Несложно показать, что вероятность безотказной работы сервера БД за счет резервирования для времени $t = 2$ ч имеет значение 0.999, что на порядок превышает требование ТЗ. В связи с этим считаем возможным для прогноза надежности САРП ограничиться расчетом показателей надежности для каждой подсистемы, работающей в автономном режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОСТ 27.301–95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения.

2. Гайлунь В. Рекомендации по оценке надежности функционирования компьютеров и использованию резервных компьютеров на предприятии. URL: http://www.cio-world.ru/techniques/argument/33594/; http://www.computermaster.ru/.

3. Martin L. Shooman Reliability of Computer Systems and Networks: Fault Tolerance. Analysis, and Design. John Wiley & Sons, Inc., 2002.

V. A. Kirianchikov
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

THE ESTIMATION OF RELIABILITY METRICS OF THE SYSTEM OF SPACE ROCKET LAUNCHES RESULTS ANALYSIS

The article describes the structure of the system of space rocket launches results analysis and its work modes in terms of reliability requirements. The estimation of system components failure rates is given. The technique of reliability metrics evaluation using reliability structural scheme is considered.

Reliability, reliability structural scheme, reliability metric, probability of failure, failure-rate, mean time to failure

УДК 621.391

Д. М. Клионский, Н. И. Орешко
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Вейвлет-обработка гидроакустических сигналов

Рассмотрены алгоритмы обработки гидроакустических сигналов на основе дискретного вейвлет-преобразования. Изложена концепция мультиразрешающего анализа на основе вейвлетов и приведены соотношения для вычисления вейвлет-коэффициентов. Приведен алгоритм обработки гидроакустических сигналов на основе фильтрации и расширения. Описан алгоритм очистки гидроакустических сигналов от шума с использованием двух различных оценок среднеквадратического отклонения шума. Приведены рекомендации по применению недецимированного вейвлет-преобразования.

Вейвлет-преобразование, гидроакустический сигнал, мультиразрешающий анализ, фильтрация сигнала, очистка от шума

Одной из важных задач в гидроакустике является задача как можно более раннего обнаружения источника сигнала по данным гидроакустических измерений. Такая задача может быть решена, если удастся отфильтровать все возможные источники помех как естественного, так и искусственного происхождения. Гидроакустический сигнал часто имеет многокомпонентную природу; например, в его состав может входить компонента, порождаемая гребным винтом, которая существенно отличается от компоненты, обусловленной вибрацией корпуса судна. Все это роднит данный сигнал с широким классом вибрационных сигналов, для которого авторы разработали довольно эффективный подход на основе вейвлет-технологии [1]. В данной статье с учетом опыта обработки вибрационных сигналов дана концепция использования вейвлет-технологии для обработки гидроакустических сигналов.

Гидроакустические сигналы [2] довольно часто по своей природе являются нестационарными. Эта нестационарность может быть обусловлена изменяющимися во времени статистическими характеристиками. Чтобы адекватно отслеживать нестационарный характер поведения статистических характеристик анализируемого процесса и тем самым более точно проводить процедуру контроля, необходим некоторый общий подход к процессам данного класса.

В качестве такого общего подхода предлагается концепция, основанная на использовании вейвлет-технологии, содержащая в себе следующие 3 базовые идеи [3]–[6]. *Первая базовая идея* основана на рассмотрении анализируемого процесса в виде копий того же процесса, но с различным разрешением, начиная от самого тонкого разрешения и заканчивая самым грубым. Это позволяет рассматривать анализируемый процесс с разным увеличением и тем самым выявлять его характерные особенности в различных частотных диапазонах. *Вторая базовая идея* основана на использовании большой совокупности базисных функций, характерной особенностью которых является способность отслеживать тонкие локальные детали анализируемого процесса. Это так называемые функции с компактным носителем, которые определены на конечном интервале. Характерной особенностью этих функций является также и то, что они порождаются обычно некоторой единственной функцией и посредством операций трансляции (сдвига) и растяжения образуют полное семейство базисных функций. Использование таких базисов позволяет адекватно и компактно (т. е. на основе малого числа) описать широкий класс нестационарных (а тем более стационарных) процессов. *Третья идея* основана на построении таких алгоритмов, которые могли бы быть легко реализованы на современных компьютерах и обладали высоким быстродействием. Все эти 3 базовые идеи и нашли свое отражение в совокупности методов, которые объединены в понятии вейвлет-технология.

Важнейшей операцией, позволяющей повысить точность и достоверность результатов обработки сигналов, является операция очистки от шума. В современных технологиях, в зависимости от задачи, используются как традиционные методы, основанные на регрессионном анализе (полиномиальная регрессия, тригонометрическая регрессия, смешанные типы регрессии), так и современные методы, основанные на вейвлет-технологиях, позволяющие быстро и эффективно обрабатывать широкий класс нестационарных процессов с изменяющейся гладкостью, вплоть до разрывов производных.

Очистка исходных данных от шума при неполном понимании их природы и статистических свойств воздействующего на них шума является одним из самых эффективных направлений применения вейвлет-технологии.

Вейвлеты как новый вид базисных функций, обладая хорошими локализационными свойствами как во времени, так и по частоте, могут служить в качестве универсальных «строительных блоков» при создании моделей для широкого класса исследуемых процессов. Сигналы с быстрыми локальными изменениями (сигналы с разрывами, выступами, резкими пиками и т. д.) прекрасно представляются малым количеством вейвлет-коэффициентов. Подобный результат, в общем, не наблюдается для других стандартных ортогональных базисов (базис Фурье, полиномиальный базис и др.), требующих значительного количества «компенсирующих» коэффициентов для описания деталей процесса в районе разрыва и подавления эффекта Гиббса.

Принцип Гейзенберга утверждает, что при моделировании процессов в частотно-временной области невозможно одновременно обеспечить полное воспроизведение по времени и по частоте. Вейвлеты автоматически обеспечивают необходимый компромисс в силу присущей им природы. Экономное представление анализируемых процессов является следствием способности вейвлетов управлять ограничениями в принципе Гейзенберга в соответствии с поступающими данными.

Теория и практика вейвлет-преобразований выявила их способность существенно упрощать структуру исходного сигнала. Для любого стационарного входного сигнала возможно сконструировать такой вейвлет-базис, что соответствующие вейвлет-коэффициенты станут некоррелированными (т. е. вейвлеты выступают как аналог преобразования Карунена–Лоэва).

Наряду с использованием характерных свойств вейвлет-базисов важнейшей чертой данного метода является эффективное применение идей мультимасштабного (мультиразрешающего) анализа исходного сигнала. Это дает пользователю возможность применять в некотором роде математический «микроскоп» для исследования данных, рассматривая их поведение при различных «увеличениях». При высоком уровне разрешения можно исследовать тонкую структуру данных, а при низком – понять глобальное поведение процесса в целом. На частотном языке эта технология приводит к возможности анализа данных в различных частотных полосах от самых высокочастотных (для тонких деталей) до низкочастотных областей (для описания глобального поведения процесса).

Изложенный выше аппарат является не только мощным теоретическим, но и чрезвычайно практичным средством. Опираясь на разработанные сверхбыстрые (превосходят по скорости быстрое преобразование Фурье) алгоритмы, это направление обработки сигналов позволяет работать с очень большими массивами данных.

В очищенном от шума сигнале гораздо проще найти и оценить скрытые закономерности. Особенно это важно для критических участков, на которых и проявляются характерные особенности поведения анализируемого объекта или процесса.

Большие массивы данных, содержащие или длиннопериодические зависимости, или редкие, но важные характерные детали быстропротекающих процессов, обычно трудно поддаются восприятию. Возможность выявления таких зависимостей, а также некоторых кратковременных процессов является задачей весьма актуальной. Для этого предлагается визуализировать не сам сигнал, но некоторым образом преобразовать его, так чтобы все характерные особенности автоматически проявились. В качестве таких преобразований можно использовать вейвлет-преобразования, позволяющие выявить все резкие изменения в анализируемом сигнале, преобразования, переводящие сигнал в частотную область для выявления периодических и близких к ним компонент, а также преобразования в частотно-временную плоскость, позволяющие отслеживать изменение частотных свойств сигнала во времени. Особенно эти подходы эффективны при анализе многомерных (многоканальных) данных.

При обработке данных, содержащих мультикомпонентный сигнал, т. е. процесс, содержащий несколько сигналов с различающимися характеристиками, нередко требуется разделить и проанализировать эти сигналы раздельно. В качестве эффективного подхода может быть использована технология мультимасштабного подхода, позволяющая на основе использования вейвлет-пакетов и фреймов произвести тонкое разделение частотно-временной плоскости на ячейки таким образом, что можно одновременно и разделить сигналы по частотным свойствам и по местоположению.

Гидроакустические сигналы можно рассматривать как некоторый сложный сигнал, составленный из гладкой основы и флуктуаций или деталей, наложенных на нее. Отличие между гладкой частью и деталями определяется разрешением, т. е. масштабом, ниже которого детали сигнала неразрешимы. При данном разрешении (масштабе) сигнал аппроксимируется так, что игнорируются все флуктуации ниже этого масштаба. При последовательно увеличивающемся разрешении на каждом шаге к более грубому описанию добавляются тонкие детали, обеспечивая последовательно улучшающуюся аппроксимацию сигнала. В конечном счете, когда разрешение устремится к бесконечности, будет восстановлен исходный сигнал.

Вышеприведенное интуитивное описание можно сделать более точным следующим образом. Отметим уровень разрешения целым числом j. Масштаб разрешения $j = 0$ положим равным единице, а для уровня j – равным 2^{-j}. Рассмотрим некоторую функцию $f(t)$, представляющую анализируемые гидроакустические данные, изменяющиеся со временем t. На уровне разрешения j эта функция аппроксимируется через $f_j(t)$. На следующем уровне разрешения $j + 1$ включаются детали этого уровня, которые обозначим через $d_j(t)$, и получим аппроксимацию $f(t)$ на новом уровне разрешения $f_{j+1}(t) = f_j(t) + d_j(t)$. Исходная функция $f(t)$ будет восстановлена, если устремить разрешение к бесконечности:

$$f(t) = f_j(t) + \sum_{k=j}^{\infty} d_k(t). \qquad (1)$$

Под мультиразрешением будем понимать одновременное присутствие различных разрешений. Уравнение (1) представляет один из способов декомпозиции функции $f(t)$ на гладкую часть и детали.

Приведенное ранее интуитивное описание мультиразрешающего анализа можно формализовать на основе введения некоторой вложенной последовательности подпространства $\{V_j\}$, которая обеспечивает последовательно улучшающуюся аппроксимацию анализируемого процесса.

Для каждого пространства $\{V_j\}$ сформируем ортонормальный базис $\{\varphi_{jk}(t)\}$, такой, что $\varphi_{jk}(t) = 2^{j/2}\varphi(2^j t - k)$. Функция φ, порождающая все базисные функции, называется масштабирующей функцией.

Так как $V_0 \subset V_1$, любая функция из V_0 может быть разложена через базисные функции V_1. В частности, масштабирующая функция $\varphi \in V_0$ может быть разложена через $\{\varphi_{1k}(t)\}$:

$$\varphi(t) = \sum_k h_k \varphi_{1k}(t) = \sqrt{2}\sum_k h_k \varphi(2t-k).$$

Это так называемое уравнение растяжения. Оно связывает масштабирующую функцию на двух масштабах (t и $2t$) и поэтому может быть названо также 2-масштабным, или уточняющим уравнением, так как отображает $\varphi(t)$ в уточняющем пространстве V_1. Это пространство имеет более тонкий масштаб $\Delta t = 1/2$ и содержит функцию $\varphi(t)$, которая имеет масштаб $\Delta t = 1$.

Так как система $\{\varphi_{1k}(t)\}$ ортонормальна, коэффициенты $\{h_k\}$ можно получить вычислив скалярное произведение (предполагая, что φ вещественно):

$$h_k = (\varphi_{1k}, \varphi) = \sqrt{2}\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t)\varphi(2t-k)dt. \qquad (2)$$

Интегрируя обе части (2) и используя нормализующее условие, получим

$$\sum_k h_k = \sqrt{2}.$$

С другой стороны, если умножить обе части (2) на $\varphi(t-l)$ и проинтегрировать, то получим

$$\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t)\varphi(t-l)dt =$$

$$= \sum_k \sum_{k'} h_k h_{k'} 2 \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(2t-k')\varphi(2t-2l-k)dt =$$

$$= \sum_k h_k h_{k-2l}.$$

Еще раз используя ортогональность $\{\varphi(t-k)\}$, получим $\sum_k h_k h_{k-2l} = \delta_{0l}$ или

$$\sum_k h_k^2 = 1, \quad \sum_k h_k h_{k-2l} = 0, \quad l \neq 0.$$

Аналогично подпространствам $\{V_j\}$, введенным для характеристики последовательных аппроксимаций исходного процесса, введем также подпространства $\{W_j\}$, характеризующие остатки от аппроксимации, т. е. детали анализируемого процесса.

Охарактеризуем пространства $\{W_j\}$. Это пространства деталей, и они ортогональны друг другу. Оказывается, что для мультиразрешающего анализа пространство деталей W_j имеет ортонормальный базис $\{\psi_{jk}(t)\}_k$, где $\psi_{jk}(t) \equiv$ $\equiv 2^{j/2}\psi(2^j t - k)$, который называется вейвлет-базисом. Каждый вейвлет $\psi_{jk}(t)$ порождается из единственной функции $\psi(t)$ посредством трансляции и растяжения. Функция $\psi(t)$, которая порождает все базисные функции пространства W, называется материнским вейвлетом, или базисным вейвлетом.

Так как $\{\psi(t-k)\}$ принадлежит пространству W_0 и $W_0 \subset V_1$, то $\psi(t)$ может быть записана как суперпозиция базисных функций для V_1, т. е. $\{\varphi_{1k}(t)\}$. В частности,

$$\psi(t) = \sum_k g_k \varphi_{1k}(t) = \sqrt{2}\sum_k g_k \varphi(2t-k). \qquad (3)$$

Уравнение (3) называется вейвлет-уравнением. Отметим сходство между ним и уравнением растяжения. Это уравнение связывает материнский вейвлет с масштабирующей функцией на следующем более тонком масштабе. Поскольку $\{\varphi_{1k}(t)\}$ ортонормальны, коэффициенты $\{g_k\}$ можно получить вычислив скалярное произведение:

$$g_k = (\varphi_{1k}, \psi) = \sqrt{2} \int_{-\infty}^{\infty} \psi(t)\varphi(2t-k)dt.$$

Из требования $\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t)dt = 0$ получим

$$\sum_k g_k = 0.$$

В дальнейшем разложение исходного процесса на составляющие, принадлежащие пространствам W_j и $\{V_j\}$, будем называть мультиразрешающим анализом.

Функция $f \in V_J$, представляющая исходный процесс, может быть разложена различными способами. Например, существует разложение чисто через масштабирующую функцию:

$$f(x) = \sum_{\ell=-\infty}^{\infty} c_{J,\ell}\varphi_{J,\ell}(x), \; x \in R,$$

где

$$c_{J,\ell} = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\varphi_{J,\ell}(x)dx.$$

Для любого $J_0 \le J$ существует также вейвлет-разложение

$$f(x) = \sum_{\ell=-\infty}^{\infty} c_{J_0,\ell}\varphi_{J_0,\ell}(x) +$$

$$+ \sum_{j=J_0}^{J-1} \sum_{\ell=-\infty}^{\infty} d_{j,\ell}\psi_{j,\ell}(x), \; x \in R,$$

где

$$c_{J_0,\ell} = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\varphi_{J_0,\ell}(x)dx,$$

$$d_{j,\ell} = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\psi_{j,\ell}(x)dx.$$

Рассмотрим алгоритм обработки гидроакустических данных при конечной записи сигнала (что, конечно, только и присутствует в реальном эксперименте). Вычисление $\sum h_k x(n-k)$ может требовать знания $x(-1)$, которое не определено. Цель расширения сигнала – определить неопределенные значения. Проблема состоит не в длине сигнала, но в его границах. Одна из возможностей решить эту проблему – распространить сигнал вне его границ.

Фильтрация такого расширенного сигнала эквивалентна использованию одного из граничных фильтров.

Имеется 3 возможности для расширения сигнала:

1. Расширение с помощью нулей.
2. Расширение с помощью периодизации.
3. Расширение с помощью отражения (симметричное расширение).

Необходимо отметить следующие важные моменты:

1. Добавление нулей и периодизация (в общем, вводят скачок в функцию).
2. Отражение (в общем, вводит скачок в первую производную).

Если исходная функция периодическая, имеем также периодичность в масштабирующей функции и вейвлет-коэффициентах $c_{j,l} = c_{j,l+2^j p}$ и $d_{j,l} = d_{j,l+2^j p}$. Следовательно, достаточно рассмотреть 2^j коэффициентов каждого типа на уровне j. Периодическое вейвлет-преобразование, таким образом, имеет вид

$$c_{j-1,l} = \sum_{k=0}^{D-1} h_k c_{j,\langle 2l+k \rangle_{2^j}}, \tag{4}$$

$$d_{j-1,l} = \sum_{k=0}^{D-1} g_k c_{j,\langle 2l+k \rangle_{2^j}}, \tag{5}$$

где $l = 0, 1, \ldots, 2^{j-1} - 1$.

Следовательно, периодическое быстрое вейвлет-преобразование получается повторным применением (4) и (5) для $j = J, J-1, \ldots, J_0 + 1$.

Положив $J_0 = 0$, (3) и (4) можно применять до тех пор, пока все коэффициенты в (каноническом) разложении

$$f(x) = c_{0,0} + \sum_{j=0}^{J-1} \sum_{l=0}^{2^j-1} d_{j,l}\tilde{\Psi}_{j,l(x)}$$

не будут вычислены.

Реконструкционный алгоритм для обратного быстрого вейвлет-преобразования аналогичен алгоритму для непериодической версии:

$$c_{j,l} =$$

$$= \sum_{n=n_1(l)}^{n_2(l)} \left(c_{j-1,\langle n \rangle_{2^j}} h_{l-2n} + d_{j-1,\langle n \rangle_{2^j}} g_{l-2n} \right), \tag{6}$$

следовательно, периодическое обратное быстрое вейвлет-преобразование получается применением (6) для $j = J_0, J_{0+2}, \ldots, J$.

Очистку гидроакустических сигналов от шума на основе вейвлетов можно проиллюстрировать на примере ортогонального дискретного вейвлет-преобразования в следующей 3-шаговой процедуре.

Шаг 1. Применить дискретное вейвлет-преобразование к исходному гидроакустическому сигналу

$$w = W_y.$$

Шаг 2. Модифицировать вейвлет-коэффициенты и получить вектор модифицированных вейвлет-коэффициентов w^*.

Шаг 3. Вычислить оцененные значения вектора входных данных y^*, выполняя обратное дискретное вейвлет-преобразование

$$y^* = W^T w^*.$$

Чаще всего используемые процедуры модификации называются усечением вейвлет-коэффициентов. Эти процедуры используют тот факт, что гладкая функция имеет экономичное вейвлет-представление, так что большинство ее коэффициентов может быть положено равным нулю без возникновения заметной погрешности. Кроме того, белый шум при дискретном вейвлет-преобразовании преобразуется в белый шум с той же дисперсией в силу свойства ортогональности этого преобразования. В связи с этим на шаге 2 алгоритма полагаем равными нулю все малые коэффициенты, а остальные оставляем без изменения или усекаем. Вводятся 2 правила усечения, задаваемые в виде жесткого и мягкого порогов:

1. Жесткий порог:

$$d_{jk}^{\text{hard}} = \begin{cases} 0, & |d_{jk}| < \lambda; \\ d_{jk}, & |d_{jk}| \geq \lambda. \end{cases}$$

2. Мягкий порог:

$$d_{jk}^{\text{soft}} = \operatorname{sign}(d_{jk})(|d_{jk}| - \lambda)_+ .$$

Одна из этих функций применяется к вейвлет-коэффициентам d для получения модифицированной их версии d^*. Эти процедуры применяются не ко всем коэффициентам, а к тем, которые принадлежат всем уровням ниже некоторого заданного уровня j_0. Значения пороговой константы λ вычисляются по формуле [3]

$$\lambda = \sigma\sqrt{2\ln(n)} ,$$

где n – длина (число отсчетов) исходного гидроакустического сигнала; σ – значение среднеквадратического отклонения шума.

Так как обычно значение σ не известно, то его необходимо оценивать на основании входных данных. Приведем 2 алгоритма оценивания. Первый алгоритм основан на использовании медианы абсолютных отклонений (MAD) для вейвлет-коэффициентов на самом тонком уровне и делении его на 0.6745 [3], [7]:

$$\hat{\sigma} = \text{MAD}(d_{1,k})/0.6745 .$$

В результате получается робастная оценка, которая не чувствительна к отдельным выбросам (в силу статистических свойств медианы). Второй алгоритм оценивания среднеквадратического отклонения основан на методе наименьших квадратов и имеет следующий вид:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\sum_{k=1}^{n/2} \frac{2d_{1,k}^2}{n}}.$$

Обычно для надежности необходимо использовать робастную оценку. Если обе оценки совпадают, то это можно использовать в качестве критерия отсутствия аномальных измерений или отсутствия резких изменений во входных данных.

Применение недецимированного вейвлет-преобразования [8] рекомендуется в том случае, если длина сигнала является произвольным числом, не обязательно степенью числа 2. При этом, поскольку число вейвлет-коэффициентов оказывается одинаковым на различных уровнях разложения, можно получить более точные результаты после очистки сигналов от шума. К таким алгоритмам, прежде всего, относятся максимально накладывающиеся дискретные вейвлет-преобразования (MODWT – maximal overlap discrete wavelet transformation). В результате исследований авторов обнаружено, что они обладают робастностью как по выбору числа уровней для фильтрации, так и по размеру вейвлет-фильтра.

Вейвлет-преобразование и мультиразрешающий анализ позволяют решать задачи исследования структуры сигналов, фильтрации сигналов и очистки сигналов от шума. При этом очистка сигналов от шума может проводиться на основе использования различных оценок среднеквадратического отклонения шума, включая робастную медианную оценку и оценку по методу наименьших квадратов. Недецимированное вейвлет-преобразование имеет более широкую область применения при обработке гидроакустических сигналов по сравнению с классическим вейвлет-преобразованием.

Работа выполнена в СПбГЭТУ «ЛЭТИ», поддержана стипендией Президента Российской Федерации в 2016 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Модели и алгоритмы обработки вибрационных сигналов и мониторинга широкого частотного диапазона / Д. М. Клионский, М. С. Куприянов, Н. И. Орешко, Д. И. Каплун, А. М. Голубков, В. В. Гульванский, В. В. Геппенер // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2016. № 5. С. 25–41.

2. Малышкин Г. С. Оптимальные и адаптивные методы обработки гидроакустических сигналов / АО «Концерн ЦНИИ „Электроприбор“». СПб., 2011. 374 с.

3. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов / пер. с англ. М.: Мир, 2005. 671 с.

4. Смоленцев Н. К. Вейвлет-анализ в Matlab. 3-е изд. М.: ДМК Пресс, 2010. 448 с.

5. Чуи К. Введение в вейвлеты / пер. с англ. М. : Мир, 2001. 412 с.

6. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / пер. с англ. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 464 с.

7. Хьюбер Дж. Робастность в статистике / пер. с англ. М.: Мир, 1984. 304 с.

8. Percival D., Walden A. Wavelet methods for time series analysis. Cambrindg: Cambridge University Press, 2000. 594 p.

D. M. Klionskiy, N. I. Oreshko
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

WAVELET PROCESSING OF HYDROACOUSTIC SIGNALS

The paper discusses hydroacoustic signal processing based on the wavelet transform. We provide the concept of multiresolution analysis based on wavelets and the analytical expressions for calculating wavelet coefficients. The paper contains information about processing hydroacoustic signals based on filtering and extension. We describe an algorithm of hydroacoustic signal denoising using two different estimates for calculating the standard deviation of noise. We give recommendations for applying non-decimated wavelet transform.

Wavelet transform, hydroacoustic signal, multiresolution analysis, signal filtering, denoising