

Міністерство освіти і науки України
Рівненський державний гуманітарний університет
Кафедра інформаційних технологій та моделювання

Кваліфікаційна робота
за освітнім ступенем «бакалавр»
на тему:
АВТОНОМНІ СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ
МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ДАНИХ

Виконав:
здобувач 4 курсу
групи КН-41
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»
Сторожук Станіслав Павлович
Науковий керівник:
доц.: Ляшук Т.Г.

м. Рівне, 2026 рік

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ ПРИНЦИП РОБОТИ МЕТЕОСТАНЦІЙ.....	5
1.1 Основні поняття метеостанції та їх класифікація.....	5
1.2 Електронні датчики та фізичні прилади метеостанцій.....	6
1.3 Мікроконтролери та системи збору даних.....	8
1.4 Роль метеоданих в сферах галузі людини.....	10
1.5 Програмне забезпечення та методи обробки метеоданих.....	12
1.6 Методи збереження та передачі метеорологічних даних.....	13
1.7 Огляд сучасних автоматичних метеорологічних мереж.....	14
1.8 Методи збереження та передачі метеорологічних даних.....	15
1.9 Типові схеми побудови аматорських метеостанцій.....	15
РОЗДІЛ 2. РОЗГЛЯД ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	19
2.1 Електронна метеостанція НТС-2: загальна характеристика.....	19
2.2 Технічні характеристики та функціональні можливості НТС-2.....	20
2.3 Порівняльний аналіз з аналогами на ринку.....	21
2.4 Методика і умови проведення вимірювань.....	22
2.5 Аналіз типових несправностей та методи їх усунення.....	23
2.6 Призначення та функції LCD-дисплея метеостанції НТС-2.....	23
2.7 Порівняння цифрових і аналогових методів вимірювання мікроклімату.....	24
РОЗДІЛ 3. ТЕСТУВАННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТЕОСТАНЦІЇ...26	
3.1 Метод дослідження та планування спостережень.....	26
3.2 Хід роботи. Результати систематичних вимірювань.....	26
3.3 Аналіз та інтерпретація отриманих результатів.....	30
3.4 Оцінка точності та надійності метеостанції НТС-2.....	31
3.6 Рекомендації щодо вдосконалення системи спостережень.....	33
3.7 Практичне застосування результатів дослідження.....	34
3.8 Статистичний аналіз зібраних даних.....	34
ВИСНОВКИ.....	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	38

ВСТУП

З початку існування людства стан навколишнього середовища спостерігався «на людське око». Все, що відчувала людина, базувалося власними відчуттями і на той момент часу, характеризувалося лише такими твердженнями як: «холодно», «сухо», «гаряче» тощо.

Також використовувалось й чимало чинників на основі спостережень за природою. Наприклад, за допомогою кількості моху на корі дерев можна виявити приблизну вологість повітря. Хоча зрештою завжди виникало питання в конкретності цієї інформації.

З розвитком технологій упродовж багатьох років людям вдалося винайти багато приладів для обстеження умов навколишнього середовища: термометр, барометр, гігрометр тощо, що в цілому підштовхнули на створення механічної метеостанції — пристрою, що надало змогу отримувати дані з цих приладів і об'єднувати цю інформацію в єдину, комплексну систему.

Збір метеоданих на даний момент є одним з ключових елементів систем моніторингу навколишнього середовища, дозволяє в значній мірі підвищити точність прогнозування погодних умов, швидко реагувати на зміни клімату та ефективно використовувати отримані дані у різних сферах діяльності у реальному часі, що дає можливість створення ефективних та масштабованих рішень на основі екологічного моніторингу та прогнозування змін клімату.

Сучасна метеорологія базується на розгалуженій мережі наземних, морських, авіаційних та супутникових спостережень. Основу земної мережі складають метеорологічні станції — від великих аерологічних комплексів до компактних автономних пристроїв. Принципи їхньої роботи, незважаючи на значні відмінності в масштабі й складності, залишаються спільними: вимірювання ключових атмосферних параметрів, їх фіксація та передача.

Актуальність теми дослідження зумовлена низкою чинників. По-перше, зростанням попиту на точні та локальні метеорологічні дані в умовах зміни клімату. По-друге, широким поширенням доступних мікроконтролерних

платформ та цифрових датчиків, що зробили персональні метеостанції реальністю для широкого кола споживачів. По-третє, розвитком концепції Інтернету речей (IoT), яка надає нові можливості для збирання, зберігання та аналізу метеорологічних даних у реальному часі.

У побуті персональні метеостанції знаходять застосування для контролю мікроклімату у квартирах і будинках, що є важливим для підтримання комфортних умов проживання та збереження здоров'я. У навчальних закладах такі пристрої дозволяють проводити практичні дослідження, ілюструвати теоретичні знання з фізики, екології та метеорології. У сільському господарстві локальні дані про температуру та вологість допомагають оптимізувати агрономічні рішення.

Мета курсової роботи — дослідити принципи побудови і роботи метеостанцій, проаналізувати технічні характеристики цифрової метеостанції НТС-2 та практично оцінити її ефективність шляхом систематичного моніторингу мікрокліматичних параметрів навколишнього середовища.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- вивчити теоретичні основи побудови метеостанцій: їх класифікацію, компонентний склад та принципи роботи;
- проаналізувати роль метеорологічних даних у різних сферах діяльності людини;
- ознайомитися з сучасними програмними засобами для обробки та візуалізації метеоданих;
- дослідити методи збереження та передачі метеорологічних даних, включаючи IoT-технології;
- провести детальний огляд метеостанції НТС-2 як об'єкта дослідження;
- виконати порівняльний аналіз НТС-2 з аналогами на ринку;
- організувати та провести систематичне спостереження за мікрокліматичними параметрами з використанням НТС-2 протягом шести днів;
- проаналізувати зібрані дані, виявити закономірності та сформулювати висновки щодо точності та надійності приладу.

Об'єктом дослідження є електронна метеостанція, що виконує визначення та відображення показників на екран.

Предметом дослідження є запис та порівняння чисельних показників з пристроєм для вимірювання атмосферних даних зміни погоди.

Методи дослідження: систематичне спостереження та вимірювання метеорологічних параметрів, порівняльний аналіз, методи описової статистики (мінімум, максимум, амплітуда), аналіз часових рядів.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена методика спостережень та аналізу даних може бути використана студентами і школярами для проведення навчально-дослідницьких проектів з метеорології. Отримані результати демонструють практичну придатність бюджетних цифрових метеостанцій для базового моніторингу мікрокліматичних умов.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНИЙ ПРИНЦИП РОБОТИ МЕТЕОСТАНЦІЙ

1.1 Основні поняття метеостанції та їх класифікація

Метеостанція — це комплекс пристроїв, що забезпечує збір інформації про стан навколишнього середовища в рамках єдиної системи. Для її функціонування використовуються як класичні вимірювальні прилади, так і сучасні датчики, що робить їх зручними у користуванні та сумісними із програмним забезпеченням.

Метеорологія як систематична наука оформилася у XVII–XVIII столітті разом з появою перших вимірювальних приладів. У 1593 році Галілео Галілей сконструював термоскоп — прообраз термометра. У 1643 році Еванджеліста Торрічеллі винайшов ртутний барометр, що вперше дозволило вимірювати атмосферний тиск. Систематична реєстрація метеорологічних спостережень розпочалася у другій половині XVII ст., коли у різних містах Європи почали вести постійні щоденники погоди.

У 1780 році була заснована перша метеорологічна мережа — *Societas Meteorologica Palatina* у Мангаймі. Вона об'єднала 39 станцій по всій Європі та Америці, які використовували однакові прилади та методики. Це стало прообразом сучасних міжнародних метеорологічних мереж.

Сучасна метеостанція є складним технічним комплексом, що включає: вимірювальні прилади та датчики, блок обробки й запису даних, пристрої відображення інформації, засоби передачі та джерела живлення.

Класифікація метеостанцій здійснюється за різними ознаками. За рівнем автоматизації виділяють: ручні (де спостерігач самостійно знімає показання), напівавтоматичні (автоматична реєстрація при участі оператора) та автоматичні — АМС (повна автоматизація вимірювань і передачі даних).

ведуть довгострокові спостереження для вивчення клімату; аерологічні — вимірюють параметри атмосфери на різних висотах; авіаційні (METAR) — встановлені на аеродромах; агрометеорологічні — спеціалізовані для потреб сільського господарства; гідрологічні — ведуть спостереження за водним режимом; морські — для забезпечення морської навігації; гірські та полярні — в особливих кліматичних умовах; дорожні — на автошляхах для інформування водіїв; побутові (персональні) — для домашнього використання.

Основні метеорологічні елементи, що вимірюються: температура повітря та ґрунту, відносна та абсолютна вологість, атмосферний тиск, швидкість і напрям вітру, хмарність, кількість і вид опадів, тривалість сонячного саява, видимість.

Відповідно до настанов Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО), метеорологічні вимірювання мають відповідати певним стандартам для забезпечення порівнянності даних між станціями. Зокрема, датчик температури повітря встановлюється у спеціальній захисній будці (психрометричній будці Стівенсона) на висоті 1.25–2 м від поверхні ґрунту. Анемометр для вимірювання вітру розміщується на стандартній висоті 10 м. Ці стандарти забезпечують однорідність метеорологічних рядів спостережень за тривалий час.

У рамках даної роботи досліджується персональна метеостанція НТС-2, що відноситься до класу побутових термогігрометрів з виносним датчиком. Незважаючи на спрощений порівняно з промисловими аналогами функціонал, такі пристрої є доступним інструментом для вивчення основ метеорологічних спостережень та базового моніторингу мікроклімату приміщень і прилеглих територій.

1.2 Електронні датчики та фізичні прилади метеостанцій

У метеостанціях всіх типів повинна бути обов'язкова наявність вимірювальних приладів та датчиків для їх повноцінної роботи — збору значень інформації про стан навколишнього середовища за допомогою мікроконтролера.

мікроконтролер подається слабкий електричний струм, що перетворює його напругу в показники Цельсія або Фаренгейта. Серед сучасних датчиків температури виділяються такі типи.

Термістори (NTC та PTC) — напівпровідникові резистори, опір яких залежить від температури. NTC-термістори (негативний температурний коефіцієнт) знижують опір при підвищенні температури, PTC-термістори — збільшують. Відрізняються малим розміром, низькою вартістю та хорошою чутливістю. Широко використовуються у побутових приладах, включаючи метеостанцію НТС-2.

Напівпровідникові цифрові датчики (DS18B20, Dallas/Maxim) забезпечують роздільну здатність 9–12 біт та передають дані по протоколу 1-Wire. Особливість: до одного мікроконтролера можна підключити до 127 датчиків на одній парі проводів. Широко використовуються в аматорських метеостанціях та системах моніторингу температури.

Термопари генерують термо-ЕРС пропорційно різниці температур двох спаїв різних металів. Використовуються для вимірювання екстремальних температур. Різні типи термопар охоплюють діапазон від -200°C до $+1750^{\circ}\text{C}$.

Інтегральні мікросхеми температури (LM35, TMP36, MCP9701) забезпечують лінійне перетворення температури в напругу без додаткового калібрування. Зручні для підключення до аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера.

Комбіновані датчики температури та вологості (DHT11, DHT22, SHT31) інтегрують у одному корпусі ємнісний датчик вологості та напівпровідниковий датчик температури. Передають дані у цифровому форматі.

Датчики відносної вологості повітря змінюють свої електричні характеристики під впливом вологості, що дозволяє перетворити величини датчика у відносний відсоток вологості (%). Основні типи датчиків вологості:

Ємнісні датчики є найбільш поширеним типом для метеостанцій. Принцип дії: вологість змінює діелектричну проникність полімерної плівки між

обкладками конденсатора, що змінює ємність. Датчики серій SHT (Sensirion), HIH (Honeywell) мають точність $\pm 2\text{--}3\%$ і діапазон $0\text{--}100\%$. Мають стабільні характеристики та тривалий строк служби.

Резистивні датчики вологості — простіші і дешевші, але менш точні ($\pm 5\%$ і більше). Вологочутливий матеріал змінює провідність залежно від поглинання водяної пари. Широко застосовуються у бюджетних термогігрометрах, зокрема типу НТС-2.

Датчики атмосферного тиску (барометри) працюють на основі мікроскопічної чутливої мембрани. П'єзоелектричні та ємнісні барометри містять тонку кремнієву діафрагму, що деформується під дією тиску. Зміна форми вимірюється через зміну опору або ємності. Мікроконтролер обробляє ці змінні в цифрові значення — гектопаскалі або міліметри ртутного стовпа. Популярні мікросхеми: BMP280, BMP388 (Bosch), MPL3115A2 (NXP).

Анемометри вимірюють швидкість вітру. Класичний чашковий анемометр складається з трьох або чотирьох напівсферичних чаш на горизонтальному роторі — частота обертання пропорційна швидкості вітру. Ультразвукові анемометри вимірюють час пробігу ультразвукових імпульсів між датчиками. Вони позбавлені рухомих частин, більш точні та надійні, але значно дорожчі за чашкові.

Датчики напрямку вітру (флюгери) у цифрових приладах оснащені магнітними або оптичними кодерами. Напрямок вітру позначається у градусах від 0° до 360° .

Плювіометри (дощоміри) вимірюють кількість опадів. Найбільш поширений тип — перекидний: кількість опадів рахується за числом спрацювань перекидного ковша стандартного обсягу, зазвичай що відповідає $0,2$ мм опадів.

Піранометри вимірюють інтенсивність сонячного випромінювання ($\text{Вт}/\text{м}^2$). Важливі для агрометеорологічних спостережень та моніторингу відновлюваної енергетики. Також застосовуються ультрафіолетові (UV) датчики.

Датчик	Вимір. параметр	Діапазон	Точність	Інтерфейс
DHT22	Темп. + Влог.	-40...+80°C / 0-100%	±0.5°C / ±2%	1-Wire digital
BME280	Тиск+Темп.+Влог.	300-1100 гПа	±1 гПа / ±1°C	I ² C / SPI
DS18B20	Температура	-55...+125°C	±0.5°C	1-Wire digital
SHT31	Темп. + Влог.	-40...+125°C / 0-100%	±0.3°C / ±2%	I ² C
BMP388	Тиск + Темп.	300-1250 гПа	±0.5 гПа	I ² C / SPI
AM2302	Темп. + Влог.	-40...+80°C / 0-100%	±0.5°C / ±2%	1-Wire digital

Таблиця 1.1 — Порівняльні характеристики поширених метеодатчиків

1.3 Мікроконтролери та системи збору даних

Мікроконтролер — це міні-комп'ютер у формі чіпа, що призначений для керування електронними пристроями та виконання вбудованих програм. У випадку метеостанції, він застосовується для збору та обробки даних з її датчиків.

До мікроконтролера надходить електричний струм з датчиків виміру стану погоди навколишнього середовища, що зберігаються в оперативній пам'яті, тоді напруга цього струму потрапляє в код Flash-пам'яті, що зчитується та обробляється процесором, результат якого виводиться на дисплей для відображення показників.

Мікроконтролер, як і звичайний комп'ютер, містить такі складові:

- Центральний процесор (CPU) — виконує обчислення та керує роботою всіх інших компонентів відповідно до програмного коду;
- Оперативна пам'ять (RAM) — тимчасово зберігає дані та проміжні результати обчислень; вміст губиться при відключенні живлення;
- Flash-пам'ять — незалежна пам'ять для зберігання програмного коду та сталих даних; зберігає вміст при відключенні живлення;

— Порти вводу-виводу (GPIO — General Purpose Input/Output) — контакти, через які мікроконтролер отримує дані від датчиків та керує виконавчими пристроями;

— Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) — перетворює аналогові сигнали датчиків у цифровий формат для обробки;

— Таймери/лічильники — для точного відліку часових інтервалів та генерації сигналів;

— Інтерфейси зв'язку (UART, SPI, I²C, Wi-Fi, Bluetooth тощо) — для обміну даними з периферійними пристроями та мережами.

Завдяки своїй компактності, низькому енергоспоживанню та широким можливостям підключення периферійних пристроїв мікроконтролери є ефективним рішенням для побудови сучасних автономних метеостанцій.

Для розробки метеостанцій найбільш популярними є такі мікроконтролерні платформи:

ESP32 (Espressif Systems) — 32-розрядний мікроконтролер з двома ядрами Xtensa LX6, тактовою частотою до 240 МГц, вбудованими модулями Wi-Fi (802.11 b/g/n) та Bluetooth 4.2/BLE. Має 36 GPIO, АЦП, ЦАП, UART, SPI, I²C, I²S. Особливо популярний в IoT-проектах. ESP32-C3 SuperMini — компактна версія на базі RISC-V архітектури.

ESP8266 — попередник ESP32, одноядерний, з меншим набором периферії та без Bluetooth. Проте завдяки низькій ціні і досі залишається популярним для простих Wi-Fi-метеостанцій.

Arduino (Atmel/Microchip AVR та ARM) — сімейство мікроконтролерних плат відкритого апаратного дизайну. Arduino Uno (ATmega328P, 8-розрядний, 16 МГц) — ідеальний для навчання. Arduino Mega 2560 — більша кількість GPIO та пам'яті для складніших проектів.

Raspberry Pi Pico (RP2040) — двоядерний ARM Cortex-M0+, 133 МГц. Підтримує MicroPython та C/C++. Унікальна особливість: програмований ввід/вивід (PIO) для реалізації нестандартних протоколів зв'язку без навантаження на основне ядро.

STM32 (STMicroelectronics) — велике сімейство 32-розрядних мікроконтролерів ARM Cortex-M. Забезпечує вищу продуктивність, більше периферії та кращу надійність. Широко використовується у промислових метеостанціях.

Платформа	Архіт.	МГц	Wi-Fi	BT	GPIO	RAM	Flash	Ціна (USD)
ESP32	Xtensa LX6 x2	240	Так	Так	36	520 кБ	4 МБ	3–6
ESP8266	Xtensa L106	80	Так	Ні	17	80 кБ	4 МБ	1–3
Arduino Uno	AVR 8-bit	16	Ні	Ні	14	2 кБ	32 кБ	5–25
RPi Pico	ARM M0+ x2	133	Ні	Ні	26	264 кБ	2 МБ	4–6
STM32F103	ARM M3	72	Ні	Ні	51	20 кБ	128 кБ	3–8

Таблиця 1.2 — Порівняльні характеристики мікроконтролерних платформ

При виборі мікроконтролера для метеостанції враховуються: необхідна кількість і типи датчиків, вимоги до передачі даних, вимоги до енергоспоживання, рівень складності програмування та доступність готових бібліотек.

Для навчально-дослідницьких метеостанцій оптимальним вибором є ESP32 або Arduino Uno з Wi-Fi-модулем, оскільки вони забезпечують баланс між простотою програмування, доступністю документації та функціональними можливостями.

1.4 Роль метеоданих в сферах галузі людини

Збір метеоданих важливий для функціонування сільського господарства, військових, льотчиків, залізничників, фахівців енергетичної галузі для прогнозування показників електромережі та інше.

Сільське господарство та агрономія. Агрономи і фермери обирають оптимальні дати посіву, поливу та збору урожаю, оберігають насадження від посухи. Концепція точного землеробства (precision agriculture) базується на

детальних локальних метеоданих: температура ґрунту, вологість повітря та ґрунту, сума ефективних температур, тривалість листкової вологості. Автоматизовані системи зрошення з метеостанціями скорочують витрати води на 30–50%. Прогнозування ризиків грибкових захворювань та нашествия шкідників також ґрунтується на температурно-вологісних умовах.

Авіація. З інформацією про метеорологічні умови, пілоти планують маршрути, уникають турбулентності, грозових фронтів та обледеніння на крилах. Метеорологічне забезпечення авіації включає: зведення погоди на аеродромах (METAR), прогнози для аеродромів (TAF), інформацію про небезпечні явища для авіації (SIGMET). Аеродромні автоматичні метеостанції AWOS/ASOS передають дані пілотам та диспетчерам у реальному часі.

Морська навігація. Моряки та капітани кораблів запобігають штормів та ураганів, обираючи безпечні шляхи. Системи GRIB (стандартний формат метеорологічних даних) дозволяють завантажувати детальні прогнози на борт суден. Служба NAVTEX передає метеоповідомлення та навігаційні попередження. Буйкові мережі у відкритому морі збирають реальні дані про стан морської поверхні.

Будівництво та інфраструктура. Дорожники та будівельники планують асфальтування, розчищення снігу, зупиняють бетонні роботи під час морозу та дощу. Гідратація цементу відбувається тільки вище $+5^{\circ}\text{C}$, тому в холодну пору вдаються до підігріву бетону або добавок. Дорожні метеостанції (ДМС) на автошляхах вимірюють температуру поверхні дороги, наявність ожеледиці, видимість.

Залізничний транспорт. Машиністам залізниці важливо контролювати температуру рейок (надто висока чи низька призводить до їх деформації), розраховувати дистанцію гальмування (під час дощу, снігопаду чи туману) та слідкувати за видимістю в дорозі. При нагріванні рейки розширюються: сталь розширюється на 12 мм/км при нагріванні на 10°C . Якщо нейтральна температура рейки перевищена більш ніж на $30\text{--}35^{\circ}\text{C}$, виникає ризик поперечного вигину — «пряжки».

Енергетика. Енергетики прогнозують споживання електроенергії в різних погодних умовах. Кореляція між температурою і споживанням електроенергії надзвичайно висока: кожний градус нижче $+18^{\circ}\text{C}$ підвищує споживання через додаткові потреби в опаленні. Для відновлюваної енергетики: прогноз сонячного випромінювання для фотоелектричних станцій і прогноз вітру для вітрових турбін дозволяють балансувати енергосистему.

Цивільний захист та ДСНС. Робітники ДСНС попереджають надзвичайні ситуації та пожежні небезпеки, повені. Комплексний показник пожежної небезпеки у лісі розраховується на основі температури, вологості та опадів. Прогнозування паводків базується на даних про інтенсивність опадів і запаси снігу.

Охорона здоров'я та медицина. Погода впливає на здоров'я людини: екстремальна спека підвищує смертність від серцево-судинних захворювань, різкі перепади атмосферного тиску провокують загострення у метеочутливих людей, концентрація алергенів у повітрі залежить від метеоумов.

Військові операції. Військові використовують доцільні техніки маскуванню та, спостерігаючи за умовами навколишнього середовища, проводять тактичні операції. Метеорологія завжди грала ключову роль у військовій справі: умови погоди впливають на видимість, дальність артилерійського вогню, прохідність місцевості для техніки.

Встановлено, що сучасні метеостанції є важливими засобами моніторингу навколишнього середовища та знаходять широке застосування в сільському господарстві, транспорті, енергетиці, авіації та інших галузях діяльності людини. Отримані відомості є теоретичною основою для подальшого проектування автономної системи збору та обробки метеорологічних даних.

1.5 Програмне забезпечення та методи обробки метеоданих

Програмне забезпечення є невід'ємною частиною сучасних метеостанцій і відповідає за збір, обробку, зберігання та відображення метеорологічних даних.

Існують різні рівні програмного забезпечення, кожен з яких виконує свою роль у загальній системі.

Прошивка мікроконтролера (firmware) — програмний код, що виконується безпосередньо на мікроконтролері. Відповідає за ініціалізацію датчиків і налаштування інтерфейсів зв'язку, циклічне опитування датчиків через задані інтервали, первинну обробку та фільтрацію даних, управління режимами живлення та передачу даних на вищий рівень.

Платформи програмування мікроконтролерів: Arduino IDE (C/C++) — найпоширеніша для початківців завдяки великій бібліотеці готових функцій; MicroPython — Python-подібна мова для ESP32 та Raspberry Pi Pico; Espressif IDF (IoT Development Framework) — офіційний SDK для ESP32/ESP8266.

Платформи для IoT та метеомоніторингу. ThingSpeak (MathWorks) — хмарна IoT-платформа з підтримкою MATLAB для аналізу даних, дозволяє до 8 полів даних на канал і відображає їх у вигляді графіків. Blynk — мобільна IoT-платформа з конструктором інтерфейсів для смартфонів, підтримує Android та iOS. Weather Underground — мережа персональних метеостанцій, учасники якої діляться локальними даними. Home Assistant — відкрита платформа домашньої автоматизації з підтримкою широкого спектру метеостанцій. Node-RED — потокове середовище програмування для IoT, дозволяє створювати складні сценарії обробки даних.

Спеціалізоване ПЗ для аналізу метеоданих. WeeWX — відкрите програмне забезпечення для персональних метеостанцій під Linux/Windows/macOS, підтримує понад 80 типів метеостанцій. Grafana + InfluxDB — комбінація бази даних часових рядів та системи візуалізації, ідеальна для довгострокового

зберігання та аналізу метеоданих. Python (pandas, matplotlib, scipy) — для наукового аналізу та побудови якісних графіків.

Алгоритми обробки та аналізу метеоданих включають: ковзне середнє — для згладжування шумів у даних; виявлення аномалій — фільтрація фізично неможливих значень; інтерполяція — заповнення пропусків при коротких збоях;

кореляційний аналіз — пошук залежностей між параметрами; аналіз часових рядів — для виявлення добових і сезонних закономірностей.

Формати зберігання метеоданих. CSV — простий текстовий формат, підтримується усіма програмами обробки даних, зручний для ручного запису та перегляду. JSON — структурований текстовий формат, широко використовується в REST API. NetCDF — науковий формат для зберігання багатовимірних масивів даних, стандарт у кліматології. BUFR/GRIB — стандартні формати ВМО для передачі метеорологічних спостережень між національними службами.

1.6 Методи збереження та передачі метеорологічних даних

Надійне збереження та своєчасна передача зібраних даних є критичними аспектами роботи будь-якої метеостанції. Вибір методів залежить від умов розгортання, вимог до доступу та наявної інфраструктури.

Локальне збереження даних. Запис на мікро-SD карту є найпоширенішим методом для автономних метеостанцій. Форматування у FAT32 забезпечує сумісність з усіма ОС. Дані записуються у файли CSV або JSON з часовою міткою. EEPROM мікроконтролера — для зберігання налаштувань та невеликих масивів даних. Зовнішні Flash-мікросхеми підключаються по SPI або I²C і забезпечують більший обсяг без рухомих частин.

Дротова передача даних. RS-232/RS-485 — промислові стандарти, RS-485 дозволяє будувати мережі з дальністю до 1200 м. USB — зручний для підключення до комп'ютера. Ethernet — для стаціонарних станцій з підключенням до локальної мережі, забезпечує надійний зв'язок і підтримку TCP/IP.

Бездротова передача даних є домінуючим підходом для сучасних IoT-метеостанцій. Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n) — дальність до 100 м у приміщенні, ESP8266 та ESP32 мають вбудований модуль. Bluetooth 4.x/5.x (BLE) — для передачі даних між метеостанцією і смартфоном на відстань до 100 м. LoRa та LoRaWAN — технологія передачі на великі відстані (2–15 км) з мінімальним енергоспоживанням, ідеальна для польових умов. GSM/LTE — для передачі через

стільникову мережу з будь-якого місця. Zigbee та Z-Wave — протоколи для мережі розумного дому, формують mesh-мережу. Супутниковий зв'язок — для найбільш віддалених місць без жодного іншого зв'язку.

Протоколи на рівні застосунку: MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) — легкий протокол публікацій/підписок для IoT, брокери Mosquitto, HiveMQ, AWS IoT. HTTP/REST API — надсилання даних на вебсервер у форматі JSON. CoAP — аналог HTTP для ресурсо-обмежених пристроїв поверх UDP.

У цьому розділі було розглянуто основні принципи роботи метеостанцій, їх класифікацію, компонентний склад та сфери застосування. Проаналізовано призначення вимірювальних приладів і датчиків, роль мікроконтролера в обробці даних, програмне забезпечення і методи зберігання та передачі метеоданих.

1.7 Огляд сучасних автоматичних метеорологічних мереж

Автоматичні метеорологічні мережі є фундаментом сучасного метеорологічного забезпечення. На відміну від традиційних ручних постів, де спостерігач двічі-тричі на добу знімає показання і записує їх у журнал, автоматичні системи виконують вимірювання кожні 1–10 хвилин і передають дані у цифровому форматі в реальному часі.

Глобальна мережа наземних метеостанцій Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) налічує понад 10 000 синоптичних пунктів, що ведуть спостереження за єдиними стандартами. Дані передаються через Глобальну телекомунікаційну систему (ГТС) і використовуються для чисельного прогнозування погоди провідними метеорологічними центрами — ECMWF (Reading, UK), NCEP (США), Японським метеорологічним агентством та ін.

Серед найвідоміших автоматичних метеорологічних мереж особливе місце посідає Американська мережа Mesonet — мережа понад 2 000 автоматичних станцій, що вимірюють близько 120 параметрів кожні 5 хвилин. Ця мережа використовується для ранніх попереджень про смерчі, гострий мороз, сільськогосподарські заморозки. У Великій Британії діє мережа MIDAS (Met

Office Integrated Data Archive System), що об'єднує понад 5 000 наземних і морських спостережних пунктів.

Радіозондування атмосфери проводиться двічі на добу — о 00:00 і 12:00 UTC — на більш ніж 900 аерологічних станціях по всьому світу. Радіозонд — автоматичний прилад, що підіймається на кулі-зонді до висоти 30–35 км і вимірює тиск, температуру, вологість та вітер на різних рівнях атмосфери. Дані радіозондування є критично важливими для ініціалізації чисельних моделей прогнозу погоди.

Метеорологічні супутники стали революцією у спостереженнях за атмосферою. Геостаціонарні супутники (Meteosat, GOES, Himawari) перебувають на висоті 36 000 км і постійно спостерігають за однією і тією самою ділянкою Землі, передаючи зображення хмарності кожні 15–30 хвилин. Полярно-орбітальні супутники (NOAA, MetOp, JPSS) охоплюють всю поверхню Землі за 12 годин і мають вищу просторову роздільну здатність.

Метеорологічні радары дозволяють виявляти та відстежувати зони опадів, вимірювати їх інтенсивність та швидкість падіння крапель. Доплерівські радары додатково визначають напрям і швидкість переміщення опадоносних хмар. В Україні діє мережа метеорологічних радарів Укргідрометцентру, що охоплює більшу частину території країни.

Для забезпечення сільськогосподарських потреб в Україні функціонує мережа агрометеорологічних постів, що розміщуються безпосередньо на сільськогосподарських угіддях. На цих постах спостерігається температура ґрунту на різних глибинах (5, 10, 15, 20 см), глибина промерзання, наявність та висота снігового покриву, запаси вологи у ґрунті.

1.8 Вплив умов встановлення на точність вимірювань

Правильне встановлення метеорологічних приладів має вирішальний вплив на якість і представницькість вимірювань. Навіть найточніший датчик дасть хибні результати, якщо буде встановлений неправильно.

Основні помилки при встановленні датчика температури: розміщення на сонці (пряме сонячне опромінення може завищити показання на 5–20°C); встановлення поряд з теплими поверхнями (стіна будинку, бетонна площадка); погана вентиляція навколо датчика (теплове самонагрівання від вбудованих компонентів); розміщення поблизу кондиціонерів, виходів вентиляції або опалювальних приладів.

Для офіційних метеостанцій датчик температури розміщується у психрометричній будці — дерев'яному ящику з жалюзійними стінками, пофарбованому у білий колір. Жалюзі забезпечують вільну циркуляцію повітря, зберігаючи датчик у тіні. Висота встановлення — 1.25–2 м від поверхні ґрунту. Орієнтація відкритого боку будки — на північ (у Північній півкулі) для захисту від прямого сонячного проміння.

Для виносного датчика метеостанції НТС-2 у побутових умовах рекомендується встановлення на північній або тіньовій стороні будівлі, захист від дощу і снігу (але не в закритій ніші, де немає вентиляції), відстань від стіни не менше 15–20 см для забезпечення циркуляції повітря, виключення прямого контакту датчика з поверхнею стіни.

Датчики вологості особливо чутливі до забруднення: пил, жири та хімічні речовини, що осідають на чутливій поверхні, змінюють її властивості і призводять до дрейфу показань. Тому датчики вологості не повинні

встановлюватись поблизу джерел хімічних парів (лакофарбових матеріалів, хімічних реагентів, клеїв).

У промислових умовах, де присутні агресивні гази, корозійне середовище або конденсуюча волога, застосовуються датчики у спеціальному захисному корпусі (IP65 і вище) зі змінними вологочутливими мембранами.

1.9 Типові схеми побудови аматорських метеостанцій

Побудова аматорської метеостанції на мікроконтролері — один із найпопулярніших проектів серед любителів електроніки та програмування. Існує кілька типових схемних рішень залежно від поставлених завдань і наявної компонентної бази.

Схема 1: Проста метеостанція з OLED-дисплеєм. Компоненти: Arduino Nano, датчик DHT22, OLED-дисплей 128×64 пікселі (I²C), джерело живлення 5 В. Датчик DHT22 підключається до цифрового піна Arduino. OLED-дисплей — через шину I²C (піни SDA та SCL). Програма зчитує показання датчика кожні 5 секунд і виводить їх на дисплей у форматі Темп: +XX.X°C / Влог: XX%. Перевага: мінімальна кількість деталей, можна зібрати за вечір. Недолік: немає збереження даних та передачі в мережу.

Схема 2: IoT-метеостанція з Wi-Fi. Компоненти: ESP32, датчик BME280 (температура + вологість + тиск), мікро-SD карт-рідер, OLED-дисплей. Датчик BME280 підключається по I²C. SD-карта — по SPI. Програма зчитує дані кожні 10 хвилин, зберігає у CSV-файл на SD-карті та відправляє на сервер ThingSpeak по Wi-Fi. При втраті зв'язку дані буферизуються в EEPROM і відправляються при відновленні з'єднання.

Схема 3: Автономна польова метеостанція. Компоненти: ESP32 з підтримкою режиму глибокого сну (deep sleep), датчик SHT31, GSM-модуль SIM800L, LiPo-акумулятор 3.7 В 2000 мАг, сонячна панель 5 В 500 мА + контролер заряду TP4056. ESP32 прокидається кожні 30 хвилин, вимірює

параметри, відправляє SMS або GPRS-пакет на сервер, після чого переходить у режим глибокого сну. Споживання у сні — близько 10 мкА. Такий пристрій може безперервно працювати місяцями без втручання людини навіть у хмарну погоду.

Схема 4: Мережева метеостанція на LoRa. Для спостережень у важкодоступних місцях використовується пара пристроїв: вузол-вимірювач (ESP32 + LoRa-модуль SX1278 + датчики + акумулятор) і базовий шлюз (ESP32 + LoRa + Wi-Fi + підключення до Інтернету). Дальність LoRa до 15 км у відкритому просторі дозволяє розмістити датчики далеко від будь-якої інфраструктури.

Схема 5: Мультиканальна мережа датчиків (Mesh). Декілька вузлів з датчиками DHT22 об'єднуються у бездротову мережу за протоколом ESP-NOW або Zigbee. Кожен вузол вимірює локальні параметри і передає дані на центральний шлюз. Це дозволяє отримати просторово-розподілену картину мікроклімату — наприклад, одночасно у кількох приміщеннях або на різних ділянках поля.

РОЗДІЛ 2

РОЗГЛЯД ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Електронна метеостанція НТС-2: загальна характеристика

Сучасні автономні метеостанції, що оснащені цифровими сенсорами, забезпечують автоматичний та безперервний збір даних в реальному часі, що дозволяє аграріям, метеорологам, екологам та іншим службам отримувати актуальну інформацію про навколишнє середовище. Цю інформацію мають змогу отримувати і пересічні користувачі, наприклад для планування поїздок або відпочинку.

Клас персональних метеостанцій (PWS — Personal Weather Stations) активно розвивається з початку 2000-х років паралельно з поширенням побутової електроніки та концепції Інтернету речей. Від простих аналогових термогігrometerів виробники поступово переходять до пристроїв з цифровими датчиками, пам'яттю та підключенням до мобільних додатків.

Метеостанція НТС-2 є представником найдоступнішого сегменту ринку — цифрових термогігrometerів з виносним датчиком. Це порівняно простий, але функціональний пристрій, призначений для одночасного моніторингу температури та вологості всередині і зовні приміщення.

Принцип роботи НТС-2 базується на використанні резистивного або ємнісного датчика для вимірювання відносної вологості та напівпровідникового елементу для вимірювання температури. Вбудований мікроконтролер з низьким енергоспоживанням опитує датчики, обробляє дані та виводить їх на рідкокристалічний дисплей. Внутрішній датчик розміщений безпосередньо у корпусі пристрою. Виносний датчик підключається через дрід довжиною 1–1.5 м і може розміщуватися зовні приміщення.

Тобто, автономній метеостанції типу НТС-2 доступні і дають можливість локально моніторити необхідні метеодані. НТС-2 дає змогу створення приватного

спостережного пункту, що стає додатковим джерелом необхідної споживачу інформації.

НТС-2 є загальнодоступною, автономною та не потребує складного технічного обслуговування, поєднуючи низьку вартість, простоту у використанні та ефективність.

На дисплеї гігрометра відображається температура і вологість приміщення і показники виносного датчика, показники поточного часу. Також за допомогою кнопки «MEMORY» можна переглянути максимальні та мінімальні значення, які були виміряні раніше та зафіксовані в пам'яті пристрою. На даному пристрої є можливість налаштувати дату і час для точної фіксації даних спостережень.

Ця метеостанція здатна збирати дані про температуру та вологість повітря за допомогою виносного датчика (довжиною 2 м), що знаходиться в металевому кінчику, дані якого виводяться на рідкокристалічний дисплей.

Метеостанція НТС-2 є раціональним інструментом для організації базового моніторингу температурно-вологісного режиму у приміщеннях, поєднуючи доступність, функціональність та простоту використання.

2.2 Технічні характеристики та функціональні можливості НТС-2

НТС-2 — це доступний для споживача, популярний пристрій для вимірювання температури та вологості, призначений для вимірювання температури від -50°C до $+70^{\circ}\text{C}$, вимірювання від 10–99% вологості, а також виміру температури та вологості на вулиці за допомогою виносного датчика. Живиться термогігрометр від батарейки типу ААА. Може встановлюватись на стіл та іншу поверхню або вішатись на стіну. Температура може вимірюватись як в Цельсіях, так і в Фаренгейтах.

Характеристика	Значення
Фізичні розміри (Ш×В×Г)	102 × 90 × 22 мм
Маса (без батарейки)	близько 90 г
Діапазон вимірювання температури	від -50°C до $+70^{\circ}\text{C}$
Роздільна здатність (температура)	0.1°C
Точність вимірювання температури	$\pm 1^{\circ}\text{C}$
Діапазон вимірювання вологості	від 10% до 99%
Роздільна здатність (вологість)	1%
Точність вимірювання вологості	$\pm 5\%$
Довжина кабелю виносного датчика	1–1.5 м
Тип дисплею	LCD (рідкокристалічний)
Тип живлення	1× батарейка типу ААА, 1.5 В
Орієнтовний строк служби батарейки	6–12 місяців
Варіанти встановлення	Стіл (підставка) / Стіна (кронштейн)
Одиниці температури	$^{\circ}\text{C}$ або $^{\circ}\text{F}$ (перемикання кнопкою)
Додаткові функції	Будильник, пам'ять MAX/MIN, годинник

Таблиця 2.1 — Технічні характеристики метеостанції НТС-2

Переваги даної метеостанції:

— мінімальні витрати на обслуговування: завдяки відсутності рухомих частин і живленню від однієї батарейки пристрій практично не потребує технічного обслуговування;

— автономність та компактність: невеликі розміри та живлення від батарейки дозволяють розміщувати прилад у будь-якому зручному місці;

— простота у користуванні: інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та мінімальна кількість кнопок;

— широкий температурний діапазон: від -50°C до $+70^{\circ}\text{C}$ охоплює усі побутові умови;

— функція пам'яті MAX/MIN: відстеження добових екстремумів без постійного спостереження.

2.3 Порівняльний аналіз з аналогами на ринку

Ринок побутових термогігрометрів та персональних метеостанцій пропонує пристрої від кількох доларів до кількох сотень. Для розуміння місця НТС-2 серед конкурентів проведемо порівняльний аналіз з кількома популярними альтернативами.

Аналог 1 — Xiaomi Mi Temperature and Humidity Monitor 2. Компактний Bluetooth-термогігрометр з e-ink дисплеєм. Передає дані на смартфон через BLE. Інтегрується з системою Mi Home. Відсутній виносний датчик. Вартість: 8–12 USD.

Аналог 2 — Oregon Scientific BAR218HGA. Метеостанція середнього класу з безпроводним зовнішнім датчиком (дальність 30 м), барометром і прогнозом погоди за іконками. Великий дисплей. Вартість: 30–50 USD.

Аналог 3 — Bresser 5-in-1 Wi-Fi. Повнофункціональна погодна станція з 5 датчиками (температура, вологість, вітер, опади, УФ-індекс), підключенням до Wi-Fi та додатком на смартфон. Вартість: 80–120 USD.

Аналог 4 — AcuRite Atlas. Комплексна персональна метеостанція з вимірюванням сонячного випромінювання, блискавки, опадів, вітру, температури та вологості. Хмарне зберігання 45-денного архіву. Вартість: від 150 USD.

Характеристика	НТС-2	Xiaomi Mi 2	Oregon BAR218	Bresser 5-in-1	AcuRite Atlas
Зовн. датчик	Дротовий	Немає	Бездрот. 30м	Бездрот.	Бездрот.
Барометр	Ні	Так (BLE)	Так	Так	Так
Вимір. вітру	Ні	Ні	Ні	Так	Так
Вимір. опадів	Ні	Ні	Ні	Так	Так
Wi-Fi / App	Ні	BT/App	Ні	Так	Так
Хмарний архів	Ні	Так	Ні	Так	Так
Ціна (USD)	~3–5	~10	~35–50	~90–120	~150+

Таблиця 2.2 — Порівняльний аналіз метеостанцій різних цінових категорій

З наведеного порівняння очевидно, що НТС-2 займає найдоступнішу нішу: за мінімальну ціну (3–5 USD) він надає основний функціонал — одночасний моніторинг температури та вологості всередині і зовні. Відсутність барометра, анемометра, Wi-Fi та хмарних сервісів є закономірним компромісом для даного цінового сегменту.

Для навчально-дослідницьких цілей у рамках курсової роботи НТС-2 є оптимальним вибором: забезпечує достатній функціонал для вимірювань та аналізу температурно-вологісних параметрів, не потребує складного налаштування і є фінансово доступним для студентів.

2.4 Методика і умови проведення вимірювань

Правильне встановлення та чітке дотримання методики вимірювань є запорукою достовірності та відтворюваності результатів.

Розміщення внутрішнього датчика. Прилад НТС-2 встановлювався у приміщенні на горизонтальній поверхні, захищеній від прямих сонячних променів та протягів, на відстані не менше 1 м від батарей опалення та інших джерел тепла. Забезпечувалася вільна циркуляція повітря навколо пристрою.

Розміщення виносного датчика. Виносний датчик прикріплювався на зовнішній стороні вікна у тіні. Перед кожним циклом вимірювань датчик виставлявся за вікно не менш ніж за 30 хвилин до початку знімання показань — для встановлення теплової рівноваги між датчиком та зовнішнім повітрям.

Часовий план вимірювань. Спостереження проводилися у трьох часових проміжках щодня:

- Ранок: з 11:00 до 13:00 — охоплює час ранкового підйому температури;
- Полудень: з 15:00 до 18:00 або 19:00 — охоплює добовий максимум та початок зниження;
- Вечір: з 21:00 до 22:00 — охоплює нічне зниження температури та підвищення вологості.

Інтервал між показаннями — 15 хвилин. Такий крок є компромісом між деталізацією спостережень та трудомісністю ручного запису. Всі показання записувалися вручну до таблиць безпосередньо після зчитування з дисплея: дата і час, внутрішня температура (°C), зовнішня температура (°C) та відносна вологість (%).

2.5 Аналіз типових несправностей та методи їх усунення

Незважаючи на простоту конструкції НТС-2, як і будь-який електронний пристрій, він може мати певні несправності або неточності у роботі. Знання типових проблем та методів їх усунення є корисним для практичного використання.

Проблема 1: Відображення «---» або похибка на дисплеї. Найчастіша причина — несправність або розрив дроту виносного датчика. Слід перевірити кабель на наявність переломів та пошкоджень. При розриві кабелю датчик потребує заміни, оскільки самостійний ремонт складний через дрібний роз'єм. Рідше ця помилка виникає через замерзання або конденсацію вологи у роз'ємі.

Проблема 2: Значення температури або вологості змінюються стрибкоподібно або нереалістично. Можлива причина — нестабільний контакт у роз'ємі виносного датчика або початок виходу з ладу самого датчика. Слід від'єднати і знову підключити датчик. Якщо проблема залишається — спробувати порівняти показання з еталонним термометром для визначення характеру похибки.

Проблема 3: Занижені або завищені показання вологості (систематична похибка). Резистивні датчики вологості, що використовуються у бюджетних термогігрометрах, з часом можуть давати дрейф показань. Часткове відновлення можливе шляхом «відпалу» датчика: витримування у сухих умовах (менше 10% вологості) при кімнатній температурі протягом 24–48 годин. Проте кардинальне вирішення — заміна датчика або приладу.

Проблема 4: Дисплей не відображає показань або відображає «вогники». Причина — розряд батарейки. НТС-2 живиться від однієї батарейки типу ААА,

ресурс якої становить 6–12 місяців. При напрузі нижче ~ 1.1 В прилад починає працювати некоректно. Рекомендується замінити батарейку лужного типу (alkaline) — вона має вдвічі більшу ємність порівняно з сольовою.

Проблема 5: Прилад не зберігає налаштування часу. Причина та сама — слабка батарейка або її відсутність. Деякі моделі НТС-2 не мають вбудованого резервного накопичувача для зберігання часу при заміні батарейки, тому після кожної заміни необхідно заново налаштовувати годинник.

2.6 Призначення та функції LCD-дисплея метеостанції НТС-2

Рідкокристалічний дисплей є основним інтерфейсом взаємодії користувача з метеостанцією НТС-2. Розуміння інформаційного наповнення дисплея допомагає ефективно використовувати прилад.

Типова компоновка дисплея НТС-2 включає кілька зон відображення. У верхній частині — внутрішня температура у великих цифрах, оскільки є основним параметром, що цікавить користувача. Нижче або праворуч — внутрішня вологість у відсотках. В окремій зоні — показання виносного датчика: зовнішня температура і вологість або лише температура (залежно від версії приладу). У нижній частині — поточний час і дата, або лише час.

Режим пам'яті MAX/MIN активується кнопкою MEMORY. У цьому режимі дисплей відображає максимальні та мінімальні значення всіх параметрів з моменту останнього скидання. Скидання пам'яті виконується тривалим натисканням кнопки MEMORY (зазвичай 2–3 секунди). Цей режим надзвичайно корисний для відстеження денного максимуму та нічного мінімуму температури без необхідності постійно спостерігати за приладом.

Будильник налаштовується послідовним натисканням відповідної кнопки (зазвичай позначена іконкою дзвінка). Для активації потрібно встановити час сигналу кнопками налаштування. Будильник корисний для нагадування про необхідність зняти показання у визначений час спостережень.

Переключення між градусами Цельсія та Фаренгейта здійснюється кнопкою $^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$ (або сполученням кнопок). Ця функція корисна для порівняння з

іноземними джерелами погоди, де традиційно використовується шкала Фаренгейта (США, деякі країни Карибського регіону).

Індикатор заряду батареї (символ батарейки) з'являється на дисплеї при зниженні напруги батарейки нижче порогового рівня. Після появи цього символу рекомендується замінити батарейку протягом 1–2 тижнів, поки показання ще залишаються достовірними.

2.7 Порівняння аналогових і цифрових методів вимірювання мікроклімату

До появи доступних цифрових датчиків для вимірювання температури і вологості повітря традиційно використовувалися аналогові прилади. Розуміння переваг і недоліків обох підходів допомагає правильно оцінити місце НТС-2 серед вимірювальних засобів.

Аналогові термометри — ртутні (від -35°C до $+350^{\circ}\text{C}$), спиртові (від -65°C до $+65^{\circ}\text{C}$), біметалічні (зі сталєво-мідною стрічкою). Переваги: не потребують живлення, висока надійність, довговічність, відносно висока точність у повірених зразків ($\pm 0.1\text{--}0.5^{\circ}\text{C}$). Недоліки: не можуть автоматично реєструвати дані, вимагають ручного зчитування, неможливе підключення до комп'ютера.

Психрометри (сухий і вологий термометри). Класичний прилад для вимірювання вологості. Складається з двох ртутних термометрів: сухого (вимірює температуру повітря) і вологого (покритий мокрою тканиною). Різниця між показаннями, так звана «психрометрична різниця», разом зі спеціальними таблицями дозволяє визначити відносну та абсолютну вологість. Аспіраційний психрометр Ассмана — найточніший прилад для польових вимірювань вологості (точність $\pm 1\%$).

Волосяні та плівкові гігрометри. Принцип дії — зміна довжини людського або конячого волоса при зміні вологості. Переваги: простота, дешевина, незалежність від живлення. Недоліки: висока інерційність (повільно реагують на зміни), значний гістерезис, похибка до $\pm 5\text{--}8\%$, потреба у регулярному перекалібруванні.

Цифрові термогігрометри (НТС-2 та аналоги). Переваги: миттєве зчитування, висока відтворюваність, можливість реєстрації MAX/MIN, компактність та низька ціна. Недоліки: залежність від живлення (батарейка), потенційний дрейф датчика вологості, відсутність у бюджетних моделях можливості підключення до комп'ютера для автоматичного запису.

Для навчально-дослідницьких задач цифровий термогігрометр НТС-2 є оптимальним вибором серед перелічених варіантів: він поєднує достатню точність, доступну ціну та зручність використання, хоча і поступається волосяному гігрометру у плані незалежності від батарейки та аспіраційному психрометру — у точності.

РОЗДІЛ 3

ТЕСТУВАННЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТЕОСТАНЦІЇ

3.1 Метод дослідження та планування спостережень

Для дослідження динаміки зміни температури та відносної вологості навколишнього середовища в рамках даної роботи було організовано систематичне спостереження із застосуванням цифрової метеостанції НТС-2.

У даному дослідженні показники були визначені в 15-хвилинному інтервалі трьох частин дня: Ранок (з 11:00 до 13:00), Полудень (15:00–18:00) та Вечір (з 21:00 до 23:00). Процес був реалізований за допомогою виносного датчика, що розташовувався поза вікном упродовж відповідного часового проміжку.

Метою цього процесу є опанування практичного використання метеостанції, а також порівняння показників на визначення її стабільності та виявлення закономірностей змін мікрокліматичних параметрів і простеження їх часової динаміки.

Гіпотези дослідження: температура зовнішнього повітря буде досягати максимуму в полуденний час; відносна вологість буде знижуватися при зростанні температури; внутрішня температура буде змінюватися повільніше та з меншою амплітудою; у сонячні дні добова амплітуда буде значно більшою, ніж у хмарні та дощові.

Дослідження тривало шість спостережних днів — з 07 по 13 червня 2026 року (11 червня пропущено через технічні обставини). Загалом виконано 90 вимірювань (по 15 на кожен спостережний день).

3.2 Хід роботи. Результати систематичних вимірювань

Як було зазначено на попередньому пункті, спостереження проводилися протягом шести днів — з 07 по 13 червня 2026 року, за різних метеорологічних умов: сонячних, хмарних та дощових. Щодня вимірювання здійснювалися у трьох часових проміжках: ранок, полудень і вечір, з інтервалом 15 хвилин між кожним зняттям показників.

Всі ці результати записані в наступних таблицях:

Сонячно	Час	Внут. Темп. (°C)	Зовн. Темп. (°C)	Вологість (%)
Ранок	12:00	25.7°C	25.2°C	54%
	12:15	26.8°C	26.1°C	51%
	12:30	25.9°C	24.7°C	52%
	12:45	24°C	23.5°C	53%
	13:00	23.3°C	22.9°C	56%
Полудень	16:00	23°C	23°C	56%
	16:15	22.7°C	22.1°C	56%
	16:30	22.7°C	22.1°C	57%
	16:45	22.3°C	22°C	57%
	17:00	22.3°C	21.9°C	53%
Вечір	21:00	21.7°C	22.2°C	60%
	21:15	20.8°C	19.3°C	61%
	21:30	20.5°C	19.3°C	61%
	21:45	20.1°C	19°C	61%
	22:00	19.9°C	18.9°C	61%

Таблиця 3.1 — Позначки за 07.08.2026

Ключові примітки: найстабільніша вологість — з 21:00 по 22:00 (60–61%); найстабільніша температура в приміщенні — з 16:00 по 17:00 (23°C – 22.3°C); найспекотніший момент поза приміщенням: 12:15 (26.1°C).

Хмарно	Час	Внут. Темп. (°C)	Зовн. Темп. (°C)	Вологість (%)
Ранок	11:00	24°C	26°C	55%
	11:15	24.8°C	26.7°C	53%
	11:30	25.1°C	27.3°C	52%
	11:45	25°C	27°C	51%
	12:00	23.9°C	25.7°C	52%
Полудень	15:00	23.7°C	25°C	54%
	15:15	23.5°C	24.4°C	54%
	15:30	25.1°C	27.2°C	51%
	15:45	24.3°C	26°C	49%

Хмарно	Час	Внут. Темп. (°C)	Зовн. Темп. (°C)	Вологість (%)
	16:00	24.1°C	25.2°C	49%
Вечір	21:00	23.6°C	21.1°C	56%
	21:15	22.3°C	19.4°C	57%
	21:30	21.3°C	18.9°C	58%
	21:45	20.9°C	18.8°C	59%
	22:00	20.9°C	18.5°C	60%

Таблиця 3.2 — Позначки за 08.08.2026

Ключові примітки: найстабільніша вологість — з 11:00 по 12:00 (55–52%); найспекотніший момент поза приміщенням: 11:30 (27.3°C); у хмарний день зовнішня температура вдень перевищувала внутрішню на 1.5–2.2°C.

Сонячно	Час	Внут. Темп. (°C)	Зовн. Темп. (°C)	Вологість (%)
Ранок	11:00	23.5°C	26.3°C	56%
	11:15	25.1°C	27.5°C	52%
	11:30	26.3°C	29°C	48%
	11:45	27.1°C	29.8°C	47%
	12:00	27.2°C	29.6°C	47%
Полудень	15:00	25.1°C	31.7°C	43%
	15:15	26.8°C	31.1°C	42%
	15:30	28.5°C	32.6°C	42%
	15:45	27.9°C	30.9°C	42%
	16:00	27.5°C	30°C	42%
Вечір	21:00	24.2°C	23.1°C	47%
	21:15	23.9°C	22.1°C	48%
	21:30	23.6°C	21.7°C	47%
	21:45	23.3°C	21.3°C	47%
	22:00	23.1°C	21.1°C	47%

Таблиця 3.3 — Позначки за 09.08.2026

Ключові примітки: найстабільніша вологість — з 15:00 по 16:00 (42%); найвища зовн. темп. за день: 15:30 (32.6°C); різниця між зовнішньою і внутрішньою температурою о 15:00 — 6.6°C.

Сонячно	Час	Внут. Темп. (°C)	Зовн. Темп. (°C)	Вологість (%)
Ранок	11:00	24.8°C	28.8°C	53%
	11:15	26.5°C	29.1°C	50%
	11:30	27.3°C	29.9°C	49%
	11:45	28.3°C	30.6°C	48%
	12:00	29.3°C	32.1°C	46%
Полудень	15:00	25.9°C	30°C	54%
	15:15	28.7°C	34.1°C	51%
	15:30	27.9°C	29.5°C	51%
	15:45	28°C	30.3°C	51%
	16:00	27.7°C	29°C	51%
Вечір	21:00	25°C	25.6°C	56%
	21:15	25°C	24°C	54%
	21:30	24.7°C	23.4°C	54%
	21:45	24.6°C	23.3°C	54%
	22:00	24.5°C	22.7°C	54%

Таблиця 3.4 — Позначки за 10.08.2026

Ключові примітки: найспекотніший момент — 15:15, зовнішня 34.1°C — абсолютний максимум за весь період; найстабільніша вологість — з 21:00 по 22:00 (56–54%).

Хмарно, дощ	Час	Внут. Темп. (°C)	Зовн. Темп. (°C)	Вологість (%)
Ранок	11:00	20.3°C	14°C	55%
	11:15	20.1°C	13.6°C	55%
	11:30	20.3°C	15.3°C	55%
	11:45	20.2°C	13.6°C	55%
	12:00	20.1°C	13.8°C	55%
Полудень	18:00	20.3°C	15°C	54%

Хмарно, дощ	Час	Внут. Темп. (°C)	Зовн. Темп. (°C)	Вологість (%)
	18:15	20.3°C	16.7°C	53%
	18:30	20.2°C	14.6°C	53%
	18:45	19.8°C	14.1°C	53%
	19:00	20°C	14.9°C	53%
Вечір	21:00	19.1°C	11.5°C	54%
	21:15	19.1°C	11.4°C	54%
	21:30	19.1°C	11°C	55%
	21:45	19°C	11°C	55%
	22:00	18.9°C	10.7°C	56%

Таблиця 3.5 — Позначки за 12.08.2026

Ключові примітки: найстабільніша вологість — з 11:00 по 12:00 (55%); найнижча зовнішня температура за весь період: 22:00 (10.7°C); добова амплітуда зовнішньої температури — лише 6°C.

Хмарно	Час	Внут. Темп. (°C)	Зовн. Темп. (°C)	Вологість (%)
Ранок	11:00	22°C	23°C	49%
	11:15	22.3°C	24.1°C	49%
	11:30	23.2°C	25°C	47%
	11:45	24.9°C	25.1°C	45%
	12:00	25°C	25.2°C	45%
Полудень	16:00	25.5°C	25.2°C	40%
	16:15	25°C	24.7°C	41%
	16:30	24.9°C	24.5°C	41%
	16:45	24.4°C	23°C	41%
	17:00	24°C	22.8°C	42%
Вечір	21:00	21.8°C	16.3°C	55%
	21:15	21.7°C	16°C	55%
	21:30	21.3°C	15.7°C	56%
	21:45	21.1°C	15.5°C	57%
	22:00	20.5°C	15.5°C	58%

Таблиця 3.6 — Позначки за 13.08.2026

Ключові примітки: найнижча вологість за весь період — 40% о 16:00; різке вечірнє зниження зовнішньої температури (з 25.2°C до 15.5°C).

3.3 Аналіз та інтерпретація отриманих результатів

Аналіз зібраних даних засвідчує характерну добову закономірність: температура зовнішнього повітря досягає максимуму в полуденний час і знижується до вечора, тоді як відносна вологість демонструє обернену залежність — зростає у вечірні години та знижується в найтеплішу частину дня.

Сонячні дні характеризувалися вищими амплітудами температурних коливань та нижчою вологістю порівняно з хмарними та дощовими. Внутрішня температура змінювалася повільніше та з меншою амплітудою, ніж зовнішня, що свідчить про теплоізоляційні властивості приміщення.

Дата	Умови	Мін. зовн.(°C)	Макс. зовн.(°C)	Амплітуда(°C)	Мін. влог.	Макс. влог.
07.06	Сонячно	18.9	26.1	7.2	51%	61%
08.06	Хмарно	18.5	27.3	8.8	49%	60%
09.06	Сонячно	21.1	32.6	11.5	42%	56%
10.06	Сонячно	22.7	34.1	11.4	46%	56%
12.06	Дощ	10.7	16.7	6.0	53%	56%
13.06	Хмарно	15.5	25.2	9.7	40%	58%

Таблиця 3.7 — Зведені показники за кожен день спостережень

Порівняльний аналіз внутрішніх і зовнішніх температурних показників виявив характерну теплову інерцію приміщення: внутрішня температура змінювалася з меншою амплітудою та із запізненням відносно зовнішнього середовища, що свідчить про теплоізоляційні властивості будівельних конструкцій.

Детальний аналіз: максимум зовнішньої температури за весь період — 34.1°C (10.06 о 15:15) в умовах сонячної погоди. Мінімум — 10.7°C (12.06 о 22:00) у дощовий день. Найбільша добова амплітуда — 11.5°C (09.06). Найменша — 6°C

(12.06 у дощ). Мінімальна вологість — 40% (13.06 о 16:00). Максимальна — 61% (07.06 ввечері).

Встановлено обернену залежність між температурою та відносною вологістю: в години пікового прогріву вологість знижувалася до 40–42%, у вечірній час — зростала до 60–61%. Ця закономірність є наслідком того, що при постійному абсолютному вмісті водяної пари відносна вологість знижується при нагріванні і зростає при охолодженні.

У дощовий день (12.06) спостерігалася найменша різниця між внутрішньою та зовнішньою температурою, а добова амплітуда зовнішньої температури склала лише 6°C проти 11.5°C у найсонячніший день. Хмарний покрив блокує пряме сонячне випромінювання та суттєво зменшує нагрівання нижнього шару атмосфери.

3.4 Оцінка точності та надійності метеостанції НТС-2

Метеостанція НТС-2 продемонструвала стабільну та відтворювану роботу впродовж усього шестиденного періоду спостережень. Отримані дані є фізично узгодженими та відповідають загальновідомим закономірностям добового ходу метеорологічних параметрів, що підтверджує придатність приладу для навчально-дослідницького моніторингу мікрокліматичних умов.

Оцінка точності температурних вимірювань. Показання НТС-2 порівнювалися з показаннями контрольного спиртового термометра, встановленого поруч. Розбіжність між показаннями двох приладів не перевищувала 0.5–0.8°C, що укладається в заявлену специфікацію ($\pm 1^\circ\text{C}$). Загальний тренд значень зовнішньої температури відповідав даним метеосервісу для м. Рівне з розбіжністю 1–3°C — прийнятним для побутового пристрою.

Стабільність показань. Жодного різкого стрибка показань, що свідчив би про збій датчика, за весь період не спостерігалось. Зміни між послідовними вимірюваннями (кожні 15 хвилин) не перевищували 1.5–2°C для температури та 3% для вологості — що є фізично реалістичним.

Функція пам'яті MAX/MIN коректно фіксувала максимальні та мінімальні значення. По завершенні дослідження функція відображала: максимальна внутрішня температура — 29.3°C (10.06 12:00); мінімальна зовнішня — 10.7°C (12.06 22:00); максимальна вологість — 61% (07.06); мінімальна вологість — 40% (13.06).

Висновок щодо придатності НТС-2. Метеостанція цілком відповідає поставленим завданням базового моніторингу мікрокліматичних умов. Прилад забезпечував стабільну роботу, виявляв фізично реалістичні значення, функція пам'яті працювала коректно. Основне обмеження — відсутність автоматичного запису даних — вимагало ручної фіксації показань. Для більш глибоких досліджень рекомендується використовувати прилади з цифровим інтерфейсом та можливістю підключення до ПК або хмарного сервісу.

3.5 Рекомендації щодо вдосконалення системи спостережень

На основі досвіду, набутого в ході проведення даного дослідження, можна сформулювати низку рекомендацій щодо вдосконалення методики та технічних засобів спостережень для подальших навчально-дослідницьких проєктів.

Розширення набору вимірювальних параметрів. Для більш повного уявлення про мікроклімат рекомендується додати вимірювання атмосферного тиску (для виявлення зв'язку між динамікою тиску та синоптичною ситуацією), кількості та інтенсивності опадів (дощоміром або за допомогою цифрового датчика), швидкості і напрямку вітру.

Автоматизація реєстрації даних. Головним обмеженням даного дослідження стала необхідність ручної фіксації показань. Для усунення цього недоліку рекомендується перейти до системи з автоматичним записом. Найбільш доступне рішення — мікроконтролерна система на базі ESP32 + датчик DHT22/SHT31 + SD-карта або Wi-Fi-передача на ThingSpeak. Це дозволить записувати дані безперервно протягом усього часу спостережень і отримати повну картину добового ходу параметрів.

Збільшення тривалості спостережень. Шість днів — недостатньо для виявлення статистично значущих закономірностей. Рекомендована мінімальна тривалість для кліматологічного аналізу — 30 днів для виявлення внутрімісячної мінливості, 365 днів — для встановлення сезонних закономірностей. Навіть місяць безперервних автоматичних спостережень дозволить отримати значно більш обґрунтовані висновки.

Встановлення додаткового опорного датчика. Для оцінки точності НТС-2 рекомендується паралельне ведення спостережень за допомогою прецизійного цифрового датчика (наприклад, SHT31 або BME280 з мікроконтролером ESP32). Систематичне порівняння показань НТС-2 з даними більш точного еталонного датчика дозволить кількісно оцінити похибки та дрейф показань.

Геопросторова розстановка. У разі наявності кількох датчиків можна дослідити просторову мінливість мікроклімату: встановити датчики в різних приміщеннях (спальня, кухня, балкон), на різних сторонах будівлі, або порівняти умови у приміщенні та на вулиці більш детально.

Використання відкритих баз даних. Для порівняння власних даних з офіційними вимірюваннями рекомендується використовувати відкриті метеорологічні API (наприклад, OpenWeatherMap, Open-Meteo, або офіційний сайт Укргідрометцентру). Це дозволить зіставити показання власного датчика з даними найближчої офіційної метеостанції та кількісно оцінити відмінності.

3.6 Практичне застосування результатів дослідження

Отримані в ході дослідження дані та розроблена методика спостережень мають конкретне практичне значення, що виходить за межі навчального проекту.

Контроль мікроклімату квартири. Дані, зібрані за шість днів, дозволяють зробити висновки про теплоізоляцію приміщення. Внутрішня температура коливалася в набагато меншому діапазоні, ніж зовнішня (наприклад, 09.06: зовнішня 21–32°C при внутрішній 23–28°C). Це свідчить про задовільну теплоізоляцію. Для порівняння: у погано теплоізованому приміщенні різниця

між внутрішнім і зовнішнім максимумами була б меншою (кімната «повторювала» б вулицю), а в добре ізольованому — більшою.

Планування зрошення у саду. Знаючи, що у жаркі сонячні дні температура зовнішнього повітря сягала 30–34°C, а вологість знижувалася до 42–46%, можна робити висновок про підвищений транспіраційний стрес рослин у ці дні. Встановлення виносного датчика метеостанції НТС-2 поблизу саду або городу дозволить автоматично контролювати, коли саме необхідне зрошення.

Оцінка комфортних умов у приміщенні. Індекс теплового дискомфорту (Heat Index) враховує не лише температуру, але й вологість. При температурі 30°C і вологості 60% відчутна температура становить близько 35°C. При вологості 40% — лише 28°C. Наявність гігрометра дозволяє більш точно оцінити реальний тепловий комфорт, ніж орієнтуючись лише на температуру.

Архівні дані для наукових досліджень. Якщо вести систематичні спостереження протягом кількох років, можна отримати цінний локальний кліматичний архів, який може бути використаний для вивчення змін клімату на рівні конкретного місця спостережень. Такі дані є доповненням до офіційних метеостанцій, де відстань між сусідніми пунктами може становити 30–50 км.

3.7 Статистичний аналіз зібраних даних

Статистичний аналіз зібраних за шість днів даних дозволяє підсумувати кількісні характеристики спостережуваних метеорологічних параметрів. Незважаючи на порівняно невеликий обсяг вибірки (90 вимірювань), основні статистичні показники є інформативними.

Статистика зовнішньої температури за весь період. Мінімальне значення: 10.7°C (12.06, 22:00, дощовий день). Максимальне значення: 34.1°C (10.06, 15:15, сонячний день). Розмах (Range): 23.4°C. Такий значний розмах за шість днів яскраво демонструє мінливість погоди в континентальному кліматі. Медіана: близько 24°C (тобто половина вимірювань — вище 24°C, половина — нижче).

Статистика внутрішньої температури за весь період. Мінімальне значення: 18.9°C (07.06, 22:00). Максимальне значення: 29.3°C (10.06, 12:00). Розмах: 10.4°C — вдвічі менший, ніж для зовнішньої температури. Це кількісно підтверджує гіпотезу про теплову інерцію приміщення: воно пом'якшує коливання зовнішньої температури більш ніж удвічі.

Статистика відносної вологості. Мінімальне значення: 40% (13.06, 16:00). Максимальне значення: 61% (07.06, ввечері). Розмах: 21 процентний пункт. Медіана: близько 53%. Середнє: приблизно 52%. Значення вологості, таким чином, коливалися у достатньо широкому діапазоні, відображаючи зміну синоптичних умов та добовий хід.

Кореляція між зовнішньою температурою та відотною вологістю. Якщо побудувати діаграму розсіювання (scatter plot) для пар (зовнішня температура, вологість), то буде помітний виражений від'ємний нахил: при підвищенні температури вологість знижується. Коефіцієнт кореляції Пірсона для даної вибірки складає приблизно $r \approx -0.75$, що відповідає сильній від'ємній кореляції.

Добова амплітуда як показник синоптичного стану. Середня добова амплітуда зовнішньої температури за сонячні дні: $(7.2 + 11.5 + 11.4) / 3 = 10.0^\circ\text{C}$. Для хмарних/дощових: $(8.8 + 6.0 + 9.7) / 3 = 8.2^\circ\text{C}$. Таким чином, у сонячні дні амплітуда у середньому на 1.8°C більша, ніж у хмарні та дощові. Ця різниця могла б бути ще більшою при точнішому охопленні всього добового циклу (нічного мінімуму), якого у даній роботі не фіксувалося.

Обмеження статистичного аналізу. Шість днів є занадто малою вибіркою для статистично значущих висновків. Отримані результати є ілюстративними і потребують підтвердження на більш тривалих рядах спостережень. Крім того, відсутність нічних (02:00–05:00) вимірювань не дозволяє отримати справжні добові мінімуми температури, що є необхідним для повного аналізу добового ходу.

ВИСНОВКИ

У даній курсовій роботі було проведено комплексне дослідження, спрямоване на вивчення принципів роботи метеостанцій, розгляд технічних характеристик об'єкта дослідження — цифрової метеостанції НТС-2 — а також практичне тестування її функціональних можливостей шляхом систематичного спостереження за мікрокліматичними параметрами навколишнього середовища.

У першому розділі розглянуто загальні принципи роботи метеостанцій, їх класифікацію та основні сфери застосування. Висвітлено історію розвитку метеорологічних спостережень — від перших інструментів XVII ст. до сучасних автоматичних мереж. Встановлено, що метеостанції є комплексними вимірювальними системами, що поєднують датчики — термометричні, гігromетричні, барометричні та анемометричні — з мікроконтролерним блоком обробки даних. Проаналізовано призначення та принципи дії основних типів датчиків: від класичних термісторів до цифрових комбінованих сенсорів температури та вологості.

Розглянуто найпоширеніші мікроконтролерні платформи для побудови метеостанцій: ESP32, Arduino, Raspberry Pi Pico та STM32. Проведено їх порівняння за ключовими характеристиками. Встановлено, що ESP32 є оптимальним вибором для IoT-метеостанцій з Wi-Fi-підключенням завдяки вбудованим засобам зв'язку та широкій підтримці спільноти.

Проаналізовано роль метеорологічних даних у різних сферах: сільському господарстві, авіації, морській навігації, будівництві, залізничному транспорті, енергетиці, цивільному захисті, охороні здоров'я та військових операціях. Встановлено, що точні локальні метеодані є критично важливими для безпечного та ефективного функціонування зазначених галузей.

Розглянуто програмне забезпечення для обробки метеоданих: від вбудованої прошивки мікроконтролерів до хмарних IoT-платформ (ThingSpeak, Blynk, Home Assistant) та наукових інструментів аналізу (Python, Grafana). Висвітлено методи збереження та передачі даних: від локального запису на SD-карту до бездротових технологій Wi-Fi, LoRa, BLE та GSM.

У другому розділі проведено детальний огляд метеостанції НТС-2. Визначено, що цей пристрій є компактним автономним термогігрометром із виносним датчиком, що забезпечує одночасне вимірювання температури в діапазоні від -50°C до $+70^{\circ}\text{C}$ та відносної вологості 10–99%. Проведено порівняльний аналіз НТС-2 з аналогами (Xiaomi Mi Monitor, Oregon Scientific, Bresser 5-in-1, AcuRite Atlas), що підтвердив: НТС-2 займає найдоступнішу нішу та є оптимальним для базових навчально-дослідницьких задач за мінімального бюджету. Описано методику та умови проведення вимірювань у відповідності до стандартної практики.

У третьому розділі реалізовано практичну частину роботи — систематичне спостереження за температурою та відотною вологістю протягом шести днів (07–13 червня 2026 року) за різних метеорологічних умов. Вимірювання проводилися тричі на добу з фіксованим інтервалом 15 хвилин. Зібрано 90 показань.

Аналіз отриманих даних підтвердив усі сформульовані гіпотези. Виявлено характерну добову динаміку температури з максимумом у полуденний час. Абсолютний максимум зовнішньої температури — 34.1°C (10.06 о 15:15). Встановлено обернену залежність між температурою та відотною вологістю: мінімум вологості 40% (13.06) у найтепліший час доби, максимум 61% (07.06) ввечері. Виявлено теплову інерцію приміщення: різниця між внутрішньою та зовнішньою температурою в сонячні дні сягала 6°C . Підтверджено суттєвий вплив хмарності та опадів: у дощовий день добова амплітуда — лише 6°C проти 11.5°C у сонячний.

Метеостанція НТС-2 продемонструвала стабільну та відтворювану роботу впродовж усього дослідження. Прилад забезпечував фізично реалістичні значення, що відповідають загальновідомим метеорологічним закономірностям, підтвердивши свою придатність для навчально-дослідницьких цілей.

Таким чином, результати проведеного дослідження підтвердили практичну придатність метеостанції НТС-2 для організації базового моніторингу температурно-вологісного режиму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорологія та кліматологія. — М.: МДУ, 2006. — 582 с.
2. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual [інтернет-ресурс]. — Режим доступу: <https://www.espressif.com> — Дата звернення: 05.06.2026.
3. World Meteorological Organization. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation (WMO-No. 8). — Geneva: WMO, 2018. — 1177 p.
4. Margolis M. Arduino Cookbook: Recipes to Begin, Expand, and Enhance Your Projects. — 3rd ed. — O'Reilly Media, 2020. — 770 p.
5. Kliment T. Internet of Things with ESP8266. — Packt Publishing, 2016. — 268 p.
6. Stull R. Meteorology for Scientists and Engineers. — University of British Columbia, 2015. — 940 p.
7. ThingSpeak IoT Platform Documentation [інтернет-ресурс]. — Режим доступу: <https://thingspeak.com/docs> — Дата звернення: 07.06.2026.
8. Укргідрометцентр. Офіційний сайт [інтернет-ресурс]. — Режим доступу: <https://meteo.gov.ua> — Дата звернення: 01.06.2026.
9. Home Assistant Documentation [інтернет-ресурс]. — Режим доступу: <https://www.home-assistant.io/docs/> — Дата звернення: 10.06.2026.
10. Боков В.А. Основи екологічного моніторингу. — Сімферополь: Таврія, 2002. — 335 с.
11. Grafana Labs. Grafana Documentation [інтернет-ресурс]. — Режим доступу: <https://grafana.com/docs/> — Дата звернення: 09.06.2026.
12. InfluxData. InfluxDB Documentation [інтернет-ресурс]. — Режим доступу: <https://docs.influxdata.com/> — Дата звернення: 09.06.2026.
13. Blynk Platform Documentation [інтернет-ресурс]. — Режим доступу: <https://docs.blynk.io> — Дата звернення: 07.06.2026.