

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЧУГУНА НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

**Бондаренко М.В., магистрант; Воротникова З.Е., к.т.н.**

*(ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина)*

**Введение.** Контроль качества является необходимым элементом конкурентной стратегии любого современного предприятия. Внедрение системы оперативного мониторинга качества управления технологическим процессом существенно снижает затраты предприятий, связанные с колебаниями качества продукции.

Установленные на производстве АСУТП собирают и хранят данные о контролируемых параметрах в течение уже продолжительного времени. Объемы данных настолько велики, что человеку просто не по силам проанализировать их самостоятельно. Способы извлечения и визуализации знаний, заключенных в этих «сырых» данных весьма актуальны и могут быть использованы при принятии решений.

**Цель работы.** Разработка системы сбора и анализа данных о контролируемых параметрах доменного процесса, с целью оперативного прогнозирования изменения качества чугуна.

**Материалы и результаты исследований.** Задача разрабатываемой системы контроля качества чугуна состоит в сборе, структуризации и систематизации данных, снятых с контроллеров; визуализации информации о протекании технологического процесса; обнаружении отклонения технологических параметров от запланированных значений и оценка на основании этих данных качества регулирования технологического процесса; установление статистической связи между качеством регулирования и качеством чугуна на основании архивных данных и прогнозирование изменения качества чугуна для текущего процесса в реальном времени.

На первом этапе исследований рассматривались контролируемые параметры состояния технологического процесса при нормальном ходе печи. Данные могут быть получены с помощью датчиков контроля технологических параметров установленных на доменной печи.

В системе контролируются следующие параметры:

1) температуры холодного и горячего дутья, колошникового газа в газоотводах и по радиусу колошника, огнеупорной кладки печи и ее фундамента, поступающей и отходящей из охладительной арматуры воды и воздуха, охлаждающего лещадь, купола воздухонагревателя и продуктов горения, отходящих из воздухонагревателя;

2) давление холодного и горячего дутья, перепады давления газа в нижней, средней и верхней части шахты, природного газа, воды, поступающей в охладительную арматуру, пара в межконусном пространстве и пара, подаваемого под большой конус;

3) расход дутья, природного газа, кислорода, подаваемого в печь, расход дутья и природного газа, подаваемого на каждую фурму, влажность дутья;

4) состав колошникового газа, продуктов горения воздухонагревателей, содержание в дутье кислорода и влажность дутья;

5) уровень шихтовых материалов в печи;

6) число подач, загруженных в печь, число скипов в подаче, угол поворота ВРШ;

7) масса агломерата, кокса и добавок к каждой подаче.

Эти данные достаточно полно характеризуют текущее состояние системы, которое зависит от предыдущего состояния и управляющих воздействий, которые в свою очередь складываются из качества и способа загрузки шихтовых материалов, состава и режима дутья, времени слива чугуна и шлака.

Данные поступают на сервер с контроллеров каждые 3 секунды и сглаживаются с помощью экспоненциального алгоритма [1], параметры сглаживания подбираются опытным

путем на основе визуализации данных. Соответствующий видеокادر включает возможности выбора технологического параметра, параметров сглаживания и визуализацию временного ряда в исходном и сглаженном виде в одной системе координат.

Данные для настройки сглаживания хранятся на диске в исходном виде, в виде файлов данных, за последние 2-3 часа (промежуток времени и участок памяти может настраиваться).

Сглаженные данные хранятся на диске в виде файлов данных за последние 24 часа (промежуток времени и участок памяти может настраиваться).

Сглаженные данные за плавку (с момента начала слива чугуна до следующего слива) сжимаются с помощью алгоритмов тригонометрической аппроксимации данных [2] и их модели хранятся в базе данных. Туда же записываются данные о качестве полученного чугуна из лаборатории.

Оценка качества регулирования в системе проводится при помощи статистических характеристик: 1) среднеквадратичному отклонению контролируемых параметров от их математического ожидания; 2) смещению математического ожидания от нормативного значения; 3) вероятности отклонения контролируемой величины в определенный момент времени от ее математического ожидания на нормативное значение; 4) относительному числу отклонений контролируемой величины, находящихся в фиксированной области или соответствующему времени; 5) максимальному непрерывному времени нахождения значений в некоторой области; 6) суммарному непрерывному времени нахождения в некоторой области дольше заданного порога.

В зависимости от нормативного характера поведения конкретного контролируемого параметра строится частный критерий качества регулирования как аддитивная свертка с параметрами, состоящая из одного или нескольких видов критериев.

Например: для параметров давления критерий равен сумме взвешенных смещения математического ожидания от нормативного значения и вероятности отклонения контролируемой величины  $X(t)$  в определенный момент времени  $t_k$  от ее математического ожидания  $m_x^*$  на нормативное значение  $\Delta x_n$ :

$$K = \alpha \cdot P + (1 - \alpha) \cdot \Delta,$$

$$\text{где } m_x^* = \frac{\sum_{i=1}^N x(t_i)}{N}, \quad D_x^* = \frac{\sum_{i=1}^N [x(t_i) - m_x^*]^2}{N - 1}, \quad \sigma_x^* = \sqrt{D_x^*}, \quad P[X(t_k) - m_x^* \leq \Delta] \approx \frac{D_x^*}{\Delta^2},$$

$\Delta = g - m_x^*$ ,  $\Delta x_n$  - технологическая норма отклонения от мат. ожидания,  $g$  - технологическая норма мат. ожидания.

Параметры свертки задаются априори на основании опыта экспертов.

Соответствующий видеокادر включает возможности выбора технологического параметра; параметров свертки; временного интервала (максимум 24 часа) и визуализацию временного ряда в заданном интервале в сглаженном виде с отражением нормативных значений в одной системе координат; а также кривую изменения значения соответствующего частного критерия, его текущее и суточное значение.

Расчет статистических характеристик ведется динамически по мере получения сглаженных данных. Значения частных критериев для каждой плавки записываются в базу данных.

Для расчета качества чугуна также вводится критерий в виде взвешенной аддитивной свертки. Вычисляется отклонение химического состава чугуна от нормативного по каждому параметру в процентах после каждой пробы за текущие 24 часа. Параметры свертки определяются экспертами.

Суммарный критерий качества регулирования технологического процесса вычисляется как аддитивная свертка нормированных значений частных критериев с параметрами.

В результате за 24 часа мы имеем 10-12 значений критериев качества полученного чугуна (в зависимости от количества сливов чугуна) и соответствующие значения критериев

качества регулирования технологического процесса с неизвестными значениями параметров свертки.

Начальные значения параметров свертки задаются экспертами и в дальнейшем уточняются на основании статистической информации в результате решения следующей задачи оптимизации:

$$r_{xy} \rightarrow \max_{\lambda},$$
$$r_{xy} = \frac{c o y_y}{\sigma_x \sigma_y}, \quad \sum_{j=1}^M \lambda_j = 1, \quad X = \frac{\sum_{j=1}^M \lambda_j f_j}{M} - \text{значения нормированной аддитивной свертки}$$

критериев качества регулирования технологическим процессом для N плавов, Y- значения критерия качества чугуна для N плавов,  $\lambda_j$  - вес j-го нормированного частного критерия,  $f_j$  - значение j-го нормированного частного критерия, N – количество плавов в сутки, M – количество контролируемых параметров.

Целевая функция представляет собой корреляционную функцию от двух видов критериев с неизвестными параметрами свертки. Начальные значения параметров свертки выбираются по рекомендации экспертов.

Полученные параметры свертки используются для расчета суммарного критерия качества регулирования технологического процесса для следующего периода плавки, что обеспечивает его существенную корреляцию с качеством получаемого чугуна. На основании визуализации и анализа динамики изменения суммарного критерия качества регулирования технологического процесса, можно судить о динамике изменения качества чугуна.

Разработка системы проводилась на основании данных, полученных с контроллеров и сервера АСУТП доменного цеха ДП №2 ПАО МК “Азовсталь” за 20 суток работы. Предложенная система нуждается в верификации и исследовании. Также нуждаются в исследовании степень корреляции параметров и критериев и устойчивость решений задачи оптимизации.

База данных может использоваться для анализа полученных прогнозов.

#### **Выводы:**

1. Предложенная схема хранения данных позволяет существенно увеличить плотность информации на сервере, и является эффективным инструментом для других способов анализа данных.
2. Предложенные подходы позволяют путем оперативного анализа параметров технологического процесса доменной плавки прогнозировать качество чугуна.

#### **Перечень ссылок**

1. Реймаров Г.А. Первичная переработка информации в АСУ ТП. -М.: Цинииатоминформ, 1980.- 95 с.
2. Турецкий А.Х. Теория интерполирования в задачах. - Минск.: Вышэйшая школа, 1968. -320 с.