

УДК 51-74

**МЕТОД АНАЛИЗА ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ
В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
С ИДЕНТИФИКАЦИЕЙ СТРУКТУРНЫХ КОМПОНЕНТ В
ОРТОГОНАЛЬНОМ
ВЕЙВЛЕТ БАЗИСЕ**

Горева Т.С.¹, Кузнецов С.Е.², Портнягин Н.Н.²

¹ Филиал Дальневосточного Федерального государственного университета, 683031, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Тушканова, 11/1

² Государственная морская академия им. адм. С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург

E-mail: romano84@mail.ru

Рассмотрены вопросы обоснования применения методов цифровой обработки сигналов при решении задач активной фильтрации помех различной природы, возникающих в системах электроснабжения. Анализируются традиционные методы подавления импульсных помех, проводится обоснование применения вейвлет преобразования для подавления импульсных помех.

Ключевые слова: вейвлет анализ, подавление импульсных помех, ортогональный базис.

© Горева Т.С., Кузнецов С.Е., Портнягин Н.Н., 2011

MSC 65T60

**METHOD OF THE ANALYSIS OF PULSE HINDRANCES IN
SYSTEMS OF THE ELECTRICAL SUPPLY WITH
IDENTIFICATION STRUCTURAL THE COMPONENT IN
ORTHOGONAL WAVELET BASIS**

Goreva T.S.¹, Kuznetsov S.E.², Portnjagin N.N.²

¹ Branch of the Far Eastern Federal State University, 683031, Petropavlovsk-Kamchatsky, Tushkanova st., 11 / 1, Russia

² Admiral Makarov State maritime academy

E-mail: romano84@mail.ru

Questions of a substantiation of application of methods of digital processing of signals are considered at the decision of problems of an active filtration of hindrances of the various nature arising in systems of an electrical supply. Traditional methods of suppression of pulse hindrances are analyzed, the application substantiation wavelet transformations for suppression of the pulse is spent.

Key words: wavelet analysis, suppression of impulsive hindrances, ortogonal base

© Goreva T.S., Kuzhnyetsov C.E., Portnjagin N.N., 2011

Введение

Рост установленной мощности нелинейных резкопеременных нагрузок в автономных системах, таких как судовые системы приводит в ряде случаев к ухудшению качественных показателей электроэнергии (КПЭ).

Первым проявлением низкого качества электроэнергии являются искажения формы синусоидального напряжения в цепях питания, отклонения напряжения за пределы установленных допусков или полные прерывания подачи электроэнергии. Эти возмущения могут быть вызваны гармониками сетевой частоты или неполадками в системе электроснабжения. Они могут длиться от миллисекунд до секунд. Внешние возмущения обычно проявляются как неправильная работа оборудования или его полная остановка.

Флуктуации напряжения имеют относительно небольшое (менее $\pm 5\%$) изменение среднеквадратичного значениями напряжения в линии питания. Источником является пульсирующая нагрузка [1].

Целью методов преодоления проявлений низкого качества электроэнергии является обеспечение соответствия электроэнергии, используемой для питания оборудования, требованиям стандартов.

Прежде чем бороться с возмущениями напряжения в каком-то месте, необходимо их **идентифицировать**.

Изменения напряжения в сети возникают при включении и отключении мощных приемников, при коротких замыканиях в системе, при синхронизации генераторов с грубым нарушением условий синхронизации, при включении гашения поля генератора.

Принципиально новым методом многомасштабного анализа является структурная индексация. Её суть заключается в выявлении структурных особенностей сигналов для последующего анализа этих особенностей.

Сигналы питающего напряжения содержат разномасштабные локальные особенности. Относительная величина и временная протяженность таких особенностей зависит от природы возмущения.

Естественным и наиболее эффективным способом представления таких сигналов является построение нелинейных адаптивных аппроксимирующих схем на основе экстраполирующих фильтров. Инструментом, позволяющим реализовать такую процедуру для сигналов с подобными особенностями, является вейвлет-преобразование.

При обычном ортогональном вейвлет – разложении аппроксимирующие коэффициенты раскладываются на аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты более низкого уровня, а затем процедура применяется к вновь полученным аппроксимирующим коэффициентам. Детализирующие коэффициенты далее не анализируются.

Методика

Идея пакетного вейвлет – анализа состоит в том, чтобы раскладывать также и детализирующие коэффициенты, используя тот же самый метод разложения.

Это дает более богатый анализ: двоичное дерево Т коэффициентов разложения, начинающееся с исходного сигнала $s(0,0)$ рис. 1. При разложении некоторого узла

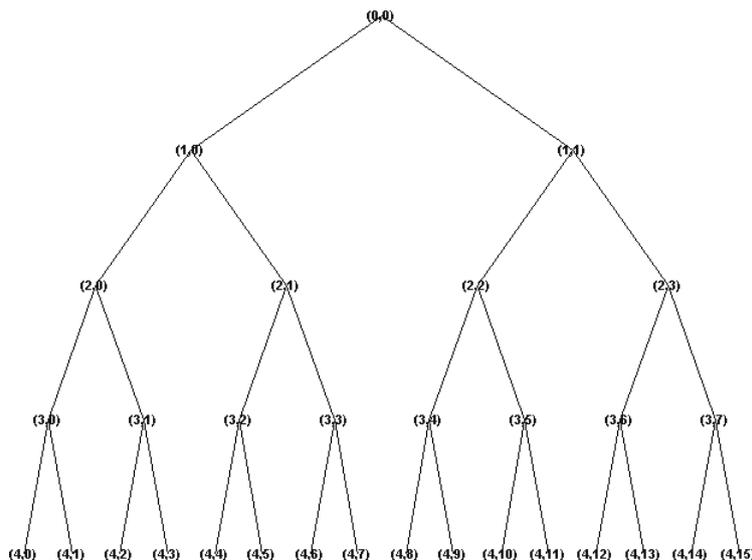


Рис. 1. Схема пакетного разложения.

ниже слева находятся аппроксимирующие коэффициенты, а справа – детализирующие коэффициенты (2,3).

Пусть I_M^λ - множество индексов M векторов β^λ , которые максимизируют $|\langle f, q_m^\lambda \rangle|$.
 Наилучшая нелинейная аппроксимация f в β^λ есть $f_M^\lambda = \sum_{m \in I_M^\lambda} \langle f, q_m^\lambda \rangle q_m^\lambda$

Погрешность аппроксимации есть

$$\varepsilon^\lambda [M] = \sum_{m \notin I_M^\lambda} |\langle f, q_m^\lambda \rangle|^2 = \|f\|^2 - \sum_{m \in I_M^\lambda} |\langle f, q_m^\lambda \rangle|^2.$$

Тогда базис $\beta^\alpha = \{q_m^\alpha\} 1 \leq m \leq N$ лучше, чем базис $\beta^\gamma = \{q_m^\gamma\} 1 \leq m \leq N$ при аппроксимации f , если при всех $M \geq 1$

$$\varepsilon^\alpha [M] \leq \varepsilon^\gamma [M].$$

Полученное условие лучшего базиса эквивалентно тому, что

$$\forall M \geq 1 \quad \sum_{m \in I_M^\alpha} |\langle f, q_m^\alpha \rangle|^2 \geq \sum_{m \in I_M^\gamma} |\langle f, q_m^\gamma \rangle|^2.$$

При выборе базиса таким способом мы обеспечиваем выполнение основных критериев качества аппроксимации: минимизацию числа аппроксимирующих слагаемых и минимизацию погрешности аппроксимации. Аппроксимирующие векторы, выбранные из этого “наилучшего” базиса, наилучшим образом приспособлены для аппроксимации конкретного сигнала и описывают важные структуры сигнала, фильтруя шум [7]. Модель сигнала в этом случае имеет вид:

$$\tilde{f}(t) = \sum_{-i \in I_M^\alpha} \sum_k d_{-i,k} \Psi_{-i,k}(t) + \sum_l c_{-i,l} \phi_{-i,l}(t),$$

, где $c_{-i,l}$ – коэффициенты вейвлет-преобразования, соответствующие сглаженной составляющей сигнала, $d_{-i,k}$ – детализирующие коэффициенты вейвлет-преобразования, $\Psi_{-i,k}$ – вейвлет, $\phi_{-i,k}$ – скэйлинг-функция (2,3).

Построение полного дерева разложения: $W_j^0 : W_j^0 = \bigoplus_{i=1}^I W_{j_i}^{P_i}$, $\left\{ \Psi_{j_i}^{P_i} (2^{j_i} t - n) \right\}_{n \in Z}$ есть базис пространства $W_{j_i}^{P_i}$ (Рис.1);

определение ветвей дерева, соответствующих структурным компонентам случайного сигнала.

Компоненты g_j в $y_0(t) = \sum_i (g_i(t) + e_i(t)) + f_j(t)$ являются детализирующими и включают в себя приращения порядка 2^{-j} : выбирая апостериори n векторов $\Psi^{j,k}$, зависящих от свойств функции f , мы получаем приближение сигнала n векторами, индексы которых принадлежат I_n : $f_1(t) = \sum_{j,k \in I_n} d_{j,k} \Psi^{j,k}$. Данная составляющая модели нацелена на выделение изолированных особенностей в сигнале в виде пиков, всплесков, перегибов и т.п. Поэтому естественно определить в качестве параметров этой составляющей коэффициенты $\vec{d}^j = \left\{ d_k^j \right\}$, где $j, k \in I_n$, т.е. $f_1(t) = \sum_j g_j(t) = \sum_{j,k \in I_n} d_k^j \Psi^{j,k}$.

Сглаженная компонента модели единственным образом идентифицируется на основе коэффициентов вейвлет-преобразования $\vec{c}^j = \left\{ \begin{matrix} j \\ k \end{matrix} \right\}_{k \in Z}$, где $c_k^j = \langle f, \phi_k^j \rangle$, ϕ - скейлинг-функция. Коэффициенты $\vec{c}^j = \left\{ \begin{matrix} j \\ k \end{matrix} \right\}_{k \in Z}$ содержат устойчивые (более стационарные) характеристики структуры сигнала [2]-[3].

Алгоритм определения структуры вейвлет – дерева на основе разложения по наилучшему базису представлен на рис.2 [4]-[5].

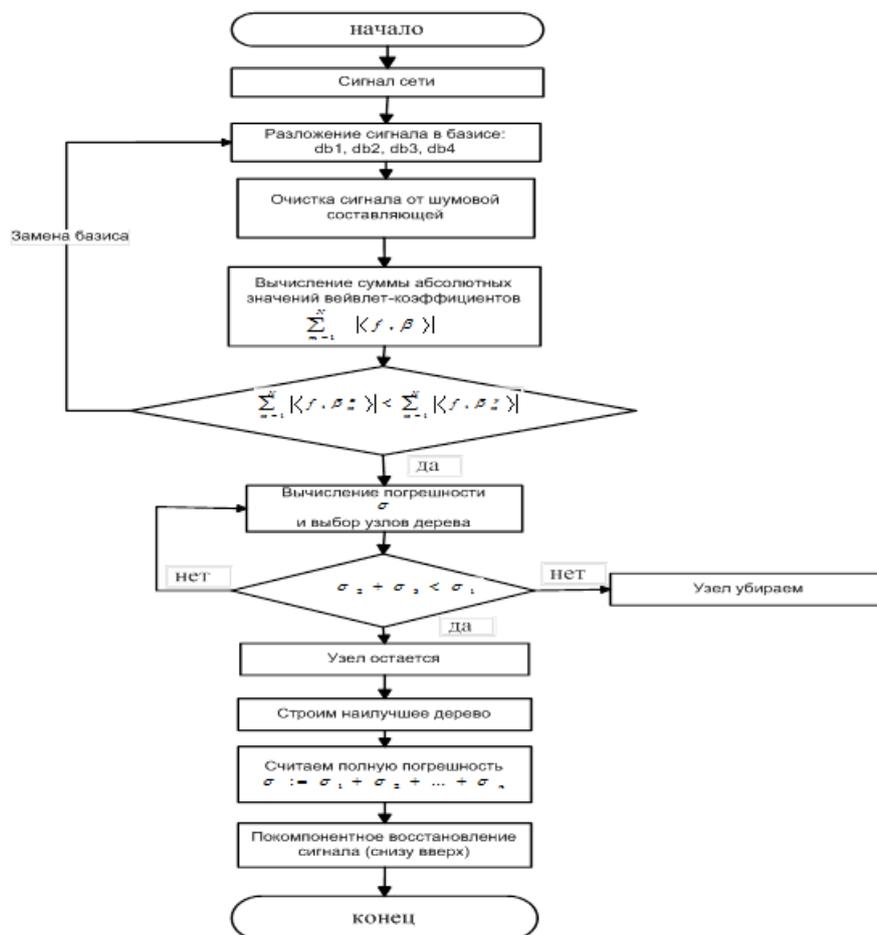


Рис. 2. Алгоритм определения структуры вейвлет – дерева.

- 1) Выбор структуры наилучшего дерева
- 2) Расчет погрешности выбранной структуры.

На основе описанного алгоритма выполняются следующие действия:

Информативная компонента выделялась на основе анализа восстановленных сигналов (рис. 3.).

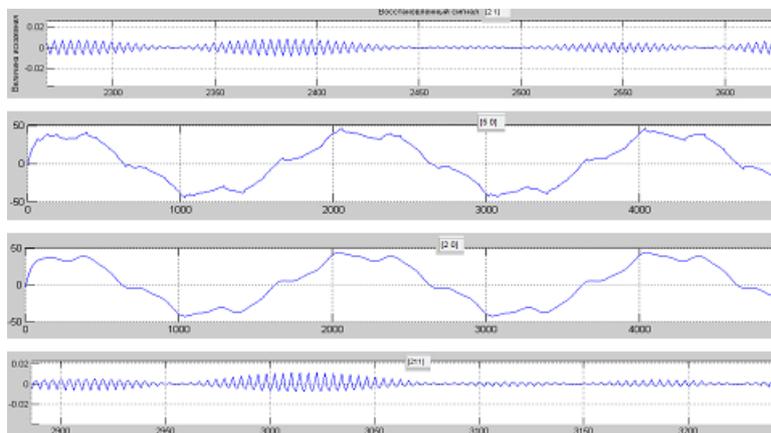


Рис. 3. Компонентное восстановление сигнала.

Если искажения сигнала сети имели наибольшую величину, то компонента являлась наиболее информативной. Полученное восстановление локализует особенности сети по времени и определяет их величину. Полученные данные являются основой для построения метода компенсации особенностей сигналов сети.

На основе этого анализа была выбрана структура наилучшего дерева разложения сигналов электрической сети (рис.4).

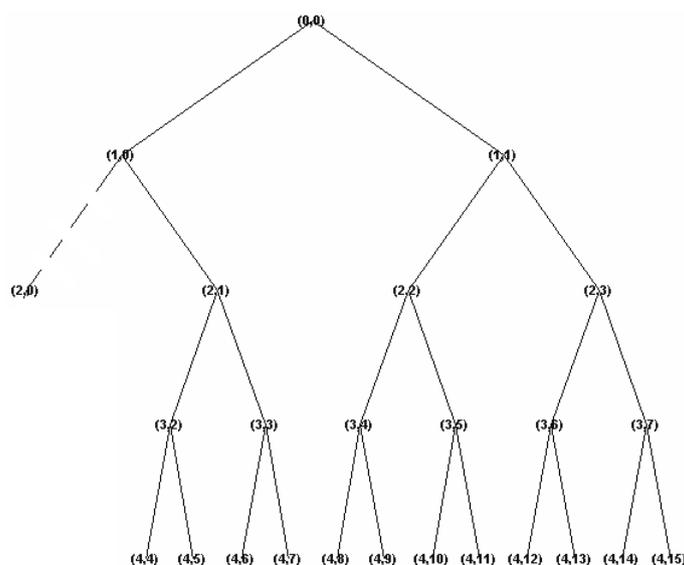


Рис. 4. Структура наилучшего дерева: пунктиром обозначены те листья дерева ветвей – коэффициенты, которых будут приравняться нулю при восстановлении сигнала.

Согласно этой структуре было произведено восстановление сигнала сети (рис.5).
Возможности программного комплекса [5]-[6]:

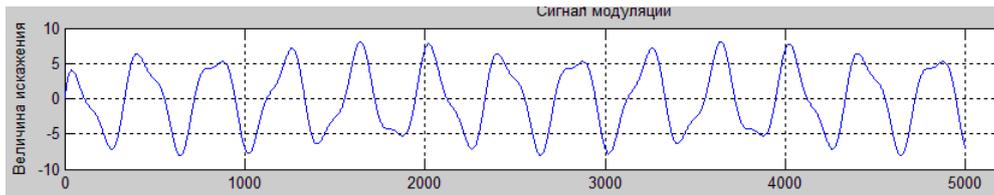


Рис. 5. Восстановленный по наилучшему дереву сигнал.

1) Анализатор гармоник (рис.6):

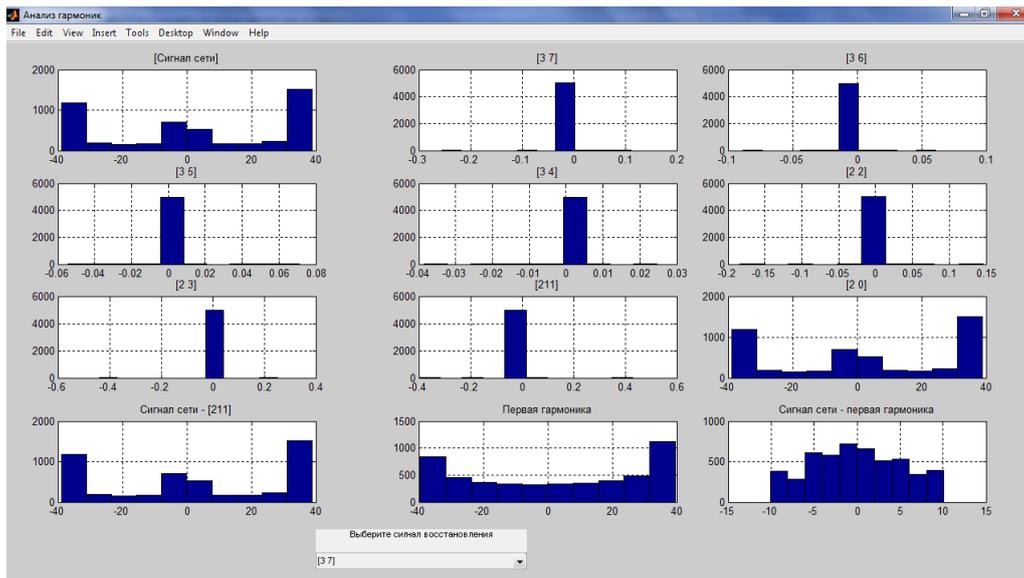


Рис. 6. Анализатор гармоник сигнала сети с помощью гистограмм.

- а) построение гистограммы исходного сигнала;
 - б) построение гистограммы восстановленной составляющей сигнала;
- 2) **Анализ структурных составляющих сигнала, построение наилучшего дерева**
- а) анализ спектральной плотности мощности исходного и восстановленного сигналов;
 - б) выбор информативной составляющей исходного сигнала;
 - в) построение лучшего базиса сигнала сети;
- 3) **Локализация и модуляция импульсной помехи (рис.7):**
- а) построение графического изображения сигнала сети;
 - б) построение информативных составляющих сигнала в пространстве вейвлет-образов;
 - в) компенсация импульсной помехи, вывод на экран графического изображения сигнала модуляции;

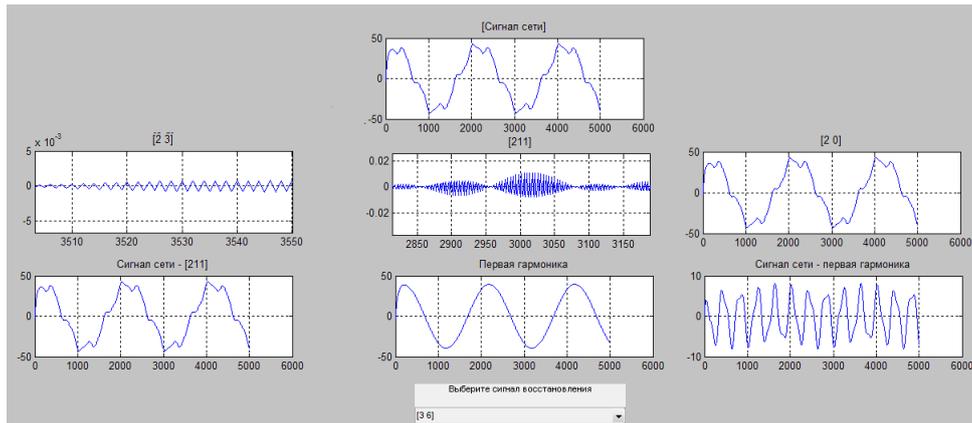


Рис. 7. Окно модуляции сигнала и коррекции сигнала сети.

- г) построение вейвлет – спектра исходного сигнала и восстановленной в пространстве вейвлет – образов информативной компоненты сигнала;

4) Анализ структурных компонент сигнала (рис.8.):

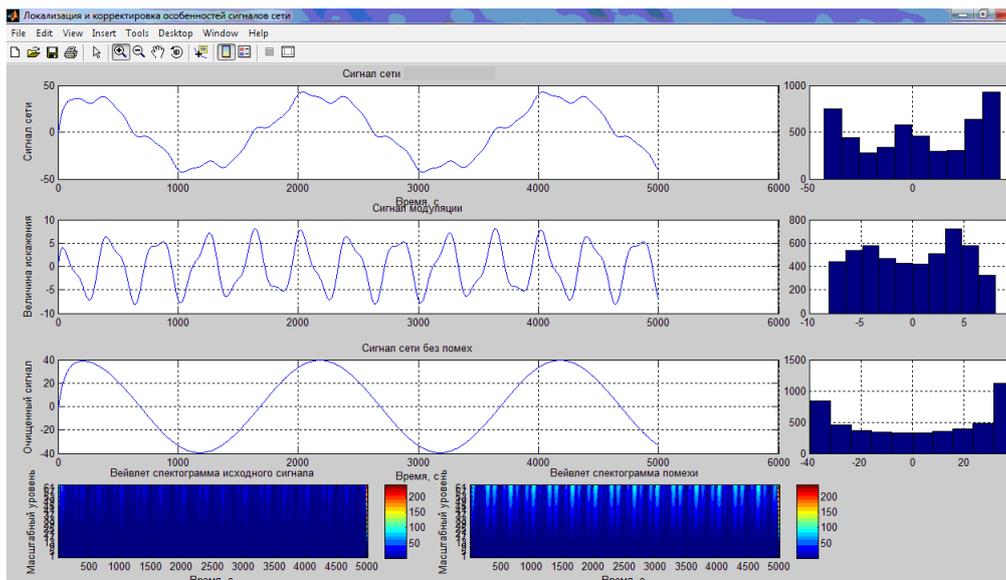


Рис. 8. Окно построения восстановленных сигналов сети.

- а) построение графического изображения исходного сигнала и структурных составляющих сигнала в пространстве вейвлет – образов;
- б) расчет и построение гистограмм исходного сигнала и структурных составляющих сигнала в пространстве вейвлет – образов;
- в) расчет и построение спектральной плотности мощности исходного сигнала и структурных составляющих сигнала в пространстве вейвлет – образов;
- г) расчет и построение вейвлет – спектра исходного сигнала и структурных составляющих сигнала в пространстве вейвлет – образов.

Заключение

Подавление импульсных и высокочастотных помех является актуальной задачей, продиктованной развитием структуры нагрузок современной электроэнергетической системы.

Методы пассивной фильтрации импульсных и высокочастотных помех в мощных цепях малоэффективны. Методы активной цифровой фильтрации на основе Фурье-преобразования не позволяют обеспечить фильтрацию кондуктивных помех нерегулярных импульсных помех. Предлагаемые в данной работе методы активной фильтрации на основе вейвлет-преобразования обеспечивают эффективное подавление широкого класса помех, включающего кондуктивные и импульсные помехи.

Литература

1. Кузнецов С.Е., Лемин Л.А., Кудрявцев Ю.В., Пруссаков А.В., Исаков Д.В. Техническая эксплуатация судового электрооборудования: учебно-справочное пособие/ под ред. С.Е. Кузнецова-Москва: Проспект, 2010 .- 512 с.
2. ГОРЕВА Т.С., КУЗНЕЦОВ С.Е, ПОРТНЯГИН Н.Н. Моделирование процесса локализации просек напряжения на основе вейвлет – преобразования.// Фундаментальные исследования. Выпуск №12, – Москва. 2011 г.
3. INGRID DAUBESCHIES, Ten Lectures on Wavelets. Пер. с английского, – Ижевск: НИЦ “Регулярная и хаотическая динамика”, 2001 г.
4. STEPHANE MALLAT, A Wavelet tour of signal processing. Пер. с английского, – М.: Мир, 2005 г.
5. КУЗНЕЦОВ С.Е., ГОРЕВА Т.С., ПОРТНЯГИН Н.Н. Построение активных фильтров подавления импульсных помех в сетях электропитания промышленных судов с применением вейвлет – анализа.// Эксплуатация морского транспорта. Выпуск №3. Санкт – Петербург. 2011 г. С. 65 - 70.
6. ГОРЕВА Т.С. Свидетельство об отраслевой регистрации комплекса программ для ЭВМ № 16389: “Программный комплекс управления качественными показателями электроэнергетики в распределительных сетях” / М.: ИНИМ РАО, 2010 г.
7. КУЗНЕЦОВ С.Е., ПОРТНЯГИН Н.Н., ГОРЕВА Т.С., ГОРЕВА Т.И. Свидетельство об отраслевой регистрации комплекса программ для ЭВМ № 16624: “Анализатор импульсных и флуктуационные помех случайного характера в системах электроснабжения с идентификацией структурных компонент в ортогональном вейвлет базисе” / М.: ИНИМ РАО, 2011 г.

Поступила в редакцию / Original article submitted: 24.11.2011