

УДК 681.3.06

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.4/14>**Зилевіч М.О.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**Заїченко В.Д.**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

РОЗРОБКА ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ СТАНУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

У даній статті розглянуто принцип роботи вимірювального комплексу стану атмосферного повітря на базі мікроконтролерів STM32, проведено аналіз наявних рішень на ринку та визначено вимоги до проектування вимірювального комплексу. Досліджено принцип роботи вимірювальних комплексів на базі STM32 мікроконтролера, який завдяки своїй високій продуктивності, низькому енергоспоживанню та можливості інтеграції з різними датчиками є одним з найпопулярніших рішень на ринку. Розглянуто процеси збору даних з датчиків, їх обробки та відображення на LCD-екрані.

Розглянуто принципи функціонування та проведено порівняльний аналіз сучасних вимірювальних комплексів, що використовують різні типи датчиків для моніторингу погодних умов. Порівняно технічні характеристики та функціональні можливості цих пристроїв, внаслідок чого визначено, які аспекти дизайну і функціональності є найбільш важливими для сучасного ринку. Визначено, що комплекс повинен вимірювати температуру, вологість, атмосферний тиск та рівень пилу з високою точністю. Важливими елементами є надійність, захист від несприятливих умов, компактність і енергоефективність. Особливу увагу приділено вибору датчиків та захисним функціям, що включають захист від перевантаження та перегріву.

Для розробки використовуються високоякісні компоненти, такі як датчик DPS310 для вимірювання тиску, датчик температури та вологості DHT22, а також датчик пилу PMP3003 для моніторингу вмісту пилу в повітрі. Взаємодія з дисплеєм здійснюється через інтерфейс I2C. Збір даних забезпечується мікроконтролером STM32, який обробляє дані з датчиків та виводить їх на екран. Живлення системи здійснюється через USB-порт, що дозволяє легко підключати метеостанцію до комп'ютера або іншого джерела живлення.

Завдяки відносно низькій вартості компонентів і простоті виготовлення, даний вимірювальний комплекс може бути використаний для створення прототипів і невеликих партій обладнання в різних промислових і наукових галузях.

Ключові слова: вимірювальний комплекс, мікроконтролер, друкована плата, надійність, температурно-вологісний датчик, барометр, лазерний датчик пилу.

Постановка проблеми. У сучасному світі, де глобальні зміни клімату та антропогенний вплив стають все більш відчутними, моніторинг стану навколишнього середовища набуває критично важливого значення. Відтак, вимірювальні комплекси стали одним з основних інструментів у багатьох сферах людської діяльності, таких як сільське господарство, екологічний моніторинг, метеорологія та промисловість. Створення функціональних систем для точного моніторингу навколишніх погодних умов стає все більш важливим завданням. Наприклад, сучасні екологічні проекти потребують точних систем вимірювання для забезпечення моніторингу якості повітря та погодних умов.

Такі системи дозволяють здійснювати безперервний моніторинг важливих екологічних параметрів, забезпечуючи користувачів актуальною інформацією для прийняття обґрунтованих рішень. Розробка високоточної та енергоефективної системи для моніторингу стану атмосферного повітря із використання сучасного мікроконтролера та високоякісних датчиків дозволить досягти високої точності вимірювань та оперативного виведення даних на LCD екран. Це забезпечує можливість безперервного моніторингу та аналізу параметрів у реальному часі.

Вимірювальний комплекс, може бути використаний у різних галузях, таких як сільське господарство, екологічний моніторинг, метеорологія та

промисловість. Завдяки відносно низькій вартості компонентів і простоті виготовлення, ця система може бути використана для створення прототипів і невеликих партій обладнання. Вона сприятиме глибшому розумінню кліматичних процесів та допоможе у своєчасному виявленні потенційно небезпечних екологічних ситуацій, тим самим підвищуючи рівень безпеки та комфорту населення.

Створення вимірювального комплексу стану атмосферного повітря на основі сучасної елементної бази є важливим кроком у напрямку впровадження сучасних технологій для моніторингу та аналізу навколишнього середовища, що відкриває широкі перспективи для подальшого розвитку екологічно стійких рішень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні дослідження в області розробки вимірювальних комплексів стану атмосферного повітря показують значний прогрес у використанні технологій IoT, мікроконтролерів, та сучасних методів аналізу даних. Впровадження низькоенергоспоживаючих та автономних систем з використанням сонячних панелей дозволяє створювати ефективні та надійні рішення для моніторингу якості повітря.

Ці дослідження вказують на важливість інтеграції високоточних сенсорів, використання машинного навчання для аналізу даних, та впровадження енергозберігаючих технологій для покращення функціональності та надійності вимірювальних комплексів.

У дослідженнях [1,2] акцент робиться на використанні технологій IoT для створення систем моніторингу якості повітря. Це включає використання різних датчиків для вимірювання параметрів якості повітря, таких як концентрація CO₂, температури, вологості, та частинок пилу. Інтернет-речей забезпечує передачу даних у реальному часі на віддалені сервери для аналізу.

Останні дослідження [3-5] показують, що мікроконтролери STM32 є популярним вибором для розробки вимірювальних комплексів завдяки їх високій продуктивності, низькому енергоспоживанню та можливості інтеграції з різними сенсорами.

У багатьох публікаціях [6,7] розглядаються різні типи сенсорів, їх принципи роботи, точність, і надійність. Сенсори для вимірювання рівня забруднення повітря, таких як PM_{2.5}, NO₂, SO₂, та O₃, отримали значну увагу.

Активно вивчаються [8,9] нові типи сенсорів, включаючи оптичні, електрохімічні та напів-

провідникові датчики, які можуть точно вимірювати параметри довкілля, такі як температура, вологість, тиск, концентрації різних газів та пилу.

Постановка завдання. Постановка завдання. Метою роботи є розробка вимірювального комплексу стану атмосферного повітря на основі мікроконтролера STM32, оснащеного датчиками вологості, температури, атмосферного тиску та вмісту пилу в повітрі. Така система дозволить здійснювати безперервний моніторинг важливих екологічних параметрів, забезпечуючи користувачів актуальною інформацією для прийняття обґрунтованих рішень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Вимірювальні комплекси стану атмосферного повітря є системами призначеними для збору, обробки та аналізу метеорологічних даних. Ці пристрої грають важливу роль у багатьох сферах діяльності, від прогнозування погоди до моніторингу навколишнього середовища та забезпечення безпеки в різних галузях. Основними галузями застосування таких комплексів є метеорологія та кліматологія, сільське господарство, екологія та охорона навколишнього середовища, будівництво та архітектура та транспорт і логістика.

Незалежно від типу, більшість комплексів складаються з чотирьох основних блоків.

Вимірювальний блок: датчики, що вимірюють різні параметри, такі як температура, вологість, атмосферний тиск, швидкість і напрямок вітру, рівень опадів, концентрація пилу тощо.

Операційний блок: мікроконтролер, що відповідає за обробку даних, отриманих від датчиків, збереження і їх подальшу передачу.

Комунікаційний блок: передача зібраних даних на центральний сервер або інші пристрої для подальшого аналізу та використання.

Блок живлення: забезпечує безперервне функціонування комплексу від батарей, сонячних панелей або мережевого джерела живлення залежно від типу і вимог.

Вимірювальні комплекси на базі мікроконтролерів STM32 використовують передові технології для точного вимірювання та аналізу метеорологічних даних. Принцип роботи таких метеостанцій складається з етапів збору даних з датчиків та їх обробки (аналогово-цифрове перетворення, фільтрація даних) та аналізу і збереження даних (локальне на карту пам'яті або на віддалений сервер зберігання).

Остаточний етап включає відображення зібраних та оброблених даних для користувача. Дані можуть бути відображені на екрані безпересадно

підключений до комплексу або через вебінтерфейс на підключених пристроях [10].

Ринок метеостанцій на мікроконтролерах STM32 пропонує широкий вибір рішень для різних потреб та бюджетів. Вибір конкретного варіанту залежить від вимог до точності вимірювань, наявності модулів зв'язку та можливостей розширення. Важливо враховувати як технічні характеристики, так і зручність у використанні та налаштуванні вимірювального комплексу.

На рисунку 1 зображено структурну схему вимірювального комплексу, а далі розглянуто створення та аналіз структурної схеми.

Схема складається з блоку обробки даних, а також вхідного і вихідного відповідно.

Вхідний блок містить систему керування, набір датчиків та акумулятор. Керування пристроєм та зчитування даних з датчиків здійснюється через мікроконтролер за допомогою GPIO.

Система керування складається з кнопок (інтерфейс користувача), які взаємодіють з мікроконтролером для виконання команд та управління функціями пристрою.

Акумулятор використовується для живлення пристрою та забезпечення його незалежності від джерела живлення. Він може бути заряджений через USB або інший джерела, а містить систему захисту та контролю заряду.

Блок обробки даних працює з даними, яка надійшла від вхідного блоку. Оброблена інформація передається до вихідного блоку для відображення її на дисплеї.

Вихідний блок містить LCD дисплей та SD-карту для виведення та збереження інформації відповідно. Дисплей підключений до мікроконтролера за допомогою протоколу I2C, що дозволяє передавати дані між мікроконтролером та дисплеєм з використанням мінімальної кількості проводів, що спрощує підключення і споживання енергії. SD-карта використовується для збереження додаткових даних, таких як журнали вимірювань, налаштування користувача або інші параметри. Вона підключена до мікроконтролера за допомогою протоколу SPI, що дозволяє швидко передачу даних між мікроконтролером та SD-картою.

Вибір мікроконтролера. Використання мікроконтролеру STM32 є обґрунтованим з ряду причин: Широкий вибір моделей: У лінійці STM32 є багато різних моделей з різними можливостями та характеристиками, що дозволяє вибрати той, який найкраще відповідає вашим потребам.

Потужність та продуктивність: Мікроконтролери STM32 мають потужні обчислювальні можливості, що дозволяють їм ефективно обробляти дані від різних датчиків та керувати роботою пристрою. Наприклад, STM32 може мати тактову частоту до 72 МГц (у випадку моделей на базі ARM Cortex-M3), що забезпечує швидку обробку даних. Крім того, STM32 має багато вбудованих периферійних пристроїв, таких як ADC (аналогово-цифровий конвертер) для зчитування аналогових сигналів від датчиків, а також різні інтерфейси, такі як UART, SPI та I2C, для зв'язку



Рис. 1. Структурна схема пристрою

з зовнішніми пристроями. Такі можливості роблять STM32 ідеальним вибором для проекту зі збору та обробки даних [11].

Датчик температури та вологості. На основі даних з (табл. 1) обрано датчик DHT22 є цифровим сенсором для вимірювання температури та вологості. Він має високу точність вимірювань температури та вологості, що забезпечує надійні дані для моніторингу стану атмосферного повітря. Однодротовий інтерфейс значно спрощує процес інтеграції датчика з мікроконтролером. Використання GPIO для підключення дозволяє зменшити кількість необхідних проводів і спрощує монтаж системи [12].

Порівнюючи датчики для проекту було обрано DPS310. Це цифровий датчик атмосферного тиску, розроблений для вимірювання тиску в атмосфері та навколишньому середовищі. Він є високоточним сенсором, призначеним для застосування в мобільних пристроях, приладах IoT і системах моніторингу [13].

Датчик концентрації пилу. На основі даних з (табл. 3) обрано PMS3003 – це цифровий датчик концентрації пилу. Він призначений для вимірювання концентрації часток пилу у повітрі з розміром від 0,3 мікрона до 10 мікронів на кубічний метр. Датчик має високу точність вимірювання і здатний працювати у широкому діапазоні умов [14].

Для включення та вимикання комплексу можна обрати кнопку з інтерфейсом GPIO, яка підключа-

ється безпосередньо до мікроконтролера. Одним з прикладів такої кнопки є кнопка з фізичним інтерфейсом “push-button”, яка забезпечує просте натискання для включення та вимикання пристрою.

Для проекту обраний LCD дисплей 16x2 з інтерфейсом I2C модель JHD162A. Цей дисплей має розмір 16 символів на 2 рядки і працює з протоколом I2C, що спрощує підключення до мікроконтролера і зменшує кількість потрібних контактів [15].

Для автономного живлення можна розглянути літій-іонний акумулятор зі спеціальним захистом та вбудованим зарядним контролером. Один з варіантів – літій-іонний акумулятор 18650 з захистом. Ємність може варіюватися, але для запропонованого комплексу достатньо акумулятору з ємністю від 2000 до 3000 мАгод.

Проектування друкованого вузла. Друковані плати є основними елементами електронної техніки, що використовуються для з'єднання та монтажу електронних компонентів. Залежно від кількості шарів провідних елементів на платі та їх розташування, друковані плати можна поділити на кілька типів.

Одношарові друковані плати (ОДП) мають провідний рисунок лише на одній стороні ізоляційної основи. Вони дешевші та простіші у виготовленні, однак обмежені в складності схем і кількості компонентів, які можуть бути розміщені на платі [16].

Таблиця 1

Порівняння аналогів датчиків температури та вологості

Параметр	DHT22	DHT11	SHT31	AM2302
Напруга живлення, В	3.3 - 5.5	3.3 - 5.5	2.4 - 5.5	3.3 - 5
Струм споживання, мА	0.1	0.5	0.5	1
Точність температури, °С	±0.5	±2	±0.2	±0.5
Діапазон вимірювання температури,	-40°C до +125°C	0°C до +50°C	-40°C до +125°C	-40°C до +80°C
Точність вологості, %	±2	±5	±2	±5
Діапазон вимірювання вологості, %	0 до 100	20 до 80	0 до 100	0 до 100

Датчик атмосферного тиску.

Таблиця 2

Порівняння аналогів датчиків атмосферного тиску

Параметр	BMP280	BME280	MS5611	DPS310
Напруга живлення, В	1.71 - 3.6	1.71 - 3.6	1.71 - 3.6	1.7 - 3.6
Струм споживання, мА	2.7	2.7	1	0.5
Точність тиску, Па	±1.0	±1.0	±10	±0.002
Діапазон вимірювання тиску, гПа	300-1100	300-1100	10-1200	300-1200

Таблиця 3

Порівняння аналогів датчиків концентрації пилу

Параметр	PMS5003	SDS011	PMS3003	SDS011
Напруга живлення	3 В	3 В	3 В	3 В
Струм споживання	100 мА	120 мА	80 мА	150 мА
Точність	±10%	±15%	±15%	±10%
Діапазон вимірювання	0.3 - 10 мкм/м ³	0.3 - 10 мкм/м ³	0.3 - 10 мкм/м ³	0.3 - 10 мкм/м ³

Двошарові друковані плати (ДДП) мають провідний рисунок на обох сторонах ізоляційної основи. Дозволяють збільшити щільність монтажу та надійність з'єднань, полегшують трасування провідників і оптимізують розміри плати завдяки щільному розміщенню елементів.

Багатошарові друковані плати (БДП) складаються з трьох або більше провідних шарів, розділених ізоляційними шарами. Вони використовуються при проектуванні складних пристроїв, які потребують дуже високої щільності монтажу компонентів. Виготовлення багатошарових плат складніше і потребує високої кваліфікації та спеціального обладнання [17].

Виходячи з даних характеристик різних друкованих плат, оптимальним рішенням для цієї розробки є використання двошарової друкованої плати, яка забезпечить необхідну гнучкість, функціональність і надійність.

Найпоширенішим матеріалом для друкованих плат є FR-4, який виготовляється з епоксидної смоли, армованої скловолокном. Для запропонованого комплексу, матеріал FR-4 буде найоптимальнішим

вибором, оскільки він забезпечує достатню міцність і стійкість до умов зовнішнього середовища, а також необхідні електричні характеристики для стабільної роботи електронних компонентів.

Серед доступних методів для виготовлення друкованих плат видокремлюють хімічний, електрохімічний та комбінований. Враховуючи характеристики проекту, вирішено скористатися комбінованим методом виготовлення. Цей метод є оптимальним для створення двосторонніх друкованих плат, оскільки він дозволяє отримувати чіткі лінії провідників та менше працезатратний у порівнянні з електрохімічним методом. Крім того, комбінований позитивний метод забезпечує вищу надійність друкованих плат, оскільки діелектрик знаходиться у сприятливих умовах, захищений фольгою від дії електроліту.

Проектування друкованої плати. Altium Designer – це програмне забезпечення, яке використовується для розробки електронних пристроїв та друкованих плат у промислових, наукових і інших галузях. На рисунках 2 і 3 показано 3D вигляд розробленої друкованої плати для запропонованого вимірювального комплексу.

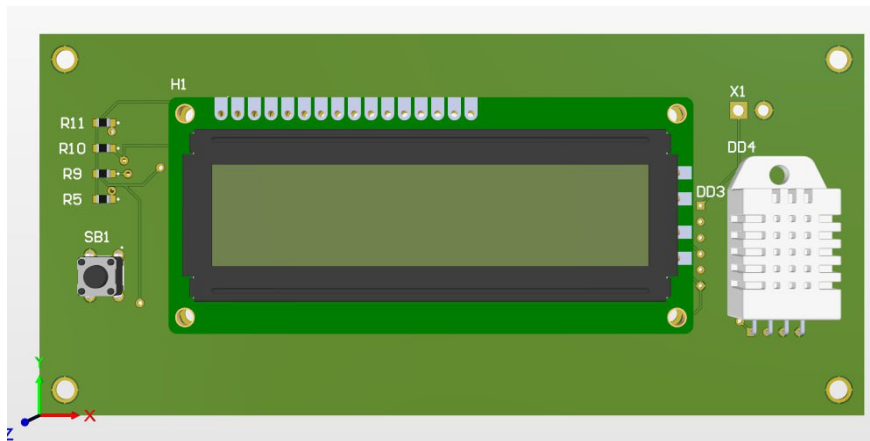


Рис. 2. 3D вигляд ДП зверху

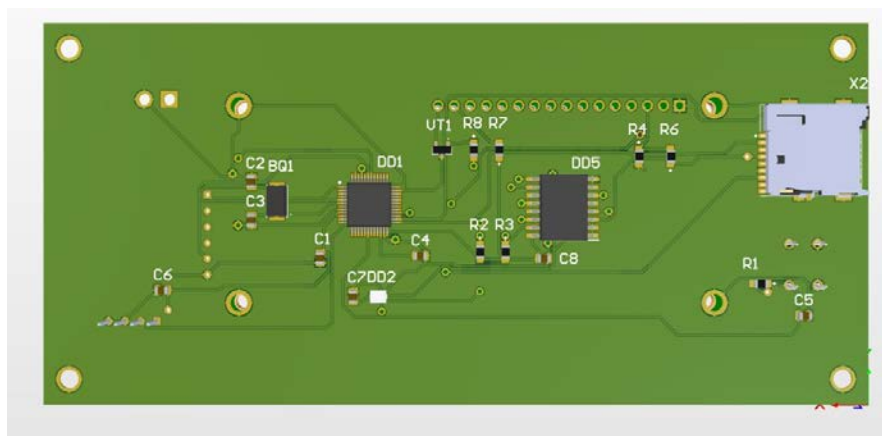


Рис. 3. 3D вигляд ДП знизу

Висновки. У роботі проведено аналіз наявних рішень, схемотехнічне проектування та проектування друкованого вузла для розробленого вимірювального комплексу стану атмосферного повітря. Детально розглянуто принцип роботи вимірювального комплексу стану атмосферного повітря на базі мікроконтролерів STM32, аналіз наявних рішень та вимоги до проектування вимірювального комплексу.

Досліджено принцип роботи вимірювальних комплексів на базі мікроконтролерів STM32. Розглянуто процеси збору даних з датчиків, їх обробки та відображення на LCD-екрані.

Розглянуто кілька сучасних метеостанцій, що використовують різні типи датчиків для моніторингу погодних умов. Це дозволяє порівняти технічні характеристики та функціональні можливості цих пристроїв. Аналіз визначає, які аспекти

дизайну і функціональності є найбільш важливими для проекту.

Розглянуто принципи функціонування вимірювальних комплексів стану атмосферного повітря. В результаті чого визначено вимоги для розробки запропонованого у даній роботі вимірювального комплексу.

Запропоновано структурну схему пристрою, яка визначає основні функціональні блоки та зв'язок між ними. Відповідно до неї розроблено принципову електричну схему. Описано вибір елементної бази, враховуючи їх технічні характеристики та відповідність вимогам даного проекту.

Проведено аналіз типів, матеріалів та методів виготовлення друкованих плат. Згідно з цим обрано двошарову друковану плату, виготовлену комбінованим позитивним методом з FR4. Для проектування використано САПР Altium Designer.

Список літератури:

1. D. Verma, S. Dhul, R. Saini, R.B. Dubey, IoT Based Air Pollution Monitoring System, International Journal of Innovative Research in Engineering & Management (IJIREM), Vol.5, 2018, pp 116-120. ISSN: 2350-0557
2. I. D. P. Hermida, Y. Wahyu, K. D. Permana, P. Kurniawan and H. Wijanto, Design ultra-wideband antenna 800–2400 MHz for cognitive radio applications, 2017 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET), Jakarta, Indonesia, 2017, pp. 158-163, doi: 10.1109/ICRAMET.2017.8253167.
3. J. Carbo, S. Mendoza, I. Endara and J. Urquizo, "Design and location analysis of fast charging hybrid vehicle stations. A case study from Ecuador," 2019 FISE-IEEE/CIGRE Conference – Living the energy Transition (FISE/CIGRE), Medellin, Colombia, 2019, pp. 1-8, doi: 10.1109/FISECIGRE48012.2019.8984976.
4. C. Zhao and Z. Hua, "Design of Motor Speed Control System Based on STM32 Microcontroller," 2022 International Conference on Computation, Big-Data and Engineering (ICBE), Yunlin, Taiwan, 2022, pp. 274-276, doi: 10.1109/ICBE56101.2022.9888225.
5. M. Stighezza et al., "Model-Based design of a Machine Learning algorithm for on-site food authenticity testing," 2024 IEEE International Workshop on Metrology for Industry 4.0 & IoT (MetroInd4.0 & IoT), Firenze, Italy, 2024, pp. 43-47, doi: 10.1109/MetroInd4.0IoT61288.2024.10584131.
6. J. M. Howerton and B. L. Schenck, "The Deployment of a LoRaWAN-Based IoT Air Quality Sensor Network for Public Good," 2020 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS), Charlottesville, VA, USA, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/SIEDS49339.2020.9106676.
7. M. Janyasupab and J. Yongwiwat, "Low-Cost PM 2.5 Sensor and Cost-Effective Air Purification Study for Household Implementation," 2022 37th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC), Phuket, Thailand, 2022, pp. 601-604, doi: 10.1109/ITC-CSCC55581.2022.9895085.
8. A. Onay, Y. Akin, A. Kafalı and E. Çıracı, "Real Time Air and Water Quality Monitoring based on Distributed Sensor Network," 2021 6th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), Ankara, Turkey, 2021, pp. 118-123, doi: 10.1109/UBMK52708.2021.9558881.
9. P. K. Malik, A. S. Duggal, S. Aluvala, R. Sahithi, Geetanjali and A. Gehlot, "Development of a low-cost IoT device using ESP8266 and Atmega328 for real-time monitoring of Outdoor Air Quality with Alert," 2023 3rd International Conference on Advancement in Electronics & Communication Engineering (AECE), GHAZIABAD, India, 2023, pp. 125-129, doi: 10.1109/AECE59614.2023.10428098.
10. Kardashuk, V. S., and O. V. Davydenko. "Meteostantsiia na Arduino z vizualizatsiieiu i analizom danykh pohodnoi stantsii." (2018).
11. Datasheet STM32F103C8T6. URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html>
12. Datasheet DHT22. URL: <https://www.mouser.com/datasheet/2/737/dht-932870.pdf>
13. Datasheet DPS310. URL: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/876653/INFINEON/DPS310.html>
14. Datasheet PMS3003. URL: <https://dynamoelectronics.com/descargas/PMS3003.pdf>

15. Datasheet JHD162A. URL: <https://www.rhydolabz.com/documents/display/JHD162A.pdf>
16. Khandpur, Raghbir Singh. Printed circuit boards: Design, fabrication, assembly and testing. New York: McGraw-Hill, 2006.
17. Mitzner, K. Complete PCB design using orcad Capture and PCB editor. Amsterdam: Newnes/Elsevier, 2009.

Zylevich M.O., Zaichenko V.D. DEVELOPMENT OF AN ATMOSPHERIC AIR CONDITION MONITORING SYSTEM

This article examines the operating principles of an atmospheric air condition monitoring system based on STM32 microcontrollers, analyzes existing market solutions, and defines the requirements for designing such a system. The study investigates the functioning of monitoring systems utilizing STM32 microcontrollers, among the most popular solutions on the market due to their high performance, low power consumption, and ability to integrate with various sensors. The data collection processes from sensors, data processing, and display on an LCD screen are discussed.

The principles of operation and a comparative analysis of modern monitoring systems using different types of sensors for weather condition monitoring are examined. The technical characteristics and functional capabilities of these devices are compared, and the most important aspects of design and functionality for the modern market are identified. It is determined that the system should measure temperature, humidity, atmospheric pressure, and dust levels with high accuracy. Important elements include reliability, protection from adverse conditions, compactness, and energy efficiency. Special attention is given to the selection of sensors and protective features, including overload and overheating protection.

High-quality components are used in the development, such as the DPS310 sensor for pressure measurement, the DHT22 sensor for temperature and humidity, and the PMP3003 dust sensor for monitoring dust content in the air. Interaction with the display is carried out through the I2C interface. Data collection is managed by the STM32 microcontroller, which processes the sensor data and outputs it to the screen. The system is powered via a USB port, allowing easy connection of the weather station to a computer or another power source.

Due to the relatively low cost of components and ease of manufacture, this monitoring system can be used for prototyping and small-batch production in various industrial and scientific fields.

Key words: monitoring system, microcontroller, printed circuit board, reliability, temperature-humidity sensor, barometer, laser dust sensor.