

7. ІНФОРМАЦІЙНІ ТА ЕКСПЕРТНІ СИСТЕМИ У ВИРІШЕННІ ПИТАНЬ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

КОНТРОЛЬ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ CONTROL OF SMOKE GASES OF POWER PRODUCTIONS WITH THE USE OF STATISTICAL MODELS

С.Ф. Артюх¹⁾

Н.А. Любимова²⁾

¹⁾*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»*

²⁾*Харьковский национальный аграрный университет им. В.В. Докучаева,*

Анотація. Доведена можливість статистично значущого виявлення локальних періодичних трендів параметрів, що контролюються, на фоні змін нестационарності по математичному очікуванню, що прогресує.

Ключові слова: енергетика, димові гази, викиди, контроль.

Аннотация Доказана возможность статистически значимого обнаружения локальных периодических трендов контролируемых параметров на фоне прогрессирующих изменений их нестационарности по математическому ожиданию.

Ключевые слова: энергетика, дымовые газы, выбросы, контроль.

Annotation. Possibility is well-proven statistically meaningful discovery of local periodic trends of the controlled parameters on a background making progress changes their unstationarity on the expected value.

Keywords: energy, smoke gases, extrass, control.

Вступление. Основной проблемой контроля технологических выбросов энергопредприятий является априорная неопределенность параметров их случайных изменений на локальных интервалах наблюдения. Это в свою очередь не позволяет совершенствовать вероятностно-статистическую модель многопараметрического контроля, ограничивает его максимальную достоверность, быстрдействие и прогностические свойства.

Актуальность. Большинство работ по контролю и учету газообразных выбросов энергетических предприятий можно разделить на две группы. Во-первых, это работы по техническому и метрологическому обеспечению автоматизированных информационно - измерительных систем данного вида контроля[1-3]. Во-вторых, это работы, посвященные совершенствованию конструкций и показателей технического назначения первичных измерительных преобразователей и датчиков составляющих газовых смесей [4,5]. Работы, посвященные применению многофакторных

статистических моделей анализа нестационарных процессов технологических выбросов – практически отсутствуют.

Цель работы. Показать возможности применения многофакторного дисперсионного анализа кусочно-линейных регрессионных моделей нестационарности в реализациях контролируемых случайных процессов для обнаружения скачкообразных и прогрессирующих изменений в выбросах загрязняющих веществ теплоэлектростанций.

Математическая модель контролируемого процесса

Контролируемые параметры физико-химических показателей, характеризующие те или иные свойства отходов энергетического производства, являются случайными функциями времени. Любой показатель контроля – это непрерывный случайный процесс $X(t)$, чаще всего нестационарный, а его реализация $x(t)$ – это дискретный случайный процесс с дискретным временем.

Рассмотрим математическую модель такой реализации, в которой нестационарность по математическому ожиданию включает два тренда:

- 1) общий линейный, в виде регрессии

$$\hat{X} = A + B \cdot t; \quad (1)$$

- 2) последовательность k частных групповых регрессий со случайными коэффициентами (локальный тренд)

$$\hat{x}_j = a_j + b_j \cdot t, \quad j = \overline{1, k}. \quad (2)$$

С учетом выражений (1) и (2) математическая модель реализации $x(t)$ нестационарного процесса $X(t)$ примет вид:

$$x(t_{ji}) = \bar{X} + B(t_{ji} - \bar{t}) + \Delta_{a,j} + \Delta_{b,j} \cdot t_{ji} + \varepsilon_{ji}, \quad (3)$$

где \bar{X} – общее среднее значение всех результатов измерения;

j – номер группы (частной регрессии);

i – номер результата измерения процесса $x(t)$ внутри j -ой группы; $i = \overline{1, n_j}$;

n_j – число результатов измерений внутри j -ой группы;

\bar{t} – общее среднее время наблюдения;

$\Delta_{a,j}$ – аддитивное смещение внутри j -ой группы, $\Delta_{a,j} = A - a_j$;

$\Delta_{b,j}$ – мультипликативное смещение внутри j - группы, $\Delta_{b,j} = B - b_j$;

ε_{ji} – остаточный шум модели (3).

Наложим линейные ограничения на систематические (Δ_{aj} , Δ_{bj}) и случайное (ε_{ji}) отклонения [6]:

$$\sum_{j=1}^k \Delta_{aj} = 0, \quad \sum_{j=1}^k \Delta_{bj} = 0, \quad \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \varepsilon_{ji} = 0.$$

Кроме этого будем считать остаточную дисперсию случайного отклонения

ε_{ji} постоянной величиной

$$M[\varepsilon_{ji}^2] = \sigma^2,$$

а закон распределения отклонений ε_{ji} – нормальным при условии взаимной независимости этих отклонений:

$$\varepsilon_{ji} \sim NORM(0, \sigma^2); \quad M[\varepsilon_{ji} \cdot \varepsilon_{lr}] = 0, \quad \text{при } j \neq l, i \neq r.$$

Модель статистического контроля

Из математической модели (3) контролируемого процесса $X(t)$ следует, что имеет место три составляющих систематических отклонений $x(t_{ji})$ от общего среднего \bar{X} :

- общее линейное отклонение (общий линейный тренд) $B(t_{ji} - \bar{t})$;
- частные скачкообразные аддитивные отклонения Δ_{aj} (локальный аддитивный тренд).
- частные прогрессирующие отклонения $\Delta_{bj} \cdot t_{ji}$, (локальный мультипликативный тренд).

Перечисленные неслучайные систематические тренды могут отсутствовать, а могут и содержаться в контролируемом процессе $X(t)$. В последнем случае, частные локальные тренды могут провоцировать локальные выбросы процесса $X(t)$, что при наличии общего линейного тренда, повысит вероятность ненормативного загрязнения окружающей среды по данному показателю химического состава X , представленному во времени процессом $X(t)$.

Своевременное обнаружение перечисленных трендов (по отдельности или по множеству) позволит повысить достоверность контроля за счет адаптации процедур его планирования и управления. В этом случае любое изменение должно осуществляться на основе статистических решений, при тестировании модели (3) по реальным группированным результатам $\{\{x_{1i}\}_1^{n_1}, \dots, \{x_{ji}\}_1^{n_j}, \dots, \{x_{ki}\}_1^{n_k}\}$ показателя X на интервале наблюдения $[0, t_{kn_k}]$.

Введем набор статистических решений \mathcal{Y}_0 и \mathcal{Y}_1 , позволяющие соответственно «не отвергнуть» или «отвергнуть» нулевые гипотезы $\{H_0^{(s)}\}_1^3$, $s = \overline{1,3}$:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0^{(1)} : B = 0; \\ H_0^{(2)} : \Delta a_1 = \Delta a_2 = \dots = \Delta a_k = 0; \\ H_0^{(3)} : \Delta b_1 = \Delta b_2 = \dots = \Delta b_k = 0. \end{array} \right\}. \quad (4)$$

Для получения правила выбора соответствующего решения, относительно справедливости перечисленных нулевых гипотез, проведем дисперсионный анализ модели (3). Для этого используем разложение общей суммы квадратов отклонений всех $x(t_{ji})$ от общего среднего \bar{X} .

$$Q = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} [x(t_{ji}) - \bar{X}]^2$$

на составляющие Q_1, Q_2, Q_3 и Q_ε [4]:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_\varepsilon$$

Результаты дисперсионного анализа для проверки гипотез $H_0^{(1)}, H_0^{(2)}, H_0^{(3)}$ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты дисперсионного анализа математической модели (3)

Источник изменений значений модели $x(t_{ji})$	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Средний квадрат
Общий линейный ($B \neq 0$)	$Q_1 = B^2 \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (t_{ji} - \bar{t})^2$	$W_1 = 1$	$\bar{Q}_1 = \frac{Q_1}{W_1}$
Локальный аддитивный ($\Delta a; \neq 0$)	$Q_2 = Q - Q_1 - Q_3 - Q_\varepsilon$	$W_2 = k - 1$	$\bar{Q}_2 = \frac{Q_2}{W_2}$
Локальный мультипликативный ($\Delta b; \neq 0$)	$Q_3 = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (t_{ji} - \bar{t}_j)^2 (b_i - \bar{b})^2$	$W_3 = k - 1$	$\bar{Q}_3 = \frac{Q_3}{W_3}$
Случайный остаточный ($\varepsilon_{ji} \neq 0$)	$Q_\varepsilon = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} [x(t_{ji}) - a_j - b_j t_{ji}]^2$	$W_\varepsilon = N - 2k$	$\bar{Q}_\varepsilon = \frac{Q_\varepsilon}{W_\varepsilon}$
Суммарный общий	$Q = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} [x(t_{ji}) - \bar{X}]^2$	$W = N - 1$	$\bar{Q} = \frac{Q}{W}$

В таблице 1: \bar{t}_j - групповое среднее времени наблюдения, $N = \sum_{j=1}^k n_j$ - общее число

результатов измерения контролируемого показателя за все время наблюдения t_{kn} ;

\bar{b} - средневзвешенный угловой коэффициент локальных трендов

Последний столбец таблицы 1 позволяет сформировать три критериальные F -статистики дисперсионного отношения с соответствующими степенями свободы [6]:

$$F^{(1)} = \frac{\bar{Q}_1}{Q_\varepsilon}, \quad F^{(1)} \sim F_{w_1, w_\varepsilon}; \quad (5)$$

$$F^{(2)} = \frac{\bar{Q}_2}{Q_\varepsilon}, \quad F^{(2)} \sim F_{w_2, w_\varepsilon}; \quad (6)$$

$$F^{(3)} = \frac{\bar{Q}_3}{Q_\varepsilon}, \quad F^{(3)} \sim F_{w_3, w_\varepsilon}; \quad (7)$$

Используя верхние процентные точки F -распределения [6], как критические статистики $F_{кр}$

$$F_{кр} = \{F_{w_1, w_\varepsilon, \alpha}, F_{w_2, w_\varepsilon, \alpha}, F_{w_3, w_\varepsilon, \alpha}\},$$

можно сформулировать следующие правила выбора решений относительно справедливости гипотез (4), таблица 2.

Таблица 2

Правила выбора статистических решений

Проверяемая гипотеза	Решение	
	γ_0	γ_1
$H_0^{(1)}$	$F^{(1)} < F_{w_1, w_\varepsilon, \alpha}$	$F^{(1)} \geq F_{w_1, w_\varepsilon, \alpha}$
$H_0^{(2)}$	$F^{(2)} < F_{w_2, w_\varepsilon, \alpha}$	$F \geq F_{w_2, w_\varepsilon, \alpha}$
$H_0^{(3)}$	$F^{(3)} < F_{w_3, w_\varepsilon, \alpha}$	$F \geq F_{w_3, w_\varepsilon, \alpha}$

Если в модели (3) пренебречь отклонениями Δ_{aj} и $\Delta_{bj} \cdot t_{ji}$, считая их составляющими общего остаточного отклонения

$$Z_{ji} = \Delta\alpha_j + \Delta b_j \cdot t_{ji} + \varepsilon_{ji}, \quad (8)$$

то нулевые гипотезы (4) становятся одной нулевой гипотезой

$$H_0 : B = 0 \quad (9)$$

Гипотеза (9) эквивалентна гипотезе $H_0^{(1)}$, однако вероятность ошибки первого рода при проверке гипотезы H_0 меньше, чем при проверке справедливости гипотезы $H_0^{(1)}$.

Статистика дисперсионного отношения для проверки этой гипотезы вычисляется по выражению

$$F^{(0)} = \frac{Q_1}{(Q_2 + Q_3 + Q_\varepsilon)} \cdot (N - 2) \quad (10)$$

Решения γ_0 или γ_1 принимают в соответствии с правилами:

а) принять решение γ_0 , если $F^{(0)} < F_{1,(N-2),\alpha}$;

б) принять решение γ_1 , если $F^{(0)} \geq F_{1,(N-2),\alpha}$.

Статистика $F^{(0)}$ позволяет с большей достоверностью проверить гипотезу об отсутствии общего линейного тренда (1).

Экспериментальные результаты статистического контроля

Проверка эффективности предложенных статистических моделей нестационарного процесса и процедуры статистического контроля его трендов осуществлялась на примере варианта данных для Старобешевской ТЭС. Контроль газообразных выбросов осуществлялся газоанализатором ULTRAMAT 23, работающим в системах с отбором пробы с одновременным измерением компонентов в одном приборе, с использованием однолучевого метода с многослойным детектором и интегрированной функцией автоматической калибровки, в мае месяце. Анализировалась полученная выборка $N = 6150$ измеренных значений количественного содержания в газообразных выбросах ТЭС концентраций пыли, NO_x , SO_2 , CO , O_2 . На рисунках 1 - 5 представлены типичные зависимости от времени каждого из перечисленных показателей контроля.

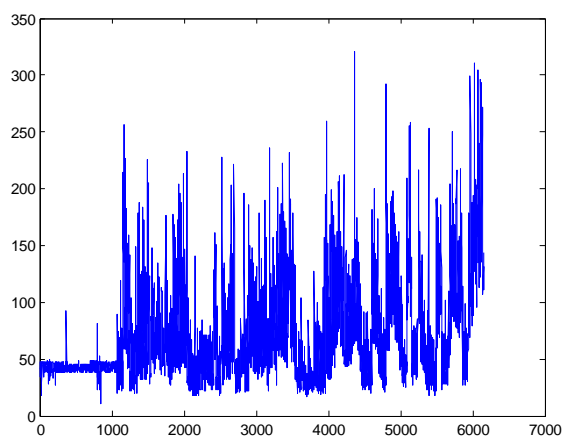
В таблице 3 представлены, для разных K , результаты расчета значений F - статистик (6), (7) и (10) для суточных локальных и общего трендов исследуемых процессов, а также соответствующие решения при уровне значимости $\alpha = 0.05$.

Из таблицы 3 видно, что наибольшее число локальных трендов содержат процессы изменения NO_x (8 решений (γ_1)) и SO_2 (7 решений (γ_1)), с периодами изменений от 8 до $\sim 3,5$ часов ($K = \overline{3,7}$).

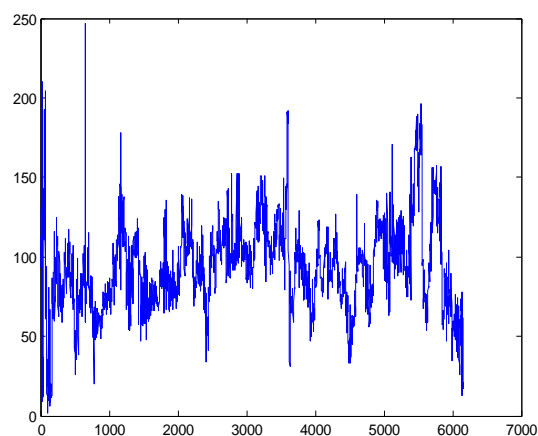
Показатели 1 и 5, для пыли и O_2 , трендов не содержат вообще. У показателя CO имеется один тренд с аддитивной и мультипликативной составляющими, с периодом $\sim 3,5$ часа ($K=7$). Из всех показателей только у NO_x и CO имеются общие линейные суточные тренды (решения (γ_1) для критериальной статистики $F^{(0)}$).

Выводы. 1. Предложенный метод дисперсионного анализа кусочно-линейной регрессионной модели случайных временных рядов, как реализаций нестационарных

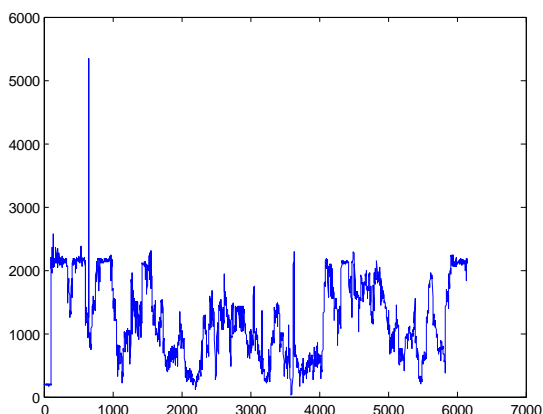
процессов контролируемых концентраций составляющих ингредиентов в газообразных выбросах ТЭС, позволяет независимо оценивать локальные нестационарности по математическому ожиданию, причем отдельно по аддитивному и мультипликативному систематическим изменениям. 2. Рассмотренная модель обнаружения локальных и общих систематических трендов, для наблюдаемых показателей загрязнения атмосферы, дает возможность оценивать взаимозависимость показателей (из таблицы 1 – это NO_x и SO_2), для которых имеют место совпадения решений γ_1 по составляющим локальных трендов. 3. Выявленные в ходе дисперсионного анализа локальные тренды могут быть использованы для адаптации плана контроля выбросов с учетом локализации интервалов времени наблюдения, причем, отдельно по каждому из контролируемых показателей.



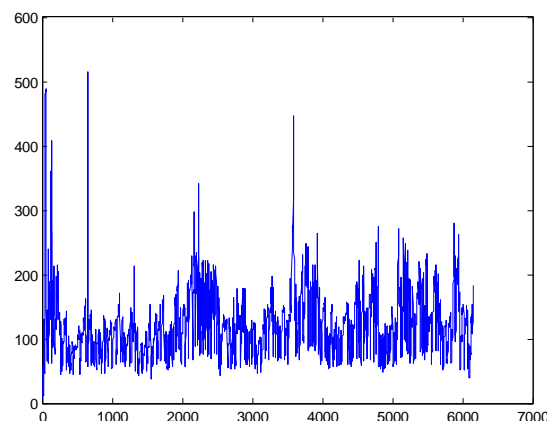
а). Пыль



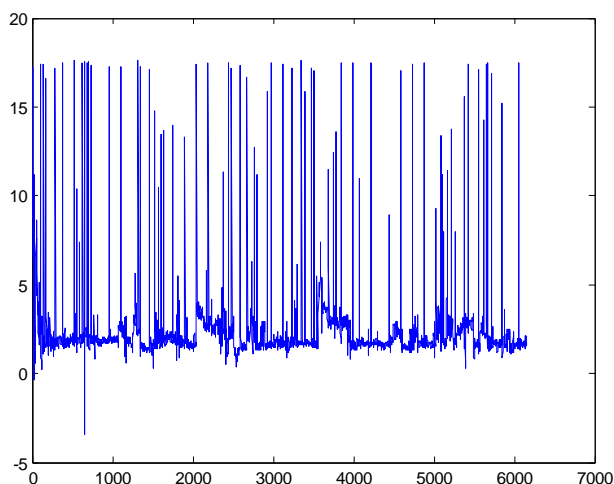
б). NO_x



в) SO_2



г) CO



д) O₂

Рисунок —Типичные реализации контролируемых показателей загрязнения дымовых газов

Таблица 3

Значения критериальных статистик и решения об отсутствии (γ_0) и наличии (γ_1) соответствующего тренда в процессе $x(t)$

K	$F, F^{(2)}, F^{(3)}$ статистика	Значения F - статистик и решения γ_0 или γ_1				
		пыль	NO _x	SO ₂	CO	O ₂
		1	2	3	4	5
3	$F^{(2)}$	0,5542(γ_0)	14,4815(γ_1)	1,670(γ_0)	0,2973(γ_0)	1,1762(γ_0)
	$F^{(3)}$	0,9301(γ_0)	0,1263(γ_0)	2,4998(γ_0)	2,1363(γ_0)	0,4375(γ_0)
4	$F^{(2)}$	0,1203(γ_0)	31,278(γ_1)	26,975(γ_1)	1,4452(γ_0)	2,059(γ_0)
	$F^{(3)}$	0,5555(γ_0)	5,9624(γ_1)	27,937(γ_1)	1,4664(γ_0)	0,6873(γ_0)
5	$F^{(2)}$	0,8722(γ_0)	21,321(γ_1)	44,448(γ_1)	0,0951(γ_0)	3,0374(γ_0)
	$F^{(3)}$	0,2389(γ_0)	5,4653(γ_1)	9,110(γ_1)	2,7703(γ_0)	0,9016(γ_0)
6	$F^{(2)}$	0,9826(γ_0)	24,523(γ_1)	24,691(γ_1)	1,5699(γ_0)	2,243(γ_0)
	$F^{(3)}$	0,7159(γ_0)	16,7536(γ_1)	5,0655(γ_1)	0,4453(γ_0)	0,685(γ_0)
7	$F^{(2)}$	7,294(γ_0)	31,537(γ_1)	1,6128(γ_0)	15,964(γ_1)	0,6184(γ_0)
	$F^{(3)}$	1,7849(γ_0)	2,3756(γ_0)	4,3516(γ_1)	4,599(γ_1)	0,6402(γ_0)
Статистика $F^{(0)}$		0,0017(γ_0)	16,283(γ_1)	3,886(γ_0)	15,069(γ_1)	4,175(γ_0)

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданович И. Автоматизированные системы контроля и учета выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферу / И. Богданович // Энергетика и ТЭК. - №2. – 2010. – с. 14 – 18.
2. Гейко О.Н., Акмедзянов И.Ш., Цвельх Ю.М. Автоматизированный многокомпонентный контроль выбросов промышленных объектов в атмосферу / О.Н.Гейко, И.Ш. Акмедзянов, Ю.М. Цвельх // Технология и конструирование электронной аппаратуры. - №5. – 2003.- с.18-22
3. У. Марікуца. Особливості побудови програмного забезпечення системи моніторингу навколишнього середовища / У. Марікуца, Б. Березнюк, І. Фармага // Lviv Politechnic National University Institutional Repository <http://ena.lp.edu.ua> 2011. – с.31-34
4. Хватов В.Ф. Научные основы методов и средств контроля экологического состояния автотранспорта и его воздействия на окружающую среду: дисс. докт. техн. наук: 05.11.13/Владимир Филиппович Хватов –СП.; 2007. – 332 с.
5. Шестопалов А.В., Повышение точности контроля концентрации выбросов в атмосфере города стационарными источниками: дисс. канд. техн. наук: 05.11.13./ Александр Владимирович Шестопалов – Омск.; 2007. – 114 с.
6. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента. Пер. С англ.. Н. Джонсон, Ф. Лион. М.: Мир,1981. – 520 с.

КОНТРОЛЬ УРОВНЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ ЧЕЛОВЕКА-ОПЕРАТОРА- ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

CONTROL LEVEL PROFESSIONAL RELIABLE PERSON-OPERATOR-PROBLEMS AND SOLUTIONS

Студент А.Н. Охрименко, руководители В.Г. Брусенцов, О.В. Брусенцов

Украинский государственный университет железнодорожного транспорта

Аннотация. Рассматривается вопрос создания информационной экспертной системы контроля уровня профессиональной надежности человека-оператора.

Ключевые слова: профессиональная надежность, объективная оценка

Анотація. Розглядається питання створення інформаційної експертної системи контролю рівня професійної надійності людини-оператора.

Ключові слова: професійна надійність, об'єктивна оцінка

Annotation The question of creating an information expert system controls the level of professional reliability of the human operator.

Keywords: professional reliable, objective evaluation

Вступление. Безопасность движения является главной задачей любого вида транспорта, в том числе железнодорожного. Ее обеспечению существенно помогает внедрение информационных и экспертных систем, позволяющих, используя