
УДК 658.562

Н.А. Любимова, д-р техн. наук
Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева
(Украина, 62483, Харьковская обл., Харьковский район, п/о «Коммунист»,
тел.: (0572) 937146, (0572) 676778;
e-mail: office@knau.kharkov.ua; n.lioubimova@mail.ru)

Сравнительная оценка апостериорных вероятностей выбросов в многокомпонентных процессах загрязнения атмосферы энергетическим предприятием

Рассмотрена возможность применения методов локализованного спектрального анализа для оценки неопределенности случайных амплитудных изменений в гармонических неслучайных составляющих многокомпонентного процесса загрязнения атмосферы энергетическим предприятием. Дана сравнительная оценка вероятностей выбросов (раздельно по компонентам загрязнения) на основе анализа дисперсий вейвлет-коэффициентов гармонических составляющих контролируемых во времени компонент.

Розглянуто можливість використання методів локалізованого спектрального аналізу для оцінки невизначеності випадкових амплітудних змін в гармонійних невідповідних складових багатокомпонентного процесу забруднення атмосфери енергетичним підприємством. Наведено порівняльне оцінювання вірогідності викидів (роздільно по компонентах забруднення) на основі аналізу дисперсій вейвлет-коефіцієнтів гармонійних складових контрольованих у часі компонент.

К л ю ч е в ы е с л о в а: контроль, энергетика, загрязнение, атмосфера.

В настоящее время наметились два основных методологических подхода в области борьбы с загрязнением атмосферного воздуха. Первый подход, получивший название «наилучших практически достижимых мер», состоит в том, что независимо от степени загрязнения атмосферного воздуха в населенных пунктах внедряются современные технологические меры борьбы с загрязнениями. Второй подход, названный «управление качеством воздуха», предполагает наличие стандартов качества воздуха, на основе которых осуществляются все мероприятия по контролю и борьбе с загрязнениями атмосферы. Стандартами качества воздуха приняты предельно допустимые концентрации различных токсических веществ в атмосферных загрязнениях. Установлены два показателя: максимально разовые (за 20 мин) и среднесуточные (за 24 ч). Соблюдение этих стандартов

© Н.А. Любимова, 2015

утверждено на законодательном уровне и влечет за собой необходимость проведения постоянно действующего контроля и управления за газообразными выбросами тепловых электростанций (ТЭС) [1].

Сложность очистки газовых выбросов от вредных химических загрязнений объясняется тем, что многие выбросы энергетических предприятий содержат золу, сажу, частицы пыли, нагретые до высоких температур, т.е. компоненты, удаляемые различными методами очистки. Их концентрации и ритм поступления нестабильны, способы очистки зависят от физико-химических свойств загрязняющих веществ, их агрегатных состояний, концентрации, температуры и других факторов. Для очистки используются различные устройства, технологии и методы. Поэтому при организации контроля таких многокомпонентных (многопараметрических) процессов загрязнения атмосферы энергетическими предприятиями актуальными являются задачи организации и планирования с учетом апостериорной информации об интенсивности превышения норм предельно допустимых выбросов (ПДВ) по компонентам загрязнения.

Оценка интенсивности ПДВ является сложной проблемой, так как превышение норм ПДВ — не только случайное, но и редкое событие. При фиксации такого события возможны ошибки контроля [1] вследствие 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.

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. Интенсивности максимальных выбросов продуктов загрязнения промышленными объектами и их вероятностные свойства как случайных процессов теоретически не исследованы. Изучение модели экстремальных выбросов ограничивается математическими моделями расчетов выбросов с учетом особенностей и возможных изменений технологических процессов, а также точности и метрологической надежности средств измерения [5, 6]

Рассмотрим возможности локализованного спектрального анализа (вейвлет-анализа) при решении задачи сравнительного оценивания апостериорных вероятностей выбросов в многокомпонентных процессах загрязнения воздушной среды.

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 процессов загрязнения. 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.

Оценивание вероятностных свойств нестационарных (по ряду параметров) случайных процессов загрязнения является сложной задачей вследствие наличия неустраняемых и неконтролируемых факторных влияний. Однако выявить в таких процессах закономерности и функциональные систематические тенденции 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, основаны на теории статистического анализа временных рядов. Эти методы закреплены нормативно в государственных стандартах Украины и используются не только для статистического контроля многомерных показателей качества, но и для регулирования технологических процессов, включая процедуры прогнозирования нарушений качества. Однако, несмотря на разнообразие и математическую корректность существующих методов статистического анализа первичных данных при динамическом контроле процессов загрязнения среды, остается нерешенным вопрос построения структурной модели локально нестационарных контролируемых процессов, в которой была бы раскрыта полнота вероятностных свойств при минимальной неопределенности качественных изменений.

Используем методы вейвлет-анализа для решения задач минимизации неопределенности при контроле нарушений норм ПДВ. Вейвлет-анализ является успешной альтернативой классическому анализу Фурье, так как ему присуща более гибкая техника обработки сигналов. Одно из наиболее важных преимуществ вейвлет-анализа состоит в том, что он позволяет выделить хорошо локализованные изменения сигналов на фоне случайного шума. С помощью вейвлет-анализа сигнал (выброс) раскладывается на аппроксимирующие (описывают сглаженный сигнал) и детализирующие (описывают колебания, отражающие шумовую компоненту) составляющие, соответствующие вейвлет-коэффициентам. Как правило, величина шума меньше величины сигнала. Поэтому простейшим способом удаления шума является установление некоторого порогового значения и приравнивание к нулю всех коэффициентов, меньших, чем это значение.

От правильного выбора вейвлета и порогового значения зависит качество шумоподавления (оценка соотношения сигнал-шум). При малых значениях порога чувствительности это соотношение увеличивается незначительно, а при больших — есть риск подавить и существенный сигнал. До сих пор процедура выбора вейвлета и порога шумоподавления носит полуэмпирический характер. Однако теория вейвлет-анализа интенсивно развивается, и в ближайшее время можно ожидать более четких теоретических обоснований.

При любом автоматизированном мониторинге 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 и наличием низкочастотных и высокочастотных трендов.

При наличии в таких реализациях локальных спектральных возмущений, вызывающих нарушения стабильности временного ряда и превышение норм ПДВ, для анализа рядов целесообразно использовать 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 др.) рядов наблюдений, во-вторых, дает возможность оценить по дисперсии вейвлет-коэффициентов амплитудные скачкообразные изменения регулярных локальных трендов различных частот.

Задав структуру модели нестационарности временного ряда (по среднему значению, дисперсии, спектру), можно оценить впоследствии апос-

териорные 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 A_S , $S = \overline{1, S}$, 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 A_S будет представлять собой бесконечную последовательность событий A_{SK} , где 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 $(\{A_S\}, \Xi)$ [7].

В этом случае появляется возможность количественного сравнения и раздельного оценивания вероятностей $P(A_1), \dots, P(A_S)$ при искусственном условии обязательного появления одиночного выброса хотя бы в одном из процессов $X_S(t)$ 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 и b — параметры масштаба и сдвига; C_ψ — нормировочный множитель; $\psi((t-b)/a)$ — анализирующий (базисный) вейвлет. Множитель C_ψ должен обладать свойством конечности для всех частот ω ,

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

а вейвлеты $\psi((x-b)/a)$ — следующими свойствами:

а) ограниченности —

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

б) локализации —

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

где $\varepsilon > 0$; $c = \text{const}$;

в) нулевого среднего, вплоть до порядка K , —

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

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 значениях a_j и b_e [10]:

$$W(a_j, b_e) = \frac{a_j}{\sqrt{C_{\psi K} |a_j|}} \sum_{i=1}^N x(t_i) \left[g_K \left(\frac{t_i - b_e}{a_j} \right) - g_{K-1} \left(\frac{t_{i-1} - b_e}{a_j} \right) \right], \quad (2)$$

где

$$C_{\psi K} = 2\pi (K-1)!, \quad g_K = (-1)^{K+1} \frac{d}{dx^K} \left(e^{-\frac{x^2}{2}} \right).$$

Использование непрерывного вейвлет-преобразования в виде модели (2) 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 g_K .

Экспериментальное сравнительное оценивание вероятностей выбросов. Для сравнительного оценивания вероятностей возможных кратковременных выбросов в ходе мониторинга были измерены по $N = 6150$ значений для $S = 5$ компонент загрязнения атмосферы теплоэлектростанцией. Длительность наблюдения $T_n = 22$ сут. Шаг дискретизации Δt составил 5 мин. Для многомерных измерений использована многоканальная информационно-измерительная система «Ультрамат-23» с максимальной погрешностью измерений, не превышающей 5 % (приведенное значение).

При выполнении контрольного оценивания учтены нормы и регламенты Европейской директивы 2001/80/ЕЭС для мощных топок, а также директива, принятая в Германии для мощных топок (13.BLMSchV) в обновленной формулировке как директива для устройства большой тепловой мощности и газотурбинных установок. Были учтены также важные нововведения: предельные значения пыли в предписании ограничены

жестко и снижены предельные значения для серы и азота; в № 14 предписано использование норм СЕН для забора проб и анализа всех вредных веществ, а также для проведения калибровки автоматических измерительных систем. Эта методика является подтверждением того, что качество определения результатов измерения соответствует научному.

Вейвлет-преобразование процессов контроля газовой смеси

$$X_1(t) — \text{пыль}, X_2(t) — \text{NO}_x, X_3(t) — \text{SO}_2, X_4(t) — \text{CO}, X_5(t) — \text{O}_2 \quad (3)$$

проведено в соответствии с математической моделью (2). Параметры модели вейвлет-преобразования: $K = 2$; $i = \overline{1, 24}$; $l = \overline{1, 320}$, где l — номер измерения (общее число измерений 320). Реализация контролируемых в соответствии с регламентом компонентов газовой смеси (3) представлена на рис. 1 (см. вклейку). В качестве примера на рис. 2 (см. вклейку) представлены трехмерные изображения вейвлет-коэффициентов $W(a_j, b_e)$, отличающиеся друг от друга, поскольку содержат неодинаковое число периодов низкочастотных трендов, наличие которых видно из рис. 1. Поэтому для сравнительного оценивания вероятностей выбросов отдельно для каждого из компонентов $X_1 - X_5$ рассчитаны дисперсии [8] вейвлет-коэффициентов в функции масштаба a_j для максимально полного (22 сут) периода наблюдения.

Определим для каждого из S компонентов дисперсию вейвлет-коэффициентов (2) вдоль оси сдвига $b_e, e = \overline{1, L}$. Рассмотрим два варианта анализа: 1) для одного масштаба $a_j, j = \overline{1, J}$; 2) для всех масштабов a_1, \dots, a_J .

В случае 1 получим (для k -го компонента):

$$D_{w^{(k)}j} = (L-1)^{-1} \sum_{e=1}^L [W^{(k)}(a_j, b_e) - \bar{W}^{(k)}]^2,$$

где

$$\bar{W}^{(k)} = L^{-1} \sum_{e=1}^L W^{(k)}(a_j, b_e).$$

В случае 2 дисперсия всех вейвлет-коэффициентов может быть найдена в виде несмещенной оценки (для k -го компонента):

$$D_{w^{(k)}} = (LS-1)^{-1} \sum_{j=1}^J \sum_{e=1}^L [W^{(k)}(a_j, b_e) - \bar{W}^{(k)}]^2,$$

где

$$\bar{W}^{(k)} = (LS)^{-1} \sum_{j=1}^J \sum_{e=1}^L W^{(k)}(a_j, b_e).$$

Если D_w — общая (суммарная) дисперсия для S компонентов, т.е.

$$D_w = \sum_{k=1}^S D_w^{(k)},$$

то верхняя граница вероятности появления одиночного выброса в процессе $x_k(t)$ для k -го компонента $P^{(k)} = D_w^{(k)} D_w^{-1}$. Если оценка в форме верхней границы, т.е. априорной вероятности появления одиночного выброса, выполняется для j -го масштаба a_j , то суммарную дисперсию можно записать в виде

$$D_{wj} = \sum_{k=1}^S D_{wj}^{(k)},$$

а оценку вероятности для варианта 2 — в виде $P_j^{(k)} = D_{wj}^{(k)} D_{wj}^{-1}$.

Следует заметить, что для получения сравнительных оценок апостериорных вероятностей выбросов для всех S компонент комплексного процесса загрязнения необходимо перед вейвлет-преобразованием процессов $x_1(t), \dots, x_s(t)$ провести их нормировку, вычитая из каждого оценку его математического ожидания и деля полученную разность на оценку среднего квадратического отклонения.

Из рис. 3 (см. вклейку) видно, что дисперсии вейвлет-коэффициентов возрастают по мере увеличения масштаба (уменьшение частоты локальных трендов) для исследуемых компонентов дымового газа. Следует учитывать, что дисперсии вейвлет-коэффициентов для тренда, имеющего фиксированную частоту и случайную амплитуду, соответствуют переменной составляющей, максимальное значение которой тем больше, чем больше мощность.

Плотность распределения максимума случайной амплитуды определяется законом распределения Вейбулла—Гнеденко [7], согласно которому при возрастании дисперсии увеличивается и вероятность повышения предельного максимума. Такая вероятностная модель позволяет получить сравнительную оценку вероятности для каждого из совместно рассматриваемых компонентов контролируемой смеси:

$$P_S = D_{w_s} / \sum_{k=1}^S D_{w_k}.$$

В табл. 1 приведены значения дисперсий вейвлет-коэффициентов с учетом высокочастотных трендов и даны оценки верхней границы вероятностей выбросов по компонентам загрязнения. Суммарные дисперсии вычислялись как суммы дисперсий вейвлет-коэффициентов по строке с учетом четырех локальных трендов. Как видно из табл. 1 максимальную

вероятность выброса имеет O_2 , а затем — пыль. Вероятность одиночных выбросов NO_x , SO_2 и CO — практически одинакова.

В табл. 2 приведены значения дисперсий вейвлет-коэффициентов и даны оценки вероятностей выбросов в случаях, когда кроме высокочастотных трендов учитываются и тренды низкочастотные. Распределение вероятностей выбросов при этом существенно меняется, особенно для SO_2 и CO . Из табл. 2 следует, что максимум вероятности выброса для O_2 сохраняется, но повышается (в четыре раза) вероятность выбросов CO .

Минимальную вероятность выброса (в два раза) имеет SO_2 , что полностью соответствует технологическим особенностям производства энергии на ТЭС (выход в атмосферу сернистого газа строго регулируется в соответствии с международными нормами). Для устранения излишков SO_2 в выбросах используется технология известкования (абсорбции данного компонента из газовой смеси раствором извести).

Эффективность работы газоочистных устройств в большой степени зависит от физико-химических свойств улавливаемой золы и поступаю-

Таблица 1

Компонента газовой смеси	Дисперсия вейвлет-коэффициентов для высокочастотных локальных трендов с периодом T (мин)				Суммарная дисперсия по строке	Вероятность выброса
	10	20	30	40		
Пыль	0,017	0,216	0,086	0,271	0,059	0,230
NO_x	0,003	0,016	0,041	0,066	0,126	0,049
SO_2	0,0008	0,004	0,009	0,015	0,134	0,052
CO	0,004	0,014	0,042	0,077	0,137	0,053
O_2	0,046	0,329	0,558	0,657	1,587	0,616

Таблица 2

Компонента газовой смеси	Дисперсия вейвлет-коэффициентов для высоко- и низкочастотных локальных трендов с периодом T (мин)				Суммарная дисперсия по строке	Вероятность выброса
	20	40	80	120		
Пыль	0,216	0,271	0,319	0,489	1,304	0,218
NO_x	0,016	0,066	0,174	0,323	0,579	0,097
SO_2	0,004	0,015	0,049	0,089	0,157	0,026
CO	0,014	0,077	0,410	0,938	1,439	0,240
O_2	0,329	0,657	0,775	0,749	2,510	0,419

щих в золоуловитель дымовых газов. Основные характеристики золы — плотность, дисперсный состав, электрическое сопротивление (для электрофильтров), слипаемость. Для мокрых золоуловителей большое значение имеет содержание в золе свободной извести СаО, при большом содержании которой их работа становится невозможной, так как происходит цементация золы. Технологический процесс может быть нарушен и оборудование повреждено, что повлечет за собой дополнительные экономические вложения. Поэтому качественное выполнение активного контроля компонентов дымовых газов энергопредприятия обеспечивает существенный технологический, экономический и экологический эффект.

В процессе любого автоматизированного мониторинга выбросов вредных веществ в атмосферу информация о количественных физико-химических показателях загрязнения — это дискретизированные во времени реализации случайных процессов. В силу ограниченности периодов наблюдения и конечности интервалов дискретизации такие реализации удобно представлять в виде статистических моделей временных рядов с частотно-фазовой нестационарностью (низкочастотных и высокочастотных трендов).

Выводы

1. Применение методов локализованного спектрального анализа дало возможность выполнять оценку неопределенности случайных амплитудных изменений в гармонических неслучайных составляющих многокомпонентного процесса загрязнения атмосферы энергопредприятием посредством построения структурной модели локально нестационарных контролируемых процессов.

2. Сравнительное оценивание вероятностей одиночных выбросов возможно 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.

3. Представление вероятности выбросов компоненты дымовой смеси в виде ряда $\{O_2, CO, \text{пыль}, NO_x, SO_2\}$ позволяет сделать коррекцию на стадии проектирования и эксплуатации и правильно расставить акценты и приоритеты при планировании системы активного контроля, использовать соответствующие технологии для устранения возможных нарушений.

4. Использование вейвлет-анализа позволяет выявить регулярные частотные и фазовые особенности конечных рядов наблюдений и дает возможность оценивать по дисперсии вейвлет-коэффициентов амплитудные скачкообразные изменения регулярных локальных трендов различных частот.

5. Задаваясь структурой модели нестационарности временного ряда (по среднему значению, дисперсии, спектру) можно оценить впоследст-

вии апостериорные вероятности превышения норм ПДВ на локализованных интервалах времени в пределах заданных периодов наблюдения. Знание такой вероятности позволит не только адаптировать план контроля выбросов к реальным условиям протекания технологических процессов, но и снизить вероятности ошибок контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навч. посіб. — Вінниця: Велес, 2001. — 219 с.
2. Фомин Я.А. Теория выбросов случайных процессов. — М. : Связь, 1980. — 216 с.
3. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. В 3-х кн. Кн. вторая. — М.: Сов. радио, 1975. — 392 с.
4. Малайчук В.П., Мозговий О.В., Петренко О.М. Інформаційно-вимірвальні технології неруйнівного контролю. Навч. посіб.— Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2001. — 240 с.
5. Богданович И. Автоматизированные системы контроля и учета выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферу // Энергетика и ТЭК. — 2010. — № 2. — С. 14—18.
6. Гейко О.Н., Акмедзянов И.Ш., Цвельх Ю.М. Автоматизированный многокомпонентный контроль выбросов промышленных объектов в атмосферу// Технология и конструирование электронной аппаратуры. — 2003. — № 5. — С. 18—22.
7. Любимова Н.А. Планирование контроля загрязняющих выбросов энергетических предприятий // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2014. — № 3. — С. 35—41.
8. Новиков Л.В. Основы вейвлет-анализа сигналов. Учеб. пособие.— СПб: «Модус+», 1999. —152 с.
9. Ososkov G., Shitov A. Gaussian Wavelet Features and their Application for Analysis of Discretized Signals// Computer Physics Communication. — 2000. — Vol. 126. — P. 149—157.
10. Шитов А.Б. Разработка численных методов и программ, связанных с применением вейвлет-анализа для моделирования и обработки экспериментальных данных. Дисс. ... д-ра техн. наук. — Иваново, 2001. — 125 с.
11. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / Под ред. В.С. Коллюка — Киев : Наук. думка, 1978. — 584 с.

N.A. Lyubymova

COMPARATIVE EVALUATION OF POSTERIOR PROBABILITIES OF EMISSIONS IN MULTICOMPONENT PROCESSES OF ATMOSPHERIC POLLUTION BY POWER ENTERPRISE

Possibility of application of the methods of localized spectral analysis is considered for estimating vagueness of the random peak changes in the harmonic non-random constituents of multi-component process of atmosphere pollution by power enterprises. Possibility of comparative evaluation of probabilities of emissions (separately by the components of contamination) is well-proven on the basis of analysis of dispersions of wavelet-coefficients of harmonic constituents of the components controlled in time.

Key words: control, power industry, pollution, environment.

REFERENCES

1. Volodarsky, Ye.T. (2001), *Metrologichne zabezpechennya vymiryuvan i controlyu* [Metrologic support of measurements and control, Manual], Veles, Vinnitsa, Ukraine.
2. Fomin, Ya.A. (1980), *Teoriya vybrosov sluchainykh protsessov* [The theory of emissions of random processes], Svyaz, Moscow, Russia.
3. Levin, B.R. (1975), *Teoreticheskiye osnovy statisticheskoi radiotekhniki* [Theoretical foundations of statistical radio engineering, in 3 books, Book 2], Sovetskoe radio, Moscow, Russia.
4. Malaychuk, V.P., Mozhovyi, O.V. and Petrenko, O.M. (2001), *Informatsiyno-vimiryuvalni tehnologii neruynivnogo kontrolyu* [Information-measuring technologies of nondestructive control, Manual], RVV DNU, Dnipropetrovsk, Ukraine.
5. Bogdanovich, I.V. (2010), “Automated control and accounting of emissions of pollutants and greenhouse gases into the atmosphere”, *Energetika i TEK*, no. 2, pp. 14-18.
6. Geiko, O.N, Akmedzyanov, I.Sh. and Tsvelykh, Yu.M. (2003), “Automated multicontrol emissions of industrial objects into the atmosphere”, *Tekhnologiya i konstruirovaniye elektromnogo oborudovaniya*, no. 5, pp.18-22.
7. Lyubymova, N.A. (2014), “Planning control of polluting emissions of power enterprises”, *Systemni doslidzhennya ta informatsiyi tekhnologii*, no. 3, pp. 35-41.
8. Novikov, L.V. (1999), *Osnovy veivlet-analiza signalov* [Wavelet-based signal analysis, Manual], Modus +, St. Peterburg, Russia.
9. Ososkov, G. and Shitov, A. (2000), “Gaussian wavelet features and their application for analysis of discretized signals”, *Computer Physics Communication*, Vol. 126, pp. 149-157.
10. Shitov, A.B. (2001), “Development of numerical methods and programs relating to the application of wavelet analysis for modeling and analysis of experimental data”, Dr. Sci. (Tech.) thesis, Ivanovo, Russia.
11. *Spravochnik po teorii veroyatnosti i matematicheskoi statistike* (1978), [Handbook on probability theory and mathematical statistics, Ed. by Korolyuk, V.S.], Naukova Dumka, Kyiv, Ukraine.

Поступила 07.07.14;
после доработки 14.09.15

ЛЮБИМОВА Нина Александровна, д-р техн. наук, и.о. зав. кафедрой механизации и электрификации с/х производства Харьковского национального аграрного университета им. В.В. Докучаева. В 1976 г. окончила Харьковский политехнический ин-т, а в 1994 г. — Харьковский государственный университет им. В.Н. Каразина. Область научных исследований — моделирование статистического контроля и диагностики вредных выбросов на электростанциях и предприятиях энергетического комплекса.

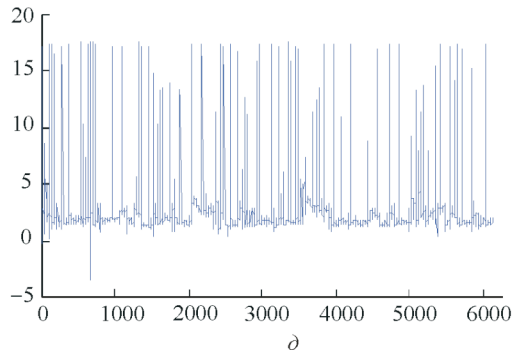
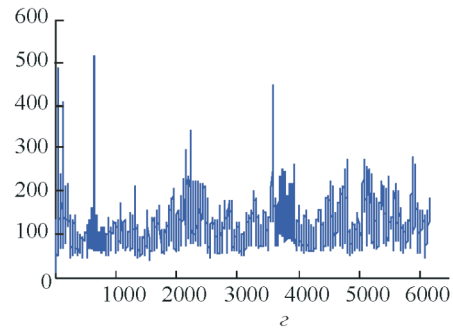
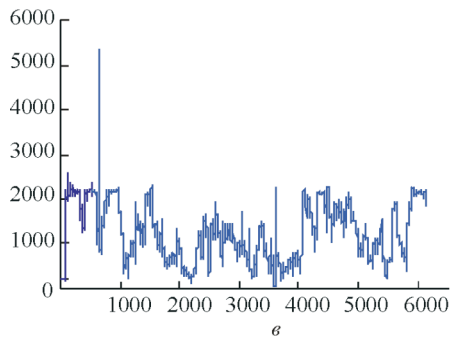
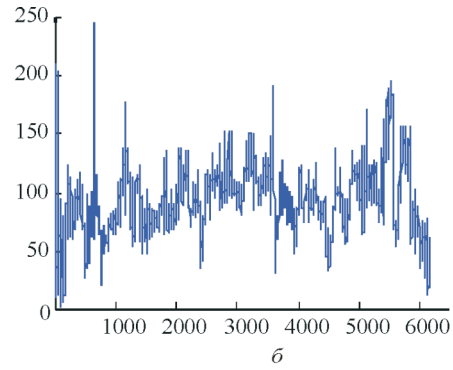
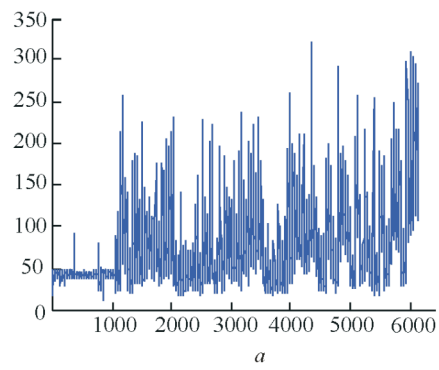


Рис. 1. Реализация измеренных значений компонентов дымового газа (мг/дм³) за время $T_n = 22$ сут (шаг дискретизации 5 мин): *a* — пыль; *б* — NO_x; *в* — SO₂; *г* — CO; *д* — O₂

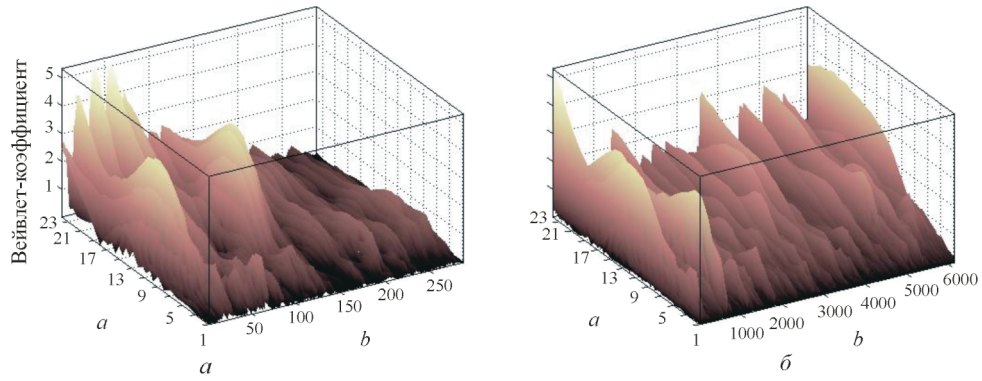


Рис. 2. Типичные трехмерные вейвлет-изображения для компонента загрязнения NO_x при суточном (а) и полном T_n (б) периодах наблюдения нормированного процесса $X_2(t) - \text{NO}_x$

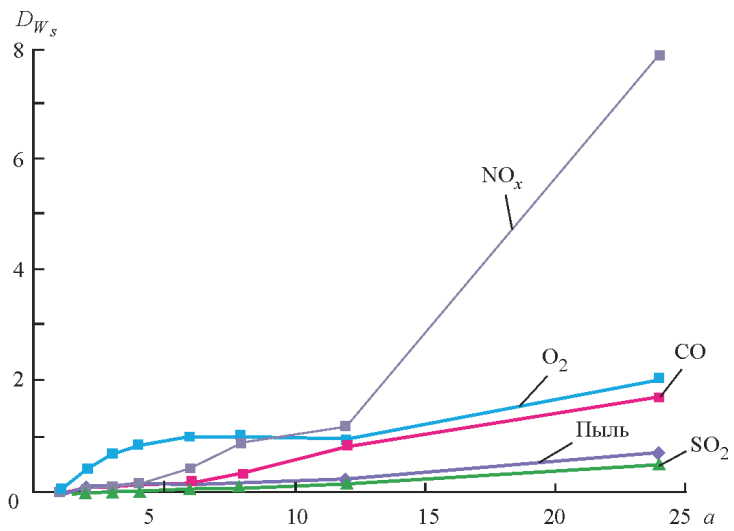


Рис. 3. Графики дисперсии D_{W_s} вейвлет-коэффициентов по различным компонентам контролируемой смеси в зависимости от масштаба a вейвлет-преобразования ($T_n = 22$ сут)