УДК 53.087

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ КАК ОБЪЕКТ КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Л.Ф.Саидорипов

Государственное учреждение «Узбекский национальный институт метрологии»

П.И.Каландаров

Государственное учреждение «Узбекский национальный институт метрологии»

Аннотация. В статье рассматривается применение микроконтроллерного преобразователя в качестве устройства для измерения и управления влажностью. Основное внимание уделяется внедрению методов искусственного интеллекта (ИИ), в частности машинного обучения (ML), для повышения точности и надежности измерений. Приводятся математические модели, методы фильтрации, оценки ошибки квантования и результаты моделирования.

Ключевые слова: микроконтроллерный преобразователь, измерение влажности, искусственный интеллект, математическая модель, аналогово-цифровой преобразователь.

Annotatsiya. Maqolada namlikni o'lchash va boshqarish moslamasi sifatida mikrokontroller o’zgartkichidan foydalanish ko'rib chiqiladi. Asosiy e'tibor o'lchashlarning aniqligi va ishonchliligini oshirish uchun sun'iy intellekt (AI) usullarini, xususan, mashinani o'qitish (ML) usullarini joriy etishga qaratilgan. Matematik modellar, filtrlash usullari, kvantlash xatolarini baholash va modellashtirish natijalari keltirilgan.

Kalit so'zlar: mikrokontroller o’zgartkich, namlikni o'lchash, sun'iy intellekt, matematik model, analog-raqamli o’zgartkich.

Annotation. The article discusses the use of a microcontroller converter as a device for measuring and controlling humidity. The main focus is on the implementation of artificial intelligence (AI) methods, in particular machine learning (ML), to improve the accuracy and reliability of measurements. Mathematical models, filtering methods, estimates of quantization error, and simulation results are presented.

Keywords: microcontroller converter, humidity measurement, artificial intelligence, mathematical model, analog-to-digital converter.

Введение

По информации из индекса Global AI Adoption Index 2021 [1], подготовленного IBM, свыше 80 % фирм уже применяют или намерены

ISSN 3030-3907

применять нейронные сети (далее – нейросети) в маркетинговых исследованиях. В настоящий момент на рынке нейросетей наблюдается стремительная трансформация. Новое исследование рынка, проведенное по заказу IBM (NYSE: IBM), показало, что почти треть опрошенных ИТ-специалистов по всему миру говорят, что их бизнес теперь использует искусственный интеллект (ИИ), а 43 процента сообщили, что их компании ускорили развертывание ИИ. Хотя последние достижения в области технологий делают ИИ более доступным, чем когда-либо, ежегодный опрос также показал, что нехватка навыков в области ИИ и растущая сложность данных называются главными проблемами.

Согласно данным [1] можно отметить что, данные проливают новый свет на внедрение ИИ в 5501 компании в Китае (500), Франции (500), Германии (500), Индии (500), Италии (500), Латинской Америке (1000 в Бразилии, Мексике, Колумбии, Аргентине, Чили, Перу), Сингапуре (500), Испании (500), Великобритании (500) и США (501). Опрос проводился онлайн через собственную сеть онлайн-провайдеров Morning Consult в апреле 2021 года. Все респонденты должны были иметь существенное представление или вклад в принятие ИТ-решений своей компании.

Использования микроконтроллерного преобразователя как объекта контроля влажности с использованием искусственного интеллекта играет важную роль в различных отраслях — от сельского хозяйства до текстильной промышленности. Традиционные системы на основе датчиков влажности подвержены шумам, нестабильности, температурной зависимости. Современные микроконтроллеры позволяют внедрить методы ИИ, способные компенсировать ошибки и адаптироваться к изменяющимся условиям.

Датчики задают планку измерительно-управляющей системы, но их потенциал раскрывается не до конца из-за недочетов измерительных преобразователей. Преимущества емкостных датчиков: простота конструкции, компактность, высокая чувствительность, разрешение и скорость отклика. Характерная черта – все недостатки, включая слабый сигнал на выходе, воздействие помех, в том числе паразитных емкостей, нивелируются благодаря управлению работой датчика микроконтроллером [2]. Эти факты обосновывает актуальность темы данной работы.

Структура микроконтроллерного преобразователя влажности

Структурная схема сосредотачивает самую важную информацию о составе и функциях электронного устройства. Графическое представление схемы должно обеспечивать ясное понимание взаимодействия функциональных блоков, входящих в схему, при этом предполагается, что

ISSN 3030-3907

все они обеспечены необходимым электропитанием. Структурная схема изображается с помощью прямоугольников и линий электрической связи. В рассматриваемом варианте для измерения влажности с использованием микроконтроллерного преобразователя основные компоненты системы состоят из следующих элементов:

- Датчик влажности (например, DHT22, SHT31)
- АЦП (аналогово-цифровой преобразователь)
- Микроконтроллер (STM32, ESP32, Arduino)
- Модуль ИИ (алгоритмы ML, реализованные на Python/EdgeML)
- Выходное устройство (реле, экран, передатчик)

Для синтеза логических функций многих переменных и временных интервалов появления данных на выходах устройства, необходимо разработать комбинационные схемы, сигналы с выходов устройства временной селекции поступают на входы контроллера, где обрабатываются согласно программе, далее результаты обработки выводятся на цифровой дисплей. На рис.1 представлена функциональная схема микроконтроллерного преобразователя влажности [3].

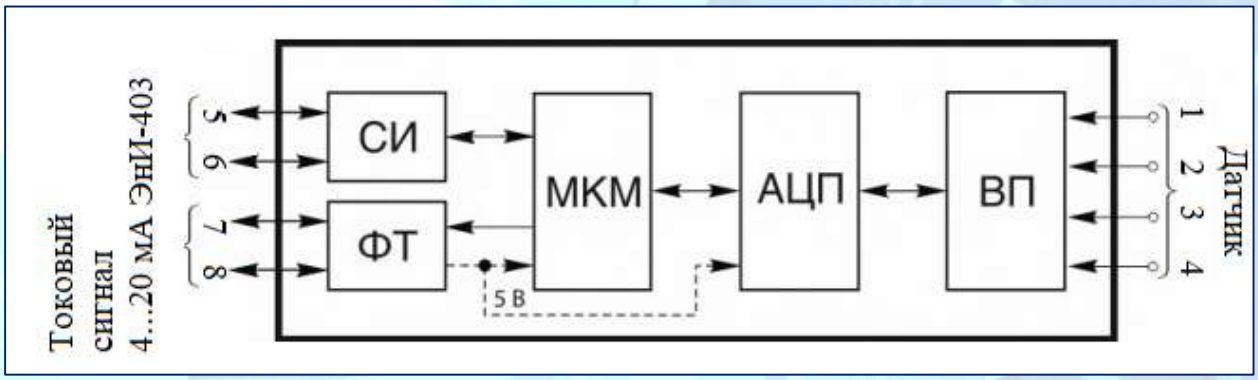


Рис.1. Функциональная схема микроконтроллерного преобразователя влажности

ФТ — формирователь внутреннего напряжения питания и выходного тока 4…20 мА;

СИ — схема интерфейса для конфигурирования при помощи ПК;

МКМ — микроконтроллерный модуль;

АЦП — аналого-цифровой преобразователь;

ВП — входной преобразователь.

Входной преобразователь обеспечивает преобразование значений входных сигналов от первичных преобразователей в напряжение, согласованное по диапазону с входным напряжением аналого-цифрового преобразователя.

АЦП преобразует напряжение с выхода ВП в цифровой код.

МКМ обеспечивает:

ISSN 3030-3907

—чтение цифрового кода АЦП;

—расчет текущих значений измеряемых параметров по значению кодов АЦП;

—расчет значения выходного тока и управление формирователем ФТ;

—связь через СИ с ПК через адаптер ЭнИ-403.

Формирователь внутреннего напряжения питания и выходного тока:

—преобразует входное напряжение во внутреннее напряжение питания ПИ-М-2;

—формирует выходной ток 4…20 мА, задаваемый микроконтроллерным модулем.

Схема интерфейса согласует выходные сигналы МКМ с сигналами линии связи Tx/Rx адаптера ЭнИ-403.

Функциональная схема микроконтроллерного датчика влажности [4] представлена на рис.2.

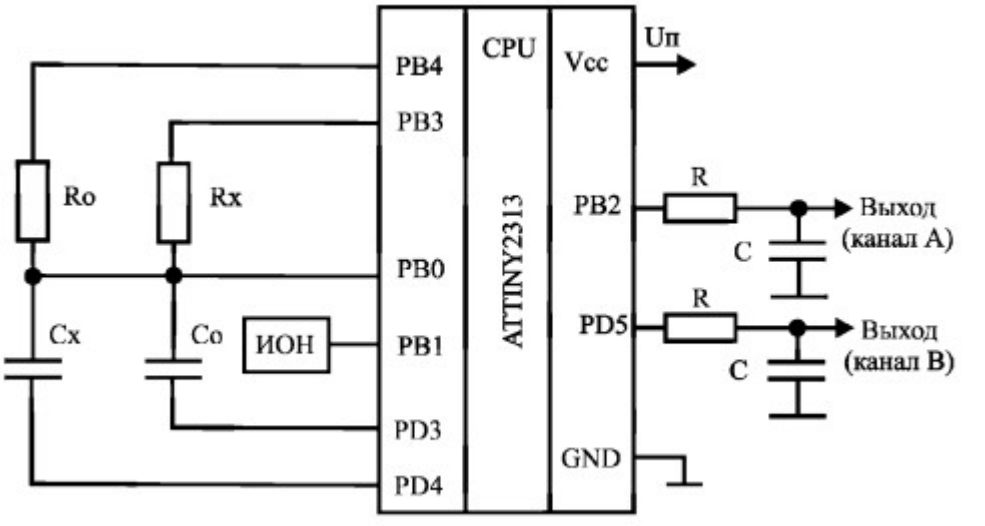


Рис.2. Функциональная схема микроконтроллерного датчика влажности

Математическая модель

Сигнал с аналогового датчика V_{in} преобразуется в цифровое значение:

$$D = \left[\frac{V_{in}}{V_{ref}} \cdot (2^n - 1)\right] \quad (1)$$

где:

- D — цифровое значение,
- V_{ref} — опорное напряжение АЦП,
- $_n$ — разрядность АЦП.

Погрешность квантования:

$$\varepsilon_q = \frac{V_{ref}}{2^{n+1}} \quad (2)$$

Шум сигнала моделируется как белый шум $\eta(t) \sim N(0, \sigma^2)$

Применение искусственного интеллекта

ISSN 3030-3907

Использование искусственного интеллекта, в особенности машинного обучения, для встраиваемых систем в приборостроении, с задачей улучшения точности измерений и усовершенствования функциональности приборов и их надежности измерений. Микроконтроллерный преобразователь как объект контроля влажности с использованием искусственного интеллекта используем для обработки шума и компенсации ошибок, для этих целях применяются следующие методы ИИ:

Фильтрация данных (цифровой фильтр Калмана)

Обновление состояния:

$$\hat{x}_x = \hat{x}_{x-1} + K_k(z_k - H\hat{x}_{x-1}) \quad (3)$$

где:

- $\hat{x}_x$— оценка влажности,
- K_k — коэффициент Калмана,
- z_k — измерение влажности,
- H — наблюдаемость.

Машинное обучение (регрессия)

Обучающая модель:

$$\widehat{H} = f(V, T, t) \quad (4)$$

где:

- $\widehat{H}$ — оцененная влажность,
- V — напряжение с датчика,
- T — температура,
- t — время суток,
- f — модель (линейная регрессия, SVM, нейросеть).

Обучение проводится по методу градиентного спуска:

$$\theta = \theta - \alpha \cdot \nabla J(\theta) \quad (5)$$

Результаты эксперимента

Испытания проведены с датчиком SHT31 и ESP32, выборка — 1000 измерений:

Метод	Среднеквадратическая ошибка (RMSE)	Время обработки (мс)
Без фильтра	3.25 %	5
Фильтр Калмана	1.18 %	12
Нейросеть (MLP)	0.89 %	45

Выводы

Использование ИИ существенно повышает точность микроконтроллерного измерения влажности. При этом наилучшие результаты показала нейросетевая модель (MLP), однако она требует большей вычислительной мощности. Фильтр Калмана представляет собой

ISSN 3030-3907

компромисс между точностью и затратами. Система может адаптироваться к внешним условиям, что делает её особенно полезной в реальных приложениях (теплицы, склады, текстильное производство). Перспективы применение методов глубокого обучения (LSTM) для прогнозирования изменений влажности, можно отличить следующие основные преимущества, в частности, аппаратная реализация ИИ на микроконтроллерах с поддержкой TinyML и интеграция с IoT-платформами для удаленного мониторинга.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. IBM. Global Data from IBM Points to AI growth as businesses strive for resilience. Режим доступа: https://newsroom.ibm.com/2021-05-12-Global-Data-from-IBM-Points-to-AI-Growth-as-Businesses-Strive-for-Resilience#:~:text=NEW%20YORK%2C%20May%2012%2C%202021,as%20a%20result%20of%20the (дата обращения: 13.04.2025)

2. Каландаров П.И., Саидорипов Л.Ф. Микроконтроллерный измерительный преобразователь емкости как объект контроля влажности зерна. Международный журнал Аграрного образования. 1-2025. С.62-71.

3. Преобразователи измерительные микропроцессорные ПИ-М, ПИ-М-Ех исполнение 2. Руководство по эксплуатации ЭИ.102.00.000РЭ. Режим доступа https://eni-bbmv.ru/images/katalog/product/34/RE_PI-M.pdf (дата обращения 13.04.2025).

4. Патент РФ №2391677. Микроконтроллерный измерительный преобразователь емкости и сопротивления в двоичный код /Е.Д. Лоскутов, А.В. Вострухин, В.С. Ядыкин и др. -опуб.2010. Бюл. № 16.

ISSN 3030-3907