

**Bibliography (transliterated):** 1. DNAOP 9.0.30-1.07-97 «Pravyla okhorony pratsi dlia perukaren». Access mode: <http://document.ua>. 2. Tischenko, V., Krutikov, V. (2003). Kontrol fizicheskikh faktorov okruzhausei sredey, opasnykh dlia cheloveka, 376. 3. Fedorovich, G. (2004). Ekologicheskii monitoring elektromagnitnykh polei. 140 p. Access mode: <http://www.ntm.ru/control/60/7004>. 4. Sidorov, A. (2014). The technique of small air ions concentration measurement at the PC operator working place. Mashinostroenie i bezopasnost zhiznedeiatelnosti, 1, 36 – 41. 5. DСанPiN 2.2.2.022-99 «Derzhavni sanitarni pravyla ta normy dlia perukaren riznykh tytipiv». Access mode: <http://document.ua>. 6. GOST 12.1.045-84 "Elektrostatychni polia.

Dopustymi rivni na robochykh mistsiakh i vymohy do provedennia kontroliu". Access mode: <http://document.ua>. 7. DSN 239-96 «Derzhavni sanitarni normy i pravyla zakhystu naselennia vid vplyvu elektromagnitnykh vyprominiuvan». Access mode: <http://document.ua>. 8. Normy radiatsiynoi bezpeky Ukrainy (NRBU-97). Kyiv, 121. 9. DNAOP 0.03-3.06-80 "Sanitarno-hihienichni normy dopustymykh rivniv ionizatsii povitria vyrobnychykh ta gromadskykh prymischen №2152-80". – Access mode: <http://document.ua>. 10. GOST 12.1.003-83 "SSBT. Shum. Obschie trebovaniia bezopasnosti". Access mode: <http://document.ua>.

Надійшла (received) 22.12.2015

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Сидоров Олександр Володимирович** – кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, доцент кафедри екології; пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058; e-mail: [sidorovav@ukr.net](mailto:sidorovav@ukr.net).

**Богомазюк Яна Юрївна** – студент, Національний авіаційний університет, кафедра екології; пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058.

**Майданець Анжела Вікторівна** – студент, Національний авіаційний університет, кафедра екології; пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058.

УДК 658.562:628

**Н. А. ЛЮБИМОВА**

**ПЛАНИРОВАНИЕ КОНТРОЛЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ С ВЫБОРОМ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ РАНЖИРОВАННЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ**

Рассмотрена возможность применения методов локализованного спектрального анализа для оценки неопределенности случайных амплитудных изменений в гармонических неслучайных составляющих многокомпонентного процесса загрязнения атмосферы энергетическим предприятием. Произведено сравнительное оценивание вероятностей выбросов (раздельно по компонентам загрязнения) на основе анализа дисперсий вейвлет-коэффициентов гармонических составляющих контролируемых во времени компонент. Применение данного метода адаптирует план контроля к реальным условиям протекания технологических процессов и повысит его достоверность.

**Ключевые слова:** контроль, план, загрязнение, многокомпонентное, вероятностная модель, вейвлет-анализ, ранжирование, адаптация.

**Введение..** Производство промышленной продукции всегда сопровождается генерацией отходов, загрязняющих окружающую среду. Процессы загрязнения – это элементы технологической цепи, стабильность и точность функционирования которой, определяют стационарность и статическую предсказуемость появления таких нежелательных случайных событий, как экстремальное превышение норм природопользования (ПДВ, ПДС...). Очистка газовых выбросов от вредных химических загрязнений энергетических предприятий осложняется тем, что многие выбросы несут с собой золу, сажу, частицы пыли, нагретые до высоких температур, и содержат несколько компонентов, удаляемых различными методами очистки. Иногда их концентрации и ритм поступления нестабильны. Способы очистки зависят от физико-химических свойств загрязняющих веществ, их агрегатных состояний, концентрации, температуры и др. Для очистки от них используются различные устройства, технологии и методы. Поэтому при организации контроля таких многокомпонентных (многопараметрических) процессов загрязнения атмосферы энергетическими предприятиями особое значение приобретают задачи организации и планирования с учетом апостериорной информации об интенсивности

превышения норм предельно допустимых выбросов (ПДВ) по компонентам загрязнения

**Анализ литературы и постановка проблемы.**

Оценка таких интенсивностей – это проблема, поскольку превышение норм ПДВ является не только случайным, но и редким событием. К тому же, при фиксации таких событий возможны ошибки контроля [1], из-за неоднородности метрологических характеристик первичных преобразователей и измерительных каналов системы многопараметрического контроля и априорной неопределенности процессов многокомпонентного загрязнения. Оценка интенсивностей выбросов по компонентам, случайно меняющим свой количественный состав во времени, это задача оценивания апостериорных вероятностей критических экстремумов контролируемых многомерных случайных процессов. Такое оценивание способствует решению актуальной проблемы статистического синтеза многопараметрических систем контроля в условиях априорной неопределенности свойств контролируемых процессов загрязнения.

© Н. А. Любимова . 2015

Известные работы по анализу математических моделей выбросов случайных процессов относятся к теории помехоустойчивости систем связи [2, 3] и информационно-измерительным технологиям контроля и технической диагностики [1, 4]. Однако во всех случаях речь идет о математических моделях обнаружения нарушений стационарности информационных процессов, в основном, одномерных. Что касается величин и интенсивностей максимальных выбросов продуктов загрязнения промышленными объектами, то исследование параметров и вероятностных свойств выбросов как случайных процессов теоретически не исследовано. Задача изучения модели экстремальных выбросов ограничивается математическими моделями по расчету выбросов с учетом особенностей и возможных изменений технологических процессов, а также точности и метрологической надежности средств измерения [5, 6]

Цель статьи – раскрыть возможности локализованного спектрального анализа (вейвлет-анализа) в задаче сравнительного оценивания апостериорных вероятностей выбросов в многокомпонентных процессах загрязнения воздушной среды.

Задачей исследования является теоретическое обоснование плана контроля для сравнительного оценивания вероятностей выбросов при выполнении экологического мониторинга и управления процессом очистки дымовых газов, имеющих многокомпонентный состав.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Оценить неопределенность случайных амплитудных изменений в гармонических неслучайных составляющих загрязнения.
2. Разработать структурную модель локально нестационарных контролируемых процессов.
3. Произвести нормирование вероятности одиночных выбросов с оценкой нижних границ в процессе длительного эксперимента.
4. Выявить регулярные частотные и фазовые особенности конечных (суточных и недельных) рядов наблюдения.
5. Ранжировать полученные в процессе вейвлет-анализа вероятности выброса по дисперсиям вейвлет-коэффициентов с дальнейшим использованием данного метода при планировании контроля многокомпонентного загрязнения атмосферы.

Объектом исследования является процесс контроля загрязнения окружающей среды, обусловленный технологическими нарушениями в работе предприятия.

Предметом исследования являются методы повышения достоверности контроля параметров в составе многокомпонентного загрязнения атмосферы промышленными предприятиями.

**Вероятностная модель случайных выбросов.** Повышение эффективности контроля процессов загрязнения окружающей среды – это, прежде всего, изучение закономерностей поведения процессов случайного изменения контролируемых показателей. Такие закономерности носят локальный частотно-амплитудный характер и трудно различимы на фоне комплексных (по среднему значению и спектру нестационарности) наблюдаемых процессах загрязне-

ния. Знание апостериорных вероятностей состояний динамического объекта контроля (процесса загрязнения) на заданных интервалах времени его наблюдения позволяет повысить точность (экстраполяции) локальных превышений норм ПДВ.

Для этого необходимо выделить в контролируемых нестационарных процессах загрязнения, неслучайные по частоте и случайные по амплитуде локальные тренды. Суммарная по частоте и по времени наблюдения дисперсия таких трендов является мерой неопределенности локальных кратковременных выбросов. Оценка такой дисперсии возможна, если известны вероятностные свойства контролируемых процессов по каждой из измеряемых компонент химического состава загрязнения. Задачи оценивания вероятностных свойств нестационарных по ряду параметров случайных процессов загрязнения являются задачей проблематичной из-за наличия ряда неустраняемых и неконтролируемых факторных влияний. Однако, выявить в таких процессах закономерности и функциональные систематические тенденции вполне возможно, имея даже небольшие выборки результатов измерений.

Существующие в настоящее время методы статистической обработки данных, распределенных во времени, особенно в задачах экологического мониторинга и качественных измерений базируется на теории статистического анализа временных рядов. Эти методы закреплены нормативно в рамках государственных стандартов Украины и используются не только для статистического контроля многомерных показателей качества, но и для регулирования технологических процессов, включая процедуры прогнозирования нарушений качества.

В ходе любого автоматизированного мониторинга выбросов вредных веществ в атмосферу информация о количественных значениях физико-химических показателей загрязнения – это дискретизированные во времени реализации случайных процессов. В силу ограниченности периодов наблюдения и конечности интервалов дискретизации, такие реализации удобно представлять статистическими моделями временных рядов, с частотно-фазовой нестационарностью, присутствующих в таких рядах, низкочастотных и высокочастотных трендов.

Из-за наличия в таких реализациях локальных спектральных возмущений, вызывающих нарушения стабильности временного ряда и превышение нарушений норм предельно допустимых выбросов (ПДВ) имеет смысл использовать для анализа рядов локализованный спектральный анализ (вейвлет-анализ), а не классический спектральный анализ, основанный на преобразованиях Фурье.

Такой анализ, во-первых, позволяет выявить регулярные частотные и фазовые особенности конечных (суточных, недельных и т.п.) рядов наблюдений, во-вторых, дает возможность оценивания по дисперсии вейвлет-коэффициентов амплитудных скачкообразных изменений регулярных локальных трендов разных частот.

В конечном счете, задаваясь структурой модели нестационарности временного ряда (по среднему значению, дисперсии, спектру) можно оценить впо-

следствии апостериорные вероятности превышения норм ПДВ на локализованных интервалах времени в пределах нормативно заданных периодов наблюдения. Знание такой вероятности позволит не только адаптировать план контроля выбросов к реальным условиям протекания технологических процессов, но и даст возможность снизить вероятности ошибок контроля, особенно ошибки второго рода.

При мониторинге случайного процесса  $X_s(t)$  загрязнения по выделенной компоненте  $X_s$  химического состава, любое превышение нормы ПДВ по этой компоненте будем считать случайным событием,  $s = \overline{1, S}$ , где  $S$  – общее число компонент. Такое событие может появиться или не появиться в ходе измерительных экспериментов, число которых  $N$  теоретически очень велико ( $N \rightarrow \infty$ ). При ( $N \rightarrow \infty$ ) множество событий будет представлять собой бесконечную последовательность событий  $A_{SK}$ ,  $K$  – дискретное значение соответствующего компонента. По отношению ко всем  $S$  контролируемым компонентам, событие  $A$  (превышение норм ПДВ хотя бы по одному компоненту), есть событие достоверное в вероятностном пространстве  $(\{A_S\}, \Xi)$  [11].

В этом случае появляется возможность количественного сравнения и раздельного оценивания вероятностей ... при искусственной условии обязательного появления одиночного выброса, хотя бы в одном из процессов за конечное время наблюдения  $T_H < \infty$ .

**Выбор модели вейвлет-преобразования.** Прямое, непрерывное вейвлет-преобразование наблюдаемого процесса  $x(t)$  осуществляется согласно формальному правилу [8]

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{C_\psi |a|}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (1)$$

где  $a, b$  – параметры, соответственно, масштаба и сдвига;  $C_\psi$  – нормировочный множитель;  $\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$  – анализирующий (базисный) вейвлет.

Множитель  $C_\psi$  – должен обладать свойством конечности для всех частот  $\omega$ .

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\psi(\omega)|^2}{|\omega|} dx < \infty, \quad (2)$$

а вейвлеты  $\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$  должны удовлетворять свойствам:

а) ограниченности

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2 dx < \infty, \quad (3)$$

б) локализации

$$\begin{cases} |\psi(t)| \leq c(1+|t|)^{-1-\varepsilon} \\ |\psi(\omega)| \leq c(1+|\omega|)^{-1-\varepsilon} \end{cases}, \quad (4)$$

где  $\omega$  – частота,  $\varepsilon > 0$ ,  $c = const$ ,  
в) нулевого среднего, вплоть до порядка  $K$

$$\int_{-\infty}^{\infty} t^K \psi(t) dx = 0 \quad (5)$$

Используя известное свойство интегрирования гауссовых вейвлетов [8, 9], выражение (1) можно преобразовать, представив значение интеграла в виде разности вейвлетов на единицу меньшего порядка при фиксированных  $a_j$  и  $b_e$  [10].

$$\begin{aligned} W(a_j, b_e) &= \\ &= \frac{a_j}{\sqrt{C_\psi |a_j|}} \sum_{i=1}^N x(t_i) \left[ g_K \left( \frac{t_i - b_e}{a_j} \right) - g_{K-1} \left( \frac{t_{i-1} - b_e}{a_j} \right) \right] \end{aligned} \quad (6)$$

В последнем выражении [8, 9]:

$$C_{\psi_K} = 2\pi(K-1)! \quad (7)$$

$$g_K = (-1)^{K+1} \frac{d}{dx^K} \left( e^{-\frac{x^2}{2}} \right) \quad (8)$$

Практическое использование непрерывного вейвлет-преобразования в виде модели (6) позволяет выбирать любые масштабы  $a_j$  и сдвиги  $b_e$  для базисного вейвлета при фиксированных значениях  $x(t_i)$  анализируемого процесса  $x(t)$ . В этом случае фиксированными для каждого отсчета  $i$  будут и вейвлет-коэффициенты  $g_{K-1}$  и.

В ходе любого автоматизированного мониторинга выбросов вредных веществ в атмосферу информация о количественных значениях физико-химических показателей загрязнения – это дискретизированные во времени реализации случайных процессов. В силу ограниченности периодов наблюдения и конечности интервалов дискретизации, такие реализации удобно представлять статистическими моделями временных рядов, с частотно-фазовой нестационарностью, присутствующих в таких рядах, низкочастотных и высокочастотных трендов.

Из-за наличия в таких реализациях локальных спектральных возмущений, вызывающих нарушения стабильности временного ряда и превышение нарушений норм предельно допустимых выбросов (ПДВ) имеет смысл использовать для анализа рядов локализованный спектральный анализ (вейвлет-анализ), а не классический спектральный анализ, основанный на преобразованиях Фурье.

### Выводы

1. Применение методов локализованного спектрального анализа дало возможность для оценки неопределенности случайных амплитудных изменений в гармонических неслучайных составляющих многокомпонентного процесса загрязнения атмосферы предприятия.

тием путем построения структурной модели локально нестационарных контролируемых процессов.

2. Предложено использовать сравнительное оценивание вероятностей одиночных выбросов (раздельно по компонентам загрязнения) на основе анализа дисперсий вейвлет-коэффициентов гармонических составляющих контролируемых во времени компонент загрязнения. Нормировка этих вероятностей и оценка нижних границ для их значений может быть осуществлена в длительном эксперименте ( $T_H \rightarrow \infty$ ).

3. Использование такого вида анализа, во-первых, позволяет выявить регулярные частотные и фазовые особенности конечных (суточных, недельных и т.п.) рядов наблюдений, во-вторых, дает возможность оценивания по дисперсии вейвлет-коэффициентов амплитудные скачкообразные изменения регулярных локальных трендов разных частот.

**Список литературы:** 1. Володарський, С. Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навчальний посібник [Текст] / С. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк. – Вінниця: Велес, 2001. – 219 с. 2. Фомин, Я. А. Теория выбросов случайных процессов [Текст] / Я. А. Фомин, / М.: Связь, 1980. – 216 с. 3. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники: в 3-х кн. Кн. вторая [Текст] / Б. Р. Левин – М.: Сов. радио, 1975. – 392 с. 4. Малайчук, В. П. Інформаційно-вимірювальні технології неруйнівного контролю [Текст]: В. П. Малайчук, О. В. Мозговой, О. М. Петренко – Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2001. – 240 с. 5. Богданович, И. Автоматизированные системы контроля и учета выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферу [Текст] / И. Богданович // Энергетика и ТЭК. – №2. – 2010. – С. 14 – 18. 6. Гейко, О. Н. Автоматизированный многокомпонентный контроль выбросов промышленных объектов в атмосферу [Текст] / О. Н. Гейко, И. Ш. Акмедзянов, Ю. М. Цвельх // Технология и конструирование электронной аппаратуры. – №5. – 2003. –

С.18 – 22. 7. Справочник по теории вероятностей и математической статистике [Текст] / под ред. В. С. Королюка – К.: Наукова думка, 1978. – 584 с. 8. Новиков, Л. В. Основы вейвлет-анализа сигналов. Учебное пособие. [Текст] / Л. В. Новиков // 1999. – 152 с. 9. Ososkov, G. Gaussian Wavelet Features and their Application for Analysis of Discretized Signals [Текст] / G. Ososkov, A. Shitov – Computer Physics Communication. – 2000. – Vol. 126. – pp. 149 – 157. 10. Шитов, А. Б. Разработка численных методов и программ, связанных с применением вейвлет-анализа для моделирования и обработки экспериментальных данных; дисс. докт. тех. наук; 05.13.18 / Андрей Борисович Шитов – Иваново., 2001. – 125 с. 11. Любимова, Н. А. Планирование контроля загрязняющих выбросов энергетических предприятий [Текст] / Н. А. Любимова // Системні дослідження та інформаційні технології. – №3. – 2014. – С. 35 – 41.

**Bibliography (transliterated):** 1. Volodarsky T., Kuharchuk N, (2001). Metrological support of measurement and control: Vinnitsa: Velez, 219. 2. Fomin, Y. A. (1980). Theory of random processes, 216. 3. Levin, B. (1975). Theoretical basis of statistical radio engineering: 3 kN. KN. second. Moscow: Owls. radio, 392. 4. Malajczuk, V., Brain, A., Petrenko, A. (2001). Information-measuring technologies of nondestructive testing: [proc.] Dnepropetrovsk: DNU RF, 240. 5. Bogdanovich, I. (2010). Automated system of control and accounting of emissions of pollutants and greenhouse gases into the atmosphere. Power and energy, № 2, 14–18. 6. Geyko, O, Akmedzyanov, I, Tcvelych, U. (2003). Automated multicomponent monitoring of industrial emissions into the atmosphere. Technology and electronic hardware design, № 5, 18–22. 7. Handbook on probability theory and mathematical statistics. (1978). Ed. by V. S. Korolyuk. Kiev: Naukova Dumka, 584. 8. Novikov, L. (1999). Foundations of wavelet signal analysis. A tutorial. Moscow: 152. 9. Ososkov, G., Shitov, A. (2000). Gaussian Wavelet Features and their Application for Analysis of Discretized Signals. Computer Physics Communication, Vol. 126, 149–157. 10. Shitov, A. (2001). Development of numerical methods and programs associated with the use of wavelet analysis for the modeling and processing of experimental data; Diss. doctor. technical Sciences; 05.13.18 / Andrey Shitov – Ivanovo, 125. 11. Lyubimova, N. (2014). Planning control pollution emissions of power plants. Systemn dozen informatin technology, № 3, 35–41.

Поступила (received) 22.12.2015

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Любимова Ніна Олександрівна** – доктор технічних наук, Харківський національний аграрний університет ім. В.В.Докучаєва, професор кафедри "Механізації та електрифікації сільськогосподарського виробництва"; Харків, 62483, п/в «Докучаєво», навчальне містечко ХНАУ ім.В.В.Докучаєва, e-mail: [n.lioubimova@mail.ru](mailto:n.lioubimova@mail.ru).

**Lyubymova Nina** – doctor of technical sciences, professor, Kharkov National Agriculture University named after V.V. Dokuchaev; Professor of the Department "Mechanization and electrification of agricultural production Kharkov, 62483, Town of KHAU by V.V. Dokuchaev; e-mail: [n.lioubimova@mail.ru](mailto:n.lioubimova@mail.ru)

УДК 537.6+57.04+616-006

**Т. Ю. НІКОЛАЄНКО, Д. В. ШЕЛЕСТ, А. А. БІЛЮК, В. М. РУДЕНКО, Ю. А. СТУПАК, Є. В. ПИЛИПЧУК**

#### **РУХ І НАКОПИЧЕННЯ МАГНІТНИХ НАНОЧАСТОК В ЗОНІ ПУХЛИНИ ОРГАНІЗМУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТВАРИН ПІД ВПЛИВОМ ПОСТІЙНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ**

Запропоновано методику дослідження транспортування препарату на основі наночастинок магнетиту, кровотоком тварини та наведено перші результати її використання для вивчення характеру руху і процесів накопичення магнітних наночастинок в зоні пухлини у тварин з перешепленою карциномною легень Льюїса під впливом постійного магнітного поля з урахуванням параметрів кровообігу. Показано, що питома масова магнітна проникність органів може слугувати мірою накопичення наночастинок магнетиту у них. Зафіксовано більш виражене накопичення препарату в зоні пухлини при внутрішньочеревному способі введення.

**Ключові слова:** спрямований транспорт ліків, нанорідини, магнітна сприйнятливність.

©Т. Ю. Ніколаєнко, Д. В. Шелест, А. А. Білюк, В. М. Руденко, Ю. А. Ступак, Є. В. Пилипчук. 2015