

Любимова Н. А.

ПЛАНИРОВАНИЕ КОНТРОЛЯ НАРУШЕНИЙ СТАЦИОНАРНОСТИ ПОТОКА ВЫБРОСОВ ОТХОДОВ ПРИ ФИКСИРОВАННОМ ВРЕМЕНИ НАБЛЮДЕНИЯ

В данном исследовании рассматривается планирование контроля нарушений стационарности потока выбросов дымовых газов ТЭС для реальных условий при фиксированном времени наблюдения. Предлагается возможность коррекции несовершенства информационных технологий за счет использования контрольно-предупредительных интервалов. Это повысит качество и достоверность контроля, уменьшит ошибки и экономические затраты.

Ключевые слова: контроль, выбросы, загрязнения, время, контрольно-предупредительный интервал, статистическая значимость, достоверность.

1. Введение

В настоящее время решение любой из многочисленных задач защиты и сохранения окружающей среды от загрязнения отходами промышленных предприятий связано с использованием информационно-измерительных систем и технологий контроля загрязнений. Правильность решений должна быть нормативно обоснована в виде задаваемых вероятностных показателей качества контроля (уровня его значимости, достоверности и вероятности ошибок).

В общем случае, поток событий представляет последовательность случайных точек на оси времени с разделяющими их случайными интервалами. Поток событий генерируется случайным процессом $x(t)$, который определяется изменениями во времени случайной величины X (компоненты загрязнения), причем генерация любого из событий потока происходит при нарушениях стационарности процесса (по математическому ожиданию, дисперсии, спектру и т. д.). Такие нарушения порождают неопределенность при контроле процессов технологического загрязнения, усложняя вероятностные свойства и динамические особенности процессов. Планирование контроля загрязнения часто проходит в условиях невозможности изменения технологического процесса в целях эксперимента, а также при фиксированном времени наблюдения, что создает дополнительные погрешности. Вышеперечисленное актуализирует данное исследование, позволяет сгладить противоречие между отпущенными экономическими средствами при планировании контроля и получением максимума необходимой информации для выполнения регламентных требований.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Исследования в области математической теории выбросов случайных процессов охватывают круг задач, связанных с исследованиями вероятностных свойств экстремальных значений процессов, числа пересечений заданного уровня, длительности интервалов времени

между пересечениями [1–9]. Контроль стационарности потоков выбросов, как пуассоновского потока случайных событий, теоретически исследован в моделях временной дискретизации нормальных случайных процессов [3, 4], в том числе и процессов с нарушениями стационарности.

Однако, реальные процессы загрязнения в большинстве случаев не являются гауссовскими процессами. На рис. 1, а, б представлены гистограммы законов распределения компонент «пыль» и SO_2 в процессах загрязнения воздушной среды отходами теплоэлектростанциями.

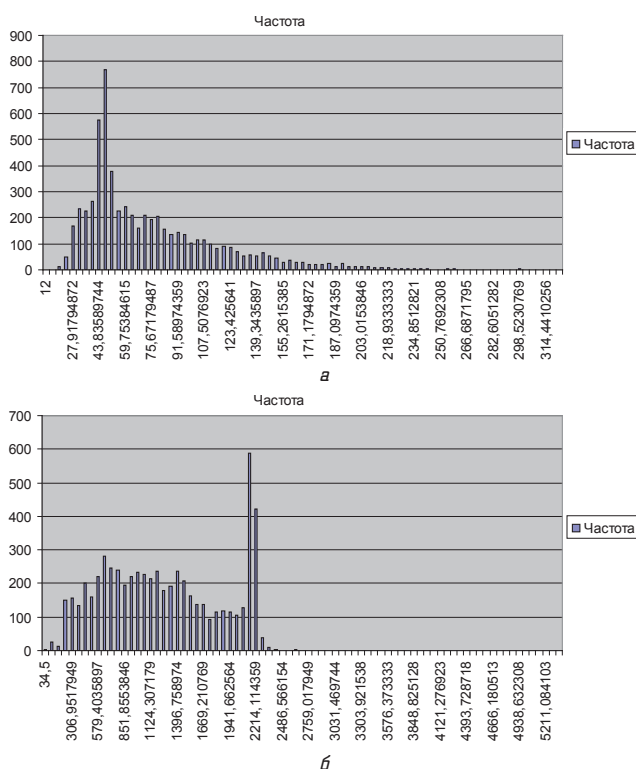


Рис. 1. Типичные гистограммы законов распределения вероятностей в компонентах процессов загрязнения воздушного загрязнения ТЭС: а — пыль; б — SO_2

Гистограммы рис. 1, а, б наглядно показывают несимметричность законов распределения процессов загрязнения и их отличие от вероятностной модели нормального закона [10]. Точность регистрации таких превышений норм технологического регламента определяется метрологическими свойствами средств измерительного контроля и методическими погрешностями процедур измерения в конкретных условиях измерительных экспериментов.

Оценка стационарности и спектральных особенностей приведенных процессов загрязнения позволит уменьшить априорную неопределенность и даст возможность для усовершенствования процедуры контроля. Планирование контроля потоков выбросов должно учитывать не только объемы выборок результатов измерений, но и порядок их проведения [6].

3. Объект, цель и задачи исследования

Объектом исследования явился процесс контроля загрязнения окружающей среды дымовыми газами ТЭС.

Целью данного исследования является выбор правила принятия решений на основе критерия, обеспечивающего заданную достоверность контроля, и гарантирующего минимизацию тех его рисков, которые определяют уровень экономических потерь при появлении экологических нарушений при фиксированном времени наблюдения.

Для разработки планов контроля выбросов в процессах промышленного загрязнения необходимо решить следующие задачи:

- определить условия измерений, параметры вероятностных моделей объекта контроля и показатели эффективности контроля, максимизирующие количество получаемой в ходе контроля информации;
- разработать статистическую модель измерительного контроля количественных превышений норм (ПДВ, ПДС...) и определить параметры модели, минимизирующей неопределенность решений в ходе такого контроля.

4. Экспериментальное исследование дымовых газов ТЭС

В результате проведенного эксперимента дымовых газов ТЭС были получены экспериментальные данные по пяти загрязнителям: «пыль», SO₂, NO_x, CO, O₂ (объем выборок $N = 6152$ точки) за один месяц при 5-ти минутном шаге опроса электроннолучевым прибором ULTRAMAT-23. Предметом исследования явились методы повышения достоверности контроля параметров загрязнения на локальном интервале наблюдения.

5. Организация контроля при фиксированном времени наблюдения

В табл. 1 представлены точечные оценки [3, 10] числовых характеристик случайных процессов загрязнения по компонентам: «пыль», SO₂, NO_x, CO, O₂ (объем выборок $N = 6152$ точки).

Из табл. 1 видно, что коэффициенты асимметрии и эксцесса для контролируемых компонент загрязнения отличаются от нуля, что свидетельствует об их априори негауссовском распределении вероятностей.

Таблица 1

Числовые характеристики процесса многокомпонентного воздушного загрязнения

Компонента загрязнения	Числовые характеристики процесса				
	среднее	дисперсия σ^2	СКО σ	коэффициент асимметрии	коэффициент эксцесса
Пыль	73,25	1808,528	42,5267	1,561582	2,930962
NO _x	96,68525	726,4026	26,9518	0,384603	1,345558483
SO ₂	1230,80	389081,4	623,76389	0,164881	-0,919651
CO	122,6517	2140,277	46,26312	1,44879	5,733235
O ₂	5,6876	2,715175	1,6469	6,768785	54,687

Рассмотрим стандартный тест [3, 7] на стационарность для пуассоновского потока событий с нормой λ_0 и ее нарушенным значением $\lambda_1 > \lambda_0$.

В этом случае основная H_0 и альтернативная H_1 гипотеза имеют вид:

$$H_0: \lambda = \lambda_0,$$

$$H_1: \lambda = \lambda_1.$$

Рассмотрим отношение правдоподобия для условных законов распределения Пуассона [7]:

$$\Lambda = \frac{P(K|\lambda_1)}{P(K|\lambda_0)}.$$

Если время наблюдения T фиксировано, то логарифм этого отношения имеет вид:

$$\ln \Lambda = K \ln \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_0} \right) - (\lambda_1 - \lambda_0)T. \quad (1)$$

Норма λ_1 для нарушения стационарности определяется, как линейная функция отношения процентных точек χ^2 — распределения с $2K$ степенями свободы (где K — число событий в потоке за время T):

$$\lambda_1 = \lambda_0 \frac{\chi_{K,1-\beta}^2}{\chi_{K,\alpha}^2}, \quad (2)$$

где α и β — заданные планом риски контроля, соответственно 1-го и 2-го рода. Решения γ_0 (поток стационарен) и γ_1 (стационарность нарушена) принимают в соответствии с моделью:

$$\begin{cases} \gamma_0: & \text{если } \ln \Lambda \geq 0, \\ \gamma_1: & \text{если } \ln \Lambda < 0. \end{cases} \quad (3)$$

Используя выражение (1) можно представить модель принятия решения (3) в одном из двух вариантов:

$$\text{а) } \begin{cases} \gamma_0 : K < (\lambda_1 - \lambda_0) \cdot T [\ln(\lambda_1/\lambda_0)]^{-1}, \\ \gamma_1 : K \geq (\lambda_1 - \lambda_0) \cdot T [\ln(\lambda_1/\lambda_0)]^{-1}; \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{б) } \begin{cases} \gamma_0 : T > K [\ln(\lambda_1/\lambda_0)] (\lambda_1 - \lambda_0)^{-1}, \\ \gamma_1 : T \leq K [\ln(\lambda_1/\lambda_0)] (\lambda_1 - \lambda_0)^{-1}. \end{cases} \quad (5)$$

6. Повышение статистической значимости полученных решений

Если время наблюдения T — мало, то при небольшом числе K случайных событий (экстремальных выбросов) моделей (4) и (5) надо использовать с известной осторожностью [3, 5], поскольку норма λ_1 не будет соответствовать функции (2) ее линейного определения.

Используем для повышения статистической значимости решений γ_0 и γ_1 , систему контрольно-предупредительных границ $\{U_0, \dots, U_K\}$, рассмотренных в [11]. Превышение значений процесса $x(t)$ любой из контрольно-предупредительных границ порождает случайное событие, причем среднее число таких событий за единицу времени уменьшается, по мере увеличения величины этой границы. Повышение контрольно-предупредительной границы от значения U_0 до предельного $U_K \ll U_0$ не только уменьшает интенсивность λ потока случайных событий, как превышений соответствующей границы процессов $x(t)$.

Во-первых, такое уменьшение λ можно рассматривать, как следствие «прореживания» исходного (для границы U_0) потока событий, причем такой исходный поток является не пуассоновским, а потоком Эрланга [3]. Превращение последнего в поток событий Пуассона реально осуществим лишь в пределе, при очень большом значении границы U_K . Невыполнение этого условия порождает неточность определения нормы λ_1 по выражению (2).

Во-вторых, уменьшение λ можно рассматривать как уменьшение вероятности $P(K)$ в законе Пуассона. Для простейшего потока событий вероятность того, что на участке времени длины T наступит ровно k событий определяется по формуле [4, 5]:

$$P(k) = \frac{(\lambda T)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda T}, \quad (6)$$

что позволяет оценить вероятности попадания процесса $x(t)$ в любой из контрольно-предупредительных интервалов $\{\Delta U_1, \dots, \Delta U_K\}$:

$$\hat{P}_i = P(K | U_{i-1}) - P(K | U_i). \quad (7)$$

Перераспределение этих вероятностей в сторону увеличения коэффициента асимметрии распределения $f(x)$ приведет к увеличению среднего значения \bar{m}_Δ для параметра нестационарности Δ [3, 7–9]. Обозначим как

\hat{P}_i — оценку вероятности попадания процесса $x(\Delta t_j)$, $j = \overline{1, N}$, на интервале времени Δt_j для j -го интервала дискретизации. Если $\bar{u}_j = 0,5(u_{i-1} + u_i)$ — среднее значение i -го интервала Δu_i , то оценка среднего значения параметра смещения будет определяться выражением:

$$\bar{m}_\Delta = \left(\sum_{i=1}^k \bar{u}_i \cdot \hat{P}_i \right) - m. \quad (8)$$

Величина \bar{m}_Δ может рассматриваться как оценка, дисперсия которой σ_m^2 определяется относительной погрешностью γ измерения значения $x(\Delta t_j)$ процесса $X(\Delta t_j)$ и дисперсией $\sigma_{\hat{P}_i}^2$ оценки вероятности \hat{P}_i . Это наглядно иллюстрирует выражение (8), если предположить, что вероятности \hat{P}_i для $i > (k/2 + 1)$ увеличатся, а вероятности \hat{P}_i для $i < (k/2 - 1)$ — уменьшатся, что эквивалентно возрастанию среднего \bar{m}_Δ .

Такое перераспределение вероятностей \hat{P}_i можно дополнительно контролировать с помощью непараметрического критерия Вилкоксона [10], используя в качестве сравниваемых выборок, объемами по k значений каждая, вероятности \hat{P}_i , $i = \overline{1, k}$, рассчитанные для двух последовательных периодов T наблюдения, или используя образцовую и реальную последовательности вероятностей $\hat{P}_1, \dots, \hat{P}_k$.

Данный подход полезен при планировании контроля многокомпонентного загрязнения, когда необходимо определить приоритетный загрязнитель по степени нарушения стационарности на локальных интервалах времени. Достоинством метода является возможность ранжирования загрязнителей по степени появления выброса (8). В дальнейшем целесообразно продолжить и усовершенствовать планирование при случайном времени наблюдения.

7. Выводы

1. Предложена методика оценивания среднего значения параметра нестационарности за счет введения системы контрольно-предупредительных границ (интервалов), что позволяет, выражение (8), находить оценки параметра нестационарности отдельно для каждой из компонент общего многокомпонентного процесса загрязнения. Это позволяет ранжировать компоненты по степени уменьшения опасности появления в их процессах одиночных выбросов (по степени уменьшения их параметра нестационарности).

2. Теоретически исследованы модели процедур контроля потока выбросов при постоянном времени наблюдения контролируемого процесса загрязнения и получены условия принятия решений, выражения (4), (5), обеспечивающие заданные заранее риски контроля первого и второго рода.

Литература

- Jacobson, M. Z. Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security [Text] / M. Z. Jacobson // Energy & Environmental Science. — 2009. — Vol. 2, № 2. — P. 148–173. doi:10.1039/b809990c

2. Ryan, T. P. Statistical Methods for Quality Improvement [Text] / T. P. Ryan. — Ed. 3. — New York: Wiley, 2011. — 704 p. doi:10.1002/9781118058114
3. Тихонов, В. И. Случайные процессы. Примеры и задачи [Текст]. Т. 2. Линейные и нелинейные преобразования: учеб. пос.; в 4-х т. / В. И. Тихонов, Б. И. Шахтарин, В. В. Сизых. — М.: Радио и связь, 2004. — 400 с.
4. Гихман, И. И. Теория случайных процессов [Текст] / И. И. Гихман, А. В. Скороход. — М.: Книга по требованию, 2012. — 664 с.
5. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения [Текст]: учеб. пос. / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. — М.: Высшая школа, 2007. — 490 с.
6. Щапов, П. Ф. Планирование профилактического контроля маслonaполненного энергетического оборудования для выявления процессов старения с заданной достоверностью принятия решений [Текст] / П. Ф. Щапов // Электротехника и электромеханика. — 2005. — № 3. — С. 65–68.
7. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники [Текст]: в 3-х кн. / Б. Р. Левин. — М.: Советское радио, 1976. — Кн. 3. — 288 с.
8. Круглов, В. М. Случайные процессы [Текст]: учебник / В. М. Круглов. — М.: ИЦ Академия, 2013. — 336 с.
9. Шахтарин, Б. И. Случайные процессы в радиотехнике [Текст]. Т. 1. Линейные преобразования / Б. И. Шахтарин. — М.: Горячая линия-Телеком, 2010. — 520 с.
10. Чашкин, Ю. Р. Математическая статистика. Анализ и обработка данных [Текст]: учеб. пос. / Ю. Р. Чашкин; под ред. С. Н. Смоленского. — М.: Феникс, 2010. — 236 с.
11. Артюх, С. Ф. Оценка параметров случайных процессов загрязнения окружающей среды энергетическими предприятиями [Текст] / С. Ф. Артюх, Н. А. Любимова // Вестник НТУ «ХПИ». — 2014. — № 24(1067). — С. 11–16.

ПЛАНУВАННЯ КОНТРОЛЮ ПОРУШЕНЬ СТАЦІОНАРНОСТІ ПОТОКУ ВИКИДІВ ВІДХОДІВ ПРИ ФІКСОВАНОМУ ЧАСІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

В даному дослідженні розглядається можливість планування контролю порушень стаціонарності потоку викидів димових газів ТЕС у реальних умовах при фіксованому часі дослідження. Запропонована можливість корекції недосконалості інформаційних технологій за рахунок використання контрольно-попереджувальних інтервалів. Це дозволить підвищити якість контролю, його вірогідність, зменшити помилки та економічні витрати.

Ключові слова: контроль, викиди, забруднення, час, контрольно-попереджувальний інтервал, статистична значущість, вірогідність.

Любимова Ніна Александровна, доктор технічних наук, професор, кафедра механізації та електрифікації сільськогосподарського виробництва, Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва, Україна, e-mail: n.liubimova@mail.ru.

Любимова Ніна Олександрівна, доктор технічних наук, професор, кафедра механізації та електрифікації сільськогосподарського виробництва, Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва, Україна.

Lyubymova Nina, Kharkiv National Agriculture University named after V. V. Dokuchaev, Ukraine, e-mail: n.liubimova@mail.ru

УДК 006.91

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.59871

**Тыманюк К. С.,
Костенко В. Л.**

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИТЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ДВИГАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЯ

В статье рассмотрены результаты исследований по созданию автоматизированной системы, реализующей итеративный метод контроля технического состояния двигателя транспортного средства, которая позволяет выбрать необходимое сочетание операций контроля для сокращения времени процедуры диагностики. Предложен алгоритм диагностики для автоматизированной системы контроля технического состояния двигателя транспортного средства. Результаты исследований апробированы в условиях коммерческого сервиса легковых автомобилей.

Ключевые слова: итеративный метод, алгоритм, параметр, техническое состояние.

1. Введение

Неразрушающий контроль и диагностика является одним из наиболее востребованных инструментов для проведения оценки состояния агрегатов автомобиля во время сервисного обслуживания. Современный автомобильный двигатель состоит из ряда систем, нарушение функционирования которых ведет к взаимному изменению информации о состоянии каждой системы в отдельности, что вызывает сложность при выборе необходимых методов контроля технического состояния и необходимость применения новых алгоритмов и методик контроля и диагностики [1].

При этом, несмотря на широкое применение многофункциональных диагностических комплексов для диагностики систем автомобильного двигателя в условиях технического сервиса, они не лишены недостатков связанных с длительным временем оценки технического состояния. Однако многие диагностические процедуры дублируют данные о параметрах работы систем двигателя внутреннего сгорания (ДВС), это может служить основой для сокращения диагностических операций путем совмещения взаимодополняющих методов.

Таким образом актуальным является анализ диагностических методов и выбор необходимых параметров для оценки технического состояния автомобильного