

Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 6-7 грудня 2023 року. – Т. : ФОП Паляниця В. А., 2023. – С. 408–409.

**УДК 004.89; 004.056; 681.5**

**О.В. Тотосько, к.т.н., доц.; М.В. Станкевич**

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

**РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ  
«РОЗУМНИЙ БУДИНОК» З БІОМЕТРИЧНОЮ ІДЕНТИФІКАЦІЄЮ  
КОРИСТУВАЧІВ ТА УПРАВЛІННЯМ МІКРОКЛІМАТОМ**

**O.V. Totosko, Ph.D., Assoc.Prof.; M.V. Stankevych**

**DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN AUTOMATED SMART HOME  
SYSTEM WITH BIOMETRIC USER IDENTIFICATION AND MICROCLIMATE  
CONTROL**

У роботі наведено результати розроблення та комплексного дослідження автоматизованої системи «Розумний будинок», у якій реалізовано інтеграцію модулів біометричної ідентифікації користувачів і системи інтелектуального керування параметрами мікроклімату. Такий підхід забезпечує одночасне підвищення рівня безпеки, комфортності та енергоефективності сучасних житлових і комерційних приміщень. Метою роботи є створення апаратно-програмного комплексу, здатного до адаптивного реагування на зміни довкілля та персональних потреб користувачів на основі аналізу даних сенсорної мережі та алгоритмів автоматичного керування.

Система створена на базі програмованого логічного контролера Arduino Mega 2560, що завдяки великій кількості входів/виходів і достатньому обсягу пам'яті дозволяє обробляти дані з множини сенсорів у реальному часі. Модульна структура системи включає блок біометричної ідентифікації, сенсорний модуль мікроклімату, блок прийняття рішень, а також набір виконавчих пристроїв – електронні реле, нагрівальний елемент, вентиляційну систему та ультразвуковий зволожувач.

Для вимірювання параметрів середовища використовуються давачі: BME280 (температура, вологість, атмосферний тиск), DHT22 (температура, вологість), BMP180 (атмосферний тиск), BH1750 (освітленість), а також газові сенсори серії MQ – MQ-2 та MQ-135 – для контролю диму, горючих газів і летких органічних сполук (VOC). Упродовж 96-годинного експериментального циклу було проведено понад 250 000 вимірювань, що дозволило отримати репрезентативні дані для аналізу стабільності роботи системи.

Середні експериментальні параметри склали: температура — 22,8 °C (діапазон 21,2–24,6 °C), відносна вологість — 47 % (коливання 38–59 %), атмосферний тиск — 993 гПа (983–1005 гПа). Освітленість у денні години сягала 550–620 лк, а ввечері знижувалася до 90–140 лк. Концентрації CO<sub>2</sub>, виміряні MQ-135, перебували в межах 420–890 ppm, що відповідає прийнятним будівельним нормам. Також було зафіксовано, що рівень VOC у приміщенні залежав від кількості людей та інтенсивності вентиляції, змінюючись у межах 10–28 ppm.

Біометрична ідентифікація здійснюється за допомогою модуля Face Recognition Sensor FR-Cam, в основі якого лежить вбудована нейронна мережа. Модуль підтримує до 150 користувацьких профілів та демонструє високу точність. У ході досліджень середня точність розпізнавання становила 97,3 %, а час ідентифікації — 0,8–1,1 с.

Стійкість алгоритму перевірялася при трьох рівнях освітленості (100, 300 і 600 лк). Зниження освітлення на 80 % спричинило погіршення точності лише на 1,4 %, що свідчить про високу адаптивність системи.

Важливою особливістю запропонованої системи є можливість застосування персональних мікрокліматичних сценаріїв, які автоматично активуються після розпізнавання користувача. Було створено три профілі – для користувачів А, В і С – які передбачали різні параметри температури (22,0; 23,5; 24,0 °С відповідно) та вологості (45; 50; 55 %). Реалізований алгоритм керування мікрокліматом базується на PID-регулюванні температури, що забезпечує середню похибку стабілізації  $\pm 0,3$  °С, та логічному контролі вологості з похибкою  $\pm 2,1$  %. Час реакції системи після зміни параметрів становив 40–120 с, залежно від зовнішніх збурень.

Виконавчі елементи системи включають електронні реле, вентилятор продуктивністю 120 м³/год, нагрівальний елемент потужністю 45 Вт та ультразвуковий зволожувач. Було встановлено, що у статичному режимі роботи мікрокліматичного контролю енергоспоживання нагрівального елемента та вентилятора є вищим на 15–19 %, порівняно з адаптивним режимом, що враховує реальні параметри повітря та присутність користувачів у приміщенні. Це підтверджує доцільність застосування інтелектуального регулювання для оптимізації витрат електроенергії.

Результати досліджень свідчать про те, що запропонована система є стабільною, точною та придатною до масштабування. Вона може бути впроваджена у житлових будівлях, офісних приміщеннях, навчальних і дослідницьких лабораторіях, а також у спеціалізованих об'єктах, де необхідне високоточне керування умовами середовища. Інтеграція біометричної ідентифікації створює додатковий рівень безпеки, а адаптивне управління мікрокліматом підвищує комфорт і забезпечує економічність системи.

### Література

12. Zhai, Z., & Previtali, J. Energy performance and indoor environmental quality of buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, 116, 109–162.
13. Kaur, M., & Saini, R. A review of biometric recognition systems and technologies. *International Journal of Computer Applications*, 2016, 146(6), 11–17.
14. Kim, J., Lee, H., & Yoon, J. Face recognition based smart door lock system. *International Journal of Security and Its Applications*, 2014, 8(3), 1–10.
15. Fathy, Y., Jaber, F., & Mokhtar, B. Smart home energy optimization based on occupant behavior. *Energy and Buildings*, 2021, 243, 110993.
16. Liang, X., & Li, Y. PID-based HVAC control algorithms for energy-efficient buildings: A review. *Energy Procedia*, 2019, 158, 4114–4119.
17. Almalki, S., & Abuhasel, K. Internet of Things (IoT) based real-time environmental monitoring: A comprehensive review. *Journal of Sensors*, 2020, 2020, 1–16.
18. Park, Y., & Lee, H. Smart HVAC control using sensor fusion and machine learning. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2022, 341, 113–128.
19. Persily, A. Indoor carbon dioxide limits and the implications for occupant health. *Indoor Air*, 2016, 26(4), 495–507.
20. Ren, G., & Zhao, B. Review of smart home energy management systems based on IoT. *IEEE Access*, 2020, 8, 18933–18948.
21. Gupta, A., & Sharma, V. VOC monitoring in indoor environments based on low-cost gas sensors. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2021, 193(4), 222–234.
22. Lee, S., & Park, J. Ultra-low-power microcontroller applications in smart automation. *IEEE Embedded Systems Letters*, 2020, 12(3), 85–89.
23. Ray, P. A survey on IoT architectures for smart home applications. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 2018, 30(3), 292–312.

