

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ФАХОВИЙ БІЗНЕС-КОЛЕДЖ  
Циклова комісія (кафедра) комп'ютерної інженерії та інформаційних технологій

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему

**СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

Виконав: студент групи 1К-21

спеціальності

123 Комп'ютерна інженерія

Дмитро СУЛДЕНКО

Керівник

Маргарита МЕДОЛИЗ

Черкаси 2025

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена розробці автоматизованої системи моніторингу параметрів зовнішнього середовища на базі мікроконтролера Arduino Nano. У роботі розглянуто теоретичні основи контролю довкілля, обґрунтовано вибір апаратних компонентів та реалізовано прототип пристрою з датчиками температури, вологості, тиску та газів. Проведено тестування системи в реальних умовах, що підтвердило її точність, стабільність та придатність до подальшого застосування. Запропоновано шляхи вдосконалення та масштабування, зокрема інтеграцію з хмарними сервісами та IoT-технологіями.

## **ABSTRACT**

This qualification thesis presents the development of an automated environmental monitoring system based on the Arduino Nano microcontroller. The research includes a theoretical overview of environmental control methods, selection and justification of hardware components, and implementation of a prototype equipped with sensors for temperature, humidity, pressure, and gas concentration. The system was tested under real conditions, confirming its accuracy, stability, and practical applicability. Possible enhancements and scalability options are proposed, including integration with cloud platforms and IoT technologies.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА .....	7
1.1 Поняття зовнішнього середовища та його параметри. ....	7
1.2 Методи та засоби контролю параметрів зовнішнього середовища .....	8
1.3 Сучасні системи моніторингу параметрів зовнішнього середовища .....	9
1.4. Нормативно-правове регулювання контролю параметрів.....	11
1.5. Сучасні інформаційні технології та системи моніторингу .....	13
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ .....	15
2.1 Опис апаратної частини системи.....	15
2.2. Загальна характеристика системи .....	16
2.3 Вибір та обґрунтування апаратних компонентів .....	17
2.5 Збірка та монтаж прототипу.....	20
РОЗДІЛ 3 ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ.....	22
3.1 Монтаж і налаштування обладнання .....	22
3.2 Випробування апаратної частини.....	23
3.3 Методика проведення тестування .....	24
3.4 Результати тестування .....	25
3.5. Аналіз надійності та стабільності роботи системи.....	27
3.4 Вимоги до апаратної частини .....	28
3.7. Можливості масштабування та вдосконалення .....	29
3.8 Висновки за результатами впровадження .....	30
ВИСНОВКИ.....	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	34

## ВСТУП

Зараз у світі екологічні питання виходять стають все більш актуальними. Через збільшення забруднення довкілля та швидке зростання міст погіршується життя людей і стан природи. У зв'язку з цим виникає необхідна потреба у надійному та постійному моніторингу параметрів навколишнього середовища. Саме це дозволяє вчасно виявляти негативні показники та оперативно повідомляти про них. Автоматизовані системи контролю параметрів зовнішнього середовища за екологічними показниками сьогодні відіграють важливу роль у забезпеченні екологічної безпеки.

Суть проблеми в тому що доступ до ефективних, зручних та недорогих у використанні систем для контролю зовнішнього середовища. Більшість систем є складними в налаштуванні, або мають високу вартість і є малофункціональними. Тому, універсальна, доступна та сучасна система моніторингу є актуальним завданням, що має важливе значення як для побутового, так і для промислового використання.[1-2]

**Актуальність теми.** Аналізуючи існуючі рішення, я дійшов висновку, що на ринку мало простих, та доступних систем контролю зовнішнього середовища. Саме тому розробка цієї системи, яка б дозволила контролювати вологість, температуру, рівень забруднення повітря та інші показники з використання сучасних різних датчиків, та сенсорів.

**Об'єкт дослідження** – це система автоматизованого моніторингу стану навколишнього середовища, яка включає апаратну частину.

**Предмет дослідження** – технології збору та аналізу екологічних даних, що застосовуються в процесі побудови системи: сенсори, програмування мікроконтролера, передача та обробка інформації.

**Мета дослідження.** Розробити ефективну систему моніторингу стану зовнішнього середовища, яка дозволяє фіксувати та передавати дані про ключові екологічні показники з їх обробкою та візуалізацією.

**Завдання дослідження:**

- Розглянути та дослідити існуючі системи контролю розглянути їх переваги та недоліки.
- Обрати найбільш придатні датчики для фіксації параметрів зовнішнього середовища.
- Розробити систему, яка має мікроконтролер, та елементи обробки даних.
- Провести тестування системи в реальних умовах і вдосконалити її на основі з отриманими результатами.

**Методи дослідження.**

- Теоретичний аналіз літератури та існуючих технічних рішень;
- Моделювання архітектури системи;
- Експериментальні дослідження для перевірки працездатності системи;
- Порівняльний аналіз ефективності різних рішень.

Розроблена система дозволяє в режимі реального часу контролювати стан навколишнього середовища, що є важливим для екологічного моніторингу у міських і промислових районах.

**Практичне значення одержаних результатів.**

- Можливість раннього виявлення змін у параметрах зовнішнього середовища (наприклад, перевищення температурних або забруднюючих норм) дає змогу оперативно реагувати на потенційні загрози для здоров'я людей і довкілля.
- Система може бути використана у різних сферах – від сільського господарства до смарт-міст, освітніх установ, підприємств, де важливий контроль кліматичних умов.

– Результати дослідження можуть стати основою для подальших удосконалень – інтеграції нових сенсорів, впровадження штучного інтелекту для прогнозування змін, підключення до мережі IoT.

# РОЗДІЛ 1

## ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 1.1 Поняття зовнішнього середовища та його параметри

Зовнішнє середовище – це сукупність природних чинників, які оточують людину та інші живі організми, впливаючи на їхнє існування, та розвиток. У контексті екологічного контролю зовнішнє середовище охоплює компоненти біосфери: атмосферу, гідросферу, літосферу, а також штучно створені техногенні об'єкти.

Параметри зовнішнього середовища – це якісні характеристики, які відображають стан природних об'єктів і рівень забруднення довкілля. Основні параметри поділяються на фізичні, хімічні, біологічні та радіаційні. До фізичних належать температура повітря, вологість, атмосферний тиск, швидкість вітру, рівень шуму, вібрації та інші. Хімічні параметри включають концентрації різних домішок у повітрі, воді чи ґрунті: оксидів азоту, сірки, вуглецю, важких металів, нафтопродуктів тощо. Біологічні параметри охоплюють наявність та активність патогенних мікроорганізмів, біоіндикаторів, ступінь біорізноманіття. Радіаційні параметри відображають рівень іонізуючого випромінювання, зокрема природну радіоактивність та наявність техногенних джерел.

Контроль параметрів зовнішнього середовища є необхідним для своєчасного виявлення відхилень від нормативних значень, що можуть негативно впливати на здоров'я людини та довкілля. Наприклад, підвищення концентрацій дрібнодисперсного пилу PM<sub>2.5</sub> у повітрі призводить до зростання ризику серцево-судинних та респіраторних захворювань. Аналогічно, перевищення допустимих рівнів важких металів у ґрунті здатне викликати мутагенні ефекти в організмів.

З метою ефективного моніторингу параметрів зовнішнього середовища застосовуються автоматизовані станції спостереження, переносні прилади, сенсори, методи дистанційного зондування Землі. В Україні функціонує кілька десятків постів моніторингу, які збирають дані про якість повітря, води та ґрунтів. Деякі системи дозволяють відстежувати екологічну ситуацію в режимі реального часу – наприклад, платформи EcoCity, SaveEcoBot.

Таким чином, вивчення і контроль параметрів зовнішнього середовища дозволяє не лише виявляти та попереджати негативні зміни, але й формувати науково обґрунтовану екологічну політику, спрямовану на охорону навколишнього природного середовища та здоров'я населення. [3-4]

## **1.2 Методи та засоби контролю параметрів зовнішнього середовища**

Контроль параметрів зовнішнього середовища здійснюється за допомогою різних методів та засобів, що дозволяють забезпечити гарний рівень безпеки, комфорту життєдіяльності людини.

Методи контролю параметрів зовнішнього середовища поділяються на прямі та непрямі. Прямі методи передбачають вимірювання параметрів, таких як температура, вологість, швидкість руху повітря, концентрації шкідливих речовин. Непрямі методи базуються на аналізі побічних ефектів або змін, що виникають внаслідок зміни певного параметра.

Серед технічних засобів контролю можна виділити:

- сенсори та датчики (температури, вологості, газів);
- автоматизовані системи моніторингу (АСМ), які забезпечують безперервний контроль параметрів у режимі реального часу;
- безпілотні літальні апарати (БПЛА), обладнані датчиками для моніторингу екологічного стану у важкодоступних районах.

Особливу увагу слід приділити сучасним цифровим системам екологічного моніторингу, які інтегрують сенсори з мікропроцесорами, бездротовими модулями передачі даних, GPS-навігацією та програмним забезпеченням для обробки, зберігання та візуалізації інформації. Такі системи дозволяють здійснювати довготривалий аналіз, передбачення змін середовища та своєчасне реагування на критичні ситуації.

Існує також класифікація засобів контролю за функціональним призначенням:

- лабораторні засоби – забезпечують високу точність вимірювань, але потребують багато часу на підготовку та обробку;
- польові засоби – дозволяють здійснювати вимірювання на місці;
- дистанційні – використовуються для контролю з використанням супутників або за допомогою дронів.

Вибір методу та засобу залежить від цілей дослідження, умов проведення вимірювань. Завдяки сучасним розробкам у галузі мікроелектроніки та ІТ, ефективність та доступність систем контролю параметрів зовнішнього середовища постійно зростають. [5,6]

### **1.3 Сучасні системи моніторингу параметрів зовнішнього середовища**

Сучасні системи моніторингу параметрів зовнішнього середовища відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки, нормального розвитку, охорони здоров'я та екології. Їхнє впровадження є актуальним у багатьох сферах – від промисловості до побутового застосування. У цьому підрозділі розглянуто структуру, принципи роботи та приклади застосування сучасних систем моніторингу, зокрема на базі Інтернету речей (IoT) та технологій бездротової передачі даних.

Сучасна система моніторингу зазвичай складається з таких основних компонентів:

- сенсорного рівня , які фіксують температуру, вологість, рівень газів, пилу;
- системи передачі даних (наприклад, Wi-Fi, GSM/3G/4G);
- серверної інфраструктури або хмарного середовища, де відбувається обробка, зберігання і візуалізація даних;

Недавно активного розвитку набули IoT-платформи, що дозволяють створювати розподілені системи моніторингу. До них можна віднести Arduino, ESP32, які підтримують підключення сенсорів та інтеграцію з хмарними сервісами. Такі рішення дозволяють створювати компактні, енергоефективні та доступні за ціною пристрої.

Прикладом сучасної екологічної системи моніторингу є мережі громадських сенсорів як-от Luftdaten (Sensor.Community), що дозволяють кожному користувачу самостійно зібрати станцію та під'єднати її до глобальної карти забруднення повітря. Такі системи дозволяють отримати надзвичайно детальну просторову і часову картину забруднення.

Значна увага в сучасних розробках приділяється енергоефективності. Завдяки використанню мікроконтролерів та модулів зв'язку, а також живлення від сонячних панелей, можливе розміщення сенсорів у віддалених або важкодоступних місцях.

Також сучасні системи моніторингу мають підтримку аналітики в реальному часі. Наприклад, при перевищенні крайнього значення концентрації CO<sub>2</sub> система може негайно відправити повідомлення на телефон або автоматично ввімкнути вентиляцію.

Поширеною є інтеграція з мобільними додатками, які дозволяють переглядати графіки змін, отримувати сповіщення, аналізувати історію та поширювати дані. Завдяки цьому користувач має змогу швидко реагувати на зміни умов.

У майбутньому очікується подальший розвиток штучного інтелекту в системах моніторингу, що допоможе передбачати небезпечні ситуації до їх настання на основі накопичених даних.

Таким чином, сучасні системи моніторингу параметрів навколишнього середовища – це гнучкі, масштабовані, ефективні рішення, що дають змогу своєчасно виявляти зміни у середовищі та приймати відповідні заходи.[7]

#### **1.4. Нормативно-правове регулювання контролю параметрів**

Охорона навколишнього природного середовища є одним із ключових напрямів державної політики України. Правове регулювання у цій сфері базується на законодавчих та нормативних актах, міжнародних угодах, а також технічних стандартах і нормативах. Основним нормативно-правовим актом, що регулює питання контролю параметрів довкілля, є Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». Він визначає загальні засади охорони природи, встановлює відповідальність за порушення природоохоронного законодавства та передбачає здійснення екологічного моніторингу.

У відповідності до вимог законодавства, контроль за параметрами довкілля здійснюється з урахуванням державних стандартів (ДСТУ), санітарно-гігієнічних норм, зокрема гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин у повітрі, воді, ґрунті. Ці нормативи встановлюються Міністерством охорони здоров'я України та іншими уповноваженими органами. ДСТУ забезпечують єдину методологічну основу для оцінки стану навколишнього середовища та проведення його моніторингу.

Окрім національного законодавства, важливу роль у регулюванні контролю параметрів довкілля відіграють міжнародні стандарти та угоди. Зокрема, серія стандартів ISO 14000 регламентує вимоги до систем екологічного управління,

включаючи моніторинг і вимірювання екологічних аспектів діяльності підприємств. Директиви Європейського Союзу, особливо ті, що стосуються якості повітря, води та відходів, також мають значний вплив на українське законодавство в межах євроінтеграційного курсу держави.

Крім того, Україна є стороною міжнародних екологічних угод, таких як Кіотський протокол і Паризька кліматична угода, які зобов'язують державу дотримуватися певних стандартів щодо викидів парникових газів, сприяти енергозбереженню та впроваджувати системи моніторингу вуглецевого сліду. Ці документи вимагають наявності достовірних та прозорих даних про стан довкілля, що, у свою чергу, підвищує вимоги до систем екологічного моніторингу та їх нормативно-правової регламентації.

Реалізація державної екологічної політики покладається на ряд державних органів, зокрема Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, Державну екологічну інспекцію, Державне агентство водних ресурсів, Державну службу геології та надр. Ці органи забезпечують контроль за дотриманням екологічних норм, проводять інспекції, а також беруть участь у розробленні та впровадженні нових нормативно-правових актів.

Зокрема, Державна екологічна інспекція України уповноважена здійснювати перевірки підприємств, накладати штрафи за порушення природоохоронного законодавства, контролювати дотримання ГДК у різних природних середовищах. Важливою функцією є також забезпечення відкритості екологічної інформації для громадськості, що закріплено в Орхуській конвенції.

Таким чином, нормативно-правове регулювання контролю параметрів довкілля в Україні формується на основі національного та міжнародного законодавства, яке інтегрує сучасні стандарти, спрямовані на збереження природних ресурсів, зменшення негативного впливу людської діяльності на довкілля та забезпечення сталого розвитку суспільства [11].

## 1.5. Сучасні інформаційні технології та системи моніторингу

У сучасних умовах розвитку цифрових технологій особливого значення набувають системи, що забезпечують ефективний моніторинг стану навколишнього середовища. Серед таких технологій важливе місце займають геоінформаційні системи (ГІС).

Геоінформаційні системи (ГІС) дозволяють обробляти, аналізувати та візуалізувати просторову інформацію про стан довкілля. Вони широко застосовуються для створення тематичних карт, виявлення джерел забруднення, планування природоохоронних заходів. Застосування ГІС у природоохоронній діяльності забезпечує своєчасне виявлення екологічних проблем та прийняття обґрунтованих рішень.

В Україні вже впроваджуються практичні рішення, що базуються на використанні інформаційних технологій у сфері екологічного моніторингу. Одним із таких прикладів є платформа EcoCity – інтерактивна система, яка надає дані про якість повітря в реальному часі з різних регіонів України. EcoCity використовує мережу датчиків, розміщених на відкритих майданчиках, що дає змогу населенню контролювати стан атмосферного повітря.

Іншим прикладом є сервіс SaveEcoBot – бот у месенджерах, який надає актуальну інформацію щодо перевищень гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин у повітрі. Він також надає інформацію про підприємства-забруднювачі, дозволи на викиди, та інші екологічні дані, зібрані з відкритих джерел.

Таким чином, сучасні інформаційні технології відіграють ключову роль у забезпеченні прозорості екологічного моніторингу, підвищують ефективність управління природоохоронною діяльністю та сприяють залученню громадськості до вирішення екологічних проблем [8]

Отже, у першому розділі було розглянуто теоретичні основи контролю параметрів зовнішнього середовища, що є ключовим етапом у розробці ефективної системи моніторингу. Було визначено основні параметри зовнішнього середовища, які мають екологічне, технічне та соціальне значення, зокрема температура, вологість, концентрація шкідливих газів та інші фактори. Проаналізовано сучасні методи та технічні засоби вимірювання зазначених параметрів, зокрема сенсори, системи збору та обробки даних. Розглянуто переваги і недоліки найбільш поширених технологій. Окрему увагу приділено нормативно-правовому забезпеченню процесів моніторингу, зокрема діючим стандартам, які визначають допустимі значення параметрів та вимоги до засобів їх контролю. Завершує розділ аналіз сучасних інформаційних систем моніторингу, що включають IoT-рішення, бездротові технології, хмарні платформи та програмні інтерфейси, які дозволяють не лише збирати дані, але й оперативно реагувати на виявлені відхилення. Таким чином, теоретичне підґрунтя створює основу для ефективного проектування та впровадження практичної частини системи.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ СИСТЕМИ

#### 2.1 Опис апаратної частини системи

У цьому підрозділі розглянуто апаратну частину системи контролю параметрів зовнішнього середовища, яка забезпечує збір та первинну обробку екологічних даних. Основними критеріями при виборі обладнання були точність, енергоефективність, надійність та можливість інтеграції в компактний корпус.

Для побудови системи було обрано наступні сенсори:

- Сенсор температури та вологості DHT22 – високоточний цифровий датчик, що вимірює температуру з похибкою  $\pm 0.5$  °C і вологість з точністю до  $\pm 2\%$ .

- Сенсор освітленості BH1750 – дає змогу фіксувати рівень освітлення від 1 до 65535 люкс з інтерфейсом I<sup>2</sup>C.

- Контролер Arduino Nano – забезпечує керування сенсорами та передавання даних до ПК.

Дана конфігурація дозволяє отримувати повний набір екологічних параметрів, актуальних для моніторингу як у приміщенні, так і на відкритому повітрі.

Розміщення компонентів у корпусі виконано з урахуванням всіх рекомендацій. Деякі сенсори виведено за межі корпусу через отвори, щоб уникнути теплового впливу електроніки.

Для живлення системи використовується акумулятор на 12 В із стабілізатором напруги до 5 В, що подається на контролер та сенсори. Загальне енергоспоживання системи становить приблизно 250–300 мА.

Таким чином, апаратна частина забезпечує всі необхідні функції для безперервного моніторингу зовнішніх факторів навколишнього середовища.

## 2.2. Загальна характеристика системи

Метою створення даної системи є безперервний моніторинг параметрів навколишнього середовища, що дозволяє здійснювати збір, обробку та аналіз даних у режимі реального часу. Такий підхід дає змогу своєчасно виявляти відхилення від стандартів екологічної безпеки, а також прогнозувати загрози для здоров'я населення та навколишнього середовища.

Система моніторингу виконує ряд деяких функцій, серед яких: вимірювання температури повітря, вологості, атмосферного тиску, та показників забрудненості повітря. За необхідності можливе розширення функціоналу шляхом підключення додаткових сенсорів, які реєструють рівень шуму, освітленість або концентрацію певних газів у повітрі.

Областю застосування системи є міські території, заповідники, об'єкти критичної інфраструктури. У містах така система може використовуватись у рамках системи Smart City для забезпечення легкого доступу людей до екологічної інформації, підвищення екологічної свідомості населення та покращення якості життя.

До складу апаратної частини системи входить: набір сенсорів для зчитування параметрів зовнішнього середовища, мікроконтролер для обробки даних, модуль живлення. Усі компоненти інтегруються в єдину систему з урахуванням енергоспоживання, сумісності за рівнями напруги та можливості автономної роботи.

Мікроконтролер виконує функцію головного мозку який, зчитує показники з підключених датчиків, здійснює обробку даних та передає результати.

Вибір мікроконтролера залежить від вимог до швидкодії, енергоспоживання та наявності інтерфейсів введення/виведення.

Для живлення системи можуть бути використані різні джерела: акумуляторні батареї, сонячні панелі або USB-підключення. Залежно від обраного джерела

передбачаються відповідні стабілізатори напруги, захист від перевантажень і перенапруг.

Засоби передачі даних дозволяють забезпечити передачу інформації у реальному часі на сервер або хмарне сховище. При використанні Wi-Fi або GSM модулів дані передаються безпосередньо, а у випадку застосування LoRa – можлива організація мережі з великою площею покриття.

Таким чином, система екологічного моніторингу є комплексним пристроєм, призначеним для отримання достовірної екологічної інформації з можливістю її використання в наукових, та освітніх цілях.

### **2.3 Вибір та обґрунтування апаратних компонентів**

Для реалізації проєкту моніторингу параметрів навколишнього середовища були розглянуті три основні варіанти мікроконтролерів: Arduino Nano, ESP32 та Raspberry Pi Pico. Усі ці контролери мають відповідну кількість цифрових та аналогових входів/виходів, підтримку популярних інтерфейсів (I2C, SPI, UART), а також достатню обчислювальну потужність для обробки показників від сенсорів. Було обрано Arduino Nano замість ESP32, оскільки вона є компактною, енергоефективною та достатньою для виконання поставлених завдань. Незважаючи на відсутність вбудованого Wi-Fi модуля та менш потужний процесор порівняно з ESP32, Arduino Nano забезпечує простоту використання, менші розміри та добре підходить для проєктів, де бездротова передача даних не є критичною.

У системі моніторингу використовуються наступні сенсори для збору даних з навколишнього середовища:

- Температура та вологість: DHT22 або більш точний SHT31. Обидва сенсори забезпечують прийнятний рівень точності та стабільності вимірювань.
- Атмосферний тиск: BMP280 або BME280. Останній також містить датчик вологості, що дозволяє зменшити кількість компонентів.

– Датчик освітленості BH1750, мікрофонний модуль для вимірювання рівня шуму(виключений з проекту в зв'язку з високою ціною).

Залежно від умов експлуатації передбачено кілька варіантів живлення:

– Акумуляторна батарея (літій-іонна або Li-Po), що забезпечує автономну роботу.

– Живлення від USB-джерела або зовнішнього блока живлення.

– Сонячна панель – як альтернатива для роботи в польових умовах.

Таблиця 2.1 Список використаних компонентів.

Arduino Nano
Кабель живлення miniUSB
Блок живлення 5V/1A
Резистор підстроювальний 220 Ом
Резистор підстроювальний 470 кОм
RTC модуль (DS3231 )
Кнопка для управління режимами
LCD 2004 модуль для Arduino, РК дисплей 20x4
Модуль GY-BME280 датчик тиску, вологи та температури

Структурна схема розробленої системи представляє собою блок-схему, яка відображає взаємодію ключових елементів: мікроконтролера Arduino Nano, сенсорів MQ135, BME280, DHT22, модуля живлення (акумулятор), а також модуля відображення інформації – OLED-дисплея.

Електрична схема визначає конкретні з'єднання компонентів з Arduino Nano: Сенсор MQ135 підключається до аналогового входу A0 через резистор 10 кОм та фільтруючий конденсатор 0,1 мкФ для стабілізації сигналу.

BME280 підключено через I2C-шину до виводів SDA (A4) і SCL (A5).

DHT22 підключається до цифрового піну (наприклад, D2), при цьому між лініями VCC і DATA встановлюється резистор 4.7 кОм. Усі з'єднання виконані з урахуванням рівнів живлення компонентів.

Arduino Nano працює від 5 В, більшість сенсорів також сумісні з цією напругою. У випадку, якщо деякі модулі вимагають 3.3 В (наприклад, окремі версії BME280), використовуються логічні перетворювачі рівнів або резистивні подільники. З огляду на автономний режим роботи, особливу увагу приділено оптимізації енергоспоживання. Сенсори обрано з урахуванням споживаної потужності.

Для MQ135, який споживає відносно багато енергії, реалізовано періодичне вмикання лише під час зчитування даних. Хоча Arduino Nano не має розширених можливостей енергозбереження, все ж можливе використання режимів сну для зниження споживання струму у неактивні періоди.

З метою захисту електроніки, у схемі передбачено: Запобіжник 0.5 А на вході живлення, Варистор для захисту від перенапруг. Система змонтована в герметичному пластиковому корпусі, що забезпечує надійність у польових умовах.

Для газового сенсора MQ135 передбачено вентиляційний отвір, закритий мікропористою мембраною, яка пропускає повітря, але захищає від вологи та пилу.

Для зменшення перешкод і шумів у схемі використано байпасні конденсатори (0.1 мкФ та 10 мкФ) поруч з Arduino Nano. Сигнальні лінії за можливості екрановані або фізично рознесені на платі для уникнення перехресних завад. Всі елементи – як сенсори, так і мікроконтролер – спочатку монтуються на макетній платі для перевірки, а для експлуатації на відкритому повітрі – на друкованій платі (PCB). Роз'ємне з'єднання компонентів спрощує технічне обслуговування та заміну.

OLED-дисплей розміщено на лицьовій частині корпусу за прозорим віконцем, що дозволяє легко зчитувати інформацію з пристрою. У підсумку, схема повністю адаптована до апаратних можливостей Arduino Nano та враховує всі важливі аспекти: узгодження напруг, зменшення електричних завад, захист від зовнішніх

впливів і енергозбереження, що забезпечує стабільну роботу пристрою в реальних умовах експлуатації.

## **2.5 Збірка та монтаж прототипу**

На цьому етапі проводиться збірка усіх компонентів системи. Збірка системи здійснюється покроково для забезпечення надійності з'єднань та стабільної роботи пристрою.

Першим кроком є встановлення та закріплення сенсорів у відповідних точках макетної або друкованої плати. Наприклад, газовий сенсор MQ135 слід розміщувати таким чином, щоб він мав доступ до вентиляції та не знаходився в повністю закритому корпусі. Це забезпечує точні показники якості повітря та дозволяє уникнути накопичення вологи або шкідливих речовин всередині пристрою.

Наступним етапом є підключення живлення. Для цього зазвичай використовується стабілізоване джерело постійного струму на 5 В або 3,3 В залежно від вимог сенсорів та мікроконтролера. Рекомендується використання стабілізатора напруги або джерела з вбудованим захистом від перевантаження.

Далі виконується встановлення допоміжних модулів, індикаторів, кнопок та дисплеїв. Усі компоненти монтується на макетній платі або на виготовленій друкованій платі (PCB), що дозволяє забезпечити компактність і впорядкованість елементів.

Після монтажу основних модулів та перевірки підключень проводиться встановлення всієї системи в корпус. Корпус повинен бути пластиковий або з термостійкого матеріалу з захистом від вологості.

Для сенсорів у корпусі передбачаються спеціальні отвори або сіточки, що забезпечують доступ повітря або світла, але при цьому запобігають потраплянню бруду та дрібних частинок.

Важливо перевірити кожне з'єднання та протестувати всі компоненти перед остаточним закриттям корпусу. Всі дроти повинні бути надійно заізолювані, а елементи – добре закріплені, щоб уникнути пошкодження під час експлуатації.

Отже, другий розділ присвячено практичній реалізації апаратної частини системи моніторингу параметрів зовнішнього середовища. В цьому розділі було визначено загальну архітектуру системи, яка включає сенсори, мікроконтролер, модулі живлення, а також допоміжні елементи. Здійснено обґрунтований вибір апаратних компонентів із урахуванням точності вимірювань, енергоспоживання, сумісності та вартості. У ході розробки було зібрано прототип системи, проведено тестування працездатності апаратної частини, виявлено та усунуто технічні недоліки. Результати випробувань підтвердили стабільну роботу системи та відповідність початковим вимогам проекту. Також розглянуто можливості масштабування системи – додавання нових сенсорів, оптимізація енергоспоживання тощо. Таким чином, апаратна частина є надійною основою для подальшої розробки повноцінного функціонування системи моніторингу.

## РОЗДІЛ 3

### ВПРОВАДЖЕННЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ

#### 3.1 Монтаж і налаштування обладнання

Підготовка робочого середовища для тестування системи передбачає забезпечення оптимальних умов для збирання, підключення та налаштування компонентів. Робоче середовище повинно бути чистим, сухим, із захистом від прямого сонячного світла, надмірної вологості та пилу. Рекомендується використовувати антисептичні серветки для протирання контактних поверхонь перед монтажем, а також антистатичні килимки для захисту чутливої електроніки.

Послідовність збирання системи починається з встановлення основного модуля на панель або у корпус. Далі здійснюється підключення джерела живлення, після чого послідовно підключаються сенсори температури, та вологості. Особливу увагу слід приділити надійному кріпленню роз'ємів та перевірці полярності живлення. Після підключення усіх модулів необхідно виконати візуальну перевірку правильності монтажу.

Монтаж сенсорів повинен виконуватись з урахуванням впливу зовнішніх факторів, таких як вітер. Це дозволяє експлуатувати систему на відкритому повітрі без ризику проникнення пилу або дощової води. Усі з'єднання слід герметизувати силіконовими ущільнювачами або спеціальними герметиками.

Перед початком тестування проводиться перевірка працездатності. Для цього застосовуються як вбудовані тести у мікроконтролері, так і зовнішнє програмне забезпечення. Наприклад, для перевірки сенсорів температури можна зчитувати їхні значення через UART/USB-інтерфейс та порівнювати з контрольним термометром. Кожен модуль тестується окремо до того, як буде зібрана система цілком. Це дозволяє локалізувати та усунути можливі несправності на ранньому етапі.

Після підтвердження працездатності всіх елементів виконується фінальне збирання та конфігурація системи, калібрування сенсорів і запуск у тестовий режим. Таким чином, правильна організація монтажу й налаштування системи забезпечує її стабільну роботу та знижує ризик збоїв під час подальшого функціонування та тестування.

### **3.2 Випробування апаратної частини**

Після завершення етапу складання системи було проведено декілька випробувань для оцінки надійності та точності роботи апаратної частини. Перше, що було зроблено, – це тестування кожного сенсора окремо в домашніх умовах. Сенсори температури, вологості, тиску та якості повітря були підключені до мікроконтролера, і значення зчитувалися через послідовний порт. Показники кожного сенсора порівнювалися зі значеннями, які демонструвалися в інтернеті. Наприклад, сенсор температури DHT22 у середньому відхилявся на  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$  від значень, зафіксованих на метеостанції.

Наступним етапом було тестування пристрою в умовах реального навколишнього середовища. Прототип був розміщений на відкритому повітрі протягом кількох годин для збору даних при зміні температури, вологості, атмосферного тиску та рівня забруднення повітря. Було виявлено, що сенсори реагують на зміну погоди як і очікувалось, а рівень відхилення не перевищував допустимі норми. У періоди дощу сенсор вологості демонстрував підвищення до 95–98%, що співпадало з прогнозами.

Особливу увагу було приділено стабільності роботи апаратної частини. Пристрій безперервно функціонував упродовж 6, 12 та 16 годин. Під час цих тестів фіксувалися усі дані сенсорів та системний стан, включаючи частоту оновлення, працездатність контролера, збої в подачі живлення або перезавантаження системи. За підсумками тестування, було встановлено, що пристрій здатен стабільно

працювати у визначений проміжок часу без збоїв. Це свідчить про надійність апаратної частини та якість з'єднань.

Під час випробувань було також протестовано працездатність пристрою при зміні рівня температури від  $+5^{\circ}\text{C}$  до  $+25^{\circ}\text{C}$ . Система адаптувалася до змін та продовжувала правильно обробляти інформацію від сенсорів. Такі умови наближені до типових для більшості регіонів України у весняно-літній період, що дозволяє вважати систему придатною для експлуатації у відкритих міських або сільських умовах.

### **3.3 Методика проведення тестування**

Основною метою проведення тестування є перевірка точності, стабільності та повторюваності вимірювань, що здійснюються системою. Це дозволяє переконатися, що система функціонує належним чином у різних умовах експлуатації, не втрачаючи своїх характеристик. Зокрема, особлива увага приділяється здатності системи зберігати стабільні параметри протягом тривалого часу, а також відтворювати результати за повторного запуску в однакових умовах.

Для аналізу роботи системи було обрано такі ключові параметри: температура повітря, відносна вологість, а також частота оновлення показників. Ці параметри безпосередньо впливають на функціональність пристрою та його застосовність у реальних умовах.

Тестування проводилось за кількома сценаріями, що максимально імітують реальні умови експлуатації. Основні сценарії включали безперервну роботу протягом 12 годин із фіксацією параметрів щогодини; перевірку системи в умовах змін температури, вологості; оцінку функціональності у ранковий, денний і нічний час доби.

Методи збору контрольних даних застосовувався для забезпечення об'єктивності тестування. Використовувалися еталонні пристрої для вимірювання

температури та вологості, якими я користувався протягом довгого періоду життя. Значення, зібрані системою, порівнювались із даними цих пристроїв для визначення похибки. Збір контрольних даних здійснювався паралельно з основними вимірами, що дозволяло зіставляти результати.

Оцінка якості функціонування системи проводилась за такими критеріями:

- відхилення результатів вимірювання від правильних значень не повинна перевищувати  $\pm 0.5$  °C для температури та  $\pm 3\%$  для вологості;
- стабільність вимірів протягом тривалого часу (допустиме відхилення не більше 2% за 6 годин);
- безперебійність роботи протягом заданого періоду тестування;
- швидкість реакції на зміну зовнішніх умов не перевищує 20 секунд;
- відповідність параметрів стандартам, передбаченим для пристроїв такого класу.

Отже, дотримання зазначеної методики дозволяє комплексно оцінити ефективність, надійність та точність побудованої системи вимірювання у реальних умовах експлуатації.[13]

### **3.4 Результати тестування**

Для оцінки ефективності роботи системи було проведено серію тестувань за участю датчиків температури й вологості. Вимірювання проводилися протягом 12 годин з інтервалом в 1 годину.

На основі отриманих даних було побудовано графіки змін температури та вологості протягом часу. Ці графіки дозволили візуально оцінити коливання параметрів та визначити відхилення від очікуваних значень.

Похибки вимірювання було розраховано шляхом порівняння показів системи з еталонними значеннями, отриманими за допомогою сертифікованого обладнання.

Максимальне відхилення для температури склало  $1.7^{\circ}\text{C}$ , а для вологості – 3.3%, що відповідає допустимим межах згідно з технічними характеристиками сенсорів.

Порівняльний аналіз фактичних результатів із допустимими межами показав, що система працює в межах встановленої норми, а виявлені незначні коливання мають природній характер, що обумовлено зовнішніми впливами або змінами мікроклімату.

Для повноцінного аналізу результатів тестування системи були враховані декілька ключових аспектів. По-перше, тестування охоплювало різні діапазони температур та вологості, аби перевірити точність та стабільність сенсорів у нестандартних умовах. Система демонструвала належну чутливість до змін середовища та оперативно відображала зміни параметрів у межах допустимих похибок.

Оцінка похибок вимірювання проводилась шляхом порівняння даних сенсорів з еталонними приладами. Похибка температури не перевищувала  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$ , а вологості –  $\pm 3\%$ , що є прийнятним для подібного типу системи. Випадків грубих відхилень або систематичних помилок зафіксовано не було.

Система продемонструвала високу надійність передачі даних. Усі дані, отримані під час тестування, були стабільно записані та оброблені без втрат чи збоїв. Це свідчить про достатню якість як апаратної частини датчиків, контролера.

Також у процесі тестування були виявлені деякі особливості функціонування системи. Наприклад, у разі різкої зміни температури (понад  $10^{\circ}\text{C}$  за 5 хвилин), система потребувала до 2 хвилин для повної стабілізації показників. Це можна пояснити інерційністю датчиків, і в подальшому рекомендується розглянути можливість використання більш чутливих елементів.

Щодо вологості, результати вимірювань демонстрували високу узгодженість із еталонними значеннями у всьому діапазоні (від 20% до 90%), що дозволяє стверджувати про правильну роботу системи.

Загалом, тестування підтвердило ефективність побудованої системи моніторингу параметрів довкілля. Всі вимоги до точності, стабільності та швидкості реакції були дотримані, що дозволяє перейти до наступних етапів – аналізу надійності та впровадження.

### **3.5. Аналіз надійності та стабільності роботи системи**

Перевірка стабільності вимірів за тривалого безперервного функціонування є ключовим етапом оцінки надійності створеної системи. У процесі досліджень було організовано експеримент, під час якого система працювала у безперервному режимі протягом 16 годин. Протягом цього часу виконувалося постійне зчитування вхідних даних з сенсорів. Жодних збоїв, та зниження точності результатів зафіксовано не було. Це свідчить про нормальну стабільність роботи системи у звичайних умовах експлуатації.

Особливу увагу було приділено аналізу стійкості до зовнішніх впливів. Насамперед досліджувалися впливи зміни температурних коливань, а також електромагнітних завад, які можуть виникати внаслідок роботи інших електронних пристроїв поруч із системою. Усі тести підтвердили, що в умовах змінного освітлення система зберігає точність розпізнавання, а датчики демонструють стабільну роботу навіть при зміні температури в діапазоні від +10 до +30 градусів. Система була обладнана внутрішнім механізмом збереження проміжних даних, завдяки чому при повторному запуску усі налаштування та останні виміряні значення були успішно відновлені. У разі аварійного завершення роботи не спостерігалось порушення фізичних пошкоджень апаратних компонентів.

Загалом, результати проведених тестувань дозволяють зробити висновок про високу надійність апаратної частини системи. Використані компоненти мають високий ресурс експлуатації, а також добре адаптовані до змін навколишнього

середовища. Надійність конструкції підкріплюється відсутністю механічних збоїв та перегрівання під час тривалого функціонування. Усі з'єднання, плати та інші елементи системи мають належну якість виготовлення, що додатково підвищує довговічність пристрою в цілому.

### **3.4 Вимоги до апаратної частини**

Однією з головних вимог до апаратної частини екологічного моніторингового пристрою є його надійність у зовнішньому середовищі. Система повинна стабільно працювати у широкому діапазоні температур (від  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ). Особливу увагу слід приділяти захисту електронних компонентів: друкована плата повинна мати лакове покриття для запобігання корозії, а отвори для вентиляції слід оснащувати фільтрами.

Наступним важливим критерієм є компактність і мобільність пристрою. Усі компоненти повинні розміщуватись у корпусі невеликих розмірів для зручності транспортування та встановлення у різних умовах. Бажано, щоб пристрій важив не більше 500 грамів і мав автономне живлення. Використання модулів з низьким енергоспоживанням дозволяє значно зменшити розміри акумулятора, що, у свою чергу, сприяє зменшенню габаритів пристрою.

Автономність роботи системи – ще один критичний параметр. Пристрій повинен функціонувати без підзарядки щонайменше 3–5 діб. Це досягається завдяки використанню акумуляторів великої ємності (від 3000 мА·год).

Точність вимірювань безпосередньо впливає на ефективність екологічного моніторингу. Для підвищення точності необхідно враховувати похибки сенсорів. Наприклад, сенсор MQ135 має типовий діапазон похибки до  $\pm 10\%$ . Для зменшення цього показника рекомендується періодичне калібрування приладу за допомогою еталонних джерел газів або за результатами порівняння з сертифікованими

приладами. Також можливе використання екранування для зменшення впливу електромагнітних завад.

Останнім, є аналіз собівартості системи. Сучасні компоненти дозволяють зібрати прототип із невисокою вартістю реалізації. Наприклад, вартість мікроконтролера ESP32 становить близько 100–150 UAH, сенсори температури і вологості – 100–80 UAH, сенсори газів – 1000–1500 UAH. кожен. Загальна собівартість базового пристрою становить близько 1500–2000 UAH, залежно від обраних компонентів. Це робить систему доступною для масштабування або впровадження в освітніх і громадських проектах.

### **3.7. Можливості масштабування та вдосконалення**

Розширення функціональних можливостей системи є важливою складовою її розвитку та вдосконалення. Нижче наведено основні напрямки масштабування та модернізації пристрою моніторингу навколишнього середовища.

Можливість підключення додаткових сенсорів є одним із ключових аспектів розвитку пристрою. Зокрема, до системи можуть бути додані датчики вимірювання рівня радіації, шуму та концентрації вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>). Датчики радіаційного фону дозволять оперативно виявляти небезпечні рівні іонізуючого випромінювання, що особливо актуально у зонах, наближених до промислових об'єктів або потенційно аварійних територій. Датчики CO<sub>2</sub> є важливими для оцінювання якості повітря, особливо у закритих приміщеннях або районах з високою транспортною інтенсивністю.

Ще одним важливим етапом у вдосконаленні системи є додавання модулів збереження даних. Встановлення модулів збереження на основі карт пам'яті SD дозволяє забезпечити локальне зберігання даних у випадках втрати зв'язку з сервером або при автономній роботі пристрою. Це значно підвищує надійність системи та дає змогу здійснювати постійний моніторинг із подальшим аналізом

зібраної інформації. Об'єм пам'яті може варіюватися в залежності від обраної карти SD, що дозволяє адаптувати систему до конкретних потреб користувача.

Загалом, описані можливості масштабування та вдосконалення дозволяють створити гнучку, надійну та ефективну систему моніторингу, яка може адаптуватися до потреб користувача, забезпечуючи при цьому високу якість і повноту даних про стан навколишнього середовища.

### **3.8 Висновки за результатами впровадження**

#### Узагальнення результатів проведеного тестування

Після завершення розробки апаратного забезпечення, було проведено комплексне тестування функціональності побудованої системи. Результати тестування засвідчили відповідність системи заданим вимогам і технічним характеристикам. Зокрема, система успішно виконувала передбачені функції у режимі реального часу, демонструючи високу точність, швидкодію та стабільність.

Тестування охоплювало декілька етапів: верифікацію правильності обробки даних, перевірку роботи користувацького інтерфейсу, тестування на відповідність апаратної частини та функціональні випробування в реальних умовах експлуатації. Усі критичні модулі функціонували стабільно, затримки обробки сигналу перебували в межах допустимих значень.

#### Оцінка ефективності побудованої системи

За результатами аналізу роботи системи можна зробити висновок, що вона є ефективною, надійною та придатною до подальшого використання і масштабування. Досягнуто високої продуктивності при мінімальних витратах ресурсів. Інтерфейс системи зручний та інтуїтивно зрозумілий.

Крім того, реалізація модульної архітектури забезпечує гнучкість під час модернізації та адаптації системи під нові вимоги. Такий підхід дозволяє зменшити час на обслуговування та впровадження нових функцій.

Пропозиції щодо вдосконалення апаратної складової або її модульної структури

На основі аналізу функціонування системи запропоновано низку заходів щодо вдосконалення апаратної частини. Зокрема, доцільним є використання більш енергоефективних мікроконтролерів нового покоління, а також впровадження бездротового модуля зв'язку для розширення можливостей системи.

Крім того, можна удосконалити конструкцію корпусу, передбачивши додаткові вентиляційні отвори та зменшивши габарити, що позитивно вплине на портативність.

Модульна структура системи може бути доповнена розширеними сенсорними блоками або додатковими каналами введення/виведення, що дозволить підвищити масштабованість і розширити сферу застосування системи в майбутньому.

## ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена розробці апаратного комплексу для моніторингу параметрів зовнішнього середовища. У роботі виконано низку досліджень: від аналізу теоретичних основ до впровадження, тестування та оцінки працездатності системи. Система побудована на основі мікроконтролерів, сенсорних модулів.

### 1. Теоретичне дослідження:

– Проаналізовано поняття зовнішнього середовища, визначено основні параметри для моніторингу (температура, вологість, рівень освітленості, газовий склад тощо).

– Розглянуто сучасні методи та засоби контролю – від простих датчиків до складних автоматизованих систем.

– Вивчено приклади сучасних систем моніторингу, їх переваги та сфери застосування.

– Розглянуто нормативно-правову базу, що регламентує моніторинг навколишнього середовища.

– Проаналізовано інформаційні технології та платформи для обробки і передачі даних (наприклад, IoT, MQTT, хмарні сервіси).

### 2. Практична реалізація:

– Розроблено прототип апаратної частини системи на базі мікроконтролера (Arduino Nano) з підключенням відповідних датчиків (температури, вологості, газів).

– Створено електричні схеми підключення, визначено оптимальні компоненти для конкретних умов використання.

– Реалізовано зчитування даних з сенсорів, передача на центральний модуль і вивід інформації на екран.

– Передбачено модульну структуру для подальшого розширення.

### 3. Тестування та оптимізація:

- Проведено перевірку працездатності апаратної частини в реальних умовах експлуатації.
- Виконано тестування точності вимірювання датчиків та швидкості реакції системи.
- Аналіз надійності системи показав стабільну роботу при змінних параметрах середовища.
- Виявлено можливості покращення – зокрема, впровадження фільтрації даних для зменшення шумів.
- За результатами тестування підтверджено відповідність системи заявленим технічним характеристикам.

### 4. Перспективи розвитку:

- Інтеграція з хмарними платформами для збереження, візуалізації та аналізу історичних даних.
- Впровадження бездротових технологій передачі даних (Wi-Fi, LoRa, GSM).
- Розробка мобільного додатку для віддаленого моніторингу стану середовища.
- Додавання нових сенсорів (наприклад, рівень шуму, вібрації, атмосферного тиску).
- Масштабування системи до використання у великих приміщеннях, теплицях, лабораторіях або на відкритій місцевості.
- Підключення системи до системи оповіщення у разі критичних значень параметрів.
- Підвищення енергоефективності та автономності (використання сонячних батарей, режиму сну мікроконтролера).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Екологічний моніторинг та його види - Бібліотека BukLib.net. Головна - Бібліотека BukLib.net. URL: <https://buklib.net/books/24813/> (дата звернення: 25.10.2024).
2. Екологічний моніторинг та його види - Бібліотека BukLib.net. Головна - Бібліотека BukLib.net. URL: <https://buklib.net/books/24813/> (дата звернення: 30.10.2024).
3. Пілецька С., Лункіна І. ОСНОВИ АНТИКРИЗОВОГО УПРАВЛІННЯ В УМОВАХ ВПЛИВУ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА. Сталий розвиток економіки. 2024. № 1(48). С. 281–286. URL: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-48-39> (дата звернення: 17.11.2024).
4. Пілецька С., Лункіна І. Основи антикризового управління в умовах впливу зовнішнього середовища. Сталий розвиток економіки. 2024. № 1(48). С. 281–286. URL: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-48-39> (дата звернення: 17.01.2025).
5. Титарчук С. О., Березюк О. В. Радіоелектронні пристрої для вимірювання параметрів забруднення навколишнього середовища : thesis. 2014. URL: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/7215> (дата звернення: 01.12.2025).
6. Булавко Н. О. Система моніторингу параметрів навколишнього середовища в калібрувальній лабораторії : bachelor's thesis. 2021. 105 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41983> (дата звернення: 17.05.2025).
7. Посудін Ю.І. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища: Підручник.Київ: Світ, 2003. 288 с
8. Methods of measuring steam parameters: textbook [Електронний ресурс]. – URL: [https://deps.snu.edu.ua/media/filer\\_public/f9/3e/f93e762d-4e8d-4334-8d0b-282c89e239a3/metodi\\_vimiriuvannia\\_par\\_ns\\_8\\_04\\_pidruchnik\\_.pdf](https://deps.snu.edu.ua/media/filer_public/f9/3e/f93e762d-4e8d-4334-8d0b-282c89e239a3/metodi_vimiriuvannia_par_ns_8_04_pidruchnik_.pdf) (дата звернення: 19.01.2025).

9. Роз'яснення щодо застосування Критеріїв оцінювання якості освітньої програми [Електронний ресурс]. – URL: <https://naqa.gov.ua/wp-content/uploads/2024/12/Розяснення-щодо-застосування-Критеріїв-оцінювання-якості-освітньої-програми.pdf> (дата звернення: 13.02.2025).
10. Бушма А. Інформаційна безпека в освіті: виклики та перспективи / А. Бушма // Матеріали конференції «ММС-21-03». – 2021. – URL: [https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/37413/1/A.Bushma\\_MMS-21-03\\_FITU.pdf](https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/37413/1/A.Bushma_MMS-21-03_FITU.pdf) (дата звернення: 15.03.2025).
11. Про затвердження Вимог до програмного забезпечення системи електронного документообігу: Наказ Міністерства України від 24.07.2018 № 2274/5 [Електронний ресурс]. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0826-18#Text> (дата звернення: 21.03.2025).
12. Центр технічної стандартизації. Оцінювання стану вимірювання [Електронний ресурс]. – URL: <https://bcdst.kiev.ua/standartization/otsiniuvannia-stanuvimiriuvannia> (дата звернення: 17.04.2025).
13. Методи гігієнічних досліджень. Методика визначення та гігієнічна оцінка температури, вологості, швидкості руху повітря і їх впливу [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.scribd.com/document/727693879/1-Методи-Гігієнічних-Досліджень-Методика-Визначення-Та-Гігієнічна-Оцінка-Температури-Вологості-Швидкості-Руху-Повітря-і-Їх-Впливу-н> (дата звернення: 19.04.2025).
14. ДСТУ EN ISO 7730:2018 Ергономіка теплого середовища [Електронний ресурс]. – URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=52981](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=52981) (дата звернення: 07.05.2025).
15. Міністерство економіки України: офіційний сайт [Електронний ресурс]. – URL: <https://me.gov.ua/?lang=uk-UA> (дата звернення: 04.04.2025).
16. Нормоконтроль у вищій освіті: методичні рекомендації / Полтавська державна аграрна академія [Електронний ресурс]. – URL: <https://www.pdau.edu.ua/sites/default/files/node/3280/normokontrol.pdf> (дата звернення: 12.12.2024).

17. Хоменко І. І. Стандартизація якості освіти: сучасні підходи [Електронний ресурс] // UKRLOGOS. – 2018. – № 4. – URL: <https://www.ukrlogos.in.ua/10.11232-2663-4139.04.18.html> (дата звернення: 19.03.2025).

18. Core.ac.uk. A Global Aggregator of Open Access Research Papers [Електронний ресурс]. – URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/149238167.pdf> (дата звернення: 11.04.2025).