

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СУЧАСНОЇ СИСТЕМИ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ В ОФІСНИХ ПРИМІЩЕННЯХ

Є. Ф. Сурков, О. І. Шпак

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра комп’ютеризовані системи автоматички
E-mail: yevgenfs2@gmail.com; oksana.i.shpak@lpnu.ua

© Сурков Є. Ф., Шпак О. І., 2023

Вимірювання і контроль температури середовища у приміщенні є одним з найголовніших вимірювань, котрі людина виконує щодня. Вимірювання температури застосовують для контролю об’єктів, де важливо постійне дотримання певного температурного режиму або де різкі перепади температури можуть впливати на ефективність кінцевого результату роботи цього об’єкта. Віддалений контроль цих показників дасть змогу менеджменту оперативно втручатись у роботу підприємства для усунення недоліків, які можуть призвести до втрати продуктивності об’єкта.

Розглянуто реалізацію приладу для вимірювання температури на базі мікроконтролера STM32F746ZGTx. Для отримування даних температури використано давач HTU21D, який може одержувати дані як про температуру навколишнього середовища, так і про його вологість. Характеристики давача такі: діапазон вимірювання температури від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$; діапазон вимірювання відносної вологості 0–100 %; похибка температури $\Delta 0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$; похибка вологості $\Delta 3\text{ }\%$; напруга живлення 1,5–3,6 В; протокол зв’язку I²C, до 400 кГц.

Для відображення даних для користувача є LCD дисплей, який також використовує протокол зв’язку I²C і джерело живленням 5 В. Для реалізації багатозадачної роботи приладу застосовано операційну систему FreeRtos.

Ключові слова: температура; вологість; давач; операційна система FreeRtos; протокол I²C; мікроконтролер STM32F7.

Вступ

Мікроклімат приміщень – це стан внутрішнього середовища приміщення, який характеризується показниками температури і вологості. Ідеальна температура коливається в діапазоні від 18 до 22 градусів. Найкомфортнішим рівнем вологості вважається діапазон від 40 до 60 %. Система клімат-контролю здатна забезпечити ідеальні показники температури і вологості приміщень залежно від того, як підібрані елементи схеми. Вимірювання температури і вологості виконує в автоматичному режимі й контролює сама система. Виміряні значення являють собою нову парадигму, в якій фізичний світ зливається із цифровим завдяки вбудовуванню можливостей інформаційно-комунікаційних технологій у повсякденні предмети та середовища. Поширені обчислювальні програми залежать від низки бездротових сенсорних вузлів і мереж давачів, які збирають і передають контекстну інформацію, таку як екологічні та фізіологічні дані, на базові станції, що є вирішальним для надання цінних послуг у режимі реального часу [1]. У цьому контексті знати точні значення температури важливо у різних сферах, таких як розумні будівлі [2], медичні дослідження [3], розумне сільське господарство [4] та промислові процеси [5]. Точне та безперервне вимірювання температури вважається критичним у харчовій промисловості для сертифікації безпечних продуктів найвищої якості [6].

Нині зростає кількість застосувань у згаданих вище сферах, де потрібно фіксувати навіть незначні зміни температури на рівні кількох десятків мілікельвінів, або для динамічного оновлення моделей знань предметної області, які підтримують функціональні можливості прийняття точних рішень, або для уникнення неприйнятних помилок [7].

Безперервне точне вимірювання температури – складне завдання у повсякденних умовах. Високоточні системи вимірювання температури на основі давачів дають змогу вимірювати температуру з похибкою від $\pm 0,1$ °C до $\pm 1,5$ °C. Характеристика нелінійності певних типів давачів температури є проблемою для досягнення точних вимірювань. Окрім типового використання пошукових таблиць та онлайн-лінеаризації, для вирішення цієї проблеми застосовували складніші методи, такі як штучні нейронні мережі [8]; однак такі рішення може бути складно реалізувати, враховуючи обмежені ресурси (потужність батареї, швидкість оброблення та ємність пам'яті) типових бездротових вузлів і тривалий термін експлуатації, який очікують передбачувані програми.

1. Дослідження моніторингу вологості та температури

Моніторинг вологості та температури важливий у таких додатках, як моніторинг здоров'я конструкцій (SHM), а також у багатьох різних галузях промисловості, під час зберігання у великих приміщеннях [9]. У переносній робототехніці вимірювання температури та вологості застосовують для моніторингу умов мікроклімату між шкірою людини та роботизованим пристроєм. Оцінка мікроклімату дуже важлива для запобігання травмам [10]. Крім того, несприятливі умови мікроклімату спричиняють дискомфорт і можуть змусити користувача відмовитися від такої техніки. Давачі температури та вологості, придатні для переносної робототехніки, повинні мати можливість працювати в певних межах визначених регіонів комфорту (1) комфортні температури в діапазоні 29–34 °C з відносною вологістю (RH) нижче ніж 70 %; 2) нейтральний комфорт за відносною вологістю нижче ніж 80 % і температури 27–36 °C; 3) дискомфорт за температур нижче ніж 27 °C або вище за 36 °C або за відносною вологістю понад 80 %).

Традиційні технології вимірювання вологості включають використання матеріалів, які стискаються або розширюються у разі зміни вологості [11]. Широко використовують електронні давачі з ємнісними і резистивними перетворювачами; однак їх час відгуку може перевищувати 30 с, іноді вони страждають від електромагнітних перешкод, що перешкоджає їх застосуванню для переносних роботів. Ці електромагнітні перешкоди також є значним обмеженням для звичайних технологій вимірювання температури [12]. Оптичні волокна мають добре відомі переваги, такі як компактність, легкість, здатність мультиплексування та електромагнітний імунітет [13], що дає змогу використовувати їх як давачі для різних параметрів. Одним із цих параметрів є RH, і протягом багатьох років було запропоновано кілька методів. Такі методи охоплюють давачі на основі резонансної частоти [14], інтерферометри Маха – Цендера [15], давачі на основі волокон із травленням [16] та волоконно-бреггівські решітки (FBG) [17], серед інших. Деякі з цих підходів також використовують для вимірювання температури [18, 19, 20]. Однак ці методи зазвичай потребують складного оброблення сигналу. Крім того, впровадження та вартість обладнання для опитування можуть зробити ці технології непридатними для недорогих програм [21].

Щоб подолати деякі обмеження давачів вологості та створити систему, здатну вимірювати параметри клімату приміщень, запропоновано розроблення недорогої системи вимірювання температури та вологості на основі давача, операційної системи і мікроконтролера.

З наведеного вище зрозуміло, що або запропоновані системи точні, але не портативні, або рішення може бути бездротовим, але точність середня.

Тому необхідно розробити та дослідити прилад на основі недорогої системи клімат-контролю, яка вимірюватиме температуру і вологість у приміщенні одночасно і, якою можна скористатись у різних поширених сферах із вимогами до точних вимірювань у діапазоні -40 – $+125$ °C і відносною вологістю у діапазоні 0–100 %. Це недорога сенсорна система на основі давачів підключена до мікроконтролера, який використовує протокол I²C для передавання даних. Зв'язок із низьким

енергоспоживанням у поєднанні з оптимізацією енергоспоживання, прийнятою у вимірювальній системі, забезпечує автономну роботу від кількох місяців до років із певною частотою вимірювання і за меншу вартість, ніж такі самі дорогі системи.

2. Програмне забезпечення системи клімат-контролю

Дослідження приладу на основі розроблення системи клімат-контролю для вимірювання температури і вологості у приміщенні полягає у створенні програмного забезпечення, яке стежитиме за температурним і вологісним режимами у приміщенні.

Для початку необхідно створити новий проєкт у STM32CubeIDE. Для цього в контекстному меню потрібно перейти у вкладку і вибрати опцію створення нового проєкту “File -> New -> STM32 Project”. Наступний крок – вибрати мікроконтролер “STM32F746ZGT6” і натиснути кнопку “Next”. Вказати ім'я свого проєкту та його локацію у файлової системі й натиснути “Finish”. Етап створення проєкту закінчено. Відкривається вікно з налаштуваннями мікроконтролера. Тепер починається налаштування мікроконтролера та автоматичної генерації базового коду проєкту. Необхідно увімкнути налагоджувач: System Core -> SYS -> Debug: Serial Wire. Тоді увімкнути і налаштувати інтерфейс передавання даних I²C: Connectivity -> I²C1. Потрібно змінити частоту на 400 кГц: I²C1 -> Parametr Settings -> I²C Speed Mode: Fast Mode. Увімкнути системні переривання: NVIC Settings -> I²C event interrupt -> Enable. Останнім кроком в налаштуванні I²C налаштовують GPIO: GPIO settings -> GPIO pull up/ pull down -> pull up. Тепер час підключити операційну систему FreeRtos в цей проєкт: Middleware -> FREERTOS -> Interface -> CMSIS_V2. На цьому налаштування мікроконтролера завершено. Потім необхідно зберегти проєкт і згенерувати код.

Для написання коду потрібна інформація зі специфікації розробника давача температури і вологості, а саме:

- адреса давача: 7-bit I²C device address 0x40;
- команди для вчитування температури: 0xE3 та для вологості: 0xE5;
- формули для обчислення даних із давача:

$$Temp = -46.85 + 175.72 \times \frac{S_{Temp}}{2^{16}} \quad (1)$$

$$RH = -6 + 125 \times \frac{S_{RH}}{2^{16}} \quad (2)$$

- адреса дисплея I²C: 0x27;

– інформацію про байт даних, який передається по шині: Register select bit 0, Enable bit 2, Backlight bit 3, Data 4 bit, Data 5 bit, Data 6 bit, Data 7 bit.

Для написання коду створюють дві задачі для давача і дисплея. Тому потрібно додати два прототипи функцій, які описують їх виконання в main.c. Тепер необхідно пов'язати функцію і оголошене завдання, для якого використовується функція xTaskCreate, призначена для створення завдань у FreeRtos. Вона має такий прототип:

```
xTaskCreate(TaskFunction_t pvTaskCode, const char * const pcName,
configSTACK_DEPTH_TYPE usStackDepth, void *pvParameters,
UBaseType_t uxPriority, TaskHandle_t *pxCreatedTask)
```

де pvTaskCode: Pointer to the task entry function;

pcName: A descriptive name for the task;

uxPriority: The priority at which the created task will execute;

pxCreatedTask: Used to pass a handle to the created task out of the;

usStackDepth: The number of words (not bytes!) to allocate for use as the task's stack.

Пріоритетність кожної таски – від 0 до значення configMAX_PRIORITIES – 1. Значення configMAX_PRIORITIES налаштовують у самому FreeRtos, але переважно воно не перевищує 32. І нарешті, реалізація поведінки цих завдань: ініціалізація дисплею, а також необхідно додати затримку для періодичного спрацювання завдань. У разі виклику vTaskDelay операційна система перемкнеться від завдання, яке спричинило затримку, на виконання наступного не заблокованого за-

вдання у списку пріоритетів. Тут використовується ключове слово `volatile` для того, щоб компілятор не оптимізував змінну. Також створюється черга для збереження даних, яку слід вивести на дисплей і передбачити 200 байт.

```
xTaskHandle display_taskHandle;
xTaskHandle HTU_taskHandle;
void display_task_entry(void *pvParameters);
void HTU_task_entry(void *pvParameters);
QueueHandle_t obj_display_que;
int main(void)
{
    obj_display_que = xQueueCreate(200, sizeof(uint8_t));
    xTaskCreate(display_task_entry, "display_task", 128 * 4, NULL, 32 | portPRIVILEGE_BIT,
&display_taskHandle);
    xTaskCreate(HTU_task_entry, "HTU_task", 128 * 4, NULL, 33 | portPRIVILEGE_BIT,
&HTU_taskHandle);
}
void display_task_entry(void *pvParameters)
{
    volatile uint8_t display_period_ms = 10;
    /* Infinite loop */
    for (;;)
    {
        display_run(&obj_i2c);
        vTaskDelay(display_period_ms);
    }
    vTaskDelay(0);
}
void HTU_task_entry(void *pvParameters)
{
    volatile uint32_t HTU_period_ms = 15000;
    display_init(&obj_display_que);
    vTaskDelay(HTU_period_ms);
    /* Infinite loop */
    for (;;)
    {
        HTU21D_handler(&obj_i2c);
        vTaskDelay(HTU_period_ms);
    }
    vTaskDelay(0);
}
```

На рис. 1 відображено роботу програми за допомогою операційної системи FreeRtos.

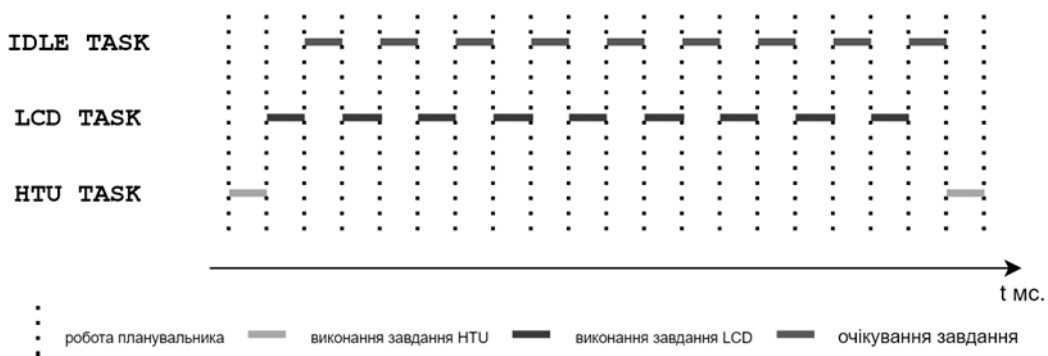


Рис. 1. Розділення процесорного часу між задачами в програмі

3. Алгоритм роботи програми для системи клімат-контролю

Коли основні маніпуляції з операційною системою FreeRtos закінчено, прописується бізнес-логіка функціоналу. Розпочинається з логіки для оброблення даних давача, яка здебільшого складається із чотирьох частин. Спочатку отримують і записують дані вимірювань температури і вологості, а потім відправляють ці дані на дисплей. Також додається функція затримки для того, щоб давач встиг обробити зібрані дані. Далі зчитують 2 байти даних по I²C з адреси або для температури, або для вологості. Для цього використовують формули (1) і (2) зі специфікації. Алгоритм роботи програми подано на рис. 2.

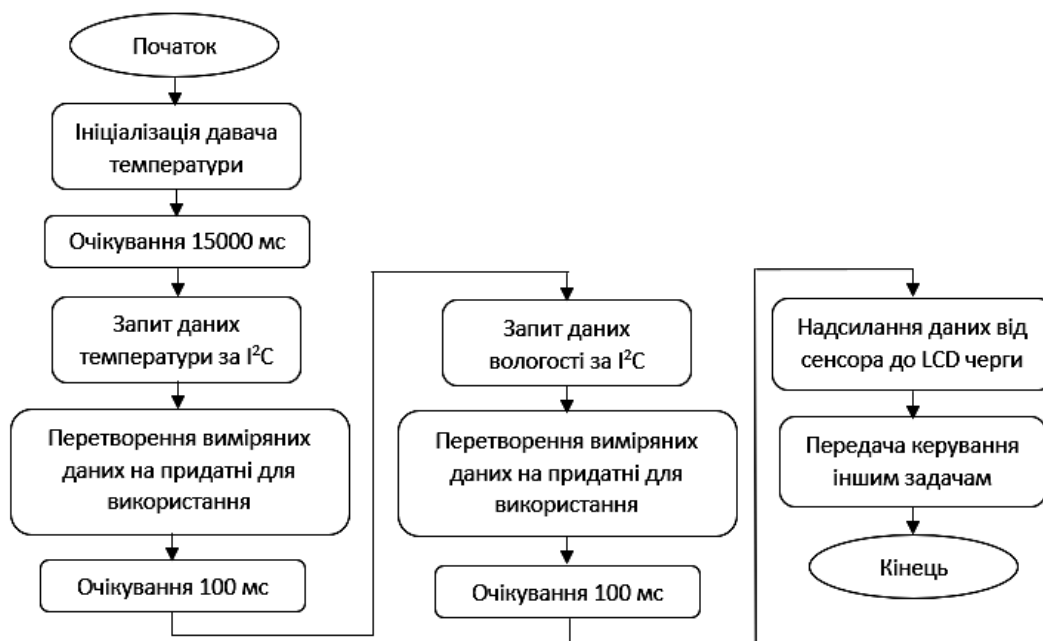


Рис. 2. Блок-схема роботи задання HTU драйвера

Логіка для дисплею дещо складніша, оскільки можна надсилати 4 біти даних, тому один байт потрібно надсилати двома етапами. Для надсилання даних використовують функція `lcd_write_nibble`, де з частини повідомлення необхідно утворити пакет даних, які надсилають. Функція `Lcd_send_cmd` враховує необхідність у надсиланні байта двома частинами, тому перед тим, як відправити одержані дані, ділить їх на 4 біти і зсуває. Те саме робить і функція для відправлення даних `lcd_send_data`. Надалі за допомогою цих функцій можна оперувати дисплеєм, використовуючи функції: `lcd_write_string` – для відправлення рядків; `lcd_set_cursor` – для встановлення курсора; `lcd_clear` – для очищення дисплея. Функція `lcd_handler` відправляє дані за умови, якщо є певні дані в черзі, а також якщо I²C готове для відправлення даних. Алгоритм роботи програми наведено на рис. 3.

```

void lcd_handler(i2c_t* objP_this)
{
    uint8_t u8L_data;
    if(xQueueReceive(*objPS_display_buff, &u8L_data, 5) && i2c_get_state(objP_this) ==
eI2C_err_ok)
    {
        i2c_master_send(objP_this, I2C_ADDR, &u8L_data, 1);
        HAL_Delay(1); } }
  
```

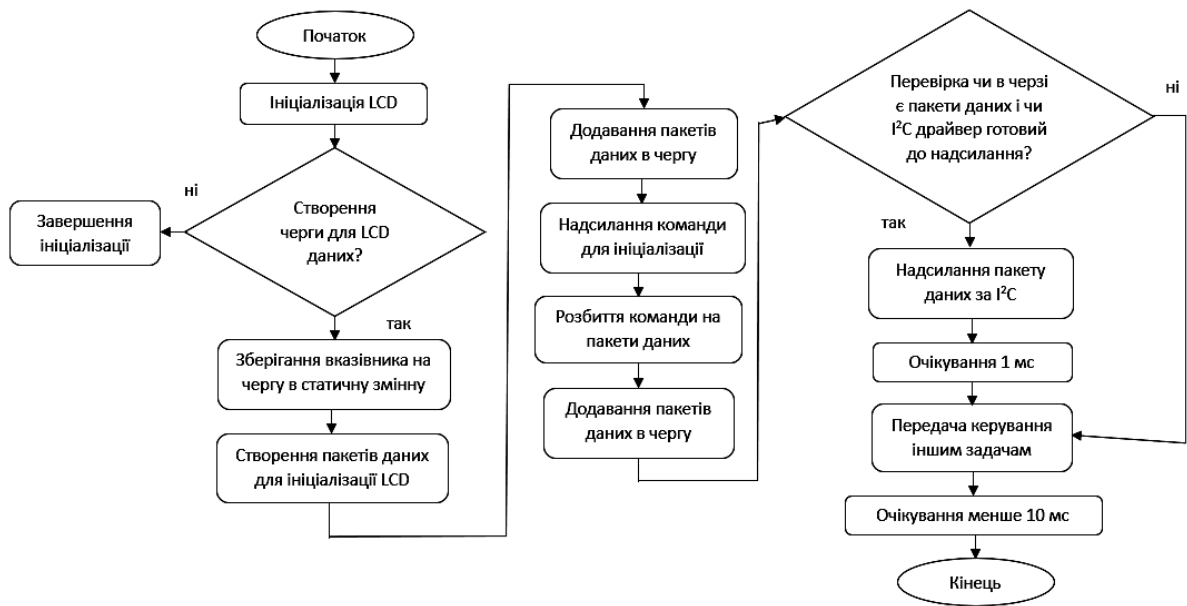


Рис. 3. Блок-схема роботи задання LCD драйвера

Останній крок у реалізації приладу полягає у під'єднанні дисплею і давача до мікроконтролера (табл. 1).

Таблиця 1

Таблиця під'єднань дисплею і давача до мікроконтролера

STM32	3.3v	5v	GND	PB6	PB9
LCD		VCC	GND	SCL	SDA
HTU	+		-	CL	DA

Потім тестують роботу приладу (рис. 4).

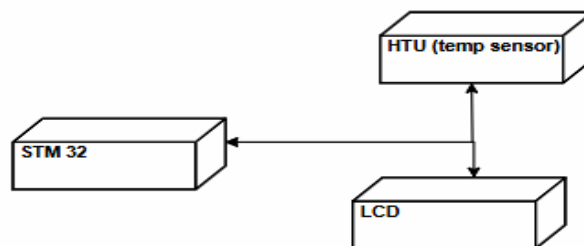


Рис. 4. Структурна схема приладу для вимірювання температури і вологості

Прилад складається із трьох блоків: дисплея LCD, мікроконтролера STM32 та давача HTU, які з'єднані між собою. LCD живиться від напруги 5 В, а давач – від 3,3 В. Все об'єднується в спільну землю, з'єднуються, пini відповідальні за SCL разом із піном, який передає тактову частоту (PB6), а SDA разом із піном передавання даних (PB9).

4. Результати дослідження системи клімат-контролю

Вимірювання температури і вологості у приміщенні полягає у зчитуванні даних з дисплею розробленого приладу кожні 30 хв упродовж дня. Вимірювання здійснювали упродовж місяця і порівнювали з показами фактичного термометра і вологоміра у цьому приміщенні. Фактичні дані у нашому випадку будуть прийняті за еталонні вимірювання, оскільки вимірювання системи клімат-контролю порівнюватимуться саме з цими показниками. Окремі результати вимірювань за конкретний проміжок часу наведено у табл. 2–5 нижче. Еталонну температуру $t_{очік}$ у приміщенні вимірювали цифровим термометром, еталонну вологість $\varphi_{очік}$ – цифровим вологоміром.

Результати вимірювань температури у приміщенні наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Вимірювання температури без кондиціонера

№ вим.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t вим. пр., °C	25,2	25,3	25,3	25,1	25	25,1	25,1	25,2	24,9	25
t етал., °C	25,2	25,2	25,3	25,2	25	25,1	25,1	25	24,8	25
похибка вимір.	0	0,1	0	-0,1	0	0	0	0,2	0,1	0
№ вим.	11	12	13	14	15	16	17			
t вим. пр., °C	25,3	25,4	25,2	25	24,9	24,9	24,8			
t етал., °C	25,1	25,4	25,2	25	24,9	24,8	24,5			
похибка вимір.	0,2	0	0	0	0	0,1	0,3			

Графічно залежності вимірювань подано на рис. 5.

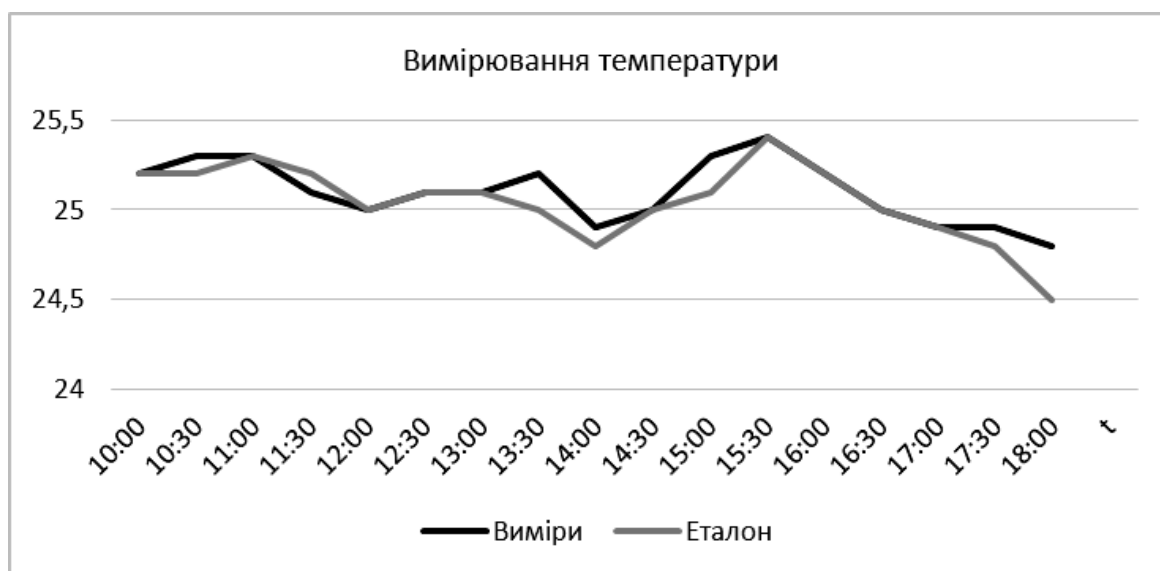


Рис. 5. Часові залежності вимірювань температури без увімкненого кондиціонера

Цим приладом виконували вимірювання вологості у приміщенні кожні 30 хв упродовж дня. Результати вимірювань наведено у табл. 3.

Виконано додаткові дослідження приладу вимірювання температури і вологості повітря у приміщенні з увімкненим кондиціонером та фіксованою на ньому температурою 16 °C. Результати вимірювань наведено у табл. 4.

Таблиця 3

Вимірювання вологості без увімкненого кондиціонера

№ вим.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
φ вим. пр., %	50,5	50,8	51,30	53,9	52,4	51,6	51,9	52,8	53,7	53,1
φ етал., %	50,3	50,8	51,2	53,2	52,4	51,8	52	52,3	53,5	53,4
похибка вимір.	0,2	0	0,1	0,7	0	-0,2	-0,1	0,5	0,2	-0,3
№ вим.	11	12	13	14	15	16	17			
φ вим. пр., %	53,7	54,8	54,2	54	53,5	53,6	53,7			
φ етал., %	53,7	54,5	54,2	54	53,3	53,6	53,1			
похибка вимір.	0	0,3	0	0	0,2	0	0,6			

Графічно залежності вимірювань наведено на рис. 6.

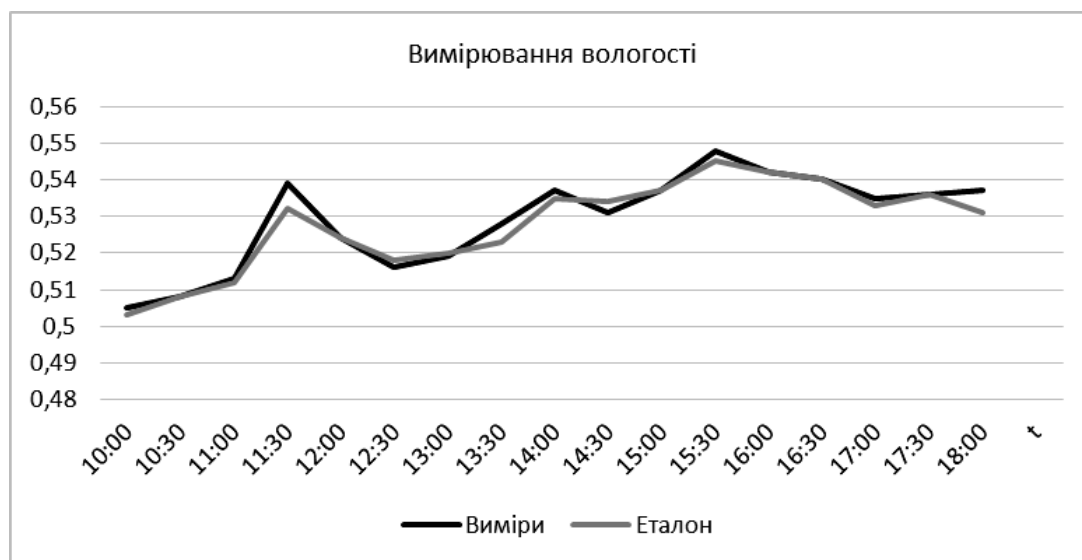


Рис. 6. Часові залежності вимірювань вологості

Таблиця 4

Вимірювання температури з увімкненим кондиціонером

№ вим.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t вим. пр., °C	21,7	19,1	17,6	16,5	16	15,9	16,1	16,5	16,5	16,3
t етал., °C	21,4	19,3	17,5	16,7	16	15,8	16,1	16,5	16,5	16,2
похибка вимір.	0,3	-0,2	0,1	-0,2	0	0,1	0	0	0	0,1
№ вим.	11	12	13	14	15	16	17			
t вим. пр., °C	15,9	16,6	16,1	16,1	15,8	16,2	15,7	16,4		
t етал., °C	15,9	16,3	16,1	16,1	15,8	16,2	15,9	16,4		
похибка вимір.	0	0,3	0	0	0	0	-0,2	0		

Графічно залежності вимірювань подано на рис. 7.

Вимірювання вологості у приміщенні з увімкненим кондиціонером. Результати вимірювань наведено у табл. 5.

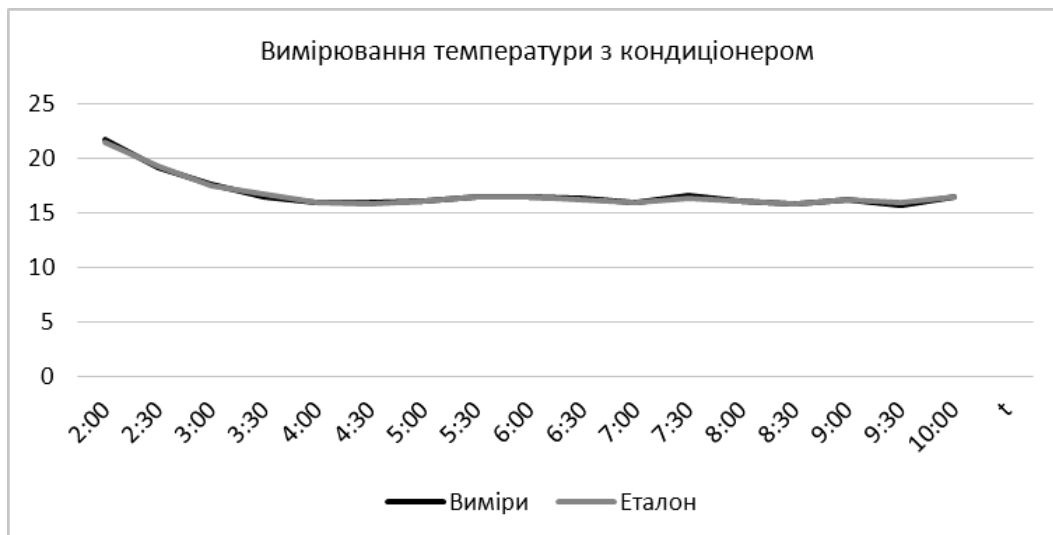


Рис. 7. Часові залежності вимірювань температури з увімкненим кондиціонером

Таблиця 5

Вимірювання вологості з кондиціонером

№ вим.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
φ вим. пр., %	63,7	46,8	49,4	49,7	62,7	52,1	55,5	65,6	73,6	69				
φ етал., %	63,7	48,1	49,4	49,7	59,3	52,1	55,5	63,8	73,6	71				
похибка вимір.	0	-1,3	0	0	3,4	0	0	1,8	0,0	-2				
№ вим.	11		12		13		14		15		16		17	
φ вим. пр., %	59,6		77,3		74,7		60,9		78,3		75,7		62,0	
φ етал., %	59,6		75,3		74,7		63,9		78,3		75,7		66,0	
похибка вимір.	0		2		0		-3,0		0		0		-4	

Графічно залежності вимірювань подано на рис. 8.

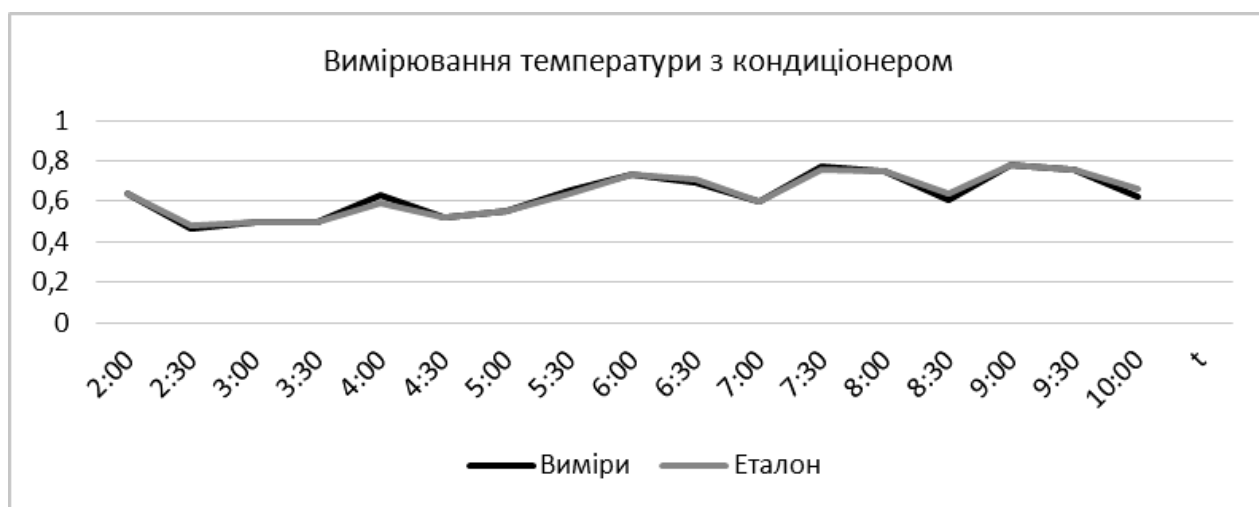


Рис. 8. Часові залежності вимірювань вологості з увімкненим кондиціонером

Аналізуючи рис. 2–5, можна зробити висновки, що система клімат-контролю здатна точніше вимірювати температуру і вологість у приміщеннях із мінімальною похибкою. Отже, компоненти у реалізованому приладі з розробленою системою підібрані добре, з високою чутливістю і похибкою за температурою у межах 0–0,7 °С, а за вологостою – 0–4 %. Тому розроблена система клімат-контролю здатна точніше вимірювати показники температури і вологості, ніж стаціонарні прилади.

Доцільність розроблення приладу з системою клімат-контролю підтверджується порівнянням елементів у самому приладі з іншими елементами, які могли б бути використані у ньому. У табл. 6 наведено порівняльну характеристику для давача HTU21D, використаного у схемі приладу системи, та іншого популярного давача DHT22.

Таблиця 6

Порівняльні характеристики давачів

Давач	HTU21D	DHT22
Точність, °С	0,3	0,1
діапазон вимірювання вологості, %	0–100	0–100
діапазон виміру температури, °С	–40~120	–40~80
точність вимірювання вологості, % RH	±2	±2
точність вимірювання температури, °С	±0,15	±0,05
напруга живлення, В	3,3	3,6–6
вартість, УАН	90	200

Задовільна точність результатів вимірювання температури і вологості, отриманих розробленим приладом, підтверджена в ході перевіркових випробувань, залежить від правильності підбору компонентів схеми та подальших процедур. Під час перевіркових вимірювань підтверджено задовільну збіжність отриманих характеристик вимірювань температури та вологості. Вартість розробленого приладу менша, ніж такого самого аналогу-давача.

Висновки

Розроблений прилад з системою клімат-контролю для вимірювання температури і вологості у приміщенні використовує такі технології: підтримує комунікацію між давачем і мікроконтролером за допомогою протоколу I²C; вимірює вологість і температуру за допомогою давача HTU21D; відображає отримані дані на LCD дисплеї за допомогою протоколу I²C; організовує багатозадачність у програмі за допомогою операційної системи FreeRtos. У цьому дослідженні давачі вибрано для вимірювання температури і вологості в розробленому пристрої із урахуванням їхніх переваг: невеликого розміру і низької вартості, швидкої реакції на температуру, високої чутливості, придатності для точного вимірювання і управління, простоти схеми застосування. Досліджуючи прилад із системою клімат-контролю, ми виявили, що у всіх випадках на загальну точність вимірювання впливають додаткові фактори, пов'язані із властивостями схем застосування давача та іншими характеристиками вимірювальної системи. Цифрова вимірювальна система підтримується контролером, що забезпечує централізовану обробку даних.

Список літератури

1. Buratti, C.; Conti, A.; Dardari, D.; Verdone, R. An overview on wireless sensor networks technology and evolution. *Sensors* 2009, 9, 6869–6896. DOI: <https://doi.org/10.3390/s90906869>.
2. Spencer, B.; Al-Obeidat, F. Temperature forecasts with stable accuracy in a smart home. *Procedia Comput. Sci.* 2016, 83, 726–733. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.160>

3. Chen, W.; Dols, S.; Oetomo, S.B.; Feijs, L. Monitoring body temperature of newborn infants at neonatal intensive care units using wearable sensors. In *Proceedings of the 5th International Conference on Body Area Networks, Corfu, Greece, 10–12 September 2010*; 188–194. DOI: <https://doi.org/10.1145/2221924.2221960>
4. Goumopoulos, C.; O'Flynn, B.; Kameas, A. Automated zone-specific irrigation with wireless sensor/actuator network and adaptable decision support. *Comput. Electron. Agric.* 2014, 105, 20–33. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.03.012>.
5. Hans, V. H. High-precision measurement of absolute temperatures using thermistors. *Proc. Estonian Acad. Sci. Eng.* 2007, 13, 379–383. DOI: [10.1109/ISIE.1992.279626](https://doi.org/10.1109/ISIE.1992.279626)
6. Gowen, A. A.; Tiwari, B.K.; Cullen, P. J.; McDonnell, K.; O'Donnell, C. P. Applications of thermal imaging in food quality and safety assessment. *Trends Food Sci. Technol.* 2010, 21, 190–200. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.12.002>
7. Rudtsch, S.; von Rohden, C. Calibration and self-validation of thermistors for high-precision temperature measurements. *Measurement* 2015, 76, 1–6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.07.028>.
8. Rana, K. P. S.; Mitra, N.; Pramanik, N.; Dwivedi, P.; Mahajan, P. A virtual instrumentation approach to neural network-based thermistor linearization on field programmable gate array. *Exp. Tech.* 2015, 39, 23–30. DOI: <https://doi.org/10.1111/ext.12011>.
9. Xie, W.; Yang, M.; Cheng, Y.; Li, D.; Zhang, Y.; Zhuang, Z. Optical fiber relative-humidity sensor with evaporated dielectric coatings on fiber end-face. *Opt. Fiber Technol.* 2014, 20, 314–319. journal ISSN: 1068-5200. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yofte.2014.03.008>.
10. Moreno, J. C.; Bueno, L.; Pons, J. L.; Baydal-Bertomeu, J. M.; Belda-Lois, J. M.; Prat, J.M.; Barberá, R. *Wearable Robot Technologies*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2008; ISBN 9780470512944. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470987667.ch6>.
11. Yeo, T. L.; Sun, T.; Grattan, K. T. V. Fibre-optic sensor technologies for humidity and moisture measurement. *Sens. Actuators A Phys.* 2008, 144, 280–295. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2008.01.017>.
12. Leal-Junior, A.; Frizzera-Neto, A.; Marques, C.; Pontes, M. J. A Polymer Optical Fiber Temperature Sensor Based on Material Features. *Sensors* 2018, 18, 301. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18010301>.
13. Li, C.; Ning, T.; Zhang, C.; Li, J.; Wen, X.; Pei, L.; Gao, X.; Lin, H. Liquid level measurement based on a no-core fiber with temperature compensation using a fiber Bragg grating. *Sens. Actuators A Phys.* 2016, 245, 49–53. DOI: [10.1016/j.sna.2016.04.046](https://doi.org/10.1016/j.sna.2016.04.046).
14. Churenkov, A. V. Resonant micromechanical fiber optic sensor of relative humidity. *Measurement*, 2014, 55, 33–38. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.04.032>.
15. Wang, Y.; Shen, C.; Lou, W.; Shentu, F. Fiber optic humidity sensor based on the graphene oxide/PVA composite film. *Opt. Commun.* 2016, 372, 229–234. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2016.04.030>
16. Ascorbe, J.; Corres, J. M.; Matias, I. R.; Arregui, F. J. High sensitivity humidity sensor based on cladding-etched optical fiber and lossy mode resonances. *Sens. Actuators B Chem.* 2016, 233, 7–16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.04.045>.
17. Berruti, G.; Consales, M.; Cutolo, A.; Cusano, A.; Breglio, G.; Buontempo, S.; Petagna, P.; Giordano, M. Radiation hard humidity sensors for high energy physics applications using polyimide-coated Fiber Bragg Gratings sensors. *Sens. Actuators B Chem.* 2013, 177, 94–102. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-0221/9/03/C03040>
18. Zhu, T.; Ke, T.; Rao, Y.; Chiang, K. S. Fabry-Perot optical fiber tip sensor for high temperature measurement. *Opt. Commun.* 2010, 283, 3683–3685. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22155722>.
19. Liu, Y.; Peng, W.; Liang, Y.; Zhang, X.; Zhou, X.; Pan, L. Fiber-optic Mach-Zehnder interferometric sensor for high-sensitivity high temperature measurement. *Opt. Commun.* 2013, 300, 194–198. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optcom.2013.02.054>.
20. Rogério da Silva Marques, R.; Prado, A. R.; da Costa Antunes, P. F.; de Brito André, P. S.; Ribeiro, M. R. N.; Frizzera-Neto, A.; Pontes, M. J. Corrosion resistant FBG-based quasi-distributed sensor for crude oil tank dynamic temperature profile monitoring. *Sensors* 2015, 15, 30693–30703. DOI: <https://doi.org/10.3390/s151229811>.
21. Tapetado, A.; Pinzon, P. J.; Zubia, J.; Vazquez, C. Polymer Optical Fiber Temperature Sensor With Dual-Wavelength Compensation of Power Fluctuations. *J. Lightwave Technol.* 2015, 33, 2716–2723. DOI: <https://doi.org/10.1109/JLT.2015.2408368>.

**RESEARCH OF THE PARAMETERS
OF THE MODERN CLIMATE CONTROL SYSTEM IN OFFICE PREMISES****Y. Surkov, O. Shpak**Lviv Polytechnic National University,
Department of computerized automation systems© *Surkov Y., Shpak O., 2023*

Measuring and controlling the temperature of the environment in the room is one of the most important measurements that a person makes every day. Temperature measurements are used to control objects where it is important to constantly maintain a certain temperature regime, or where sharp temperature changes can affect the efficiency of the final result of the operation of this object. Remote control of these indicators will allow the management to quickly intervene in the work of the enterprise to eliminate problems that may lead to a loss of the object's productivity.

This article considers the implementation of a device for measuring temperature based on the STM32F746ZGTx microcontroller. The HTU21D sensor is used to receive temperature. The FreeRtos operating system will also be used to implement multitasking of the device.

data, which can receive data on both the ambient temperature and its humidity. The characteristics of the sensor are as follows: temperature measurement range from $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$; relative humidity measurement range 0–100 %, temperature error $\Delta 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$; humidity error $\Delta 3\text{ }%$; supply voltage from 1.5 to 3.6 V; I²C communication protocol, up to 400 kHz.

An LCD display is used to display data to the user, which also uses the I²C communication protocol and a 5 V power supply. The FreeRtos operating system will also be used to implement multitasking of the device.

Key words: temperature; humidity; sensor; FreeRtos operating system; I²C protocol; STM32F7 microcontroller.