

МОДЕЛЬ РАБОТЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Лобанова А.И.

Научный руководитель – доцент Крупкина Т.В.

Сибирский федеральный университет

Имеется реально существующая измерительная система для определения количественного содержания химических элементов в руде в непрерывном технологическом цикле в реальном времени. Система является трехступенчатой, j -я ступень представляет собой блок, в котором m_j входов и n_j выходов (конвейеров). Каждый из входов и выходов контролируется специальными датчиками, измеряющими процентное содержание в руде химических элементов x_i , где $i = \overline{1, k}$.

Необходимо было разработать модель работы измерительной системы таким образом, чтобы для каждой ступени системы существовал баланс между содержанием химического элемента, вычисленного с помощью показателей, полученных от всех датчиков на входе (в заданном диапазоне погрешностей) и содержанием, вычисленным через показатели от датчиков на выходе (в том же диапазоне погрешностей). Проблема состояла в том, что хотя баланс всей системы в целом поддерживался, во внутреннем блоке данные не удовлетворяли ожидаемой модели «сумма входов равна сумме выходов». Внутренний блок представляет собой бункер, где вся руда, пройдя первую ступень, перемешивается. В этот бункер поступает руда с нескольких конвейеров (входов), из нее имеется несколько выходов. Не удавалось подобрать линейную (а также кусочно-линейную и полиномиальную) модель зависимости выхода от входов, что вызывало сомнения в корректности работы датчиков.

Статистический анализ показал, что данные измерений во внутреннем блоке представляют собой смесь двух распределений. Физически это соответствует двум режимам работы системы: в режиме «+» и в режиме «-». В режиме «-» суммарный выход меньше суммарного входа, то есть из бункера некоторое количество руды отсыпано в буфер. В режиме «+» из буфера забирают часть руды в бункер.

Были предложены модели работы первого и третьего блоков и всей системы в целом (общая модель) и отдельная модель для внутреннего блока (буферной зоны).

Общая модель имеет вид:

$$\sum_{k=1}^m a_k^i \cdot \sum_t (C_{k_t}^i \cdot V_{k_t}) = \sum_{j=1}^n \sum_t C_{j_t}^i \cdot V_{j_t},$$

где:

t – момент времени, в который замеряются показатели (через каждые Δt секунд);

a_k^i – параметры модели, характеризующие i -ый элемент и k -ый вход;

$C_{k_t}^i$ – средневзвешенное процентное содержание массовой доли

контролируемого i -го химического элемента в руде, прошедшей через k -й вход в момент t ;

$C_{j_t}^i$ – средневзвешенное процентное содержание массовой доли

контролируемого i -го химического элемента в руде, прошедшей через j -й выход в момент t ;

V_{k_t} – объем руды, прошедшей через k -й вход в момент t ;

V_{j_t} – объем руды, прошедшей через j -й выход в момент t .

Модель работы внутреннего блока измерительной системы для i -го элемента:

$$\left(\sum_{k=1}^m a_k^i \cdot \sum_t (C_{k_t}^i \cdot V_{k_t}) \right) + b^i \cdot \sum_t (C_t^i \cdot V_t) = \sum_{j=1}^n \sum_t C_{j_t}^i \cdot V_{j_t},$$

где:

b^i – параметры модели, характерные для i -го элемента и буферной зоны; в режимах «+» и «-» принимают значения соответственно b_+^i или b_-^i ;

C_t^i – средневзвешенное процентное содержание массовой доли i -го элемента в руде в буферной зоне;

V_t – объем руды, попадающей в буфер.

Параметры моделей для каждого элемента рассчитывались с помощью регрессионного анализа. При идентификации параметров модели для внутреннего блока данные были разделены по знаку разности:

$\sum_{j=1}^n \sum_t (C_{j_t}^i \cdot V_{j_t}) - \sum_{k=1}^m \sum_t (C_{k_t}^i \cdot V_{k_t})$.

$$\sum_{j=1}^n \sum_t (C_{j_t}^i \cdot V_{j_t}) - \sum_{k=1}^m \sum_t (C_{k_t}^i \cdot V_{k_t}) < 0, \text{ для режима «-»},$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_t (C_{j_t}^i \cdot V_{j_t}) - \sum_{k=1}^m \sum_t (C_{k_t}^i \cdot V_{k_t}) > 0, \text{ для режима «+»}.$$

Для каждого режима в отдельности удалось идентифицировать параметры модели, причем параметры, характеризующие вклад отдельных входов, имели в обоих режимах очень близкие значения, и были близки к 1, принимая значения от 0,9956 до 1,0112:

Проверка гипотез показала, что установленные линейные зависимости, выражаемые линейной моделью в обоих режимах, являются достоверными (уровень значимости- $p < 0,05$). Это означает, что по каждому режиму данные удовлетворяют модели «сумма входов равна сумме выходов».

Затем была проверена совокупность гипотез о равенстве единице каждого из параметров уравнения регрессии: $H_0: a_1 = a_2 = \dots = a_n = 1$

В результате проверки выявлено, что гипотеза H_0 не отвергается (уровень значимости- $p < 0,05$). Это означает, что ни по одному из входов нет результатов, завышенных или заниженных по сравнению с ожидаемыми, то есть подтверждена корректность работы датчиков.

Полученные результаты.

- Установлено существование двух режимов работы измерительной системы.
- Объединенные по двум режимам данные не могут быть описаны линейной моделью.
- Для каждого из двух режимов работы отдельно построена достоверная линейная модель.
- В разных режимах коэффициенты уравнений, характеризующие вклад отдельного входа различаются незначительно и с доверительной вероятностью 0,999, равны единице.

- Подтверждена корректность работы станции в период времени, за который были предоставлены данные.