложных дискретных сигналов, заданных конечным числом отсчетов, во временной, частотной и частотно-временной областях, предложено обобщение классического дискретного преобразования Фурье в виде параметрического дискретного преобразования Фурье (ДПФ-П)

$$S_N(k, \theta) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{(k+\theta)n}; \quad (3)$$

$$k = \overline{0, (N-1)}; 0 \leq \theta < 1,$$

$S_N(k, \theta)$  – коэффициенты (бины) ДПФ-П (спектр).

В монографии автора [3] доказана мультипликативность базисной системы параметрических ДЭФ (ДЭФ-П)

$$\text{def}_p(p, l) = \exp(-j \frac{2\pi}{N} (p + \theta)l) = W_N^{(p+\theta)l} \quad (3)$$

$$p, l = \overline{0, N-1}; 0 \leq \theta < 1,$$

а также существование алгоритмов быстрого параметрического преобразования Фурье (БПФ-П) и скользящего ДПФ-П [4].

Применительно к определению спектра ДЭИС проблему разграничения измерительных и вычислительных преобразований можно сформулировать как ответ на вопрос: **спектр – это результат измерения или результат процедуры обработки измерений, т.е. результат вычислений?**

Ответ на данный важный и актуальный вопрос, приобретающий на современном этапе развития информационных технологий (ИТ) (*Information Technology – IT*) все большее значение, в зарубежной и отечественной научной и учебной литературе диаметрально противоположен.

За рубежом общепринято считать, что **спектр** является результатом измерения, а спектральный анализ определяется как **«измерение, которое дает точные или приближенные значения z-преобразования дискретного сигнала для определенных значений z»** [1].

Если положить  $z = \exp(j2\pi/N)$  и считая ДЭИС, заданный на  $N$  – интервале периодическим, приходим к измерению частотных спектров электрических сигналов методом дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Если определять спектр в скользящем окне приходим к измерению частотно-временных спектров методом скользящего ДПФ [1].

Диаметрально противоположный подход мы наблюдаем в отечественной научной и учебной литературе [2, 5], где **спектр** относят не к измерениям, а к результату обработки измерений т.е.

результату вычислений. Отметим также, что в зарубежной технической литературе ДПФ **по определению считается измерительным преобразованием, а не вычислительным преобразованием**, как это принято в отечественной научной и учебной литературе. По мнению автора различный подход объясняется, прежде всего, тем, что за рубежом при измерении параметров дискретных сигналов, их спектров, ДПФ включается **непосредственно в состав измерительной процедуры**. Поэтому ответ на важный вопрос, который присутствует по умолчанию в отечественной учебной и монографической литературе, является ли ДПФ (2) и ДПФ-П (3) измерительными преобразованиями, по мнению автора, очевиден и однозначен – если ДПФ или ДПФ-П в составе измерительных цепей, то это **измерительные преобразования**, если нет, то это **вычислительные преобразования**.

Необходимость разрешения проблемы разграничения измерительных и вычислительных процедур, встала особо остро с появлением новой информационной технологии – **технологии виртуальных приборов**, разрабатываемых, например, в программно-инструментальной среде LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*). Отметим, что термин виртуальный прибор (ВП, англ. VI – *Virtual Instruments*) не вполне удачен, так как может вводить в заблуждение.

Измерительные средства (ИС), разработанные по данной технологии, не являются виртуальными в истинном понимании этого слова и имеют дело с реальными ДЭИС. Появление термина **«виртуальный»** в названии средства ЦОИС объясняется технологией виртуальной (компьютерной) имитации реальных физических приборов, ИС математическими и программными методами. И для решения вопросов метрологии (теоретической, законодательной, практической) ВП необходимо разграничение измерительных и вычислительных процедур.

В заключение отметим, что отнесение спектра к результатам обработки измерений ДЭИС, а не измерению нельзя признать корректным. Поясним это. В практике косвенных измерений [2, 5] достаточно давно известны, **линейные косвенные измерения**. В данном виде измерений искомое значение физической величины  $Q$  находят на основании известной линейной функциональной зависимости

$$Q = \sum_{i=1}^m b_i \cdot Q_i, \quad (4)$$

где  $b_i$  – постоянный коэффициент  $i$ -го аргумента  $Q_i$  ( $Q_i, i = \overline{1, m}$  – значения физических величин, полученные при прямых измерениях);  $m$  – число аргументов.

Сравнивая (4) с (2) (3) нетрудно видеть, что каждое  $k$ -е,  $k = \overline{0, (N-1)}$ , значение коэффициента (бина) ДПФ, ДПФ-П (каждое значение частотного

спектра на определенной нормализованной частоте  $2\pi \cdot k / N$  или  $2\pi \cdot (k + \theta) / N$ ) представляет собой обычное линейное косвенное измерение, в котором в качестве функциональной зависимости используется  $k$ -я дискретная базисная функция ДПФ определенной частоты –  $k$ -я ДЭФ.

1. Рабинер, Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов: пер. с англ. / под ред. Ю.Н. Александрова. М.: Мир, 1978. – 835 с.
2. Анциферов, С.С. Общая теория измерений: учебное пособие / С.С. Анциферов, Б.И. Голубь; Под ред.

- акад. РАН Н.Н. Евтихеева. –М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 176 с.
3. Пономарева, О.В. Основы теории дискретных косвенных измерений параметров сигналов / О.В. Пономарева – Ижевск: Издательство ИЖГТУ, – 2016. 172 с.
4. Пономарева, О.В. Метод эффективного измерения скользящего параметрического спектра Фурье / В.А. Пономарев, О.В. Пономарева, А.В. Пономарев // Автотриметрия. – 2014. – Т. 50, № 2. – С. 31–38.
5. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология: учебное пособие для вузов – М.: Логос, 2002.– 408 с.

УДК 615.847+616.895.4

## ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТРЕВОЖНО-ДЕПРЕССИВНЫХ РАССТОЙСТВ ПРИ АНАЛИЗЕ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ

Цокота М.В.<sup>1</sup>, Тымчик Г.С.<sup>1</sup>, Терещенко Н.Ф.<sup>1</sup>, Чухраев Н.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», <sup>2</sup>Научно-методический центр «Мединтех»  
Киев, Украина

Регистрация электрической активности мозга давно применяется для изучения нейрофизиологических основ тревожных состояний. Уже первые исследования расстройств методом электроэнцефалографии (ЭЭГ), проведенные в сороковые годы XX века, обнаружили неожиданно большое количество аномалий у пациентов. Обобщенные литературные данные свидетельствуют, что даже при «рутинном» визуальном анализе ЭЭГ, патологические признаки проявляются в 20-40% депрессивно-подавленных пациентов и при оценке их тревожных состояний [1]. Применение современных методов математического анализа и обработки ЭЭГ-данных еще больше увеличивает диагностическую значимость метода. Пригодность данных количественного анализа ЭЭГ для выявления депрессий, то есть их чувствительность и специфичность, составляют 72-93% и 75-88% соответственно. Более того, мировая неврология рекомендовала математический анализ ЭЭГ в качестве дополнительного инструмента дифференциации депрессивных больных от здоровых, но в большей степени изменения касаются одного из основных ритмов ЭЭГ - альфа-ритма, который привлекает высокое внимание исследователей, благодаря его высокой чувствительности к различным внешним воздействиям и тонким изменениям функционального состояния коры головного мозга [1].

Исследование альфа-ритма ЭЭГ больных нервными расстройствами, тревожно-депрессивным синдромом, на начальных этапах, позволяет изучать биологические основы заболевания и способствует недопущению усиления заболевания.

Поскольку ЭЭГ отражает разность потенциалов между двумя точками на поверхности головы, то для выяснения активности отдельных корковых областей используют индифферентный электрод, помещенный чаще всего на мочке уха. Это так называемое монополярная отвода. Вместе с этим

анализируется разность потенциалов между двумя активными зонами (биполярное отведение). Независимо от способа регистрации в ЭЭГ выделяются следующие типы ритмических колебаний: дельта - ритм ниже 4 Гц; тета-ритм 4–8 Гц; альфа-ритм 8–13 Гц (это основной ритм ЭЭГ, преимущественно выраженный в каудальных отделах коры – затылочный и теменной) бета-ритм 13–35 Гц; гамма-ритм – выше 35 Гц.

Эти ритмы отличаются не только по своим частотными, но и функциональными характеристикам. Их амплитуда, топография, соотношение является важным диагностическим признаком и критерием функционального состояния различных областей коры головного мозга при реализации психической деятельности.

Проведение ЭЭГ исследование имеет важное диагностическое значение при многих психических заболеваниях. ЭЭГ используется в диагностике тревожно-депрессивных расстройств (ТДР), эпилепсии и других психических расстройств, позволяет оценить глубину коматозных состояний, контролировать уровень сознания при наркозе.

Определение не решенных ранее частей общей проблемы. При обычной ЭЭГ патологию можно выявить только в 50% или меньше пациентов. Отсутствие изменений не исключает наличия отклонений от нормы. Повысить информативность ЭЭГ до 90% можно с помощью выполнения повторных исследований, длительной по времени регистрации ЭЭГ и тому подобное. Тщательное исследование функционального состояния головного мозга требует непрерывной диагностики. Многоканальной диагностикой ЭЭГ можно выявить пораженную зону, и она нуждается в постоянных или амбулаторных исследований. Поэтому при выявленном вероятном заболевании целесообразной является локализация измерения с проведением в дальнейшем биполярной регистрации ЭЭГ из