УДК 004.67, 621.317

Любченко Н. Ю., Подорожняк А. О., Клименко А. М., Гурський В. М.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ВИМІРЮВАЧА СИСТЕМИ ТЕРМОРЕГУЛЮВАННЯ

У статті наведено опис моделі мікропроцесорного вимірювача температури системи терморегулювання та проведено його дослідження для різних умов функціонування і характеристик температурних датчиків у мікропроцесорних вимірювальних системах. Розроблені пропозиції щодо застосування методів вимірювання температури з коригуванням похибки для мікропроцесорних вимірювачів. Наведено результати роботи програмної реалізації системи терморегулювання з використанням температурних датчиків з корекцією помилки вимірювання, що дає можливість централізовано та на одному місці відстежувати й аналізувати температурні вимірювання.

***Ключові слова**: система терморегулювання, температурні вимірювання, мікропроцесорний вимірювач, оброблення даних.*

Постановка проблеми

Створення високотехнологічної системи терморегулювання з використанням пристроїв аналізу вимірюваної температури ставить підвищені вимоги до рівня надійності їх функціювання. Сучасне виробництво має у своєму складі в деяких випадках десятки–сотні пристроїв, що потребують контролю за температурою [1, 2]. При традиційних системах управління з децентралізованим контролем для обслуговування такої кількості установок потрібен великий штат оперативного персоналу. За чинними правилами оператор повинен здійснювати регулярний контроль роботи та реєструвати в журналі спостережень дані про температуру й проходження технологічних процесів.

Здійснювати такий масштабний контроль сучасних технологічних процесів силами оперативного персоналу, особливо в нічний час, не тільки досить трудомістка операція, а й найбільш слабка за надійністю операція циклу, оскільки результат контролю повністю залежить від сумлінності, об’єктивності та фізичного стану операторів. Істотно зростає ймовірність операторських помилок, таких як неправильна реалізація правильних намірів і правильного виконання дій на основі неправильних передумов. У разі виникнення нештатної ситуації оператор може з організаційних причин затратити чимало часу на пошук проблеми функціонування та виду несправності, що зазвичай призводить до зниження якості підсумкової продукції.

Для забезпечення високої надійності функціювання програмної системи управління процесами аналізу пропонується концепція мережевої дворівневої організації, що складається з центральної комп’ютерної системи й мікропроцесорних блоків локального управління, які розміщуються близько до установки. Для визначення шляхів реалізації запропонованої концепції необхідно створити модель системи та провести її дослідження.

Аналіз публікацій

Проведений аналіз літератури показав [2–7], що є багато варіантів вимірювання температури, однак вони не розглядають процес вимірювання з урахуванням роботи

великої кількості сучасних пристроїв, на які впливають різні дестабілізувальні фактори. Основним завданням для точного вимірювання є безпосередній контакт із вимірювальною поверхнею та зменшення дестабілізувальних факторів на систему. Для автоматизації роботи система має бути обладнана необхідною кількістю датчиків і приладами автоматизації.

Таким чином, актуальності набуває питання, пов'язане з дослідженням можливих шляхів побудови системи вимірювання температури та її аналіз.

Мета статті. Ця стаття присвячена дослідженню моделі та розробці пропозицій щодо побудови мікропроцесорної системи вимірювання температури.

Основна частина

Розробка моделі мікропроцесорного вимірювача температури (МВТ) була проведена в середовищі моделювання MATLAB та наведена на рис. 1.

На поданій схемі: БФВС – блок формування вхідного сигналу; БФВТ – блок формування вимірюваної температури; ТП – температурний перетворювач; ОП – операційний підсилювач; БФШС – блок формування шумового сигналу; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; АЛП – арифметико-логічний пристрій; МП – мікропроцесор; БІ 1, 2, 3, 4 – блоки індикації.

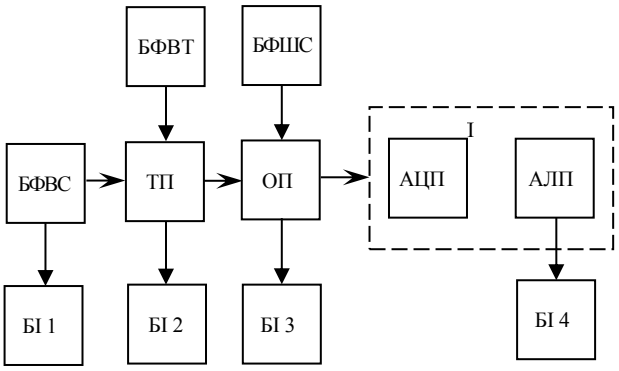

Рис. 1. Модель мікропроцесорного вимірювача температури

БФВС у наведеній моделі формує три види досліджуваних сигналів зміни температури за часом – $X_{вх_1} = \text{const}$ (температура вимірюваного середовища постійна і дорівнює деякому значенню *const*), $X_{вх_2} = kt$ (температура вимірюваного середовища лінійно зростає в часі t з коефіцієнтом k), $X_{вх_3} = \text{const} \cdot \sin(t)$ (температура вимірюваного середовища змінюється за гармонійним законом), які видаються для графічної індикації на БІ 1.

У сигнал після температурного перетворювача (ТП) адитивно додається шумовий складник randn, який має розподіл за нормальним законом із визначеними параметрами розподілу, що змінюються під час дослідження:

$$X_{ТП_1} = \text{const} + \text{randn};$$

$$X_{ТП_2} = kt + \text{randn};$$

$$X_{ТП_3} = \text{const} \cdot \sin(t) + \text{randn}.$$

Сигнал з виходу термоперетворювача подається на блок індикації БІ 2 та на операційний підсилювач ОП. На виході операційного підсилювача маємо сигнал вигляду

$$X_{ОП_1} = k_{ОП}(\text{const} + \text{randn}) + x_0,$$
$$X_{ОП_2} = k_{ОП}(kt + \text{randn}) + x_0,$$
$$X_{ОП_3} = k_{ОП}(\text{const} \cdot \sin(t) + \text{randn}) + x_0,$$

де $k_{ОП}$ – коефіцієнт підсилення операційного підсилювача ОП, а x_0 – стала похибка сигналу на виході операційного підсилювача.

Аналіз причин появ похибки вимірювань, їх виявлення та зменшення є одним з основних етапів процесу вимірювань. В нашому разі основну частину займають контактні методи вимірювання температури та пов'язані з цим похибки, тому розглянемо їх детальніше. Основним є те, що всі контактні методи основані на перетворенні в сигнал вимірювальної інформації будь-якої термічної властивості термоперетворювача, а не об'єкта дослідження. Тому всі відповідні засоби вимірювальної техніки вимірюють температуру чутливого елемента термоперетворювача, яка в загальному випадку не дорівнює температурі об'єкта.

Крім того, при даних методах вимірювання суттєве значення має похибка, яка обумовлена взаємодією об'єкта вимірювання та засобом вимірювальної техніки, особливо якщо останній використовується тільки для періодичних вимірювань та є штатним приладом даного об'єкта.

Методичні похибки терморезистивного методу обумовлені нагріванням термоперетворювача струмом, який проходить через нього та впливом опору ліній, а термоелектричного – похибки від нестабільності температури вільних кінців термопари, впливу постійних магнітних полів та інших факторів.

Загальними для всіх контактних методів є похибки, обумовлені недостатнім тепловим контактом між перетворювачем та об'єктом дослідження. При проведенні вимірювань з використанням мікроконтролера пропонується відмовитися від звичайного способу калібрування вимірювального приладу за допомогою вимірювального підсилювача й компенсаційного потенціометра, а перекласти завдання калібрування/корекції на мікроконтролер.

Окрім перелічених похибок є ще й такі як: похибка за рахунок особистого споживання теплової енергії термоперетворювачем; похибка від паразитного теплообміну між об'єктом дослідження та навколишнім середовищем через термоперетворювач; динамічна похибка.

Найважливішими завданнями є підвищення точності як найбільш важливого показника якості вимірювань. Воно досягається зменшенням усіх складників похибки МВТ, причинами яких є внутрішні впливні величини та зовнішні впливні величини, до яких належать умови експлуатації МВТ і неінформативні параметри вхідних (вимірювальних) сигналів.

Відомо багато методів підвищення точності МВТ, які розділяють на дві групи:

– методи, що забезпечують усунення або зведення до мінімуму причин виникнення окремих складників похибки МВТ. Ці методи називають також консервативними;

– методи, направлені на зниження рівня похибок МВТ. Їх називають також методами корекції похибок.

Консервативні методи запобігають появі тих чи інших похибок МВТ або не допускають перевищення ними допустимих значень. Вони відрізняються простотою реалізації, бо не потребують чуттєвого структурного ускладнення МВТ. До консервативних методів належать конструктивно-технологічні та захисно-запобіжні методи.

Відомо також багато методів корекції похибок МВТ, але найбільш поширеними є структурні, статистичні й алгоритмічні методи. Структурні методи підвищення точності МВТ ґрунтуються на використанні принципу інваріантності (нечутливості), згідно з якими МВТ виконуються так, щоб зменшити їх чутливість до певної впливної величини, або їх сукупності, що призводять до тих чи інших похибок МВТ

Досить перспективними є алгоритмічні методи підвищення точності МВТ. Вони ґрунтуються на використанні таких алгоритмів обробки кількох результатів вимірювань, які дають можливість зменшити похибку вимірювань.

Розглянемо реальний випадок з практики вимірювань, коли вимірювач температури дає характеристику, представлену на рис. 2.

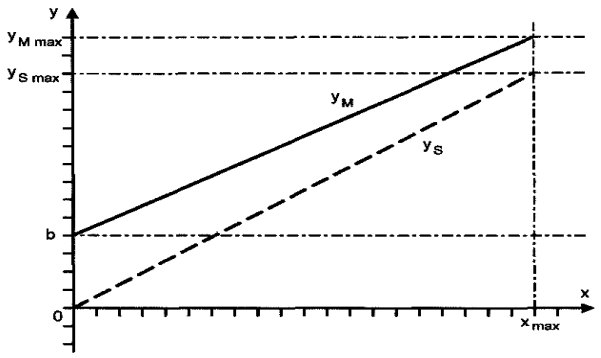

Рис. 2. Нормальна y_S і фактична y_M характеристика вимірювального приладу

На діаграмі показана фактична характеристична крива y_M (суцільна лінія) і нормальна характеристика y_S (пунктирна лінія) вимірювального приладу. При цьому кривій y_M можуть, наприклад, відповідати значення на виході цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) залежно від вхідної напруги x.

Як видно з рис. 2, фактичні значення y_M зміщені відносно кривої y_S на величину b. Окрім того, спостерігається незначне посилення (нахил прямої y_M незначний).

У звичайних випадках подібні погрішності усуваються за допомогою вимірювального підсилювача і підстроєчного резистора. Якщо ж в описаній вимірювальній системі є мікроконтролер, то корекція помилки реалізується на програмному рівні. Відповідно, немає необхідності у використанні підсилювальної схеми і підстроєчного резистора.

Значення поправки прораховуються в процесі калібрування, після чого вони можуть бути записані, наприклад, у пам’ять EEPROM мікроконтролера [8, 9].

За допомогою їх при подальших вимірюваннях всі значення, що заміряються (спотворені), можуть бути відкоректовані в режимі реального часу.

На рис. 3 зображена лінійна характеристика вимірювального приладу з двома контрольними точками МР1 і МР2, в яких треба виконати калібрування за допомогою мікроконтролера.

Якщо характеристика має лінійний характер, то всі величини, що заміряються, містяться на одній прямій і описуються рівнянням

$$y = a \cdot x + b. \qquad (1)$$

Невідомі коефіцієнти a і b легко визначити, знаючи точки виміру МР1 і МР2. Підставивши їх координати в (1.1), отримаємо

$$a = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \quad b = y_1 - a \cdot x_1 . \tag{2}$$

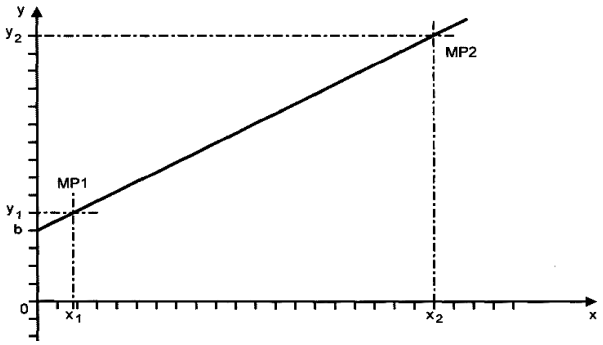

Рис. 3. Характеристика вимірювального приладу,
що калібрується за допомогою мікроконтролера

Шуканою є початкова величина *x,* якій відповідає значення *y* на виході ЦАП. Шляхом перестановки (1.2) отримуємо

$$x = \frac{y - b}{a}, \quad x = (y - b) \cdot \frac{1}{a} . \tag{3}$$

Перш ніж визначити шукану початкову величину *x,* необхідно раніше відняти з *y* збережене в пам'яті EEPROM значення зсуву *b.* Отримана різниця потім ділиться на нахил прямої *a*, і в результаті отримуємо шукану величину. Оскільки мікроконтролери виконують операції множення, як правило, швидше, ніж операції ділення, ділення замінюється множенням на зворотну величину *1/a.*

Пропонується також використовувати статистичні методи корекції похибки МВТ, призначені для зменшення випадкового складника похибки вимірювань, коли відомі статистичні характеристики похибки (оцінка інтервалу кореляції похибки, оцінка взаємної кореляційної функції похибки тощо). Такі методи ґрунтуються на часовому осередненні результатів вимірювань, тобто на їх цифровому інтегруванні та використовуються за умови, що інтервал кореляції похибки є значно меншим від допустимого значення часу вимірювання або перетворення. Часове осереднення здійснюється на основі багаторазових вимірювань фізичної величини X постійного розміру одним МВТ за незмінних умов і з наступним обчисленням результату вимірювань, яким є середнє арифметичне значення $\overline{Y}$ окремих результатів вимірювань Y_i, виконаних послідовно в часі. Результати дослідження мікропроцесорного вимірювача температури наведено на рис. 4–6.

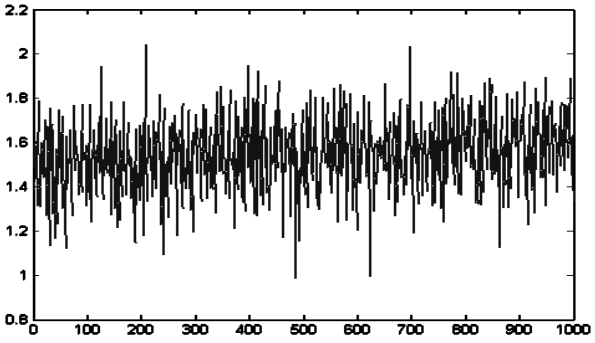

Рис. 4. Температура на виході термодатчика з урахуванням випадкової похибки
(температура вимірюваного середовища постійна)

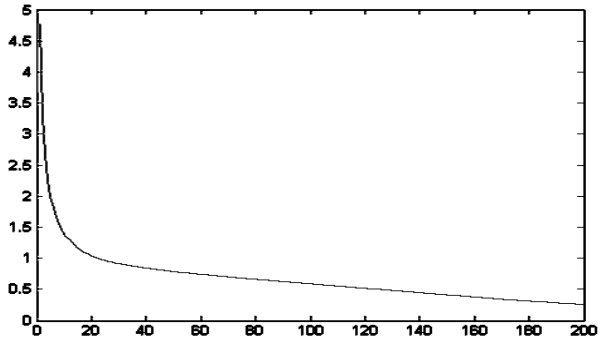

Рис. 5. Середньоквадратична похибка вимірювань з урахуванням осереднення у мікропроцесорі (температура вимірюваного середовища постійна)

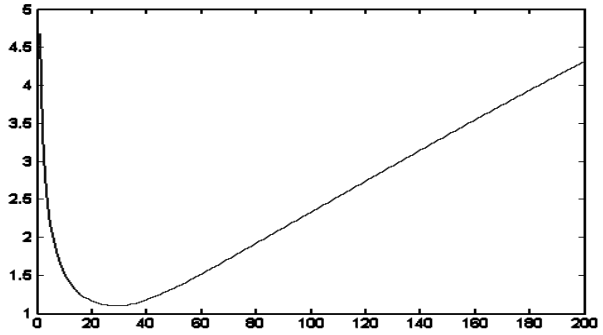

Рис. 6. Середньоквадратична похибка вимірювань з урахуванням осереднення у мікропроцесорі (температура вимірюваного середовища лінійно зростає)

Автоматизація процесу обробки передбачає реалізацію в системі певних засобів і функцій. Треба звернути увагу на функціональні особливості, які повинна мати система:

1) можливість контролю й резервування даних;

2) забезпечувати швидке оброблення отриманих даних;

3) відправляти звіт на сервер з візуальною реалізацією проекту.

Система розроблена так, що вихідні дані з мікроконтролера зберігаються в базі даних для подальшої їх обробки. Отримані дані температурних вимірювань обробляються в інтерпретаторі, написаному на мові *JavaScript* і виводяться у вигляді графіка, який у свою чергу обновлюється кожні 2 секунди та розставляє точки на площині й дає повну картину вимірювання температури в реальному часі [10]. Серверна частина для зручності вироблена на базі мови *PHP*, який дає можливість стежити за перепадами з будь-якої точки планети з будь-якого пристрою [11]. Такий інтерфейс можливо розширити під будь-яку задачу і включити в нього додатковий функціонал, такий як графік роботи пристрою, або ж кнопки включення і виключення пристроїв і багато іншого, що зумовлено необхідністю. Захист доступу реалізується створенням облікових записів користувачів і прив'язкою до IP, якщо не передбачене підключення поза корпоративною мережею. Виконані функції перегляду поточної температури, перегляду по датах і можливості зберегти звіт по конкретних часових проміжках.

Висновки

У статті наведено опис моделі мікропроцесорного вимірювача температури та проведено її дослідження для різних умов функціонування і характеристик температурних датчиків. Розроблено пропозиції щодо застосування методів вимірювання температури з коригуванням похибки для мікропроцесорних вимірювачів.

Наведено результати програмної реалізації системи автоматизації процесу обробки даних з багатьох температурних датчиків з корекцією помилки вимірювання.

Результати дослідження можуть бути застосовані на складних технічних системах, де необхідна обробка даних вимірювань про температуру й проходження технологічних процесів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Датчики температуры [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://www.devicesearch.ru/ article/datchiki-temperatury
2. H.M.. Hashemian. Monitoring and measuring I&C performance in nuclear power plants – USA: International Society of Automation, 2014. – 376 с.
3. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.
4. Новицкий П. В., Зограф И.А., Лабунец В.С. Динамика погрешностей средств измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.
5. Бромберг Э.М., Куликовский К.Л. Тестовые методы повышения точности измерений. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.
6. Мирский Г. Я. Микропроцессоры в измерительных приборах. – М.: Радио и связь, 1984. – 160 с.
7. Подорожняк А.О. Динамічна нейромережева модель первинного перетворювача / А.О. Подорожняк, О.В. Полярус, А.О. Коваль // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – 2014. – Вип. 35 (1078). – С. 152-160.
8. Кохц Д. Измерение, управление и регулирование с помощью PIC-микроконтроллеров. – К.: МК - Пресс, 2006. – 304 с.
9. Трамперт В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR- микроконтроллеров.– К.: МК - Пресс, 2006. – 208 с.
10. Изучаем jQuery 1.3. Эффективная веб-разработка на JavaScript. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2010. – 448 с.
11. Строганов А. С. С86 Ваш первый сайт с использованием PHP скриптов. – М.: Диалог-МИФИ, 2008. – 288 с.

Н. Ю. Любченко, А. А. Подорожняк, А. Н. Клименко, В. Н. Гурский

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СИСТЕМЫ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ

В статье приведено описание модели микропроцессорного измерителя температуры системы терморегулирования и проведено ее исследование для различных условий функционирования и характеристик температурных датчиков в микропроцессорных измерительных системах. Разработаны предложения по применению методов измерения температуры с корректировкой погрешности в микропроцессорных измерительных системах. Приведены результаты работы программной реализации системы терморегулирования с использованием температурных датчиков с коррекцией ошибки измерения, позволяющей централизованно и на месте отслеживать и анализировать температурные измерения.

Ключевые слова: *система терморегулирования, температурные измерения, микропроцессорный измеритель, обработка данных.*

N.Lubcenko, A.Podorozhniak, A.Klimenko, V.Gurskii

RESEARCH MODEL MICROPROCESSORS SENSOR THERMAL CONTROL SYSTEM

The article describes a model of microprocessor-based temperature sensors of thermal control system and given her research for a variety of operating conditions and characteristics of temperature sensors in the microprocessor-based measurement systems. Proposals on the

application of methods of temperature measurement error correction for microprocessor meters. The results of the work program implementation process thermal control system data from many temperature sensors with measurement error correction, enabling centralized and on-site to monitor and analyze the temperature measurements.

Keywords: *thermal control system, temperature measurement, microprocessor meter, data processing.*

УДК 681.532

Мусорін О. О.

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИМІРІВ У СУДНОВИХ СИСТЕМАХ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

У ході експлуатації суднових систем виникають завдання розподіленого та достовірного оброблення поточніх параметрів. Так, розглядають питання, пов'язані з можливістю уточнення отриманих параметрів у процесі обчислювання результатів поточніх вимірювань у суднових системах з розподіленими параметрами. У статті показано аналітичний апарат для обчислювання отриманих результатів з використанням теорії чутливості.

Ключові слова*: система, чутливість, відхилення параметрів, номінальні значення.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. Складність завдання судноводіння пов'язано з тим, що на судно, яке розглядають як об'єкт керування, впливає різноманіття зовнішніх впливів середовища, необхідність обробки великої кількості даних (як від внутрішніх, так і зовнішніх джерел інформації), особливостями функціонування навігаційної апаратури й силових засобів керування при обмеженому часі для прийняття рішень, а також низкою інших обставин [1]. При цьому комплекси, що керують рухом сучасних морських суден, містять автоматизовані системи й елементи системи автоматичного регулювання і керування. Особливістю цих пристроїв є чутливість їхніх елементів і датчиків, які призначені для вимірювання різних фізичних величин: температури, тиску, витрат, рівня рідини, швидкості обертання тощо. При цьому чутливість кожного елемента різна. Це пов'язано з конструктивними особливостями побудови й принципами дії, що характеризується природою вимірюваної величини і способом її вимірювання. Тому нині приділяється велика увага завданню впливу змін параметрів на властивості системи [1, 2]. Сукупність понять і методів, що виникли під час вирішення цього завдання, привело до розвитку систем керування на основі теорії чутливості даних систем. Використання теорії чутливості дає можливість судити про вплив відхилень параметрів (що характеризують як власні властивості системи, так і властивості зовнішнього середовища, в яких функціонує система) на її характеристики [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень та публікацій [1, 3, 4] свідчить, що під час аналізу чутливості в основному спираються на класичні методи теорії малих обурень з відповідності їх інтерпретації.

Поширеним методом є метод використання функцій чутливості, що має низку особливостей:

по-перше, при визначенні функцій чутливості необхідно знати стан вихідної (номінальної) суднової системи;