

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АВТОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Э.Д. Кадыров, Н. В. Данилова (СПбГГИ)

Описаны параметры исследуемого автогенного процесса. Предложенная методика обработки экспериментальных данных позволяет интерпретировать полученные результаты для их дальнейшего практического применения. Приведен способ определения вероятностных зависимостей между переменными объекта исследования.

Для переработки сульфидных материалов наиболее перспективными являются автогенные процессы. Автогенные процессы распространены во всем мире, имеются аналоги в Европе, Японии и в России. Особенностью этих процессов является то, что они протекают без использования дополнительных энергоносителей. По принципу организации автогенных процессов различают плавку во взвешенном состоянии, плавку в жидкой ванне и комбинированный способ. Управление автогенными процессами приводит к стабильной работе агрегатов и оптимальному протеканию процессов.

Оценка технологических параметров автогенного процесса проводилась по практическим данным, снятым с печи Ванюкова (площадью пода в области фурм 36 м²), которая является типичным представителем автогенного процесса, проходящего в жидкой ванне (состав поступающих в печь материалов не учитывался): расход сульфидных материалов, т/ч (рис. 1); расход флюсовых материалов, т/ч; расход технического кислорода, м³/ч (рис. 2); расход воздуха, м³/ч (рис. 3); общий расход кислородо-воздушной смеси (КВС), м³/ч; содержание цветных металлов в штейне, % (рис. 4); содержание серы в штейне, %; содержание цветных металлов в шлаке, %; содержание

SiO₂ в шлаке, %; содержание кислорода в техническом кислороде, %; содержание кислорода в кислородно-воздушной смеси, %.

Используя свой условный переход, от размерных величин расходов перейдем к безразмерным величинам и представим графики, на которых изображены безразмерные величины параметров, а также сглаженные их значения.

Эти экспериментально полученные реализации случайных сигналов помимо полезной информации о фактическом изменении исследуемого параметра содержат помехи, вызванные погрешностью измерения; неточностью срабатывания исполнительных устройств, приводящих в движение регулирующие клапаны, шиберы, дозаторы; колебаниями сетевого напряжения, подводимого к электроэнергетическим и измерительным установкам; колебаниями давления газов в магистрали. В этой связи при обработке опытных данных возникает необходимость отделения полезного сигнала от помехи. Так как погрешности измерения в каждом опыте являются независимыми случайными величинами, их временная реализация близка к помехе типа нормального белого шума и не коррелирована с полезным сигналом.



Рис. 1

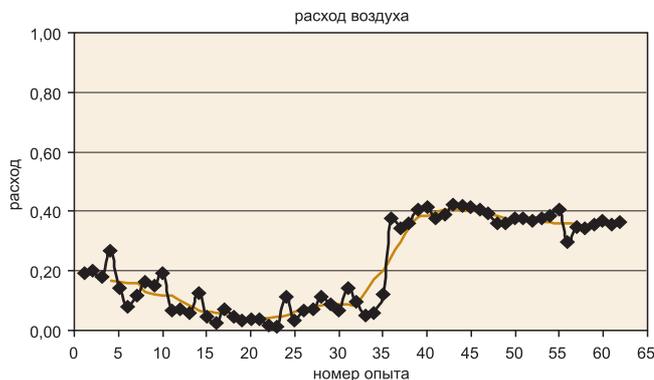


Рис. 3



Рис. 2



Рис. 4

Для решения этой задачи можно воспользоваться известным соотношением [1]:

$$R_x(\tau) \approx \frac{1}{N-\tau} \cdot \sum_{i=0}^{N-\tau} x_i \cdot x_{i+\tau}, \quad (1)$$

где $\overset{0}{x}_i$ – центрированное значение функции в момент времени $t_i = i \cdot \Delta$, $\overset{0}{x}_i = x_i - \bar{x}$, $i = 0, \dots, N-t$; $\overset{0}{x}_{i+\tau}$ – то же, но для момента времени $t = t_i + \tau$.

Следовательно,

$$R_\varphi(\tau) = R_x(\tau) + R_f(\tau), \quad (2)$$

где $R_\varphi(\tau)$ – суммарная корреляционная функция исходной реализации $\varphi(t) = x(t) + f(t)$; $R_x(\tau)$ – корреляционная функция полезного сигнала $x(t)$; $R_f(\tau)$ – корреляционная функция помехи $f(t)$.

Для стационарных случайных процессов, обладающих свойством эргодичности, отделение полезного сигнала от помехи может быть произведено методом скользящего среднего, сущность которого заключается в следующем. За сглаженное значение функции $\varphi(t)$ в любой точке принимают ее среднее значение в некотором интервале 2Δ с центром в точке t . При изменении t этот интервал скользит вдоль оси t , чем и объясняется название метода. Таким образом, суммарная случайная функция $\varphi(t)$ разбивается на сглаженную стационарную случайную функцию $x(t)$ (полезный сигнал), ординаты которой вычисляются по формуле

$$x_i = \frac{1}{2 \cdot l + 1} \cdot \sum_{k=-l}^l \varphi_{i+k}, \quad (3)$$

и на помеху $f(t)$, определяемую как разность

$$f_i = \varphi_i - x_i. \quad (4)$$

Как видно из (3), чем больше интервал 2Δ , тем лучше сглаживание. Однако при очень большом значении l происходит сглаживание и самой функции $x(t)$.

Поскольку помеха представляет собой сигнал типа белого шума, корреляционная функция $R_f(\tau)$ резко затухает с ростом τ . Это позволяет принять в качестве критерия, определяющего степень затухания $R_f(\tau)$, отношение

$$\lambda = \frac{|R_f(\tau)|_{\max}}{D_f}, \quad (5)$$

где $|R_f(\tau)|_{\max}$ – максимальное абсолютное значение корреляционной функции $R_f(\tau)$ при $t > 0$, D_f – дисперсия помехи.

Как следует из (6), наибольшее затухание $R_f(\tau)$ имеет место при минимальном значении критерия λ . Это позволяет длину интервала $2l$, при котором $\lambda = \min$, считать оптимальной в смысле приближения помехи $f(t)$ к сигналу типа белого шума.

Получение вероятностных характеристик случайных сигналов – корреляционных функций $R(t)$ позволяет идентифицировать объект исследования, подготовить необходимую информацию для решения ряда других задач. К ним относятся, например, синтез автоматических систем управления при наличии случайных возмущающих воздействий и др.

В технологическом процессе как и в стрельбе одна из составляющих успеха – правильная оценка параметров до цели

Журнал "Автоматизация в промышленности"

Спектральную плотность случайных воздействий находим из соотношения [2]:

$$S(\omega) = \frac{D \cdot \lambda}{\pi \cdot (\lambda^2 + \omega^2)}, \quad (6)$$

где D и ϕ – соответственно дисперсия и коэффициент затухания корреляционной функции возмущения.

Для частотного разделения возмущений используют сопоставление периодов (частот) их колебаний со "сглаживающей способностью" управляемого агрегата или аппарата.

В качестве меры средней частоты ω_c колебаний возмущения x можно использовать число пересечений N графика колебаний $x(t)$ с горизонтальной прямой, соответствующей среднему значению \bar{x} , на отрезке T , равном периоду случайного процесса $x(t)$. Тогда

$$\omega_c = \frac{\pi \cdot N}{T}. \quad (7)$$

Другой способ оценки величины ω_c основан [2] на анализе функции спектральной плотности колебаний $S_x(\omega)$ величины $x(t)$. В качестве ω_c можно принять то значение частоты ω , при котором энергия части спектра в диапазоне $0 \leq \omega \leq \omega_c$ составляет большую часть (например, 90 %) всей дисперсии D_x сигнала $x(t)$.

$$\int_0^{\omega_c} S_x(\omega) d\omega = 0,9 \cdot \int_0^{\infty} S_x(\omega) d\omega = 0,9 \cdot D_x. \quad (8)$$

Тогда искомую величину ω_c можно определить решением уравнения (8).

Для частотного разделения возмущений используют сопоставление периодов (частот) их колебаний со "сглаживающей способностью" управляемого агрегата. В качестве меры сглаживающие способности управляемого технологического аппарата (печи Ванюкова) можно принять частоту $\omega_{ПВ} = \omega_{ум}$.

Если оказалось, что

$$\omega_c < \omega_{ПВ}, \quad (9)$$

то возмущения $x(t)$ относят к низкочастотным, в противном случае – к высокочастотным.

По формулам (3), (4), (1), (5) были вычислены вероятностные характеристики случайных сигналов для двух участков управления. Решая уравнение (8) были найдены средние частоты исследуемых параметров процесса автогенной плавки в печи Ванюкова. Все найденные характеристики параметров процесса приведены в сводной таблице.

Таким же образом был проведен анализ выпуска штейна из печи.

Анализируя практические данные (реализации), можно утверждать, что при изменении номинального значения (задания) расхода сульфидных материалов в

Таблица. Характеристики параметров процесса автогенной плавки в печи Ванюкова на 1-м/2-м участках управления

	Математическое ожидание	Дисперсия сигнала	Дисперсия полезного сигнала	Коэффициент затухания	Средняя частота колебаний
Расход сульфидных материалов	58,55/39,91	28,958/9,241	8,460/1,062	0,0114/0,0082	9,90/5,00
Расход флюсов	50,03/27,80	35,152/21,224	8,368/6,577	0,0083/0,0132	9,50/9,80
Расход КВС	29390/26315	0,712/1,329	0,215/0,123	0,1963/0,7042	8,0/18,00
Расход воздуха на печь	7849/16021	1,889/1,495	1,279/0,179	0,1140/0,0630	9,30/4,50
Расход кислорода на печь	26727/15378	6,849/0,459	0,711/0,044	0,0176/0,3643	8,00/5,30
Содержание кислорода в техническом кислороде	91,47/92,67	4,247/1,185	1,217/0,234	0,0642/0,4799	7,00/3,10
Содержание кислорода в КВС после смесителя	85,93/62,96	17,212/3,646	3,363/0,173	0,0023/0,0863	1,50/2,90
Содержание цветных металлов в штейне	65,14/61,96	11,642/15,533	1,041/1,273	0,0151/0,0014	6,10/0,70
Содержание серы в штейне	22,65/23,30	0,316/0,404	0,032/0,047	0,7505/0,3189	7,00/3,00
Содержание цветных металлов в шлаке	0,993/0,917	0,010/0,017	0,001/0,001	0,5932/0,8208	3,50/2,50
Содержание SiO ₂ в шлаке	29,08/30,12	2,243/3,737	0,277/0,316	0,1396/0,0051	6,50/0,60
Выпуск штейна	3349/2719	191,216/72,913	53,984/11,029	0,0013/0,0013	7,40/3,30

печи прямо пропорционально этому расходу изменяется расход флюсовых материалов и содержание кислорода в КВС. Содержание кислорода в КВС изменяется соотношением расходов "воздух дутья – технический кислород дутья".

Отделение случайного сигнала от помехи методом скользящего среднего позволяет определить степень затухания корреляционной функции каждого параметра. Чем ближе коэффициент затухания к нулю, тем меньше помехи сигнала. Таким образом, на измерение общего расхода КВС, расхода технического кислорода, содержание кислорода в техническом кислороде, содержание серы в штейне, содержание цветных металлов в шлаке влияют помехи. Сигналы этих параметров зашумлены.

Как видно из таблицы, а также проверяя соотношение (9), расходы сульфидных материалов и флюсов, а также расходы всех газообразных соединений можно условно отнести к высокочастотным колебаниям. Это обусловлено частыми колебаниями расходов веществ из-за случайных изменений характеристик трубопроводов или неточностей срабатывания исполнительных устройств, приводящих в движение регулирующие клапаны, шибера и дозаторы, а также колебаниями давления газа в магистрали. Изменения содержания химических компонентов в штейне и

шлаке, а также содержание кислорода в техническом кислороде и в КВС можно условно отнести к низкочастотным показателям. Это можно объяснить тем, что концентрации не могут меняться скачком, их изменения происходят плавно.

Колебания расходов сульфидных материалов, флюсов, воздуха и технического кислорода относительно номинального значения в первом режиме управления сильнее, чем во втором, поэтому их дисперсии для первого режима управления больше, чем их дисперсии для второго режима управления. Дисперсии концентраций компонентов штейна и шлака заметно не отличаются, так как колебания концентраций компонентов штейна и шлака равномерны на всем интервале ведения процесса. Дисперсия

содержания кислорода в техническом кислороде для первого и второго режима ведения процесса значительно не изменяется, так как качество технического кислорода не меняется на всем интервале ведения процесса. Дисперсия же концентрации кислорода в КВС меняется значительно. Это можно объяснить тем, что в первом режиме ведения процесса колебания кислорода гораздо сильнее, чем во втором.

На основе полученных данных об объекте исследования (печи Ванюкова) можно будет сформулировать задачу управления объектом исследования. На практике эту задачу нестрого разделяют на подзадачи меньшей сложности. Наиболее удобный способ такого разделения – частотная декомпозиция. Таким образом, на основе частотной декомпозиции компенсацию высокочастотных и низкочастотных возмущений можно поручить разным подсистемам АСУТП. Тогда общая задача управления разобьется на задачи, решаемые низкочастотной и высокочастотной подсистемами.

Список литературы

1. Методы исследований и организация экспериментов / под ред. проф. К. П. Власова. Х.: Изд. "Гуманитарный центр", 2002.
2. Левин М. В. Автоматизация пиро- и гидрометаллургических производств. Учебное пособие. Л.: изд. ЛГИ, 1986.

Кадыров Энвер Джумагелдиевич – канд. техн. наук, заведующий лабораторией АСУП и АСУТП,

Данилова Наталья Васильевна – магистрант кафедры

АСУТП Санкт-Петербургского государственного горного института.

Контактный телефон (812) 328-82-56. E-mail: asutp@spmi.ru

Уважаемые читатели!

Начинается подписка на журнал "Автоматизация в промышленности" на второе полугодие 2008 г. Оформить подписку Вы можете:

В России – индекс в каталоге "Роспечать" **81874** и индекс в каталоге "Пресса России" **39206**

В Белоруссии, Казахстане, Узбекистане, Украине – индекс в каталоге "Пресса России" **39206**

Все желающие, вне зависимости от места расположения, могут оформить подписку, прислав заявку в редакцию или заполнив анкету на сайте **www.avtprom.ru**