

УДК 658.562

Н.А. ЛЮБИМОВА

Харьковский национальный аграрный университет им. В. В. Докучаева

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ДЕФЕНОЛЯЦИИ СБРОСОВ КОКСОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Рассмотрены возможности последовательного контроля загрязнения окружающей среды сточными водами коксохимического предприятия. В математической модели процедур принятия статистических решений учитывались требования плана контроля (норма, риски первого и второго рода, объем выборки и зоны допуска). Использование моделей последовательного контроля с расчетом контрольно-предупредительного интервала позволило своевременно принять решение про возможные технологические нарушения и предотвратить аварийные ситуации.

Ключевые слова: контроль, планирование, сбросы, технологические нарушения, профилактика.

Н.О. ЛЮБИМОВА

Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва

ПОСЛІДОВНИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСУ ДЕФЕНОЛЯЦІЇ СКИДІВ КОКСОХІМІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

Розглянуті можливості послідовного контролю забруднення навколишнього середовища стічними скидами коксохімічного виробництва. В математичній моделі процедур прийняття статистичних рішень враховані вимоги плану контролю (норма, ризики першого та другого роду, об'єм вибірки та зони допуску). Використання моделей послідовного контролю із розрахунком контрольно-попереджувального інтервалу дозволило своєчасно прийняти рішення про можливі технологічні порушення та попередити аварійні ситуації.

Ключові слова: контроль, планування, скиди, технологічні порушення, профілактика.

N. LYUBIMOVA

Kharkiv National Agrarian University after V.V. Dokuchaev

SEQUENTIAL CONTROL FOR THE DISTILLATION OF PHENOL IN WATTER DISCHARGES IN THE COKE PRODUCTION

Some possibilities of sequential control for environmental pollution by waste waters of a coking plant are considered. In the presented mathematical model of procedures for making statistical decisions, the requirements of control plan (the norm, the risks of first and second kind, the sample size and the tolerance zone) have been taken into account. The use of such sequential control models with the calculation of the control and warning interval allows us to make prompt decisions about possible technological violations and to prevent accidents.

Keywords: control, planning, water discharges, and technological violations, prevention.

Постановка проблемы

В настоящее время при организации контроля процессов промышленного загрязнения окружающей среды известные методы повышения достоверности контроля практически не используются, поскольку, в большинстве случаев, речь идет лишь об экологическом мониторинге. При этом, как правило, проводятся наблюдения, оценка и прогнозирование состояния окружающей среды в условиях хозяйственной деятельности людей.

Существуют объективные предпосылки для глубокой модернизации общей концепции и частных решений в области контроля процессов технологического промышленного загрязнения окружающей среды. Назрела насущная необходимость разработки новых вероятностно-статистических подходов к изучению закономерностей протекания случайных, комплексно-нестационарных процессов загрязнения, разработке на этой основе новых методов планирования процедур измерения и контроля с повышенной или заданной достоверностью.

Анализ последних исследований и публикаций

Наиболее полно математические модели планирования разработаны для задач статистического контроля промышленной продукции [1–3]. Вопросы планирования контроля качества продукции освещены также в работах по статистическому управлению многомерными процессами на базе карт контроля [4–5], в работах, посвященных прикладным задачам статистического анализа контролируемых временных рядов и оптимизации альтернативных решений [6–7]. Однако, в большинстве задач планирования контроля процессы принимаются стационарными, задается вероятность ошибки только первого рода, а вероятностная модель факторного влияния во всех случаях – параметрическая. Эта же модель используется и в процедурах контроля нестационарности [8].

Формулирование цели исследования

Цель статьи – показать возможности использования последовательного контроля процесса очистки сбросов коксохимического завода на примере дефеноляции сточных вод для своевременного выявления параметрических отклонений в функционировании цеха биохимической очистки и дальнейшей профилактики технологических нарушений.

Изложение основного материала исследования

Технологические особенности дефеноляции сточных вод. Для качественного проведения указанных технологических процессов необходимо организовать соответствующий данной очистке контроль и управление процессом. Сущность биохимической очистки сточных вод заключается в способности микроорганизмов использовать в качестве питательных веществ органические и некоторые неорганические загрязнения сточных вод путем их биохимического окисления. В процессе очистки часть окисляемых микроорганизмами загрязнений расходуется на образование биомассы, а вторая – превращается в безвредные продукты: углекислый газ (CO_2) и (H_2O). Применение биохимического способа позволяет осуществить наиболее полную очистку от растворимых органических загрязнений до 95-98 %. Процесс очистки сточных вод происходит в аэротенках при помощи активного ила [9].

Контрольные точки [10], определяющие места расположения первичных источников информации о контролируемых параметрах водного загрязнения сбросов завода соответствуют следующим элементам технологической схемы: аммонийная колонна; усреднители; аэротенки; водосборник.

Были учтены предельно допустимые значения верхних границ допусковых интервалов на контролируемые показатели загрязнений сточных вод. В процессе исследования были обработаны карты контроля цеха биохимической очистки воды Харьковского коксохимического завода с основными регламентированными показателями (фенол, роданиды, аммиак летучий, водородный показатель, фосфаты, смолы, хлориды и другие) за год. Используя полученные данные, был произведен расчет параметров последовательного контроля технологических нарушений при биохимической водоочистке сбросов. Построен график граничных реализаций типичных процессов водного загрязнения в контрольных точках БХУ. Они представлены на рис. 1. В первую очередь, необходимо контролировать нарушение стационарности потока выбросов концентрации фенола в точке, для которой поток выбросов имеет максимальную корреляцию с выбросами процесса, регистрируемых в других контрольных точках.

Контроль при фиксированном времени наблюдения. Исследования в области математической теории выбросов случайных процессов охватывают широкий круг задач, связанных с исследованиями вероятностных свойств экстремальных значений процессов, числа пересечений заданного уровня, длительности интервалов времени между пересечениями [11]. Контроль стационарности потоков выбросов, как пуассоновского потока случайных событий, теоретически исследован в моделях временной дискретизации нормальных случайных процессов [9, 11], в том числе и процессов с нарушениями стационарности. Однако, реальные процессы загрязнения в большинстве случаев не являются гауссовскими процессами. Построенные реализации концентрации водного загрязнения фенолами в течение года показали их априори негауссовское распределение вероятностей.

Рассмотрим стандартный тест [12] на стационарность для пуассоновского потока событий с нормой λ_0 и ее нарушенным значением $\lambda_1 > \lambda_0$. В этом случае основная и альтернативная гипотеза (отсутствие – H_0 или наличие – H_1 выброса) имеют вид:

$$\begin{aligned} H_0 : \lambda &= \lambda_0 \\ H_1 : \lambda &= \lambda_1 \end{aligned}$$

Рассмотрим отношение правдоподобия для условных законов распределения Пуассона:

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

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-ого и 2-ого рода. Решения γ_0 (поток стационарен) и γ_1 (стационарность нарушена) принимают в соответствии с моделью:

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

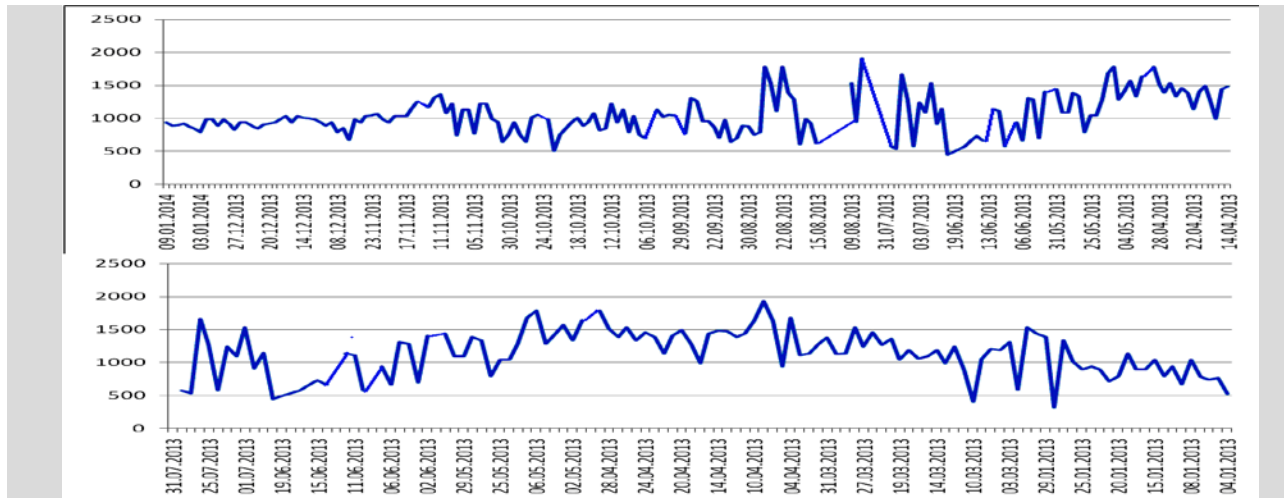


Рисунок 1 – Граничные реализации концентрации фенола и роданидов в БХУ коксохимзавода

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

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

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

Контроль при случайном времени наблюдения. Такой контроль использует последовательные процедуры принятия решений [11], позволяющие сократить при заданной достоверности среднюю длительность \bar{T} времени наблюдения процесса $x(t)$. В этом случае удобнее использовать, в качестве измеряемой дискретной случайной величины, количество K экстремальных выбросов, превышающих норму (например, U_K). Модель принятия решений будет предусматривать три решения: γ_0 , γ_1 и решение γ_{01} – продолжить контроль. Критериальная статистика базируется на отношении правдоподобия, логарифм которого представлен выражением (1).

В качестве порогов сравнения используют величины

$$\begin{cases} c_1 = \ln[\beta / (1 - \alpha)], \\ c_2 = \ln[(1 - \beta) / \alpha]. \end{cases} \quad (6)$$

Риски контроля α и β задаются планом контроля, а решения γ_0 , γ_1 и γ_{01} выбирают исходя из следующей модели:

$$\begin{cases} \gamma_0 = \ln \Lambda \leq c_1, \\ \gamma_1 = \ln \Lambda \geq c_2, \\ \gamma_{01} = c_1 < \ln \Lambda < c_2. \end{cases} \quad (7)$$

Модель (7) может быть представлена в развернутом, относительно времени и постоянных λ_0 , λ , в виде:

$$\begin{cases} \gamma_0: K \leq T \cdot \frac{(\lambda_1 - \lambda_0)}{\ln(\lambda_1 / \lambda_0)} - \frac{\ln[(1 - \alpha) / \beta]}{\ln(\lambda_1 / \lambda_0)}, \\ \gamma_1: K \geq T \cdot \frac{(\lambda_1 - \lambda_0)}{\ln(\lambda_1 / \lambda_0)} + \frac{\ln[(1 - \beta) / \alpha]}{\ln(\lambda_1 / \lambda_0)}, \\ \gamma_{01}: T \cdot \frac{(\lambda_1 - \lambda_0)}{\ln(\lambda_1 / \lambda_0)} - \frac{\ln[(1 - \alpha) / \beta]}{\ln(\lambda_1 / \lambda_0)} < K < T \cdot \frac{(\lambda_1 - \lambda_0)}{\ln(\lambda_1 / \lambda_0)} + \frac{\ln[(1 - \beta) / \alpha]}{\ln(\lambda_1 / \lambda_0)}, \end{cases} \quad (8)$$

которая тем уже, чем больше задаваемые планом риски контроля α и β .

В этом случае снижается длительность T времени наблюдения процесса $x(t)$, до принятия окончательного решения γ_0 или γ_1 относительно справедливости гипотез H_0 ($\lambda = \lambda_0$ и $\lambda = \lambda_1 > \lambda_0$).

Поскольку фактическое время контроля T – величина случайная, то допускается усеченный план контроля, в соответствии с которым задают предельно возможное число случайных событий K_{\max} [11]. Если значение K_{\max} достигнуто, то решения γ_0 или γ_1 выбирают в соответствии с моделью:

$$\begin{cases} \gamma_0 \cdot K_{\max} < Q, \\ \gamma_1 \cdot K_{\max} \geq Q, \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{где } Q = \frac{T(\lambda_1 - \lambda_0) + 0,5\{\ln[(1 - \beta)/\alpha] - \ln[(1 - \alpha)/\beta]\}}{\ln(\lambda_1/\lambda_0)}. \quad (10)$$

Все коэффициенты корреляции рассчитаны по выборкам объемом 218 результатов измерений концентрации фенола в сточных водах коксохимического завода (по каждой контрольной точке) в течении года. Максимальную корреляцию с потоками выбросов имеет поток на выходе аммонийной колонны (сводный коэффициент корреляции – максимален). Контроль этого потока выбросов позволяет получить максимум информации о вероятных нарушениях в технологии очистки сточных вод для всех элементов биохимического участка (БХУ).

Расчет параметров плана последовательного контроля фенольного загрязнения сточных вод осуществлялся в два этапа: определялась норма λ_1 (выражение (2)), при заданной норме $\lambda_0 = 0,324$ (сутки⁻¹), заданных рисках контроля 1-ого (α) и 2-ого (β) рода и объеме выборки K по контролируемым выбросам; рассчитывались коэффициенты: приемочной – K_{np} и браковочной – $K_{бр}$ прямых, как линейно функциональных границ зоны допуска (решение γ_0), критической зоны (решение γ_1) и промежуточной зоны неопределенности (решение γ_{01}), в соответствии с неравенствами (8):

$$K_{np} = T \cdot a - e, \quad (11)$$

$$K_{бр} = T \cdot a + c, \quad (12)$$

$$\text{где: } a = \frac{\gamma_1 - \gamma_0}{\ln(\gamma_1/\gamma_0)}, \quad b = \frac{\ln[(1 - \alpha)/\beta]}{\ln(\gamma_1/\gamma_0)}, \quad c = \frac{\ln[(1 - \beta)/\alpha]}{\ln(\gamma_1/\gamma_0)}. \quad (13)$$

С учетом выражений (11)–(13) неравенства (8) могут быть представлены в более простом виде с заменой K на суммарное X число обнаруженных за время наблюдения T выбросов:

$$\begin{cases} \gamma_1 \cdot K \leq K_{np} \\ \gamma_1 \cdot K \geq K_{бр} \\ \gamma_{01} \cdot K_{np} < K < K_{бр} \end{cases}, \quad (14)$$

Результаты расчета для первого этапа при заданных рисках контроля $\alpha = \beta = 0,1$ и объеме выборки $K = 5$:

$$\chi^2_{10;1-\beta} = 15,99, \chi^2_{10;\alpha} = 4,87, \lambda_1 = 1,0638 \quad \text{сутки}^{-1}$$

Результаты расчета параметров для второго этапа:

$$\alpha = 0,622, \beta = 1,848.$$

Контрольно-предупредительная граница x_0 была выбрана в соответствии с моделью [14]:

$$x_0 = m + \Delta,$$

где $m = 1166,2$; Δ – параметр нестационарности потока фенольного загрязнения.

Оценка Δ вычислялась с использованием выражения:

$$\bar{m}_\Delta = \left(\sum_{i=1}^k \bar{u}_i \cdot \hat{p}_i \right) - m. \quad (15)$$

Результат расчета $\Delta = 15,02$; значение контрольно-предупредительной границы $x_0 = 1182,22$ [12].

В табл. 1 представлены результаты последовательного предупредительного контроля фенольных выбросов на выходе аммиачной (аммонийной) колонны.

Выбор решений $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_{01}$ проводился по правилам, определенных неравенствами (8) и (14):

$$\begin{cases} \gamma_1: K \leq T \cdot 0,622 - 1,848; \\ \gamma_1: K \geq T \cdot 0,622 + 1,848; \\ \gamma_{01}: T \cdot 0,622 - 1,848 < K < T \cdot 0,622 + 1,848. \end{cases}$$

Максимальное значение фенольного выброса (1931 мг/м³) наблюдалось в цикле наблюдения № 39. Использование контрольно-предупредительного интервала ($x_0 = 1181$ мг/дм³) позволило принять решение γ_1 уже на трех предыдущих циклах наблюдений (№ 36, № 37, № 38), что резко уменьшило риск контроля 2-го рода и повысило фактическую достоверность контроля с 0,9 до значения 0,925.

Выводы

Описанное практическое использование математических моделей последовательного предупредительного контроля позволило выявлять с опережением на срок от 1 до 3 суток параметрические нарушения в функционировании БХУ, предупреждая предаварийную ситуацию в технологических элементах данной промышленной установки.

Доказана экспериментально эффективность методов последовательного предупредительного контроля предаварийных ситуаций при очистке водных сбросов, что снизило риск контроля 2-ого рода и повысило достоверность принятия решений о появлении возможных технологических нарушений в процессах очистки водных химических загрязнений.

Таблица 1

Результаты последовательного контроля фенола в сточных водах БХУ ($\alpha = \beta = 0,1$)

№ наблюдаемой выборки (цикл наблюдений)	Число измерений в выборке	Общая длительность наблюдений (сутки)	Число обнаруженных выбросов (K) в выборке	Границы зоны неопределенности		Решение
				$K_{Пр}$	$K_{Бр}$	
с 1 по 14	3	42	0	0,018		γ_0 ($K \leq K_{Пр}$)
15	5	5	1	1,262		
16	7	7	2	2,506		
17	7	7	2	2,506		
с 18 по 22	3	15	0	0,018		
23	5	5	1	1,262		
с 24 по 25	3	6	0	0,018		
26	7	7	2	2,506		
с 27 по 28	3	6	0	0,018		
29	12	12	5	5,616		
30	7	7	2	2,506		
31	10	10	4	4,372		
с 32 по 34	3	9	0	0,018		
35	14	14	6	6,860		
36	5	5	5		4,958	γ_1 ($K \geq K_{Бр}$)
37	5	5	5		4,958	
38	8	8	7		6,824	
39	8	8	7		6,824	
40	24	24	13	13,081		γ_0 ($K \leq K_{Пр}$)
41	16	16	7	8,104		
С 42 по 45	3	12	0	0,018		

Список использованной литературы

1. Володарський Е.Т. Статистична обробка даних: [навч. посібник] / Е.Т. Володарський, Л.О. Кошева. — К.: НАУ. — 2008. — 308 с.
2. Meson R.L. Futocorellation in Multivariate Processes / R.L. Meson, J.C. Young // Statistical Monitoring and Optimization for Process Control / Ed. By S. Park, G. Vining. — New York: Marcel Dekker Inc., 1999. — P. 233—239.
3. Мейнк Ф. Очистка промышленных сточных вод / Ф. Мейнк, Г. Штофф, Г. Кольшюттер. — Л.: Гос. научно-техн. изд-во нефтяной и горно-топливной литературы. — 1993. — 648 с.
4. Schmidt M. High Slope Metrology with Non-Contact Interferometry / Michael Schmidt, Nate Gilfooy, Martin Fay // Quality Magazine. — 2014. — Issue July 1st. — P. 37—49.
5. Michael Hein and Manfred Kaiser Environmental Control and Emission Reduction for Coking Plants //Science, Technology and Medicine open access publisher (chapter 10). — 2012. - P.267- 280.
6. Тихонов В.И. Случайные процессы. Примеры и задачи: учебное пособие для вузов: в 4-х т. Т.2. Линейные и нелинейные преобразования / В.И. Тихонов, Б.И. Шахтарин, В.В. Сизых. — М.: Радио и связь, 2004. — 400 с.

7. Кісіль І.С. Метрологія, точність і надійність засобів вимірювань: навч. посібник / І.С. Кісіль — Ів-Франковськ: Факел, 2000. — 400 с.
8. Гихман И. И. Теория случайных процессов / И.И. Гихман, А.В. Скороход — М.: Книга по требованию, 2012. — 664 с.
9. Поллард Дж. Справочник по вычислительным методам статистики: Пер.с англ. В.С.Занадворова / Дж. Поллард; под ред. и с предис. Е.М. Четыркина — М.: Финансы и статистика, 1982. — 344 с.
10. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы обработки данных: Пер.с англ. / Н. Джонсон, Ф. Лион. — М.: Мир, 1980. — 512 с.
11. Безродный Б.Ф. Последовательная процедура параметрического контроля с ограничением на апостериорные вероятности ошибок / Б.Ф. Безродный // Контроль. Диагностика. — 2007. — №1 (103). — С. 54—57.
12. Любимова Н.А. Оптимизация контрольно-предупредительных границ и интервалов по минимуму средней частоты выбросов контролируемого воздушного загрязнения / Н.А. Любимова // Методи і прилади контролю якості. — Ів.-Франківськ. — 2014. — №1(32). — С. 102—106.