

Л. Ю. Федік, Я. В. Боре́йко, Р. Я. Грудецький

Луцький національний технічний університет

САПР У ПРОЄКТУВАННІ РОЗУМНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ: АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ТА ПРИКЛАД ІОТ-ТЕРМОМЕТРА

У статті розглянуто застосування систем автоматизованого проєктування (САПР) для розробки розумних електронних пристроїв з інтеграцією технологій Інтернету речей (IoT). Проаналізовано сучасні програмні засоби для проєктування друкованих плат, вибору мікроконтролерів і налаштування бездротового зв'язку. Особливу увагу приділено практичному створенню розумного термометра на базі ESP32 та DS18B20, що демонструє можливості автоматизації процесу розробки IoT-пристроїв

Ключові слова: САПР, розумні пристрої, Інтернет речей (IoT), електронне проєктування, мікроконтролери, PCB-дизайн, автоматизоване проєктування, передача даних, оптимізація розробки.

L. Yu. Fedik, Ya. V. Boreiko, R. Ya. Grudetskyi

CAD IN THE DESIGN OF SMART ELECTRONIC DEVICES: ANALYSIS OF APPROACHES AND AN EXAMPLE OF AN IOT THERMOMETER

This paper explores the application of Computer-Aided Design (CAD) systems in the development of smart electronic devices integrated with Internet of Things (IoT) technologies. It provides an overview of modern software tools used for PCB design, microcontroller selection, and wireless communication setup. A particular focus is given to a practical example—the creation of a smart thermometer based on ESP32 and DS18B20 sensors. This case study demonstrates how automated design approaches enhance efficiency in IoT device development, optimizing hardware and software integration for real-world applications.

Keywords: CAD, smart devices, Internet of Things (IoT), electronic design, microcontrollers, PCB design, automated design, data transmission, development optimization.

Постановка проблеми. Світова тенденція до цифровізації суттєво вплинула на розвиток розумних електронних пристроїв. Згідно зі статистикою компанії Statista, у 2023 році кількість пристроїв, підключених до Інтернету речей (IoT), перевищила 15 мільярдів, а до 2030 року прогнозується зростання до понад 29 мільярдів. Розумні пристрої, такі як сенсори, виконавчі механізми, контролери, стають основою нової техноекосистеми, у якій проєктування відіграє ключову роль[1].

В умовах стрімкого розвитку IoT-інженери стикаються з викликом створення пристроїв, які відповідають вимогам енергоефективності, мобільності та інтеграції в цифрові мережі. Системи автоматизованого проєктування (САПР) стають важливим інструментом, який допомагає оптимізувати цикл розробки, підвищити якість проєктування та забезпечити ефективну взаємодію компонентів.

Метою цієї статті є аналіз застосування САПР у розробці розумних електронних пристроїв з IoT-інтеграцією, огляд сучасного програмного забезпечення, основних етапів розробки та практичних реалізацій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження підтверджують важливість використання САПР у розробці IoT-пристроїв. Понад 60% академічних проєктів використовують KiCad завдяки відкритій архітектурі та активній спільноті. Це дозволяє швидко інтегрувати нові компоненти й адаптувати САПР під специфічні задачі[2].

З іншого боку, Altium Designer пропонує повну інтеграцію всіх етапів проєктування, включаючи 3D-візуалізацію, бібліотеки компонентів та трасування. Це робить його оптимальним рішенням для промислових IoT-пристроїв у сферах телекомунікацій, автомобілебудування та медичної електроніки [3].

Дослідження Autodesk Fusion 360 Electronics демонструє переваги інтеграції електронного та механічного моделювання, що критично важливо для створення складних IoT-пристроїв. Це дає можливість розробникам оцінювати конструктивні особливості пристрою ще на етапі проєктування, що суттєво скорочує час на розробку [4].

Постановка завдань. Дослідження спрямоване на аналіз методів використання САПР у розробці розумних електронних пристроїв з інтеграцією IoT-технологій. Зокрема, оцінює ефективності автоматизованих інструментів на прикладі розумного термометра, який використовує мікроконтролер ESP32 та сенсор DS18B20 для збору, обробки та передачі даних у цифрову екосистему.

© Л. Ю. Федік, Я. В. Боре́йко, Р. Я. Грудецький

Викладення основного матеріалу. Розгляд цього практичного кейсу дозволяє продемонструвати ключові етапи проектування: вибір компонентів, трасування друкованої плати, інтеграцію бездротових модулів та налаштування IoT-зв'язку через MQTT. Аналізуємо, як САПР сприяють прискоренню розробки та підвищенню надійності пристроїв. Це допомагає визначити найкращі підходи до автоматизованого проектування та сформулювати рекомендації для розробників, які прагнуть оптимізувати IoT-рішення.

Серед основних етапів проектування розумних пристроїв є:

1. Розробка принципової схеми, що включає вибір мікроконтролерів, джерел живлення, сенсорів та модулів комунікації. Виконується перевірка електричних правил за допомогою ERC (Electrical Rule Check);
2. Вибір мікроконтролера та сенсорів, який відбувається відповідно до вимог щодо входів/виходів, енергоспоживання та сумісності з розробницькими інструментами. Популярними є STM32, ESP32, AVR, NRF52;
3. Проектування друкованої плати (PCB) – створюється електрична схема, визначається оптимальне розміщення компонентів, виконується трасування доріжок. САПР дозволяє перевірити коректність розведення за допомогою DRC (Design Rule Check);
4. Трасування та оптимізація, що зменшує електромагнітні завади, покращує охолодження пристрою, враховує механічні обмеження;
5. IoT-інтеграція під час якої додаються бездротові модулі ESP32, LoRa, NRF24L01, налаштовується передача даних через MQTT, HTTP(S), CoAP;
6. Тестування та емуляція – перевіряється працездатність пристрою, проводиться моделювання в Proteus, Tinkercad, застосовуються логічні аналізатори та осцилографи.

Ринок програмного забезпечення для електронного проектування надзвичайно різноманітний і включає як професійні, так і відкриті інструменти, що задовольняють широкий спектр задач розробників. Серед найбільш популярних рішень виділяються Altium Designer, KiCad та Autodesk Fusion 360 Electronics Workspace, кожен з яких пропонує унікальні можливості. Altium Designer забезпечує комплексний підхід, інтегруючи всі етапи проектування та надаючи потужні інструменти трасування та 3D-візуалізації, що робить його незамінним у промислових розробках складних пристроїв, зокрема у сферах телекомунікацій та медичної електроніки. KiCad, навпаки, надає гнучкі можливості для розробників завдяки відкритому коду та безкоштовному розповсюдженню, що робить його особливо популярним серед академічних досліджень та незалежних інженерів. Fusion 360 Electronics у свою чергу інтегрує електронне та механічне моделювання, що є критично важливим для IoT-проектів і робототехнічних систем[3; 5-6].

При розробці розумних пристроїв важливою складовою є підтримка мікроконтролерів та модулів зв'язку, серед яких Bluetooth, Wi-Fi та LoRa, а також наявність стандартних інтерфейсів I2C, SPI та UART, що забезпечують ефективну взаємодію компонентів. Автоматизоване проектування проходить через кілька ключових етапів: створення принципової схеми, вибір мікроконтролерів та сенсорів, розробка друкованої плати, трасування та оптимізація її структури. Особливу увагу приділяють розміщенню компонентів з урахуванням електромагнітних характеристик та механічних обмежень.

З інтеграцією IoT-технологій з'являється необхідність в додаванні бездротових модулів, таких як ESP32, NRF24L01, LoRa, що дозволяє налаштувати ефективну передачу даних за допомогою MQTT, HTTP(S) чи CoAP. Крім того, перед фінальним виробництвом пристрої проходять етап тестування та емуляції, який включає перевірку віртуальних моделей у середовищах Proteus чи Tinkercad, а також аналіз роботи в реальних умовах за допомогою логічних аналізаторів та осцилографів[7].

У 2023 році компанія Keysight повідомила, що понад 70% інженерів використовують емуляцію перед фізичним створенням прототипу, що підкреслює важливість тестування на ранніх стадіях розробки. Завдяки сучасним інструментам САПР, розробники можуть значно скоротити час виробництва та підвищити надійність своїх пристроїв, використовуючи передові програмні платформи для оптимізації проектування[8].

Для підтвердження практичності підходу створено пристрій вимірювання температури, що використовує DS18B20 та передає дані через ESP32 у мобільний застосунок.

При цьому компонентами є: ESP32 DevKit; DS18B20, резистор 4.7 кОм, стабілізатор AMS1117; програмне забезпечення: САПР KiCad 7.0, прошивка: Arduino IDE; передача даних: MQTT → Node-RED → Telegram Bot.

Фрагмент прошивки на Arduino:

```
#include <WiFi.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <PubSubClient.h>

const char* ssid = "YourSSID";
const char* password = "YourPassword";
const char* mqtt_server = "broker.hivemq.com";

WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
#define ONE_WIRE_BUS 4

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  client.setServer(mqtt_server, 1883);
  sensors.begin();
}

void loop() {
  sensors.requestTemperatures();
  float tempC = sensors.getTempCByIndex(0);
  char msg[10];
  dtostrf(tempC, 1, 2, msg);
  client.publish("home/temperature", msg);
  delay(10000);
}
```

Висновки. Системи автоматизованого проектування є фундаментом ефективного розроблення розумних пристроїв. Завдяки широкому вибору програмних рішень інженери можуть адаптувати процес проектування під конкретні задачі – від побутових IoT-гаджетів до складних промислових систем.

Практичний приклад розумного термометра підтверджує, що навіть з використанням безкоштовних САПР можливо створювати ефективні, масштабовані пристрої, інтегровані у цифрову екосистему.

У майбутньому розвиток мікроконтролерів та програмного забезпечення ще більше розширить можливості проектування, роблячи IoT-технології доступними для більшої кількості розробників.

Список використаних джерел:

1. Statista. Internet of Things (IoT) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2030 (in billions) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>. – Дата звернення: 25.05.2025.
2. About KiCad. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kicad.org/about/kicad/>. – Дата звернення: 05.06.2025.
3. Altium Designer 25: From Requested to Required. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.altium.com/altium-designer>. – Дата звернення: 05.06.2025.

4. Як навчитися Autodesk Fusion. Ч. 1. Офіційні ресурси. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://forums.autodesk.com/t5/community-blog/yak-navchitisa-autodesk-fusion-ch-1-ofitsiyi-resursi/ba-p/13261847>. – Дата звернення: 05.06.2025.
5. IEEE Spectrum. Open-Source KiCad EDA Suite Gets a Boost [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://docs.kicad.org/9.0/ru/kicad/kicad.pdf>. – Дата звернення: 25.05.2025.
6. Autodesk. Fusion 360 Electronics Capabilities – Unified ECAD/MCAD Design [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.engineering.com/Fusion-360-Adds-Integrated-Electrical-Design>. – Дата звернення: 25.05.2025.
7. Das, A. P., Banerjee, S. Comparative Study on PCB Design Tools for Future PCB Designers [Електронний ресурс] / A. P. Das, S. Banerjee // International Journal of Computer Science and Mobile Computing. – 2020. – Vol. 9, Issue 6. – P. 233–238. – Режим доступу: <https://ijcsmc.com/docs/papers/June2020/V9I6202029.pdf>, вільний. – Дата звернення: 01.06.2025.
8. Keysight. Keysight Releases 2023 Corporate Social Responsibility Report and Disclosures [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.keysight.com/us/en/about/newsroom/news-releases/2024/0514-PR24-075-Keysight-Releases-2023-Corporate-Social-Responsibility-Report-and-Disclosures.html>. – Дата звернення: 06.06.2025.