

## Динамические характеристики датчика относительной влажности воздуха

*В.И. Капля, П.Н. Савинов, Р.С. Беев, А.В. Козина*

*Волжский политехнический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета*

**Аннотация:** В статье рассмотрено решение задачи определения динамических характеристик датчика относительной влажности, модель которого строилась на основе апериодического звена первого порядка. Приведены результаты обработки проведенных с датчиком экспериментов.

**Ключевые слова:** емкостной датчик влажности, переходная характеристика, последовательность замеров, постоянная времени, минимизация рассогласования.

В относительно небольших объемах воздушной массы температура и относительная влажность могут существенно меняться в течение коротких промежутков времени. Например, кабина автомобиля или техническая емкость представляют собой замкнутые части пространства, в которых включение нагревателя или охладителя приводит к изменению указанных выше параметров в считанные секунды. В технологических процессах поддержание заданной концентрации паров воды (температуры и относительной влажности) в атмосфере или газах одно из ключевых условий получения продукта заданного качества.

Использование систем автоматического регулирования относительной влажности и температуры требует совместного учета динамических характеристик объекта управления и измерительных средств.

Особенностью датчика относительной влажности воздуха является то, что датчик имеет два чувствительных элемента: датчик абсолютной влажности и датчик температуры. Величина относительной влажности вычисляется процессорным элементом датчика [1 – 3].

Предположим, что датчик соответствует апериодическому звену первого порядка, и его переходная функция имеет следующий вид:

$$HR_s(t) = k \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \right) \cdot HR_1(t), \quad (1)$$

где  $HR_1(t)$  – ступенчатое входное воздействие на датчик,  $HR_s(t)$  – показания датчика,  $k$  – коэффициент усиления,  $\tau$  – постоянная времени реакции датчика [4, 5]. Величина коэффициента  $k$  для датчиков является безразмерной, так как воздействие и реакция датчика имеют одну и ту же физическую сущность.

Постоянная времени реакции датчика  $\tau$  определяется по экспериментальным данным, которые представляют собой последовательность замеров относительной влажности  $\{HR_i\}_{i=1..n}$ . Временной интервал между замерами постоянен и равен  $\delta$ . Вычисление величины  $\tau$  осуществляется путем минимизации рассогласования аппроксимирующей функции (1) и экспериментальных данных:

$$\min_{k, \tau} \left[ \sum_i (HR_s(i \cdot \delta) - HR_i + HR_0)^2 \right]. \quad (2)$$

При определении передаточной функции начальные условия игнорируются, поэтому из всех экспериментальных замеров была вычтена величина  $HR_0$ . Минимизацию выражения (2) целесообразно выполнять по алгоритму Левенберга-Маркварда [6 – 8].

Полученную передаточную функцию, в случае сопоставимости её параметров с параметрами объекта управления, следует использовать для формирования инверсной передаточной функции датчика [9, 10].

Изложенная выше методика была применена для определения динамических характеристик датчика относительной влажности и температуры ДНТ-22 [1]. Показания датчика автоматически регистрировались на SD-карту с периодом 1.5 секунды и длиной записи до 1000 замеров. Датчик помещался в воздушную среду с высокой влажностью

три раза, время перемещения датчика не превышало 1 секунду. Результаты измерений в виде графика приведены на рис.1.

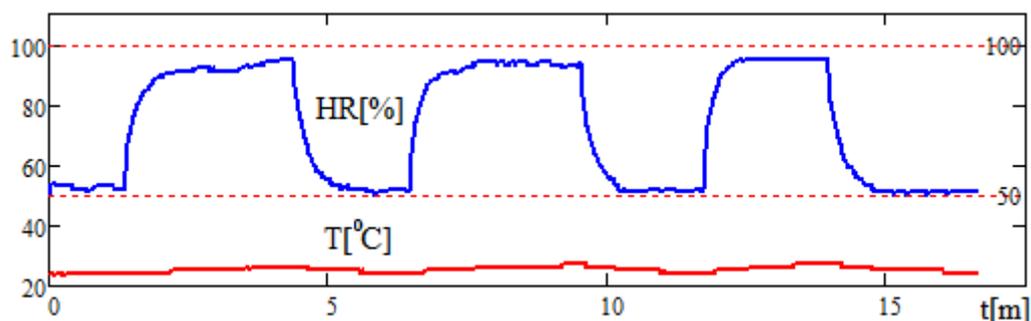


Рис.1. Результат эксперимента по ступенчатому воздействию на датчик

В качестве обрабатываемых участков экспериментальных данных использовались фрагменты с растущими показаниями датчика, длина которых составляла 75 секунд (50 замеров). Обработка состояла в процедуре усреднения данных трех фрагментов и в применении процедуры минимизации рассогласования (2) для определения параметров  $k$  и  $\tau$ . Графики аппроксимирующей функции и усредненных экспериментальных данных представлены на рис.2.

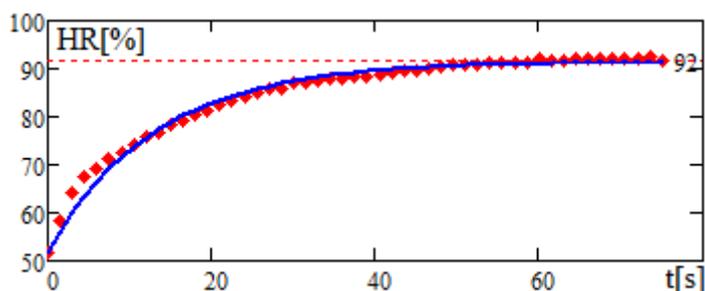


Рис.2. Аппроксимирующая функция (сплошная линия) и усредненные экспериментальные данные (точки)

Процедура (2) позволила получить следующие значения параметров для датчика влажности:  $k = 39.8[\%]$ ,  $\tau = 21.7[s]$ . Проведение аналогичных вычислений для случая аппроксимации переходной функции апериодическим звеном второго порядка позволило установить, что значение ранее полученных коэффициентов не изменились, а величина постоянной времени второго звена составила  $\tau_2 = 1.1 \cdot 10^{-8}[s]$ . Малое значение величины

$\tau_2$  позволяет сделать вывод о достаточности применения для аппроксимации переходной функции апериодического звена первого порядка.

Экспериментальные данные (рис.1) содержат участки убывания величины относительной влажности, что позволяет реализовать процедуру определения динамических характеристик и для этого случая. На рис.3 приведены усредненные и нормированные результаты обработки данных о показаниях датчика при положительном и отрицательном ступенчатом изменении относительной влажности.

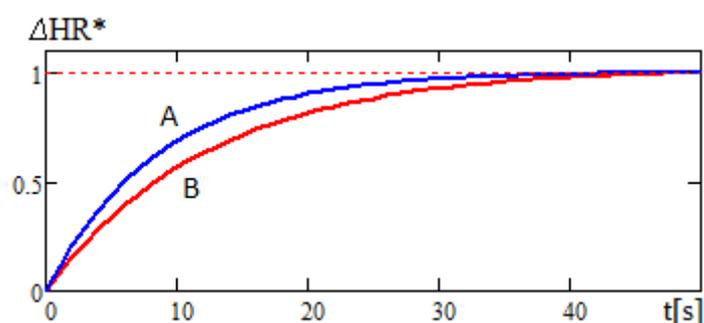


Рис.3. Нормированные переходные характеристики датчика относительной влажности А – при положительном воздействии и В – при отрицательном воздействии

Постоянная времени  $\tau$  переходной характеристики датчика относительной влажности в случае положительного ступенчатого воздействия на датчик составила 21.7[s], а при отрицательном - 30.7[s].

Таким образом, датчик в 1.5 раза медленнее реагирует на снижение уровня относительной влажности, чем на её рост, что может являться следствием наличия гистерезиса у исследуемого датчика [1].

### Литература

1. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22. Aosong Electronics Co.,Ltd. 7 p. (URL: aosong.com)
2. Фрайден Дж. - Современные датчики. Справочник. М.: Техносфера, 2005. 592 с.

3. Kasemsadeh B., Iascone C. Optimizing Placement and Routing for Humidity Sensors. Texas Instruments Incorporated Application Report. SNAA297A–September 2016–Revised September 2017. 25 p.

4. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2001. 616 с.

5. Бутковский А.Г. Характеристики систем с распределенными параметрами (справочное пособие). – М.: Наука, 1979. 224 с.

6. Дэннис Дж., Шнабель Р. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений. М.: Мир, 1988. 440 с.

7. Капля В.И., Бурцев А.Г., Андриянов С.А., Соболева Е.К. Расчет режима работы элемента Пельтье, используемого в качестве охладителя в модуле осушки проб воздуха. // Инженерный вестник Дона, 2017, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4200/.

8. Корниенко Ф.В. Увеличение эффективности испарительного конденсатора компрессионных холодильных машин. // Инженерный вестник Дона, 2012, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/925/.

9. Ellis G. Control System Design Guide (Fourth Edition), Elsevier Inc. 2012. 484 p.

10. Larionov V. A. A Process of Finding Two-Dimensional Polynomials for Approximation of the Inverse Transfer Functions of Measuring Sensors // Measurement Techniques 2015/ 7 Vol. 58: Iss. 4. PP. 393 – 396.

### References

1. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module DHT22. Aosong Electronics Co.,Ltd. 7 p. (URL: aosong.com)

2. Frajden Dzh. Sovremennye datchiki. Spravochnik [Modern sensor. Handbook]. М.: Tehnosfera, 2005. p. 592.

3. Kasemsadeh B., Iascone C. Optimizing Placement and Routing for Humidity Sensors. Texas Instruments Incorporated Application Report. SNAA297A–September 2016–Revised September 2017. 25 p.
4. Fillips Ch., Harbor R. Sistemy upravlenija s obratnoj svjaz'ju [Feedback control systems]. M.: Laboratorija bazovyh znaniy, 2001. 616 p.
5. Butkovskij A.G. Harakteristiki sistem s raspredelennymi parametrami (spravochnoe posobie) [Characteristics of systems with distributed parameters (reference manual)]. M.: Nauka, 1979. 224 p.
6. Djennis Dzh., Shnabel' R. Chislennye metody bezuslovnoj optimizacii i reshenija nelinejnyh uravnenij [Numerical methods for unconditional optimization and solution of nonlinear equations]. M.: Mir, 1988. 440 p.
7. Kaplya V.I., Burcev A.G., Andrijanov S.A., Soboleva E.K. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4200/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4200/).
8. Kornienko F.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/925/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/925/).
9. Ellis G. Control System Design Guide (Fourth Edition), Elsevier Inc. 2012. 484 p.
10. Larionov V. A. Measurement Techniques 2015/ 7 Vol. 58: Iss. 4. pp. 393 – 396.