Двенадцатая Международная научно-техническая конференция
«Оптические методы исследования потоков»
Москва, 25 — 28 июня 2013 г.

УДК 51-73

Н.М. Скорнякова.

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Россия,
111250, Москва, Красноказарменная ул., 14, E-mail: SkorniakovaNM@mpei.ru

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТЕНЕВОГО ФОНОВОГО МЕТОДА

АННОТАЦИЯ

Показана возможность обработки экспериментально получаемых и смоделированных изображений теневого фонового метода с помощью вейвлет-анализа. Представлены его достоинства и недостатки по сравнению с кросскорреляционным анализом.

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ, ДВУМЕРНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ, ИЗОБРАЖЕНИЯ, ТЕНЕВОЙ ФОНОВЫЙ МЕТОД

ВВЕДЕНИЕ

В оптических измерительных технологиях всегда актуален вопрос обработки получаемых экспериментальных данных. Все больше методов диагностики работает уже не с сигналами, а с изображениями. В настоящее время методы обработки экспериментальных изображений, в основном, ограничены преобразованием Фурье и корреляционной обработкой (которая также основана на преобразовании Фурье). Представляет интерес применить вейвлет-преобразование к обработке изображений, получаемых в оптических и лазерных методах диагностики.

Поскольку вейвлеты появились именно как механизм обработки экспериментальных данных, их применение для решения подобных задач представляется весьма привлекательным до сих пор. Вейвлет-преобразование дает наиболее наглядную и информативную картину результатов эксперимента, позволяет очистить исходные данные от шумов и случайных искажений, и даже "на глаз" подметить некоторые особенности данных и направление их дальнейшей обработки и анализа. Кроме того, вейвлеты хорошо подходят для анализа нестационарных сигналов, возникающих в медицине, виброметрии и других областях.

Также вейвлет-преобразование позволяет визуально улучшить изображение. Наше зрение устроено так, что внимание сосредотачивается на существенных деталях изображения, отсекая ненужное. Используя вейвлет-преобразование, возможно сгладить или выделить некоторые детали изображения, увеличить или уменьшить его, выделить важные детали и даже повысить его качество.

При построении автоматизированных систем диагностики, особенно дистанционных, большую важность приобретают вопросы уменьшения количества передаваемой информации и помехоустойчивость. Благодаря высокой эффективности алгоритмов и устойчивости к воздействию помех, вейвлет-преобразование является мощным инструментом в этих областях.

ТЕОРИЯ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Классическое преобразование Фурье является широко распространненым математическим аппаратом для анализа и синтеза сигналов, однако иногда оказывается недостаточно эффективным при обработке сложных сигналов или изображений. Преобразование Фурье, например, не отличает сигналы из двух синусоид с разными частотами, один из которых представляет собой сумму синусоид, второй – последовательно следующие друг за другом синусоиды. В обоих случаях их спектр будет выглядеть как два пика на двух фиксированных частотах. Таким образом, преобразование Фурье не приспособлено для анализа нестационарных сигналов, в том числе локализованных на некотором временном интервале, так как теряется информация о временных характеристиках сигнала.

Для выполнения вейвлет-анализа требуются базисные функции, обладающие способностью выявлять в анализируемом сигнале как частотные, так и временные характеристики. Другими словами, сами базисные функции должны обладать определенными свойствами, названными частотно-временной локализацией [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**, 2].

Базисная вейвлет-функция должна удовлетворять двум условиям:

1. Среднее значение (интеграл по всей прямой) равно нулю.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Psi(t)\mathrm{d}t = 0 .$$

2.Функция быстро убывает при t → ∞,

$$\lim_{t \to \infty}(\Psi(t)) \to 0 .$$

Различают дискретный и непрерывный вейвлет-анализ, аппарат которых можно применять как для непрерывных, так и для дискретных сигналов. Сигнал анализируется путем разложения по базисным функциям, полученным из некоторого прототипа путем сжатий, растяжений и сдвигов.

Рассмотрим только непрерывное вейвлет-преобразование. Базис, отвечающий перечисленным выше условиям, имеет вид [2]:

$$\psi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{|s|}}\psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right),$$

где s – коэффициент, обратный частоте, τ – временной сдвиг, а множитель $\frac{1}{\sqrt{|s|}}$ необходим для сохранения нормы $\|\psi_{s,\tau}(t)\| = \|\psi(t)\|$.

Пусть $s, \tau \in R$, т.е. принимают произвольные вещественные значения, тогда преобразование, которое носит название прямого непрерывного вейвлет-преобразования, обозначаемое как CWT – continuous wavelet transform, будет иметь вид:

$$CWT_f(s,\tau) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right)dt .$$

Приведем примеры базисных функций вейвлет-преобразования. Наибольшей популярностью пользуются функции на основе производных функции Гаусса:

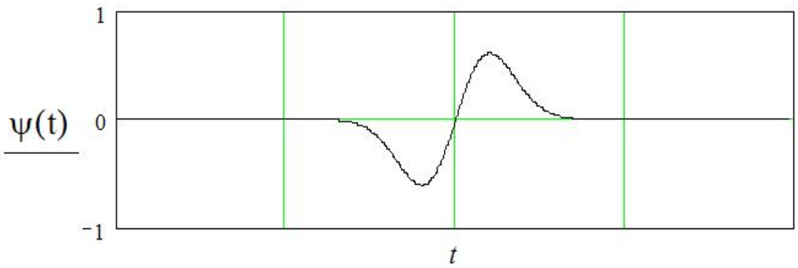
$$\psi_m(t) = (-1)^m \frac{d^m}{dt^m} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right).$$

Это вызвано тем обстоятельством, что функция Гаусса имеет наилучшие показатели локализации как во временной, так и в частотной областях.

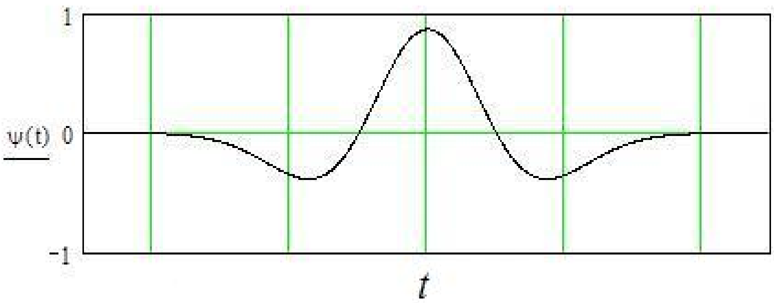
При m = 1 получаем вейвлет (рисунок 1,а), который называют волновым (WAVE – вейвлет) с равным нулю нулевым моментом. При m = 2 получаем вейвлет (рисунок 1,б), называемый "мексиканская шляпа" – MHAT - вейвлет:

$$\psi(t) = \frac{2}{\sqrt{3}} \pi^{-\frac{1}{4}} (1 - t^2) \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right),$$

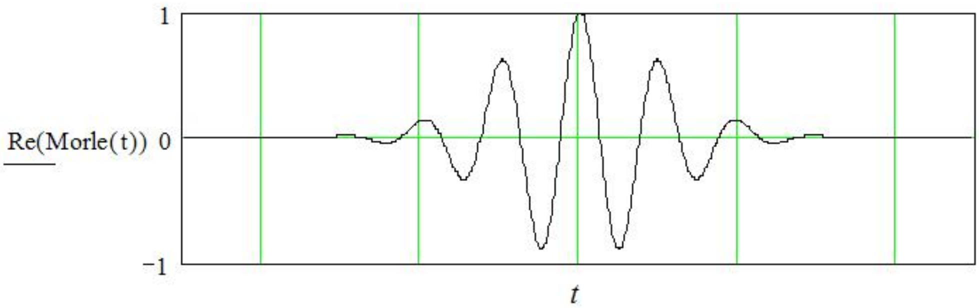
у него нулевой и первый моменты равны нулю. Спектр Фурье этого вейвлета у́же, поэтому он имеет лучшее разрешение.



а)



б)



в)

а) – волновой вейвлет б) – мексиканская шляпа, в) – Морле

Рис. 1. Примеры базисных вейвлет-функций

Функция Гаусса образует также DOG-вейвлет – разность двух Гауссиан:

$$\psi(t)=\exp\left\{-\frac{t^2}{2}\right\}-0{,}5\exp\left\{-\frac{t^2}{8}\right\}.$$

Широкое распространение получил вейвлет Морле (Morlet) (рисунок 1,в).

$$\psi(t)=\exp\{j\omega_0 t\}\exp\left\{-\frac{t^2}{2}\right\},$$

где ω0 – доминантная частота, позволяющая варьировать избирательностью базиса. Этот вейвлет отличается от других прежде всего тем, что он является комплексной функцией, у которой вещественные и мнимые части –модулированные гауссианой гармоники.

Вейвлет-преобразование может быть не только одномерным, но и двумерным. При этом происходит преобразование изображений.

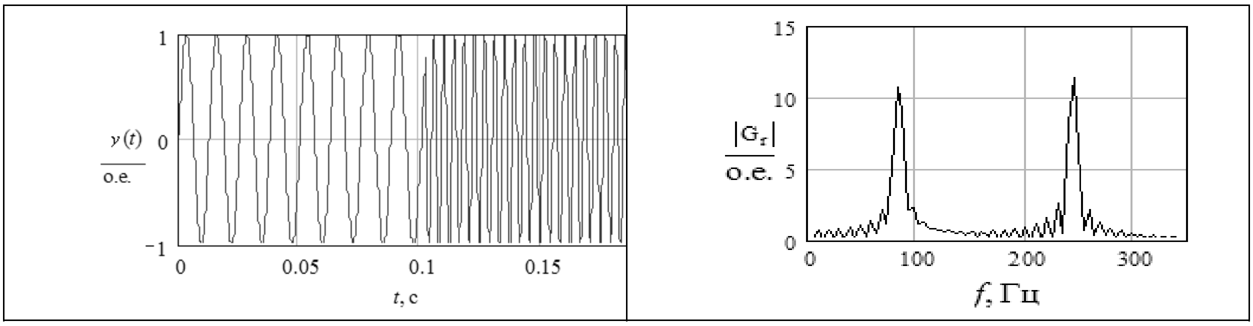
СРАВНЕНИЕ ФУРЬЕ И ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

В результате вейвлет-преобразования получается вполне наглядная картина, иллюстрирующая частотно-временные характеристики сигнала. По оси абсцисс откладывается время, по оси ординат – прямая или обратная частота (иногда размерность оси ординат выбирается так: log(1/s), где s – обратная частота), а абсолютное значение вейвлет-преобразования для конкретной пары s и τ определяет цвет, которым данный результат будет отображен (чем в большей степени та или иная частота присутствует в сигнале в конкретный момент времени, тем темнее (или краснее) будет оттенок).

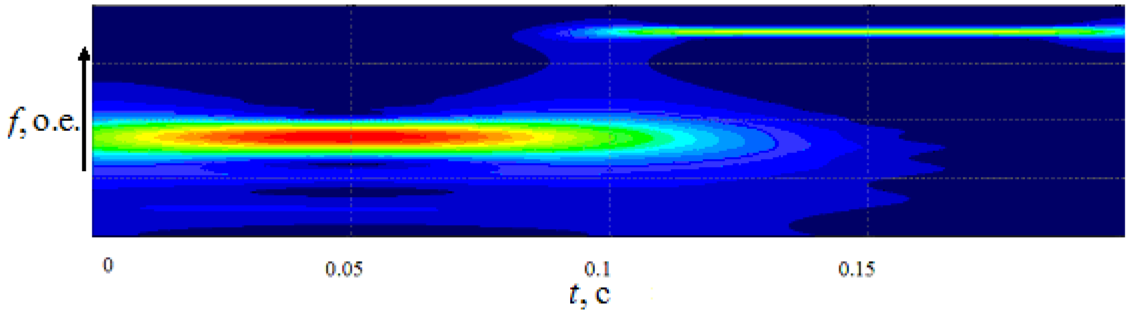
Рассмотрим на конкретных примерах отлия Фурье и вейвлет преобразований.

На рисунке 2 показаны два синусоидальных сигнала и их вейвлет-преобразование. На рисунке 2,б показан вейвлет-анализ сигнала, представляющего из себя последовательное следование синусоид с разными частотами, изображенного на рисунке 2,а, а на рисунке 2,г показан результат вейвлет-анализа для сигнала, представляющего из себя наложение двух синусоид различной частоты (рисунок 2,в). На приведенных рядом с сигналами Фурье-спектрах хорошо видно, что в случае обычной спектральной диагностики результат получается практически одинаковый, и только вейвлет-анализ может показать реальное частотно-временное распределение в сигналах.

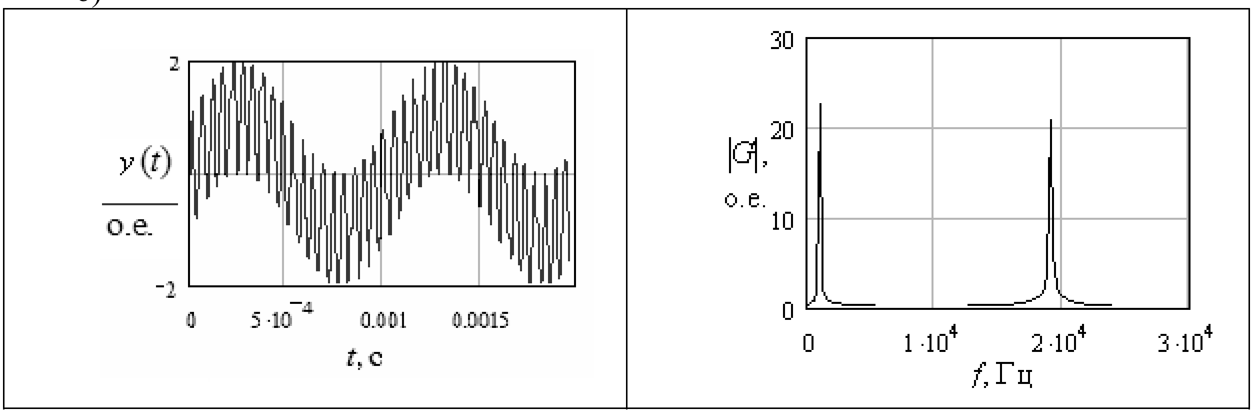
По рисунку 3 удобно сравнить результаты, которые дают преобразование Фурье и вейвлет-преобразование для нестационарных сигналов. Исходный сигнал изображен на рисунке 3,а. Как видно из рисунка 3,б, преобразование Фурье дает информацию о том спектре частот, который присутствует в сигнале на всем временном отрезке, при этом неизвестно, когда именно та или иная частота реально присутствовала в сигнале. В то же время вейвлет-преобразование (рисунок 3,в) дает исчерпывающую картину динамики изменения частотных характеристик во времени. Все это указывает на то, что вейвлет-преобразование существенно более информативно по сравнению с преобразованием Фурье.



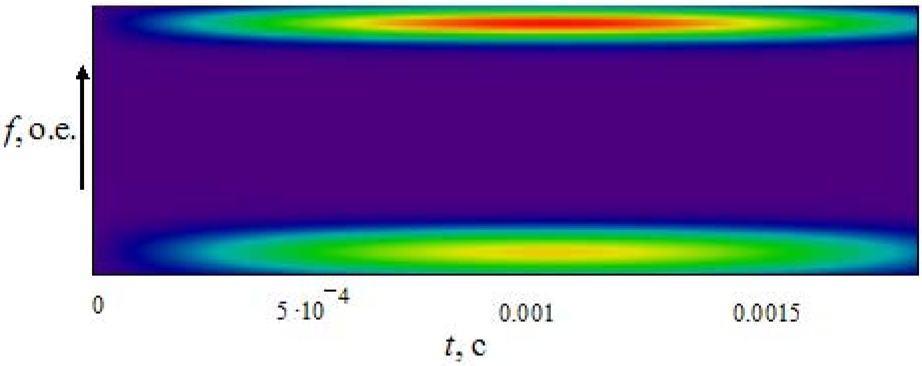
а)



б)

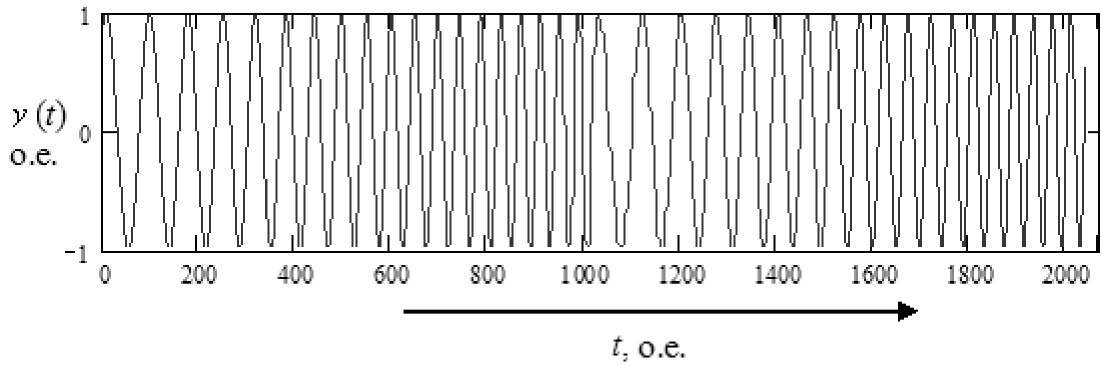


в)

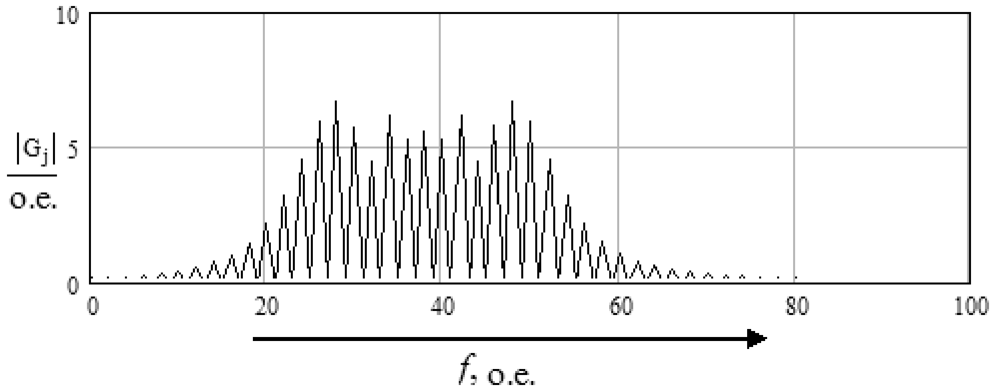


г)

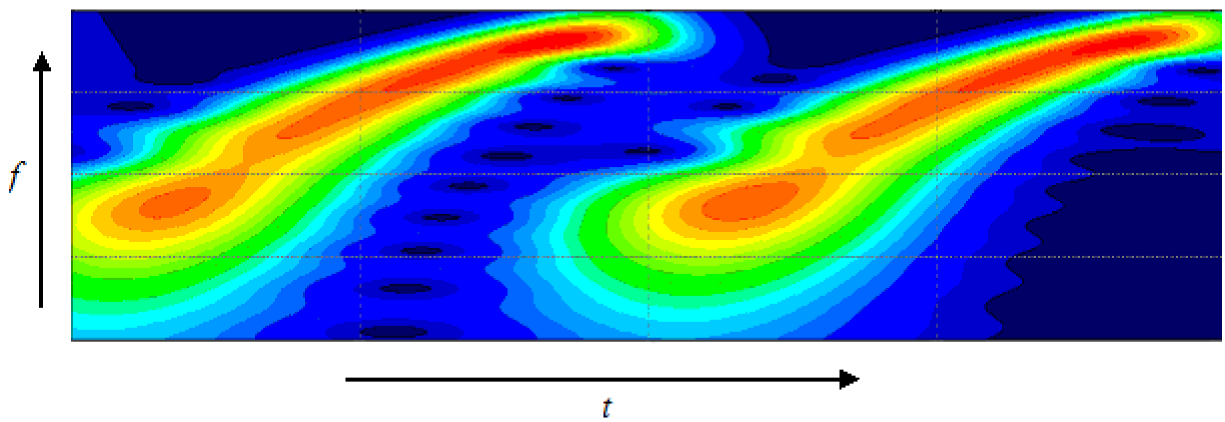
Рис. 2. Сигналы, спектры и их вейвлет-преобразование



а)



б)



в)

а) – сигнал, б) – Фурье-спектр, в) – вейвлет-спектр

Рис. 3. Сравнение методов анализа

ВЕЙВЛЕТ-ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ ТЕНЕВОГО ФОНОВОГО МЕТОДА

Рассмотрим пример вейвлет-преобразования изображения теневого фонового метода. Для обработки возьмем экспериментальное изображение, полученное для исследования процесса испарения этанола (рис. 4).

На рис. 5 представлены результаты кратномасштабного вейвлет-анализа. Кратномасшабный анализ позволяет выделить различные составляющие изображения. В частности, на рис. 5, а представлено сглаженное исходное изображение, а на рис. 5, б – г дополняющие его компоненты: вертикальные, горизонтальные, диагональные.

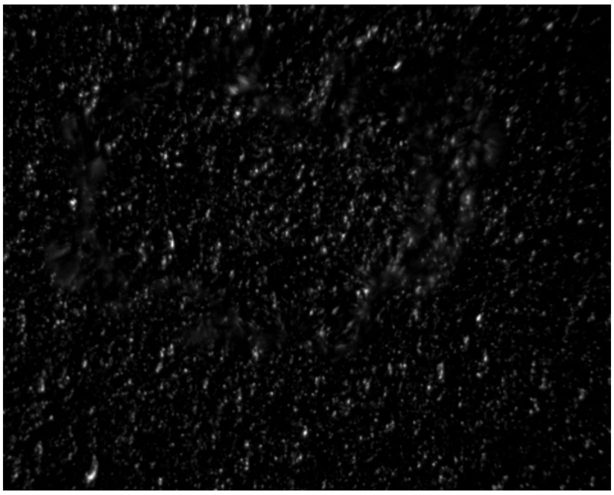
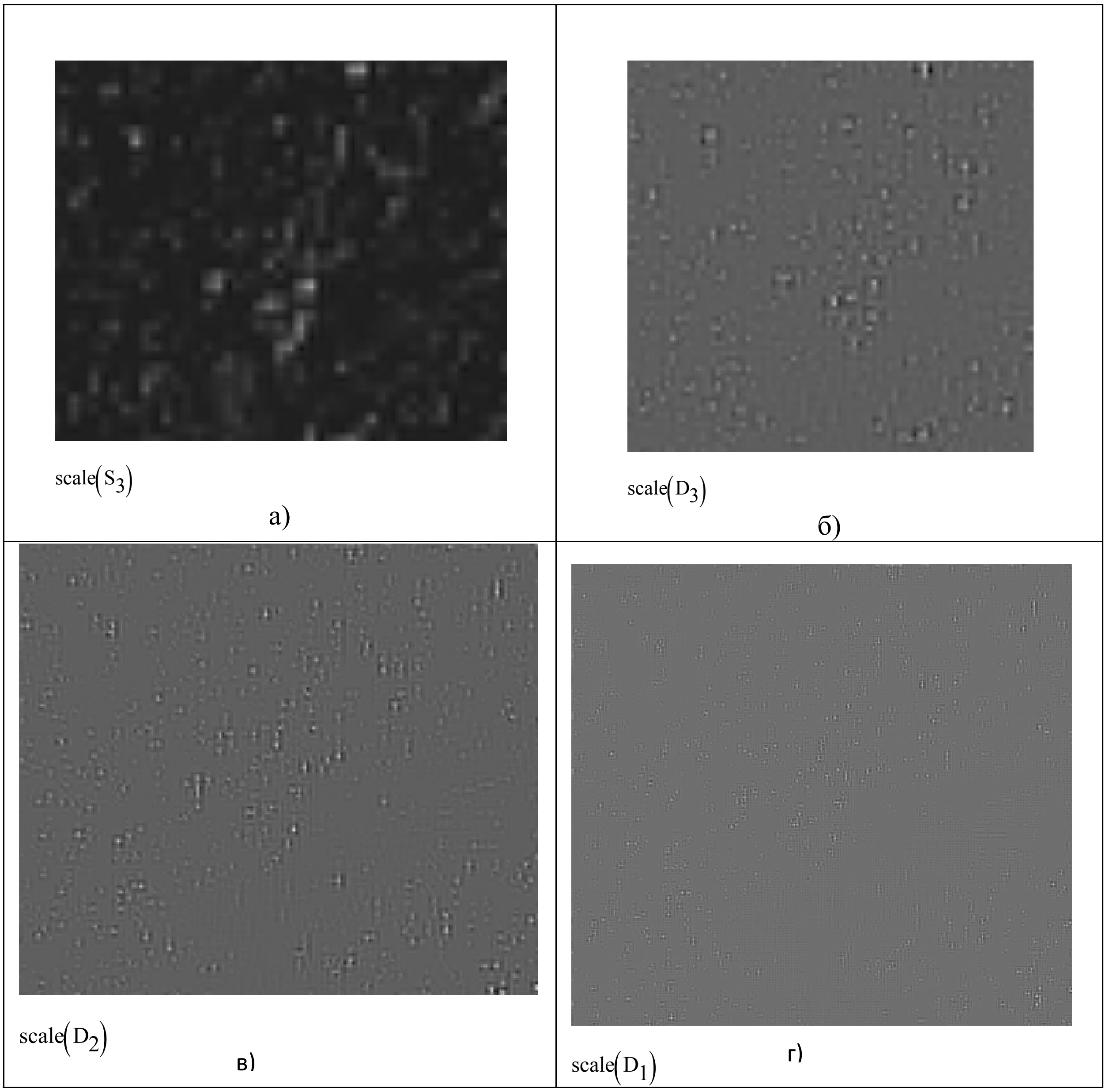


Рис. 4. Исходное изображение



а) – сглаженное изображение; б) вертикальные компоненты;
в) горизонтальные компоненты; г) диагональные компоненты
Рис. 5. Результаты кратномасштабного вейвлет-преобразования

По полученным компонентам возможно производить более качественный анализ, а также убирать шумовые компоненты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показаны возможности вейвлет-преобразования для обработки изображений теневого фонового метода. Приведены результаты сравнения Фурье и вейвлет преобразований. Вейвлет-преобразование дает исчерпывающую картину динамики изменения частотных характеристик во времени, что не возможно получить с помощью Фурье преобразования. То есть вейвлет-преобразование существенно более информативно по сравнению с преобразованием Фурье.

С помощью кратномасштабного вейвлет-анализа возможно разложить изображение на составляющие. По полученным компонентам возможно производить более качественный анализ, а также убирать шумовые компоненты.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект 7.3732.2011)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Шкурский Б.И.** Цифровые методы обработки изображений. – М.: Изд-во МЭИ. 2005. – 152с.
2. **Добеши И.** Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск: РХД. 2001. – 464 с.

N.M. Skornyakova

National research university «MPEI», Russia,
111250, Moscow, Krasnokazarmennaya st., 14, E-mail: SkorniakovaNM@mpei.ru

WAVELET ANALYSIS OF BACKGROUND ORIENTED SCHLIEREN METHOD IMAGES

The possibility of experimentally obtained and simulated images processing of the background oriented schlieren method using wavelet analysis is presented. Its advantages and disadvantages compared to the cross-correlation analysis are shown.

WAVELET TRANSFORM, 2D TRANSFORM, IMAGE, BACKGROUND ORIENTED SCHLIEREN METHOD