

МЕТОД ОБРАБОТКИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ ЦИФРОВОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

М.В. Кузнецов

Центр Информационно-аналитических
исследований стратегических программ
Украина, Киев

E-mail: temarun@rambler.ru

В статье представлен новый разработанный метод обработки гидроакустических сигналов, основанный на применении зависимостей от частоты спектра сигнала квантилей кратковременных амплитудных спектров Фурье гидроакустического сигнала.

Введение. Решение прикладных задач, связанных с классификацией шумящих объектов (гидроакустических целей) основывается на выделении специфических для каждого объекта характеристик спектров их гидроакустических сигналов (ходовых шумов). Правильная идентификация объекта по гидроакустическому сигналу зависит от полноты учета характеризующей объект информации, которая отображается на спектре исследуемого сигнала [1]. Спектральные оценки, полученные в результате обработки одной и той же реализации сигнала при помощи разных методов спектрального оценивания, могут иметь значительные отличия, это объясняется функциональными особенностями применяемых методов, а не действительным наличием и выявлением специфических составляющих спектров исследуемого сигнала. Таким образом, может возникнуть ситуация, когда сложно однозначно утверждать, какая из спектральных характеристик с большей степенью достоверности отображает истинный спектр исследуемого сигнала.

На базе аппарата спектрального анализа разработан новый метод обработки гидроакустических сигналов, который позволяет сохранить статистические характеристики сигналов и выделить специфические характеристики спектров исследуемых сигналов. Представленный в статье метод основан на применении

зависимостей от частоты спектра сигнала квантилей вариационных рядов – порядковых статистик кратковременных амплитудных спектров гидроакустических сигналов [2]. Предполагаемой областью применения метода являются задачи, связанные с распознаванием и идентификацией гидроакустических сигналов. Метод может быть полезным при решении прикладных задач, связанных с обнаружением и идентификацией шумящих объектов, применение метода возможно с целью формализации процесса идентификации гидроакустических сигналов, последующей автоматизации этого процесса, для совершенствования систем спектральной идентификации гидроакустических сигналов. Применение метода в практических системах анализа и распознавания гидроакустических сигналов может оказать положительный эффект на производительность и точность работы поисковых гидроакустических средств и аппаратуры специального назначения [1].

Целью статьи является ознакомление разработчиков гидроакустических средств контроля, наблюдения и мониторинга водного пространства, специалистов, изучающих вопросы анализа и обработки гидроакустических сигналов с новым методом обработки.

Основная часть. При подготовке статьи в качестве материалов исследования использовались реализации гидроакустических сигналов различных объектов. Параметры аудиофайлов $F_{\text{дискр.}}=8\text{кГц}$, формат: Windows PCM (.wav), среда обработки – программное обеспечение MatLAB.

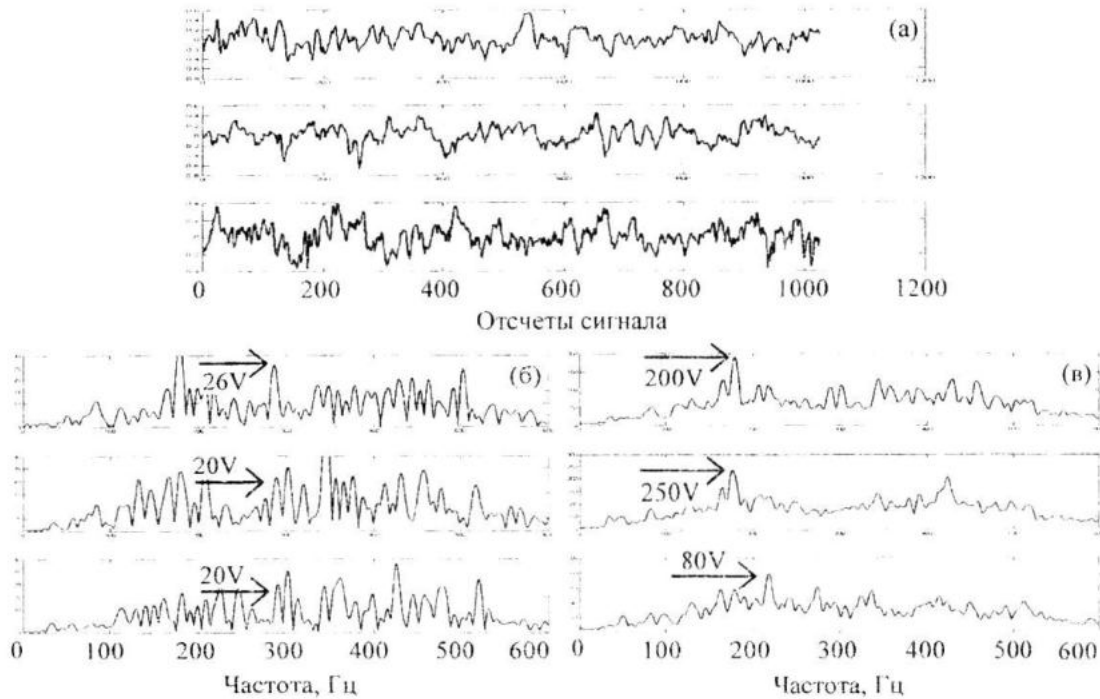
Выборочные сегменты анализа реализации гидроакустического сигнала объекта № 2 представлены на рис. 1а. По оси абсцисс отложена длительность сегмента в отсчетах, которая составляет 1024 отсчета сигнала, что для частоты дискретизации 8кГц составляет 128 мс. По оси ординат – амплитуда напряжения сигнала в вольтах. Для исследуемой реализации показаны выборочные (б) и усредненные (в) амплитудные спектры по сегментам анализа.

В силу случайного, нестационарного характера гидроакустического сигнала (рис. 1 а), значения амплитудных спек-

тров по сегментам анализа для одного и того же объекта существенно различаются (рис. 1 б), что выражается в значительных отклонениях распределений значений амплитуд спектра по сегментам от нормальных распределений. Наблюдается нестационарный характер и большой динамический диапазон изме-

нения значений интенсивностей спектральных компонент исследуемого сигнала.

С целью снижения влияния нестационарного характера сигнала применяется усреднение спектральных составляющих (рис. 1 в).



Р и с. 1. Выборочные сегменты реализации гидроакустического сигнала (а), амплитудные (б) и усредненные спектры (в) по сегментам анализа

В результате усреднения спектральных значений происходит нивелирование статистических характеристик индивидуальных для источника параметров спектра исследуемого сигнала. Таким образом, применение амплитудных спектров и усредненных спектров для решения задачи идентификации гидроакустических сигналов не является оптимальным.

В этом случае, повышение эффективности систем и методов спектральной идентификации гидроакустических сигналов может быть достигнуто за счет применения квантилей кратковременных амплитудных спектров Фурье гидроакустического сигнала. При увеличении объема выборки до 30 значений и более, распределение значений элементов вариационного ряда, которые не являются

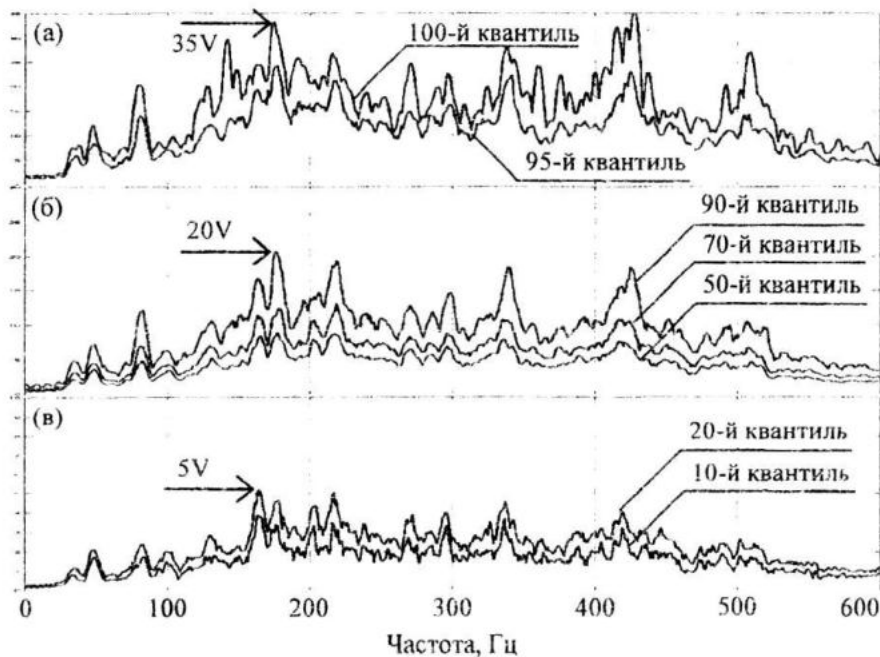
экстремальными, приближается к нормальному распределению, что повышает эффективность применения критериев согласия, ориентированных на статистическую идентификацию нормально распределенных случайных величин [3].

Поскольку длительность реализаций сигналов на практике неодинакова, то и количество сегментов анализа для разных реализаций будет различным. Функционалом разработанного метода предусмотрено формирование статистического квантильного вектора, включающего 100 сегментов анализа. Следовательно, в зависимости от длительности исходной реализации сигнала, формируется некоторое количество статистических квантильных векторов равной размерности.

В представленном методе для исследуемых гидроакустических сигналов последовательно выполнялись следующие взаимосвязанные операции: сегментации реализации сигнала на участки анализа одинаковой длительности (составляет 1024 отсчета, 128 мс. для $F_{\text{дискр}} = 8 \text{ кГц}$), вычисление быстрого преобразования Фурье по сегментам, получение квантилей путем упорядочивания значений амплитудных спектров в порядке возрастания по сегментам для каждой частоты спектра. Поскольку вариационный ряд

содержит всю информацию о начальной выборке, то он является достаточной статистикой всей совокупности независимых случайных величин [3].

В результате выполнения перечисленных операций, значения амплитудных спектров по сегментам анализа, в составе статистического квантильного вектора, который можно называть статистическим квантильным образом сигнала, приобретают новые свойства (рис. 2).



Р и с. 2. Выборочные квантили статистического квантильного образа исследуемого сигнала

Совокупность образов содержит в себе всю характеризующую статистическую информацию о начальной реализации сигнала. При формировании статистического образа **не происходит** усреднения значений амплитудных спектров гидроакустического сигнала, следовательно, сохраняется полная статистическая картина спектральных составляющих исследуемого сигнала.

Квантильная структура образа позволяет выполнять его **детализацию** без потерь характеризующей объект информации. Детализация выполняется путем представления образа в виде выборочных квантилей (квартилей, децилей, пятилей, процентилей). На рис. 2 представлены выборочные квантили статистического

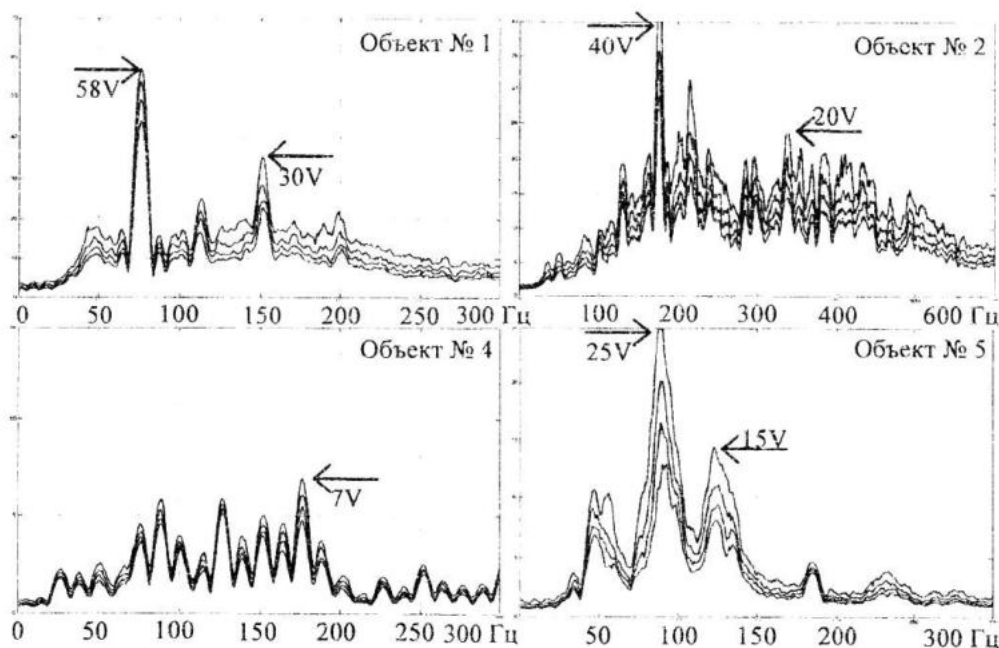
квантильного образа гидроакустического сигнала объекта № 2. В результате формирования статистического квантильного образа, максимальные спектральные значения перемещаются в область образа, представленную квантилями 95–100 (рис. 2 а, квантили № 95, 100). В этой области статистического образа сосредоточены наиболее мощные составляющие спектров. Значения квантилей, содержащих максимальные спектральные значения, характеризуются непостоянством, наличием anomalously мощных составляющих.

В области статистического квантильного образа, представленной квантилями 1–25 сосредоточены наименьшие спектральные значения (рис. 2 в, кванти-

ли № 10, 20). Квантили с 1 по 25 характеризуются значительной схожестью как при рассмотрении соответствующих квантилей одного объекта, так и при рассмотрении этой области образа для гидроакустических сигналов разных объектов, что делает их использование для идентификации, как и квантилей с максимальными значениями неэффективным. Область статистического образа с 50 по 90-й квантиль, (рис. 2 б, квантили № 50, 70, 90) содержит квантили со значениями, свободными от влияния anomalно больших и anomalно малых спектральных величин, это квантили, которые можно эффективно использовать для решения задачи идентификации [2, 3].

С целью наглядной демонстрации достигаемой степени различия между статистическими квантильными образами гидроакустических сигналов разных объектов, на рис. 3 представлены статистические квантильные образы гидроакустических сигналов разных

объектов № 1, 2, 4, 5 (квантили № 60, 70, 80, 90). Оценить степень различия между полученными статистическими образами сигналов разных объектов можно по местоположению на оси частот максимальных значений квантилей, по ширине занимаемой ими полосы. Для оценки принадлежности образов гидроакустических сигналов конкретному объекту, попарно выполняется сопоставление значений соответствующих квантилей. При этом, значения каждого выделенного квантиля каждого статистического образа гидроакустических сигналов базы данных $Y_j, (j=1,2,3,\dots,N)$ сопоставляются с соответствующими значениями каждого выделенного квантиля каждого статистического образа идентифицируемого гидроакустического сигнала $X_k, (k=1,2,3,\dots,N)$ путем расчета значений среднего абсолютного отклонения, как наименее флуктуирующего параметра: $R_j = \text{mean}(\text{abs}(X_k - Y_j))$.



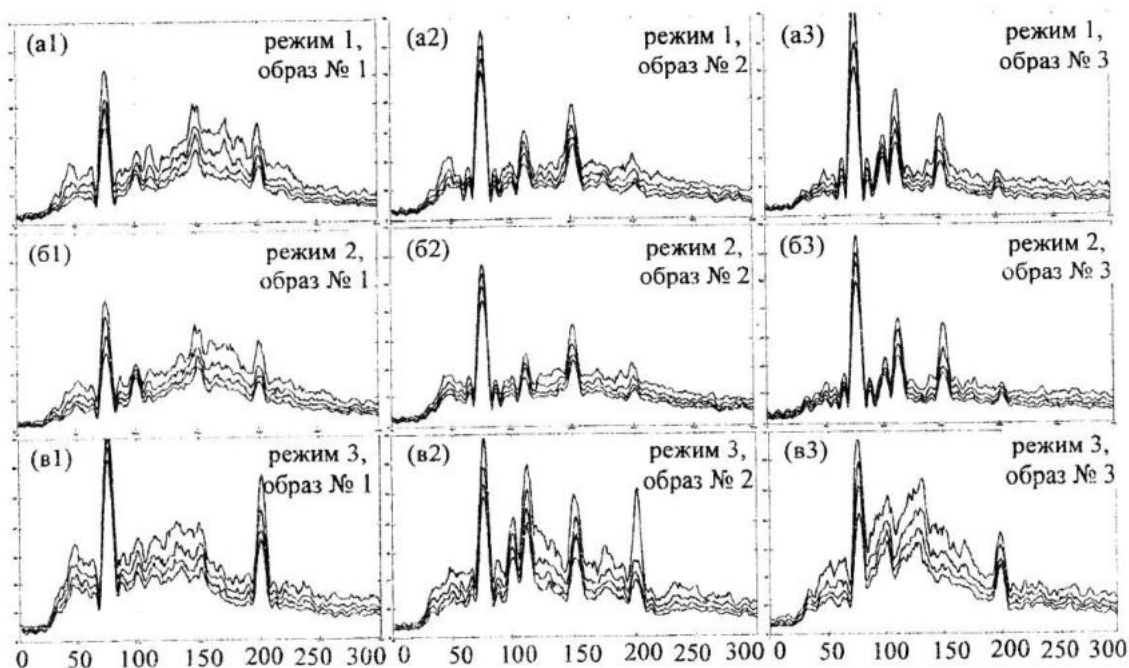
Р и с. 3. Статистические квантильные образы гидроакустических сигналов разных объектов

В тоже время, статистические квантильные образы разных гидроакустических сигналов одного и того же объекта характеризуются значительной взаимной схожестью. На рис. 4 показаны выборочные статистические квантильные об-

разы разных гидроакустических сигналов одного объекта (№ 1), сигналы регистрировались при разных режимах работы объекта: реализация сигнала № 1 – режим 1, выборочные образы № 1, 2, 3 (рис. 4 а1, а2, а3); реализация сигнала №

2 – режим 2, выборочные образы № 1, 2, 3 (рис. 4 б1, б2, б3); реализация сигнала № 3 – режим 3, выборочные образы № 1, 2, 3 (рис. 4 в1, в2, в3). На рис. 4 по оси

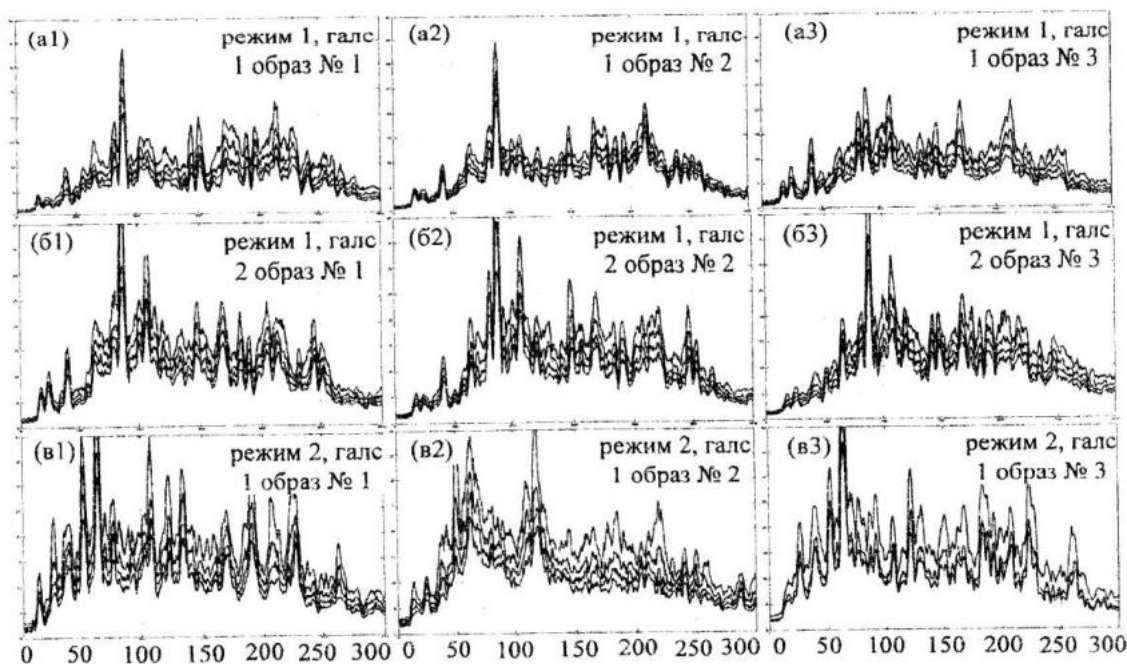
абсцисс отложены значения частоты амплитудного спектра в Гц, по оси ординат – значения напряженности [V], от 0 до 70V с шагом 10V.



Р и с. 4. Квантильные статистические образы гидроакустических сигналов объекта № 1

В этом же аспекте, для разных реализаций гидроакустических сигналов одного и того же объекта, на рис. 5 показаны выборочные статистические квантильные образы разных гидроакустических сигналов для одного объекта (объект №

2). Реализация сигнала № 1 – режим 1, галс 1 (рис. 5 а1, а2, а3); реализация сигнала № 2 – режим 1, галс 2 (рис. 5 б1, б2, б3); реализация сигнала № 3 – режим 2, галс 1 (рис. 5 в1, в2, в3).



Р и с. 5. Статистические квантильные образы разных гидроакустических сигналов объекта № 2

Выводы. Необходимость в полном учете значений многомерных плотностей распределения вероятности (ПРВ) интенсивности спектра Фурье исследуемого сигнала обусловлена потребностью в получении адекватного статистического эквивалента спектра исследуемого сигнала, но существует значительная практическая сложность полного учета этих параметров. Поскольку, с высокой степенью точности, значения многомерных ПРВ интенсивности спектра Фурье гидроакустического сигнала характеризуются порядковыми статистиками - квантилями аргумента в области определения функции, то решение вопроса учета значений многомерных ПРВ состоит в использовании именно порядковых статистик спектра гидроакустического сигнала. Одновременно реализуется упрощение операции статистического сопоставления случайных нестационарных процессов за счет выполнения статистического сопоставления не значений многомерных ПРВ, а значений числовых векторов порядковых статистик гидроакустических сигналов. К **основным характеристикам** разработанного метода следует отнести следующие:

1. Распределение значений статистического квантильного образа гидроакустического сигнала приближается к нормальному распределению при произвольном законе распределения значений гидроакустического сигнала. За счет этого возможно повышение эффективности применения известных критериев согласия, ориентированных на статистическое сопоставление нормально распределенных случайных величин. Что, в конечном итоге, повышает вероятность правильной идентификации.

2. При формировании статистического квантильного образа гидроакустического сигнала не происходит усреднения значений спектра сигнала, следовательно, сохраняется полная статистическая картина спектральных составляющих исследуемого сигнала.

3. Возможность детализации представления квантильного статистического образа позволяет исключить из процедуры идентификации квантили с экстремально малыми и экстремально большими значениями и реализовать мажоритарную схему сопоставления значений квантилей, что также позитивно скажется на скорости действия средств анализа и идентификации гидроакустических сигналов.

4. Все этапы обработки гидроакустического сигнала и получения статистического квантильного образа выполняются автоматически, что не требует обязательного участия оператора.

Таким образом, комплексное использование перечисленных отличительных особенностей и связанных с ними положительных эффектов позволят обеспечить повышение эффективности систем анализа, распознавания и спектральной идентификации гидроакустических сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Азаренко Е.В., Третьякова Л.В., Матузаева О.В.* Особенности распространения и идентификации шумовых спектров в Черном море // Труды симпозиума "КОНСОНАНС-2009". – Київ: Інститут гідромеханіки НАН України, 2009. – С. 14 – 19.
2. *Кузнецов М.В., Селетков В.Л.* Патент України на винахід № 79564 МПК (2006) G01S 7/523. Спосіб спектральної ідентифікації гідроакустичного сигналу / (Україна). – Опубліковано бюл. "Промислова власність" – № 9 – 25.06.2007 р.
3. *Дейвуд Дж.* Порядковые статистики: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 540с.