



АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ

З. Микитюк ^[ORCID: 0000-0001-7476-6031], О. Шимчишин ^[ORCID: 0000-0002-8697-4513], А. Зворський, Д. Марків

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

Відповідальний за рукопис: Ольга Шимчишин (e-mail: olha.y.shymchyshyn@lpnu.ua).

(Подано 29 Лютого 2024 р.)

У статті розглянуто важливе питання підвищення ефективності та оптимізації процесів керування мікрокліматом житлових приміщень. Мета цього дослідження полягає у створенні автоматизованої системи для точного налаштування та контролю основних параметрів мікроклімату у приміщенні, що дасть можливість підвищити комфорт та енергоефективність. Для досягнення поставленого завдання використовується платформа Arduino, яка є відкритою апаратно-програмною системою з широким спектром можливостей для розробки вбудованих систем. Дослідження містить аналіз принципів створення програмованого таймера з використанням мікроконтролера Atmel AVR, що охоплює вибір необхідного обладнання та модулів, розроблення програмного забезпечення та інтерфейсу користувача. Основні функції програмованого таймера забезпечують можливість налаштування заданого мікроклімату відповідно до індивідуальних потреб користувача та регулювання параметрів, як-от температура, атмосферний тиск та вологість. Результати дослідження підтверджують, що розроблений програмований таймер на базі платформи Arduino забезпечує ефективне керування мікрокліматом у житловому приміщенні. Впровадження такої системи дозволить знизити витрати на опалення та кондиціонування повітря, підвищити комфорт у приміщенні та зменшити загальне енергоспоживання.

Ключові слова: *мікроклімат, мікроконтролер, сенсор, система контролю, програмований таймер.*

УДК: 621.382

1. Вступ

Автоматизація контролю мікроклімату в житлових приміщеннях передбачає використання інтелектуальних технологій для регулювання факторів, як-от температура, вологість і якість повітря. Цього можна досягти за допомогою інтеграції датчиків, аналітики даних і автоматизованих систем, які змінюють налаштування на основі попередньо визначених параметрів або уподобань користувача. Користувачі можуть дистанційно керувати системою та контролювати її за допомогою смартфонів або інших пристроїв, забезпечуючи персоналізовані налаштування та економію енергії. Загалом автоматизація управління мікрокліматом у житлових приміщеннях може сприяти створенню більш здорового та комфортного середовища проживання, одночасно зменшуючи споживання енергії та витрати.

Досягнення оптимального мікроклімату у таких приміщеннях обумовлено численними факторами, включно з кліматичними умовами довкілля, вологістю та тепловими характеристиками

будівлі, рівнем циркуляції повітря або вентиляції, системою опалення, вентиляції та освітлення. Сучасні системи контролю мікроклімату пройшли значний шлях еволюції, стаючи більш складними та функціональними. Інтеграція систем автоматичного керування з можливістю віддаленого доступу додає зручності та розширює функціональні можливості. Типова система керування опаленням чи охолодженням для сучасних приміщень, яка має можливість віддаленого доступу, складається з різних компонентів. Серед них – електронний термостат або простий термостат, базовий модуль або контролер, сервопривід, смартфон із відповідною програмою до системи та допоміжні модулі зв'язку. Для передавання даних в Інтернет для таких завдань, як облік, діагностика, моніторинг і налаштування, використовуються відповідні пристрої або контролер, який може прямо з'єднуватися з мережею. Також можуть бути увімкнені різноманітні дистанційні датчики, як-от датчики вологості або зовнішньої температури, залежно від обставин. Доступ до мережі не лише розширює функціонал управління, але й підвищує комфорт та зручність користувача, а також забезпечує можливість дистанційного обслуговування [1].

Вітчизняні виробники пропонують різноманітні рішення – від простих автономних термостатів до більш складних систем автоматизованого керування, які можуть бути інтегровані із системами «розумного будинку». Щодо імпорتنих виробників, на українському ринку представлено різноманітні системи відомих світових брендів. Вони забезпечують різні функції, як-от контроль температури, вологості, рівня CO₂ та інших параметрів мікроклімату, та відрізняються більшою функціональністю, передовими технологіями, вишуканим дизайном, але загалом можуть бути дорожчими порівняно з вітчизняними аналогами.

Широко поширеними зараз є домашні метеостанції, які забезпечують користувачів локальною інформацією про погоду, дозволяючи отримувати дані з конкретного місця проживання, а не просто загальні прогнози для міста [2]. Управління домашніми метеостанціями здійснюється за допомогою платформ на основі мікроконтролерів, найбільш популярними серед них є Arduino, Raspberry Pi, Orange Pi, NodeMCU, STM32 [3].

Крім того, для покращення якості повітря можна використовувати сучасну систему, відому як рекуператор. Ця система забезпечує регулярний обмін повітря в приміщенні при закритих вікнах. На відміну від традиційних вентиляційних систем, блок рекуперації має компактні розміри і може бути швидко встановлений на зовнішню стіну. Його компактний дизайн дозволяє непомітно впроваджуватися в будь-який інтер'єр [4].

2. Аналіз та формулювання завдання

Норми параметрів мікроклімату у житлових приміщеннях визначаються різними стандартами та рекомендаціями, але основні параметри зазвичай встановлено так: температура повітря в межах 18–22°C узимку та 23–26°C улітку, вологість повітря: близько 40–60 %. Користувач повинен мати можливість змінювати межі цих параметрів за бажанням. Особливо це важливо, коли мешканці тимчасово покидають будівлю. Зниження температури може призвести до економії енергії. Система повинна автоматично коригувати значення мікроклімату у разі будь-яких відхилень від встановлених норм.

Проведений аналіз виявив, що підтримка встановлених кліматичних параметрів у приміщенні є необхідною умовою для належної роботи автоматизованої системи, призначеної для контролю мікроклімату. Під час розроблення структурної та функціональної схеми програмного таймера, важливо врахувати вимоги, що ставляться до таких систем. Згідно з поставленим завданням, програмований таймер повинен управляти засобами забезпечення комфорту відповідно до заданої програми, враховуючи сигнали від сенсорів. Система має автоматично коригувати параметри мікроклімату у разі відхилень від установлених значень.

Під час розроблення такої системи керування мікрокліматом у житлових приміщеннях важливо дотримуватися таких вимог:

- пристрої моніторингу повинні бути енергоефективними;
- модуль керування повинен мати компактні розміри та ергономічний дизайн;
- користувач повинен мати можливість самостійно змінювати параметри клімату через модуль керування;
- необхідне встановлення пристроїв для реального часу моніторингу системи.

Визначивши основні вимоги до автоматизованої системи керування параметрами мікроклімату у житловому приміщенні, можемо розглянути перелік параметрів, які потрібно врахувати під час розроблення системи для її належної роботи:

- 1) технічні характеристики мікроконтролера;
- 2) технічні характеристики та межі вимірювання сенсорів температури, вологості повітря та атмосферного тиску;
- 3) технічні характеристики пристрою для відображення інформації.

3. Результати досліджень

На основі результатів проведених досліджень було розроблено структурну схему для системи моніторингу мікроклімату (рис. 1).

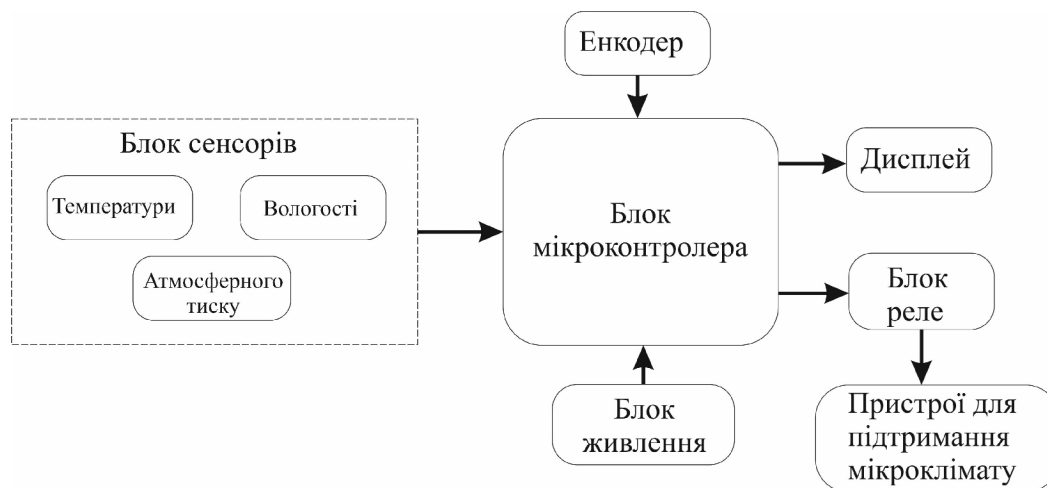


Рис. 1. Структурна схема системи контролю мікроклімату

Отже, структурна схема складається з таких основних блоків: мікропроцесорного блоку, який збирає, обробляє дані з інших компонентів системи та керує їхньою роботою; блоку сенсорів температури, вологості та атмосферного тиску, що відповідають за моніторинг показників температури, вологості та тиску у приміщенні; блоку живлення, який забезпечує електроживлення для мікроконтролера та інших компонентів системи. Налаштування та навігацію у меню системи дозволяє здійснювати енкодер, увімкнення або вимкнення пристроїв для підтримання мікроклімату відповідно до заданих умов здійснюється через блок реле. Для візуального відображення інформації про поточні параметри мікроклімату використовується дисплей. Для підтримання мікроклімату передбачено застосування різноманітних приладів, зокрема кондиціонерів, калориферів, рекуператорів, зволожувачів та інших.

Для реалізації системи керування оптимальним варіантом є використання мікроконтролера Arduino NANO. Ця платформа має відповідне співвідношення між розмірами та функціональними можливостями і дає змогу обробляти та відображати інформацію з сенсорів на дисплеї [5]. Основою плати Arduino є мікроконтролер Atmel AVR та елементи обв'язки для програмування та інтеграції з іншими пристроями. В більшості плат присутній лінійний стабілізатор напруги +5В або +3,3В. Кварцовий резонатор здійснює тактування на частоті 16 МГц або 8 МГц. Зовнішній програматор не потрібний, оскільки у мікроконтролер уже записаний завантажувач [6].

Для вимірювання температури, вологості повітря та тиску було обрано сенсор BME280, який характеризується високою точністю вимірювання, швидкодією інтерфейсу та малим енергоспоживанням. Для під'єднання використовується шина I2C. Основні технічні характеристики сенсора BME280: максимальна швидкодія інтерфейсу – I2C до 3.4 МГц; діапазон вимірювання температури – -40–85 градусів; точність вимірювання температури – 0.5–1 градуса; діапазон вимірювання вологості – 0–100 %; точність виміру вологості – 3 %; діапазон вимірювання тиску – 300–1100 гПа; напруга живлення – 5 В; споживаний струм у режимі вимірювання тиску – 714 мкА; споживаний струм у режимі вимірювання вологості – 340 мкА; струм струму в режимі вимірювання температури – 350 мкА; споживаний струм у режимі сну – 0.1–0.5 мкА; розміри модуля – 15 x 12 x 3 мм.

Як енкодер використовувався модуль KY-040 із 20-ма фіксованими положеннями для кожного оберту. Модуль може живитися як від зовнішнього джерела енергії (3–15 В), так і від платформи Arduino. Для візуального відображення інформації було обрано графічний рідкокристалічний дисплей Nokia5110, що керується по послідовному інтерфейсі SPI і дає змогу відображати найпростішу графіку та до 70-ти буквено-цифрових символів. Дисплей виготовлений на основі РК-контролера фірми Philips PCD8544 [7–8]. Його основні характеристики: розмірність – 84x84 пікселів; розмір робочого поля – 31x19 мм; крок пікселів – 0,33 мм; підсвітка – світло-голуба; РК-контролер – PCD8544; напруга живлення – 2,7–3,3 В; струм живлення дисплею – менше ніж 5 мА; струм живлення підсвітки – до 10 мА; розмір модуля – 43x45 мм; робоча температура – від 0 до +50 °C [8].

Після підбору та аналізу необхідних модулів проведено моделювання віртуальної схеми розробленої системи, що сприятиме спрощенню процесу монтажу всіх модулів на платформу Arduino. Моделювання відіграє важливу роль у формуванні уявлення про конструкцію приладу, його робочі принципи та потенційні помилки, які можуть виникнути перед початком монтажу пристрою. На таких схемах відображаються важливі елементи, які використовуються у системі, а також входи та виходи всіх компонентів і методи їхнього з'єднання (рис. 2). Для створення схеми було використано програмне забезпечення Fritzing. Ця платформа пропонує зручний інтерфейс для розробки електричних схем, розміщення компонентів на платах і створення прототипів друкованих плат.

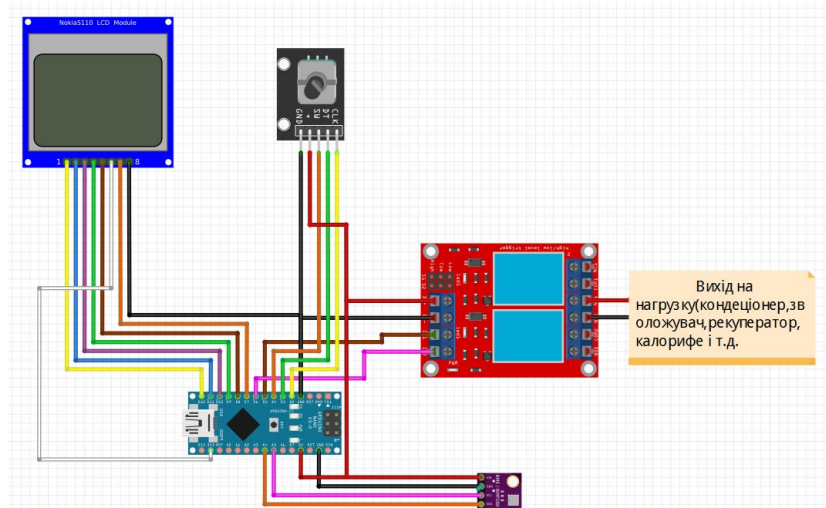


Рис. 2. Віртуальна схема автоматизованої системи для контролю мікроклімату

Алгоритм функціонування автоматизованої системи керування мікрокліматом можна представити за допомогою декількох блоків (рис. 3). Після ввімкнення живлення проводиться ініціалізація всіх систем, підготовка до роботи, налаштування, визначення параметрів. На наступному кроці зчитуються вимірювані значення, отримані від сенсорів. Виміряні дані температури, вологості, атмосферного тиску виводяться на дисплей. Мікроконтролер порівнює ці дані із

значеннями задовільного клімату, які вносять на етапі прошивання. Також ці значення можна налаштувати в меню. Після аналізу даних мікроконтролер передає сигнал до блоку реле. У разі незадовільного мікроклімату реле активує пристрої для поліпшення клімату, в іншому разі мікроконтролер знову порівнює вхідні дані.

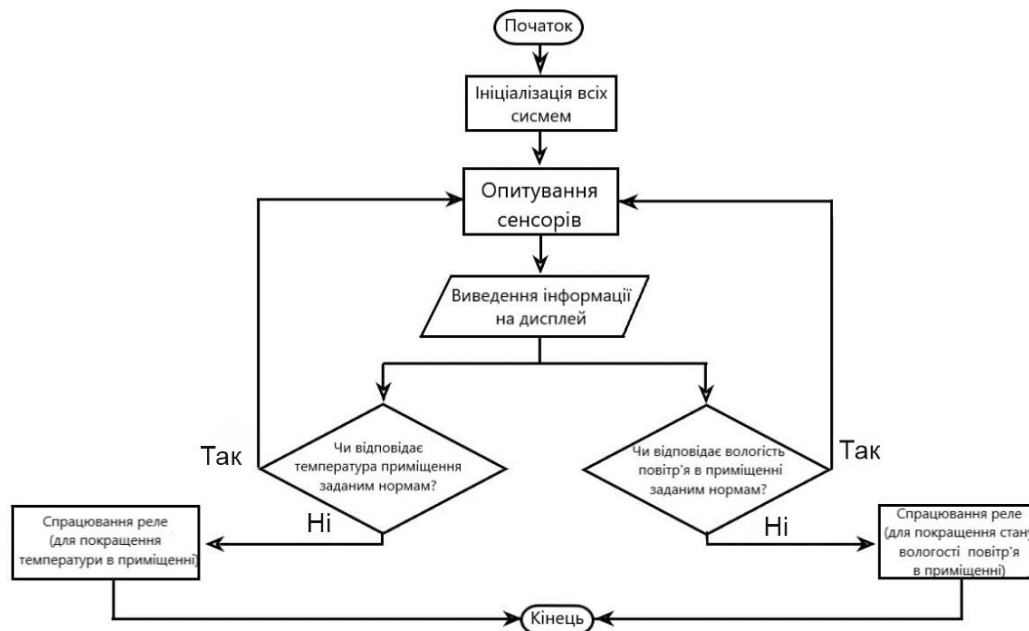


Рис. 3. Блок-схема алгоритму роботи керуючої програми

Для написання програмного забезпечення було використано Arduino IDE, що є зручним програмним середовищем для написання, відлагодження та тестування програмного коду. Це дає змогу розробникам зосередитися на логіці програми, водночас забезпечуючи швидкий цикл розробки і зменшення часу, необхідного для створення програм. Структура коду складається з двох основних функцій – `setup()` і `loop()`. Функція `setup()` виконується лише один раз під час запуску мікроконтролера і служить для виконання всіх базових налаштувань. Функція `loop()` призначена для зчитування даних із сенсорів, оброблення, виведення на дисплей та виконується циклічно. У вказаній функції налаштовуються процеси для коректної роботи таймера. У функції `loop()` знаходяться функції обробки повертання та натискання енкодера, головного меню програми, меню налаштувань, запису та читання даних пам'яті EEPROM, спрацювання реле та зовнішніх переривань.

Після написання програми та завантаження її в мікроконтролер було реалізовано автоматизовану систему з програмованим таймером для керування мікрокліматом житлового приміщення. На рис. 4 (а, б, в) показано результати роботи цієї системи.

За допомогою цієї системи користувач може вручну виконувати різноманітні налаштування, а саме зміна контрасту дисплея, ввімкнення або вимкнення підсвічування дисплея, налаштування максимальної і мінімальної допустимої температури, задовільної вологості та зміну одиниць вимірювання атмосферного тиску. У разі, коли вимірювальні значення не задовольняють визначеним вимогам, реле вмикає систему підтримання мікроклімату. Для доступу до меню налаштувань потрібно утримувати ручку модуля датчика обертання енкодера натиснутою протягом 1–2 секунд. У меню налаштувань потрібно обрати пункт, який заздалегідь змінено, та натиснути ручку енкодера один раз, змінити значення і знову натиснути ручку енкодера (рис. 5). Після цього змінені значення зберігаються в енергонезалежній пам'яті (EEPROM). Для виходу з меню налаштувань потрібно знову утримувати ручку енкодера натиснутою протягом 1–2 секунд.

Користувач має можливість налаштувати параметри мікроклімату відповідно до власних вимог, що забезпечить зниження споживання енергії та підвищення зручності експлуатації. Роз-

роблена система має потенціал для подальшого розширення та вдосконалення. Залежно від потреб користувача можна додавати додаткові функції, як-от: вмикання та вимикання освітлення, підключення системи до Wi-Fi, інтеграція зовнішніх сенсорів, прогнозування погоди, відображення часу й дати тощо.

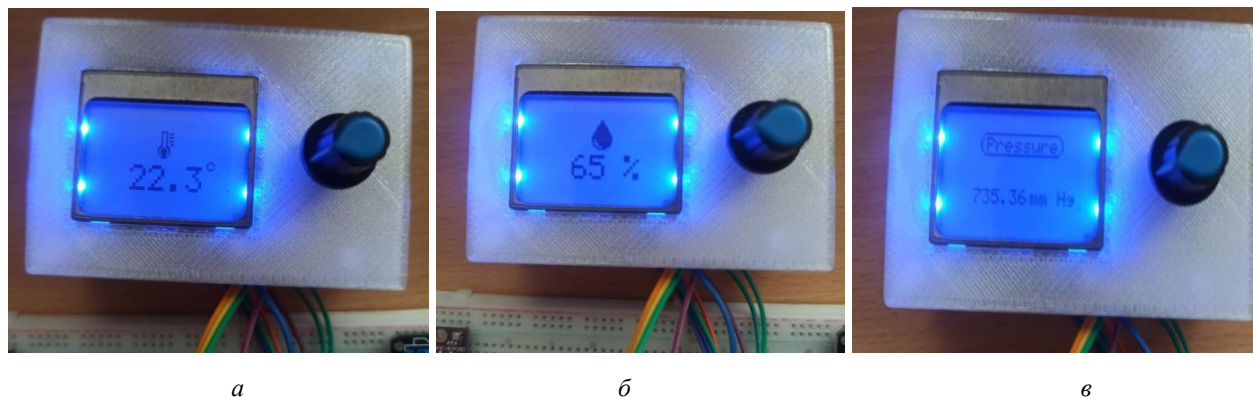


Рис. 4. Результати функціонування автоматизованої системи вимірювання температури (а), вологості (б) та атмосферного тиску (в)



Рис. 5. Меню налаштувань створеної системи

Результати порівняння розробленої системи автоматизованого керування мікрокліматом із розглянутими аналогами наведено у таблиці.

Порівняльна характеристика розглянутих систем для керування мікрокліматом у приміщенні

Назва системи	Розроблений програмований таймер	Ecobee SmartThermostat with Voice Control	Honeywell Lyric T6 Pro Wi-Fi Thermostat
1	2	3	4
Вартість	1100 грн	6000 грн	4500 грн
Живлення	5 В	220 В	220 В
Наявність дисплею	+	+	+
Підсвічування дисплею	+	+	+
Вимірювання з вулиці	Може бути додатковою функцією	-	-
Діапазон вимірювання атмосферного тиску	300–1100 гПа;	-	-

Продовження таблиці

1	2	3	4
Діапазон вимірювання температури	-40–85°C	7–33°C	4–37°C
Діапазон вимірювання вологості	0–100 %;	20–90 %	20–90 %
Виносні сенсори	Додаткова функція	+	-
Вимірювання CO ₂	-	+	+
Під'єднання до WI-FI	-	+	+

Аналіз таблиці дає змогу зробити висновок про високу конкурентоспроможність розробленого пристрою, призначеного для використання в домашніх умовах.

Висновки

На основі проведених досліджень запропоновано систему автоматизованого керування мікрокліматом житлових приміщень, а також розроблено програмований таймер для регулювання мікроклімату з використанням апаратно-програмної платформи Arduino NANO та сенсорів температури, вологості та атмосферного тиску. За допомогою розробленого програмованого таймера можна налаштувати необхідні параметри мікроклімату, що сприяє енергоефективному використанню систем опалення та кондиціонування повітря. Порівняння розробленої системи з відомими пристроями на ринку свідчить про її ефективність та конкурентоспроможність. Вона об'єднує функціональні можливості та характеристики дорогих аналогів та має потенціал для подальшого розширення та удосконалення. Діапазон вимірювань атмосферних параметрів у даному пристрої ширший, ніж у аналогів: для атмосферного тиску він становить від 300 до 1100 ГПа, для вологості повітря – від 0 до 100%, для температури – від -40°C до 85°C. Пристрій живиться від блоку живлення з напругою 5 В. Додатковою перевагою є можливість налаштування параметрів мікроклімату користувачем на дисплеї з підсвічуванням. Розширення та вдосконалення системи можуть сприяти виникненню нових інноваційних рішень у сфері управління мікрокліматом та розвитку «розумних» будинків.

Список використаних літературних джерел

- [1] А. Кузьмук Розумне керування мікрокліматом, 2022. – Доступно: <https://aw-therm.com.ua/keruvannya-mikroklimatom-u-primishenni/> [28.04.23].
- [2] О. Syystun, I. Yurchak. (2021), "Recommendation Dialog System for Selecting the Computer Hardware Configuration." *Advances in Cyber-Physical Systems, Volume 6, Number 1, pp. 70 - 76. DOI: 10.23939/acps2021.01.070.*
- [3] Furber Steve (2017) *Microprocessors: the engines of the digital age. Proc. Royal society publishing A.4732016089320160893, pp. 1-12. DOI:10.1098/rspa.2016.0893.*
- [4] О. Колодій Рекуператор повітря: здоровий мікроклімат та збереження тепла, 2022. – Доступно: <https://aw-therm.com.ua/rekuperator-povitrya-zdorovij-mikroklimat-ta-zberezheniya-tepla/> [5.05.23].
- [5] Kurniawan A. (2021) "Arduino Nano 33 IoT Board Development." In: *Beginning Arduino Nano IoT. pp. 23-78. DOI:10.1007/978-1-4842-6446-1_2*
- [6] А. Р. Купінський, І. Ю. Юрчак "Принципи побудови метеостанції для спостереження за мікрокліматом у приміщенні на платформі Arduino", *Computer systems and networks, Vol. 3, No. 1, 2021. с.68-79. DOI:10.23939/csn2021.01/068*
- [7] Petyan V.A. *Datchyky dlia Arduino y Raspberry Pi v proektakh Internet of Things. BKhV-Peterburh, 2016. 320 p.*
- [8] А. Г. Винничук, В. В. Гринюк "Розроблення інформаційно-вимірювальної системи Контролю мікроклімату тепличних приміщень" // *Методи та прилади контролю якості № 2 (43) 2019, с. 32-40. DOI:10.31471/1993-9981-2019-2(43)-32-40*

AUTOMATION OF MICROCLIMATE CONTROL PROCESSES IN RESIDENTIAL PREMISES

Z. Mykytyuk, O. Shymchyshyn, A. Zvorskyi, D. Markiv

Lviv Polytechnic National University, S. Bandery Str., 12, 79013, Lviv, Ukraine

This paper is devoted to the research of the important issue of increasing the efficiency and optimization of microclimate management processes in residential premises. The purpose of this study is to create an automated system for accurate setting and control of the main parameters of the microclimate in the room, which will make it possible to increase comfort and energy efficiency. To achieve the task, the Arduino platform is used, which is an open hardware and software system with a wide range of opportunities for developing embedded systems. The study includes an analysis of the principles of creating a programmable timer using the Atmel AVR microcontroller, covering the selection of necessary hardware and modules, software development and user interface. The main functions of the programmable timer provide the ability to set a satisfactory microclimate according to the individual needs of the user and adjust parameters such as temperature, atmospheric pressure and humidity. The research results confirm that the developed programmable timer based on the Arduino platform provides effective control of the microclimate in the living room. Implementation of such a system will reduce heating and air conditioning costs, increase indoor comfort, and reduce overall energy consumption.

Keywords: *microclimate, microcontroller, sensor, control system, programmable timer.*