

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЁМКОСТНОГО ПЕРВИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТОХАСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ

Д. Е. Кривобоков, А. И. Дуда, Б. С. Первухин, В. С. Афонин
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова»,
г. Барнаул

Представлена методика разработки модели ёмкостного первичного измерительного преобразователя, основанная на модифицированном стохастическом методе поиска параметров. В результате сократилось время вычислений при одновременном появлении возможности оценки адекватности модели.

Ключевые слова: моделирование, первичный преобразователь, взаимосвязь, стохастический алгоритм, эквивалентная схема замещения.

Часто в задачах моделирования приходится сталкиваться с тем, что объект исследования может быть представлен несколькими моделями, каждая из которых отражает или дополняет те, или иные свойства. Основные проблемы, которые возникают при этом, заключаются в необходимости перестраивать или адаптировать алгоритм расчета параметров моделей для каждой из них [1]. Поэтому, весьма важно иметь в распоряжении универсальную и весьма эффективную методику моделирования.

Таким образом, целью статьи является продемонстрировать применение модифицированного стохастического метода определения параметров модели на примере ёмкостного измерительного преобразователя влажности сыпучих материалов.

Ёмкостной первичный измерительный преобразователь (ПИП), при взаимодействии с сыпучим веществом в качестве объекта измерений, удобнее всего представить в виде электрической эквивалентной схемы замещения (ЭЭСЗ), представленной на рисунке 1 [2].

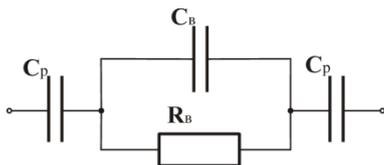


Рисунок 6 – ЭЭСЗ ёмкостного ПИП
Условные обозначения:

C_p – разделительная ёмкость;

C_b , R_b – соответственно ёмкость и активное сопротивление, обусловленная сыпучим веществом;

Выражение для комплексного сопротивления, соответствующее ЭЭСЗ, представленной на рисунке 6, выглядит следующим образом:

$$Z = \frac{2}{j \cdot \omega \cdot C_p} + \frac{R_b \cdot \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_b}}{R_b + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C_b}} \quad (1)$$

Собственно, разделительная ёмкость C_p образована защитным диэлектрическим слоем, разделяющим электрод и измеряемое вещество. Параметры C_b и R_b измерительного конденсатора определяются находящимся в нем сыпучим материалом (зерном). В общем случае, эти параметры зависят как от влажности вещества, так и от гранулометрического состава, плотности, содержания химических примесей, а также от частоты сканирующего сигнала.

$$\begin{cases} C_b = F_1(v, G, \omega, H) \\ R_b = F_2(v, G, \omega, H) \end{cases} \quad (2)$$

где F_1 , F_2 – функциональные зависимости;

v – влажность сыпучего вещества;

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЁМКостНОГО ПЕРВИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТОХАСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ

G – параметр, отражающий гранулометрический состав;

ω – циклическая частота колебаний сканирующего сигнала;

H – параметр, отражающий химический состав вещества.

На данный момент, на основании ранее проведенных оценочных экспериментальных исследований, предложена гипотетическая зависимость параметров ёмкостного измерительного преобразователя влажности сыпучих веществ:

$$C_e = K_1 \cdot \left(1 - e^{\frac{1}{(K_2 + K_3 \cdot G)^{\nu}}} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + K_3 \cdot \omega}}$$

$$g_e = \frac{1}{R_e} = (K_4 + K_5 \cdot H) \cdot \left(1 - e^{\frac{1}{(K_6 + K_7 \cdot G)^{\nu}}} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + K_8 \cdot \omega}} \quad (3)$$

где K_i – коэффициенты.

В процессе экспериментальных исследований, количество аргументов и вид функциональных зависимостей (2) и (3) может быть уточнен и изменен.

Таким образом, одной из основных проблем, при разработке модели ёмкостного первичного измерительного преобразователя, является определение коэффициентов функциональных зависимостей (2) и (3), отражающих соответствующие параметры электрической эквивалентной схемы замещения (рисунок 1).

В качестве одного из возможных методов определения коэффициентов функциональных зависимостей, предложен и апробирован программный комплекс на основе стохастического алгоритма.

В классическом виде, стохастический алгоритм поиска коэффициентов функциональных зависимостей заключается в том, что значения коэффициентов, подлежащих определению, многократно изменяются случайным образом. При этом, принимаются лишь те корректировки, которые способствуют уменьшению расхождения (4) экспериментальных данных с функциональной зависимостью.

$$\delta(X_i, K) = \sum_i \sqrt{\frac{(y_i^2 - F(X_i, K))^2}{n}} \quad (4)$$

где $F(X_i, K)$ – функциональная зависимость, аналогичная (1);

X_i – входные аргументы, соответствующие i -му эксперименту;

K – коэффициенты, подлежащие определению.

Не смотря на довольно продолжительное время определения коэффициентов, стохастический алгоритм позволяет работать практически с любой функциональной зависимостью и освобождает исследователя от большого объема аналитических преобразований. Однако, как выяснилось, для нелинейных систем корректировка только одного коэффициента мало эффективна, а сам процесс требует непосредственного участия человека, заключающегося в управлении очередностью корректировок групп коэффициентов. В противном случае, для алгоритма существует значительный риск попасть в один из локальных минимумов функции (4).

В ходе проведения исследований, было выяснено, что для повышения эффективности стохастического метода, необходимо выполнять одновременную корректировку нескольких коэффициентов. Связано это требование с тем, что в нелинейных системах коэффициенты могут обладать значительной взаимной связью друг с другом, что препятствует успешной индивидуальной корректировке одного из них. На первый взгляд может показаться, что подобное решение увеличит время вычислений, так как при одновременной корректировке даже двух коэффициентов, результирующая вероятность не правильного изменения значения хотя бы одного из них возрастает. Однако, как показали экспериментальные исследования, время вычислений значительно сократилось, одновременно улучшилась сходимость функциональной зависимости по отношению к экспериментальным данным. При этом, между отдельными коэффициентами регистрируется устойчивая связь при изменении их значения. В ходе экспериментов оценивалась связанность между коэффициентами, при использовании следующей зависимости:

$$s = \frac{\left(\sum_i \left(\frac{K_{md_1,i} - K'_{md_1,i}}{K'_{md_1,i}} \right) \cdot \sum_i \left(\frac{K_{md_2,i} - K'_{md_1,i}}{K'_{md_1,i}} \right) \right)}{\left(\sum_i \left| \frac{K_{md_1,i} - K'_{md_1,i}}{K'_{md_1,i}} \right| \cdot \sum_i \left| \frac{K_{md_2,i} - K'_{md_1,i}}{K'_{md_1,i}} \right| \right)} \quad (5)$$

где i – индекс цикла поиска коэффициентов;

$K_{rnd_1,i}$, $K_{rnd_2,i}$ – пара случайно выбранных коэффициентов.

Для выражения (5) обозначение коэффициентов со штрихом $K/rnd_1,i$, $K/rnd_2,i$ соответствуют исходным значениям выбранных коэффициентов, без штриха – изменённым значениям. Значение связанности s вычисляется на всём протяжении поиска коэффициентов, но только для регулировок, приводящих к уменьшению расхождения (4). В случае, если многократно выполнить поиск коэффициентов для одних и тех же экспериментальных данных и начальных значений, можно увидеть распределения связанности s , некоторые варианты которых представлены на рисунок 2.

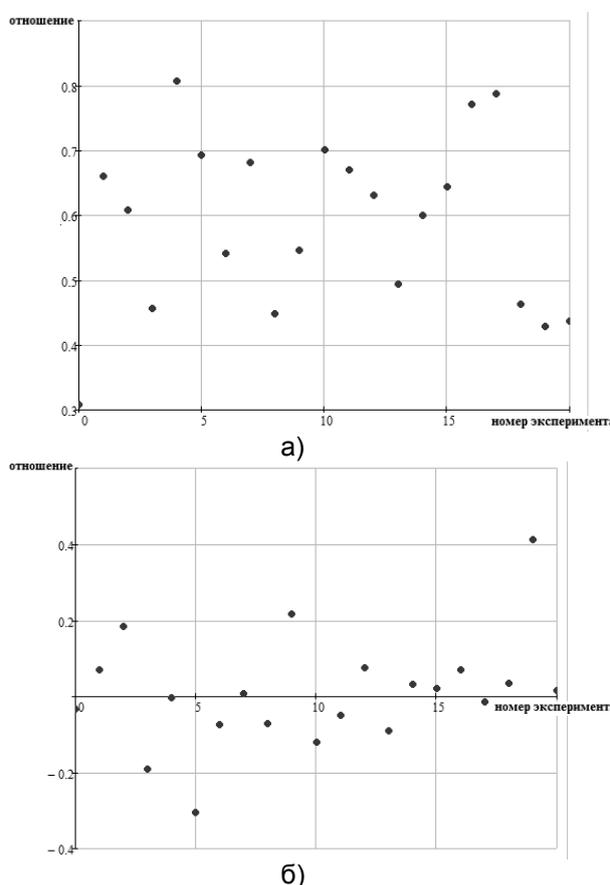


Рисунок 7 – Распределение связанности пары коэффициентов

Условные обозначения:

а) явно выраженная связанность коэффициентов;

б) отсутствие явно выраженной связанности между коэффициентами.

На рисунке 7(а) хорошо видно, что значения связанности пары коэффициентов уверенно принимают положительные значения, это означает, что для корректировки одного коэффициента из пары, другой необходимо изменить в ту же сторону на соизмеримое относительное значение. Рисунок 7(б) демонстрирует обратное, а именно отсутствие связанности между коэффициентами, поскольку её значение может иметь любой знак, а «центр масс» точек лежит вблизи горизонтальной оси, что свидетельствует о возможность изменять любой из коэффициентов пары в любом направлении относительно другого коэффициента.

Распределение связанности между коэффициентами может быть использовано для оценки адекватности функциональной зависимости относительно экспериментальных данных. Поскольку, если члены функциональной зависимости имеют конкретный физический смысл, то связанность между ними строго определена. При аддитивном внесении в такую функциональную зависимость дополнительного члена, чьё влияние в ходе подбора коэффициентов может быть исключено, распределение связанностей кардинально не изменится. В противном случае, для одних и тех же экспериментальных данных могут быть получены различные коэффициенты, соответственно, с другим распределением связанности.

Таким образом, методика разработки модели ёмкостного первичного измерительного преобразователя влажности состоит в определении функциональных зависимостей элементов электрической эквивалентной схемы размещения от содержания влаги, гранулометрического и химического состава, частоты сканирующего сигнала и заключается в следующих этапах:

1) экспериментальные исследования частотной зависимости составляющих комплексного электрического сопротивления (проводимости) ёмкостного измерительного преобразователя при различных значениях влажности, гранулометрического состава, содержания химических (электролитических) примесей;

2) при использовании стохастического метода, в узком частотном диапазоне сканирующего сигнала определить значения параметров ЭЭС ёмкостного датчика при прочих неизменных условиях;

3) повторить п.п. 2 для каждой совокупности экспериментальных данных, соответст-

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЁМКостНОГО ПЕРВИЧНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТОХАСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ

вующие различной влажности, гранулометрическому и химическому составу;

4) разработать эмпирические функциональные зависимости параметров ЭЭСЗ от частоты сканирующего сигнала, содержания влаги, гранулометрического состава, с возможной поправкой на химический состав;

5) с помощью методики оценки связанности коэффициентов функциональной зависимости электрического сопротивления (проводимости) ёмкостного измерительного преобразователя, оценить адекватности модели.

В результате, применение стохастического метода позволяет весьма эффективно определять параметры модели, а так же оценивать её адекватность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривобоков, Д.Е. Способ уменьшения погрешности измерительных преобразований кондуктометрических концентратометров / Д.Е. Кривобоков // Ползуновский Вестник. -2010. -№ 2 –С. 153 - 158.

2. Кривобоков Д.Е., Определение параметров эквивалентной схемы замещения первичного преобразователя / Д.Е. Кривобоков, А.В. Дуда, В.А. Попова, Ю.А. Авраменко // Ползуновский альманах. - 2013. - №1. – С. 113 - 114.

Кривобоков Дмитрий Евгеньевич – к.т.н., доцент, e-mail: dmitriikrivobokov@mail.ru; Дуда Антон Васильевич – аспирант; Первухин Борис Семенович, д.т.н., профессор, Афонин Вячеслав Сергеевич – к.т.н., доцент.