

В.И. Бакаленко, доц., канд. техн. наук;
Т.А. Дейнека, ст. преп.;
Г.В. Шпаковский, магистрант (БГТУ, г. Минск);
А.Л. Бровенко (г. Москва, Россия)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕМКОСТНЫХ СЕНСОРОВ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА В ДИАПАЗОНЕ 75–100%RH

Информация о значении относительной влажности воздуха необходима для управления технологическими процессами, основанными на увлажнении и сушке, а также производствами, где существенную роль играют климатические условия. Одним из таких процессов является клональное микроразмножение растений (КМР), финальная стадия которого – адаптация, заключается в постепенном (в течение 20 дней) снижении относительной влажности воздушной среды с 95-100 %RH до 60%RH. Адаптация проводится либо в помещениях (теплицах), которые по отношению к влажности воздуха являются объектами с распределенными параметрами, либо в специализированных климатических камерах, где влажность воздуха во всем объеме камеры может быть условно принята одинаковой.

В обоих случаях (при значительных объемах производства) управление процессом адаптации требует применения большого количества сенсоров. При этом они должны обладать необходимыми метрологическими характеристиками при невысокой стоимости. Наилучшим образом данным требованиям соответствуют емкостные сенсоры, имеющие следующие характеристики:

- Диапазон измерений влажности от 20 до 100% RH
- Диапазон измерений температуры от -40 до 125 °C
- Погрешность измерений влажности не более $\pm 3\%$ RH
- Постоянная времени от 2 до 20 с.

Такие сенсоры выпускаются многими известными производителями: BOSH, Honeywell, Texas Instruments, Sensirion и другими.

Как следует из технической документации, наилучшие метрологические характеристики сенсоры имеют если рабочая температура находится в диапазоне от 0 до 70 °C, а влажность от 20 до 60%RH. При длительной эксплуатации сенсоров вне указанных выше пределов возможны обратимое или необратимое (в зависимости от типа сенсора) изменение заводских настроек.

Например, максимальное время нахождения сенсоров Sensirion при влажности более 80% составляет 60 часов, после чего, для восста-

новления характеристики, производитель рекомендует поместить его в среду с влажностью менее 60% или прогреть.

Кроме того, влагочувствительные полимеры сенсоров также способны поглощать молекулы других летучих компонентов, что приводит к их загрязнению и изменению статической характеристики (уменьшению чувствительности).

Многие из представленных на рынке сенсоров имеют внутренние 14 или 16 разрядные АЦП, а связь с микроконтроллером осуществляется с помощью стандартных интерфейсов I²C или SPI. Большинство сенсоров имеют в своем составе датчики температуры.

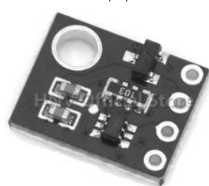
Целью настоящей работы является экспериментальное исследование характеристик недорогих емкостных сенсоров относительной влажности.

В качестве объектов исследований были выбраны сенсоры SHT41 производства Sensirion [1], которые при невысокой стоимости (около 5\$) имеют достаточно высокие метрологические характеристики:

- диапазон измерений влажности от 0 до 100%
- погрешность $\pm 2\%RH$
- разрешающая способность 0,01% RH
- разрядность АЦП 16 бит

Так как сами сенсоры имеют очень малые размеры – 1,5х1,5х0,7 мм и для их монтажа необходимо специальное оборудование, для экспериментов были выбраны модули, содержащие помимо самого сенсора необходимые дополнительные электронные компоненты и элементы коммутации.

На одних модулях (сенсор 1 и сенсор 2) были установлены преобразователи уровней сигналов



а)



б)

Рисунок 1 – Внешний вид модулей на основе сенсора SHT41

а) напряжение питания 5V

б) напряжение питания 3,3V

образователи уровней сигналов 5,0/3.3V, а также DC/DC преобразователь 5/3.3V, что позволяет подключать его к контроллерам с 5V питанием (Рис 1а). Другая модификация (сенсор 3 и сенсор 4) не имела подобных элементов и предназначена для работы с 3.3V логикой (рис 1б).

В качестве вычислительного устройства использовался микроконтроллер ESP32C3[2].

Экспериментальная установка включала набор емкостей, в которых эталонная влажность воздуха (33, 75, 85% RH) создавалась с

помощью насыщенных растворов солей [3], а влажность 100% RH – дистиллированной водой.

Результаты испытаний приведены на рис. 2.

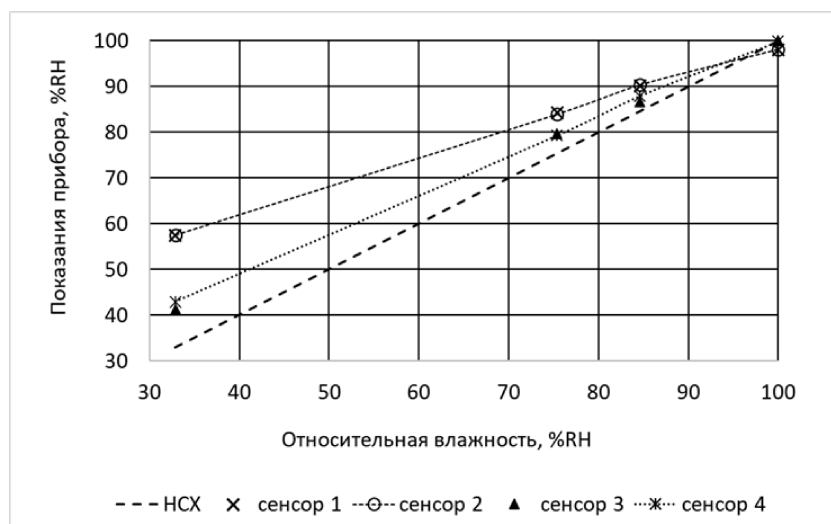


Рисунок 2 – Номинальная и реальные статические характеристики сенсоров

Как видно, реальная статическая характеристика существенно отличается от номинальной (НСХ), и погрешность значительно превышает заявленную. Нагрев сенсора до 100°C с помощью встроенного нагревателя не оказал никакого влияния.

На основании ознакомления с технической документацией Sensirion в части монтажа чувствительных элементов, можно предположить, что изготовитель модулей не выполнил все требования, что привело к значительному изменению статической характеристики сенсоров.

Для улучшения метрологических характеристики сенсоров была выполнена калибровка программным методом, которая состояла из 2 этапов. На первом этапе зависимость погрешности сенсора от измеряемой величины аппроксимировалась линейной функцией, а коэффициенты были рассчитаны так, чтобы прямая проходила через точки, соответствующие 33 и 85%RH. Максимальная погрешность в этом случае не превысила $\pm 2\%RH$.

На втором – зависимость погрешности от измеряемой величины была аппроксимирована полиномом второй степени, причем коэффициенты были рассчитаны с использованием метода наименьших квадратов. При такой калибровке погрешность не превысила $\pm 1\%RH$ (рис.3).

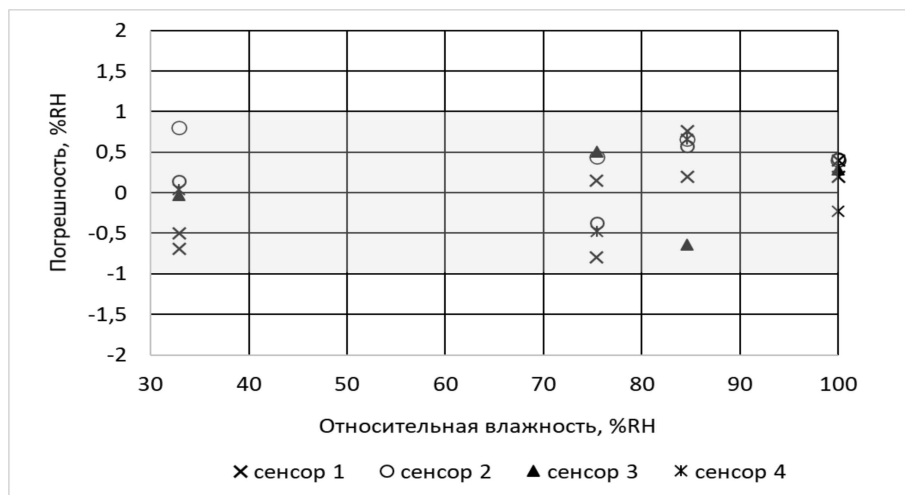


Рисунок 3 – Погрешность сенсоров после калибровки

Каждая точка, приведенная на рис. 3, представляет собой значение, усредненное по 10 измерениям. Выполнение математических операций при калибровке привело к некоторому увеличению случайной погрешности, при этом доверительный интервал каждого результата измерений не превысил $\pm 0,1\%$ RH.

Выполненные исследования показывают, что характеристики предлагаемых на рынке модулей на базе емкостных сенсоров влажности [1] могут значительно отличаться от заявленных, а их калибровка позволяет существенно компенсировать эти отклонения.

ЛИТЕРАТУРА

1. https://sensirion.com/media/documents/C43ACD8C/6685097A/HT_DS_Datasheet_SHT4xA_1.pdf
2. https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-c3_datasheet_en.pdf.
3. ГОСТ 28237-89 (МЭК 260-68) Камеры неинжекционного типа для получения постоянной относительной влажности.