

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____

Спеціальність _____ 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Комп'ютерна інженерія _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Камишану Олександрю Євгеновичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Інтелектуальна система контролю вологості у приміщенні _____

затверджена наказом по університету від “ 26 ” травня 2025 р. № 424 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії _____ 17 червня 2025 р.

3. Вхідні дані до роботи _____

- 1) теоретичні матеріали, щодо принципів роботи систем контролю вологості;
- 2) теоретичні матеріали щодо роботи датчиків вологості;
- 3) теоретичні матеріали щодо роботи систем осушення та поглинання вологи повітря;
- 4) завдання на розробку системи.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

- 1) виконати аналіз предметної області;
- 2) провести огляд та вибір технічних засобів реалізації системи;
- 3) розробити структуру інтелектуальної системи;
- 4) реалізувати сценарії керування системою;
- 5) зробити висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій _____

Слайд-презентація – 13 слайдів _____

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз проблеми та огляд існуючих рішень	27.05.25-30.05.25	
2	Розробка концепції побудови системи	31.05.25-01.06.25	
3	Вибір датчика відносної вологості повітря	02.06.25-03.06.25	
4	Вибір виконавчого пристрою системи	04.06.25-05.06.25	
5	Визначення типу інтелектуального ядра	06.06.25-07.06.25	
6	Розробка структури системи контролю та реалізація сценаріїв на платформі Tuua	08.06.25-09.06.25	
7	Оформлення матеріалів атестаційної роботи	10.06.25-11.06.25	
8	Подання атестаційної роботи керівникові та її попередній захист	12.06.25-13.06.25	
9	Подання атестаційної роботи на рецензування	14.06.25-16.06.25	

Дата видачі завдання “ 26 ” травня 2025 р.

Здобувач


(підпис)

Керівник роботи


(підпис)

доц. Станіслав БОВЧАЛЮК

(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 61 с., 22 рис., 2 дод., 25 джерел.

КОНТРОЛЬ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ У ПРИМІЩЕННЯХ, ІОТ, РОЗУМНИЙ БУДИНОК, НАДМІРНА ВОЛОГІСТЬ, СИСТЕМИ ОСУШЕННЯ.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка простої, надійної та безпечної системи підтримки вологості у приміщенні за рахунок інтелектуального вмикання вентиляції, що мала б невелику вартість, хорошу повторюваність, та простоту налагодження й експлуатації непідготовленим персоналом.

У ході виконання кваліфікаційної роботи було виконано аналіз предметної області та проведений аналіз існуючих аналогів, зроблено огляд відомих типів систем контролю вологості у приміщенні. Виконано розробку концепції побудови системи, обрано датчики відносної вологості повітря та виконавчі пристрої. Визначено тип інтелектуального ядра реалізації системи. Розроблено загальну структур системи контролю та реалізовано сценарії на базі відкритої платформи Tuua.

Практичним результатом роботи є розробка прототипу системи для інтелектуальної підтримки вологості у приміщенні.

ABSTRACT

Bachelor's thesis: 61 pages, 22 figures, 2 appendices, 25 sources.

INDOOR HUMIDITY CONTROL, IoT, SMART HOME, EXCESSIVE HUMIDITY, DEHUMIDIFICATION SYSTEMS.

The purpose of the qualification work is to develop a simple, reliable and safe system for maintaining indoor humidity through intelligent ventilation, which would have a low cost, good repeatability, and ease of installation and operation by untrained personnel.

In the course of the qualification work, the subject area was analyzed and existing analogues were analyzed, and a review of known types of indoor humidity control systems was made. The system design concept was developed, relative humidity sensors and actuators were selected. The type of intellectual core of the system implementation is determined. The general structure of the control system was developed and scenarios based on the Tuya open platform were implemented.

The practical result of the work is the development of a prototype system for intelligent maintenance of indoor humidity.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	10
1.1 Огляд відомих типів систем контролю вологості у приміщенні	10
1.2 Постановка завдання на розробку САР вологості у приміщенні.....	21
2 ОГЛЯД ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ	23
2.1 Розробка концепції побудови системи	23
2.2 Вибір датчика відносної вологості повітря	25
2.3 Вибір виконавчого пристрою системи.....	29
2.4 Визначення типу інтелектуального ядра системи	32
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ	38
3.1 Розробка структури системи контролю	38
3.2 Реалізація сценаріїв на платформі Тууа.....	41
ВИСНОВКИ.....	46
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	47
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	51
ДОДАТОК Б Публікації за темою кваліфікаційної роботи.....	59

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ПЗ – програмне забезпечення

ПЛК – програмований логічний контролер

САР – система автоматичного регулювання

Bluetooth – технологія бездротового зв'язку

BMS – система управління будівлею (англ., Building Management System)

CE – європейська відповідність (фр., Conformité Européenne)

FCC – федеральна комісія зі зв'язку США (англ., Federal Communications Commission)

IFTTT – сервіс сценаріїв з'єднань, що працюють за логікою «Якщо це, то те» (англ., If This Then That)

IoT – інтернет речей (англ., Internet of Things)

LoRaWAN – бездротова технологія далекого зв'язку з низьким енергоспоживанням (англ., Long Range Wide Area Network)

MQTT – спрощений мережевий протокол (англ., Message Queue Telemetry Transport)

Тuуа – багатофункціональна та доступна система розумного будинку

Wi-Fi – вайфай (англ., Wireless Fidelity)

ZigBee – бездротовий стандарт передачі даних

Z-Wave – протокол бездротового зв'язку

ВСТУП

Питанням контролю параметрів мікроклімату у приміщеннях присвячено безліч наукових публікацій, наприклад [1], а також надано багато конкретних рекомендацій спеціалізованими компаніями і фахівцями, наприклад [2]. У той же час розробка нових або удосконалених систем контролю вологості у приміщеннях, як однієї зі складових мікроклімату, все одно є задачею актуальною і важливою.

У сучасних умовах зростає потреба в підтримці оптимального мікроклімату в житлових, офісних, промислових і складських приміщеннях. Одним із ключових параметрів, що визначає комфорт та безпеку в приміщенні, є вологість повітря. Автоматичні системи контролю вологості дозволяють ефективно підтримувати задані параметри без постійного втручання з боку людини, що особливо актуально в приміщеннях з підвищеними вимогами до умов зберігання, наприклад, у музеях, лабораторіях, архівах або теплицях.

Системи автоматичного контролю вологості зазвичай складаються з датчиків вологості, контролерів і виконавчих пристроїв. Датчики фіксують поточний рівень вологості в повітрі, передаючи ці дані на контролер. Контролер аналізує отриману інформацію і, залежно від заданих параметрів, керує зволожувачами або осушувачами повітря, а також вентиляційними системами. Таким чином, забезпечується стабільний рівень вологості в приміщенні незалежно від зовнішніх факторів.

Найпростішими є побутові автоматичні системи, які встановлюються у квартирах або приватних будинках. Вони зазвичай мають вбудовані датчики та вбудоване керування, як у випадку із сучасними зволожувачами повітря. Такі пристрої автоматично вмикаються та вимикаються залежно від рівня вологості. Їхні переваги полягають у простоті встановлення та експлуатації, але до недоліків можна віднести обмежену потужність та функціональність.

Більш складні системи застосовуються в офісах, медичних установах і лабораторіях. Вони можуть включати централізоване керування кількома зволожувачами або осушувачами, інтеграцію з системами вентиляції та кондиціонування повітря. Такі рішення, наприклад, реалізовано в системах BMS. Їхньою перевагою є висока точність та масштабованість, однак вартість реалізації таких рішень є значною.

У промисловості використовуються ще більш складні системи, які інтегруються із загальними процесами автоматизації виробництва. У таких системах особлива увага приділяється надійності та точності, адже невідповідність вологості може впливати на якість продукції. Наприклад, у фармацевтичному виробництві або при виготовленні мікроелектроніки використовують спеціалізовані сенсори і системи керування зі зворотним зв'язком.

Таким чином актуальною є задача реалізації підтримки комфортного рівня вологості повітря саме у побутових приміщеннях (кухні, санвузли, підвальні приміщення, тощо) та надання практичних рекомендацій щодо проектного рішення системи, яка б забезпечувала підтримку вологості у приміщенні за рахунок інтелектуального вмикання вентиляції. Пропонована система має мати невелику вартість, хорошу повторюваність, та простоту налагодження й експлуатації непідготовленим персоналом.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Огляд відомих типів систем контролю вологості у приміщенні

Розглянемо детальний аналіз типів систем автоматичного контролю вологості, їх принципів роботи, прикладів з реального ринку, а також перспектив розвитку.

У першу чергу контролери вологості можна розділити за типом регулювання: пасивні системи; активні системи з ручним управлінням; автоматизовані системи з електронним керуванням. Розглянемо ці системи більш детально.

Пасивні системи контролю. Ці системи включають гігроскопічні матеріали (наприклад, силікагель, хлориду кальцію, або навіть сіль чи кремнезем) [3], які поглинають або віддають вологу в залежності від вологості повітря. Також сюди можна віднести системи з природною вентиляцією.

Переваги:

- низька вартість;
- простота експлуатації;
- відсутність необхідності зовнішнього джерела живлення (у загальному випадку електричного).

Недоліки:

- повільна реакція на зміни умов (мала швидкодія);
- відсутність точного контролю або можливості регулювання;
- обмежена ефективність у великих або герметично закритих приміщеннях.

Прикладом такого принципу регулювання можуть бути ємності з хлоридом кальцію, що показаний на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Приклад пасивної системи контролю вологості на базі поглинаючого матеріалу

Наступними розглянемо активні системи з ручним управлінням. До них належать зволожувачі або осушувачі повітря з регуляторами, які користувач налаштовує самостійно (наприклад [4, 5]).

Переваги такого типу систем:

- низька вартість, тобто доступність за ціною;
- простота налаштування і користування.

Але системам подібного типу також притаманна і низка наступних недоліків:

- вони потребують постійної уваги з боку користувача;
- мають недостатню ефективність для критичних середовищ (серверні, лабораторії, тощо).

Зовнішній вигляд осушувачів і зволожувачів повітря такого типу показано на рисунках 1.2–1.4.

Значно більш складними є автоматизовані системи з електронним керуванням. Це найпоширеніший тип у контексті сучасного розуміння «розумного» будинку. Зазвичай вони будуються з використанням датчиків вологості, ПЛК або спеціалізованих контролерів (зазвичай з мікропроцесором або контролером типу Arduino, ESP32, Raspberry Pi) та виконавчих пристроїв (зволожувачі, осушувачі, вентиляційні клапани) [6, 7].



Рисунок 1.2 – Побутовий осушувач повітря з ручним керуванням



Рисунок 1.3 – Промисловий осушувач повітря



Рисунок 1.4 – Побутовий зволожувач повітря з ручним налаштуванням параметрів

Переваги автоматизованих систем:

- висока точність регулювання параметру;
- можливість інтеграції з іншими системами «розумного дому» (опалення, кондиціонування, тощо);
- можливість віддаленого контролю через мережу Інтернет.

Але автоматизованим системам також притаманні наступні недоліки:

- висока вартість;
- складність налаштування і необхідність кваліфікованого обслуговування;
- залежність від електроживлення та Інтернету.

Приклад готового рішення, присутнього на ринку України показано на рисунку 1.5

За типом зв'язку між компонентами контролери вологості поділяються на два наступних типи: дротові та бездротові системи. Розглянемо особливості кожного з вказаних типів систем.

Система контролю вологості повітря Tervix ZigBee Control Humidity

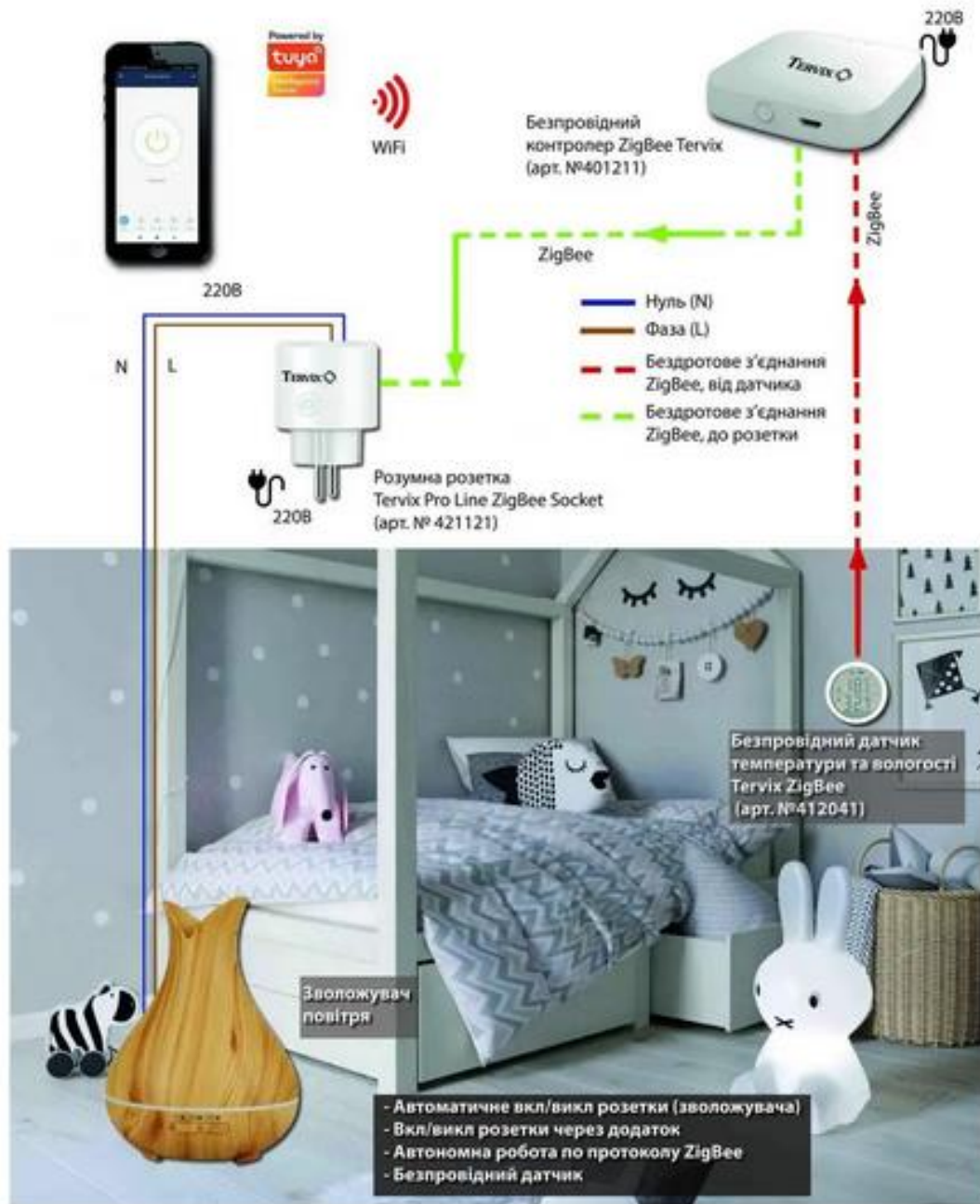


Рисунок 1.5 – Приклад системи контролю вологості повітря у контексті «розумного будинку»

Дротові системи. У таких систем окремі компоненти з'єднані виключно кабелями (наприклад, датчик вологості підключений безпосередньо до контролера) [8, 9]. На рисунках 1.6 і 1.7 показано приклади дротових систем контролю вологості і датчики до них.



Рисунок 1.6 – Контролер вологості і температури «RUBEZH» РКВТ-2/16



Рисунок 1.7 – Датчики вологості серії HD29...x...

Переваги дротових систем:

- висока стабільність сигналу і надійність його передачі;
- забезпечення безпеки передачі даних.

Недоліки:

- складність прокладання кабелів, особливо у вже завершених інтер'єрах;
- серйозні обмеження щодо мобільності окремих компонентів з яких складається система.

Бездротові САР вологості у приміщеннях (Bluetooth, Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave, LoRaWAN). Системи такого типу здатні обмінюватися даними між пристроями без фізичного з'єднань окремих компонентів між собою. Прикладом систем такого типу може бути вже згадувана системи контролю вологості повітря у контексті «розумного будинку», що показана на рисунку 1.5.

Вкажемо основні переваги бездротових систем:

- гнучкість у розміщенні датчиків у приміщеннях;
- простота у випадку необхідності модернізації чи розширення системи.

Але таким системам притаманні і наступні недоліки:

- значно менша стабільність порівняно з дротовими САР;
- системи такого типу обов'язково потребують захисту від перешкод і можливих втручань зловмисників (зламів системи).

Окрім вищевказаних принципів поділу побудови САР вологості у приміщеннях призначенням системи їх також можна розділити на дві наступні групи: побутові системи і комерційні або промислові.

Спочатку розглянемо особливості побутових САР. Вони переважно застосовуються в житлових приміщеннях: квартирах, будинках, дитячих кімнатах, спальнях, тощо. Приклади подібних систем вже згадувались раніше, наприклад рисунки 1.2 і 1.5.

Переваги побутових систем:

- простота у користуванні та налаштуваннях;
- привабливий дизайн;
- дуже часто включають додаткові функції (очищення повітря, ароматизація, тощо);
- переважно відсутність необхідності спеціально навченого персоналу при їх обслуговуванні.

Недоліки побутових САР:

- відносно менша надійність у тривалому режимі роботи (у порівнянні з комерційними рішеннями);
- обмежена площа контрольованого приміщення.

Промислові та комерційні рішення [10]. Використовуються в музеях, архівах, виробничих цехах, лабораторіях, теплицях або будь яких інших приміщеннях великої площі.

Переваги систем такого типу:

- висока продуктивність;
- можливість підтримки заданого мікроклімату з великою точністю (аж до 1% і менше).

У порівнянні із побутовими САР, промислові характеризуються низкою наступних недоліків:

- значна вартість;
- необхідність обслуговування персоналом із спеціалізованою фаховою підготовкою.

На рисунку 1.8 показано приклад промислового осушення повітря для великого цеху або виробництва.

Останній поділ САР вологості повітря можна виконати за типом датчиків: з ємнісними; резистивними; та психрометричними [11]. Розглянемо їх у перерахованому порядку.

Почнемо з ємнісних датчиків. Датчики такого типу змінюють свою ємність залежно від вологості навколишнього повітря (наприклад [12]). Приклад реалізації датчика такого типу показано на рисунку 1.9 а.



Рисунок 1.8 – Промислове осушування повітря на підприємстві

Переваги ємнісних датчиків:

- тривалий термін служби;
- незначне споживання енергії.

Недоліки:

- значна залежність параметрів від температури;
- чутливість до конденсації вологи на поверхні датчика.

Резистивні датчики (або датчики електричного опору). Електрична провідність таких датчиків змінюється з вологістю (наприклад [13]).

Переваги резистивних датчиків:

- простота у виготовленні;
- відносна дешевизна.

Недоліки:

- менша точність;
- швидше старіння.

Приклад реалізації датчика вологості HR31 показано на рисунку 1.9 б.

Психрометричні датчики [14]. Використовують принцип зв'язку між температурою вологого і сухого термометрів. Приклади таких датчиків показано на рисунку 1.10.

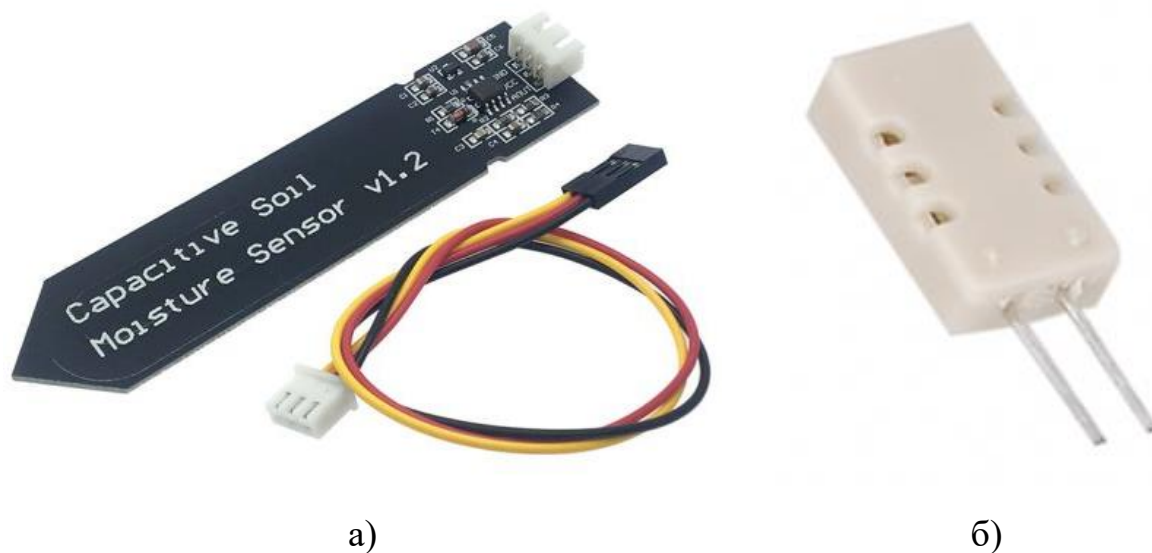


Рисунок 1.9 – Датчики вологості: а) ємнісного типу; б) резистивного типу

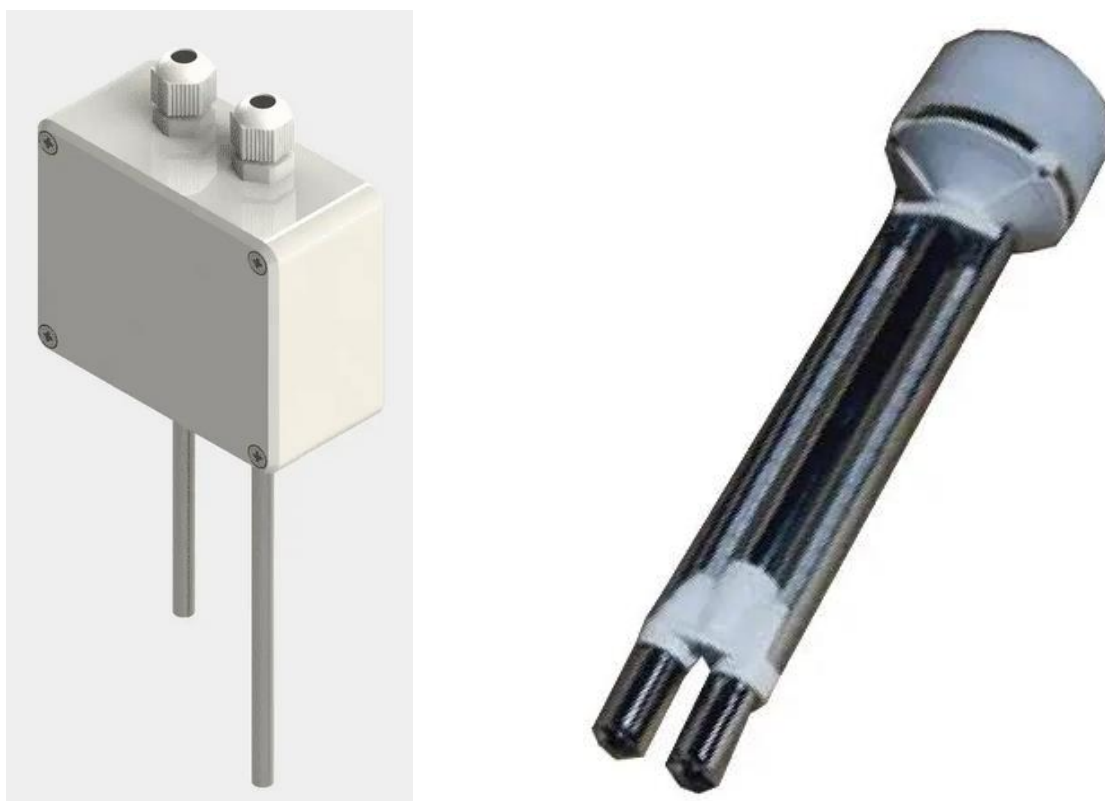


Рисунок 1.10 – Психрометричні датчики вологості ДВТ-013 та МВ-4М

Переваги психрометричних датчиків вологості:

- висока точність;
- стабільність при довготривалому використанні.

Недоліки:

- великі габарити;
- потреба в постійному обслуговуванні.

Серед готових рішень CAP контролю вологості повітря варто згадати систему Xiaomi Smart Humidifier, яка працює разом із фірмовим додатком Mi Home. Вона дозволяє віддалено контролювати рівень вологості в приміщенні, проте має обмежену сумісність з іншими системами автоматизації. Інше популярне рішення – система Philips Series 2000, яка має точні датчики та ефективно підтримує задані параметри вологості, але не передбачає віддаленого керування. Індустріальні рішення, такі як CAREL humiSteam або Condair EL, відзначаються високою точністю та довговічністю. Вони підтримують інтеграцію з системами автоматизації будівель, проте потребують професійного монтажу та обслуговування, що підвищує загальні витрати на експлуатацію.

Тенденції розвитку та перспективи. На ринку спостерігається тенденція до підвищення рівня автономності таких систем, зокрема впровадження штучного інтелекту, що дозволяє прогнозувати зміну умов і адаптувати параметри в реальному часі. Розвиток IoT відкриває нові можливості для інтеграції з іншими системами розумного будинку, що робить управління ще більш зручним і гнучким.

Системи автоматичного контролю вологості є важливою складовою сучасної інфраструктури приміщень. Вони дозволяють забезпечити комфорт, зберегти цінності та підтримувати технологічні процеси на належному рівні. Вибір тієї чи іншої системи залежить від сфери застосування, бюджету та технічних вимог. Перспективним напрямком є впровадження інтелектуальних систем із самонавчанням і гнучкою інтеграцією до цифрових екосистем.

1.2 Постановка завдання на розробку САР вологості у приміщенні

Вологість повітря є одним із ключових чинників, що впливають на комфорт і здоров'я людей у побутових приміщеннях. Оптимальний рівень вологості (40–60%) забезпечує належне функціонування організму, сприяє збереженню меблів, електроніки та оздоблювальних матеріалів, а також запобігає розвитку цвілі та пилових кліщів. У зв'язку з цим виникає об'єктивна потреба у створенні простої системи контролю вологості для побутових умов.

По-перше, у багатьох житлових приміщеннях, особливо в квартирах із централізованим опаленням, рівень вологості часто опускається нижче норми в зимовий період. Це призводить до пересихання слизових оболонок, подразнення дихальних шляхів, зниження імунітету та загального дискомфорту. У той же час, підвищена вологість у ванних кімнатах, кухнях або підвалах сприяє утворенню грибка і плісняви, що також шкодить здоров'ю.

По-друге, проста система контролю вологості дозволяє своєчасно реагувати на відхилення показників. На відміну від дорогих багатофункціональних пристроїв, така система може складатися з датчика вологості, мікроконтролера та індикатора або сигналу. Це робить її доступною для широкого кола користувачів та придатною для впровадження в різних типах приміщень – від житлових кімнат до підсобних.

По-третє, створення такої системи має значний практичний ефект: користувач може автоматично включати зволожувач або осушувач повітря, покращуючи мікроклімат без необхідності постійного ручного контролю. Це не лише підвищує зручність користування побутовими приладами, але й сприяє підвищенню енергоефективності.

Отже, створення простої системи контролю вологості є обґрунтованим кроком для забезпечення здорового мікроклімату, економії ресурсів та попередження пошкоджень майна. Така система повинна бути простою,

недорогою, надійною та адаптованою до умов конкретного приміщення.

Як показано вище, реалізувати систему контролю вологості у приміщенні можна різними способами, використовуючи при цьому різні типи датчиків і способи з'єднання частин системи, але у контексті поточного дослідження основною метою є розробка простої, надійної та безпечної системи підтримки вологості у приміщенні за рахунок інтелектуального вмикання вентиляції, що мала б невелику вартість, хорошу повторюваність, та простоту налагодження й експлуатації непідготовленим персоналом.

При цьому для того щоб більш конкретно визначитись з параметрами розроблюваної системи, зазначимо місце можливої її встановлення та експлуатації – це може бути підвальне приміщення або ванна кімната. Також вкажемо, що це приватний, а не багатоквартирний будинок. Така деталізація дозволяє зробити дуже важливі висновки щодо підтримуваного параметра – відносної вологості повітря. А саме: повітря у таких приміщеннях, зазвичай, має тенденцію бути занадто вологим, а не занадто сухим. Таким чином контроль мікроклімату приміщення має передбачати лише осушення повітря без необхідності його зволоження. Також зазначимо, що у приміщеннях такого типу завжди є можливість облаштування припливно-витяжної вентиляції.

2 ОГЛЯД ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ

2.1 Розробка концепції побудови системи

Як вже було показано у попередньому розділі системи контролю вологості можуть бути побудовані за різними принципами, проте якщо акцентувати увагу саме на невеликій ціні та на її обслуговуванні саме невідготовленим персоналом, то найбільш актуальними є два наступних варіанти:

- реалізація системи на базі універсальних мікроконтролерів загального призначення (Arduino, STM, тощо);
- побудова системи на базі готових складових промислового виробництва, що знаходяться у єдиній мережі (WiFi, Bluetooth або ZigBee) та керуються спеціалізованим ПЗ (наприклад TuYa Smart).

Було прийнято рішення будувати систему за другим підходом і на це є достатньо вагомі причини. Розглянемо їх.

Простота впровадження та експлуатації. Готові системи, що працюють через Wi-Fi, Bluetooth або ZigBee, уже інтегрують у собі усе необхідне – датчики, обробку сигналів, живлення, модулі зв'язку та програмну частину. У той час як при побудові на базі Arduino або STM користувачу доводиться самостійно збирати та налагоджувати як апаратну, так і програмну частину системи, включаючи пайку, калібрування, розробку інтерфейсу та забезпечення стабільного живлення. Натомість використання готових пристроїв, наприклад Sonoff, Moes, Aqara, Xiaomi Smart Home, дозволяє реалізувати систему за лічені години. Наприклад, встановлення датчика вологості на базі ZigBee з підключенням до хаба TuYa потребує лише кількох кліків у мобільному застосунку, без жодного рядка коду.

Інтеграція з екосистемами та хмарними сервісами. Перевага

комерційних пристроїв полягає у прямій сумісності з популярними екосистемами: Google Home, Alexa, Apple HomeKit, SmartThings. Це відкриває можливість створення складних сценаріїв автоматизації. Наприклад, увімкнення зволожувача при падінні вологості нижче 40% і одночасному закритті вікон або активації вентиляції при перевищенні встановленого порогу. Arduino і STM мікроконтролери не мають прямої підтримки цих хмарних сервісів. Їх інтеграція можлива, але потребує використання проміжних серверів (наприклад, MQTT-брокер, Node-RED, Home Assistant), що ускладнює архітектуру та потребує технічної підтримки.

Надійність і безпека. Промислові модулі, сертифіковані для масового користування, проходять тестування на стійкість до електричних перешкод, вологи, перегріву. Крім того, вони оснащені захистами від перепадів напруги, мають стандарти безпеки (CE, FCC) і регулярно оновлюються виробниками через OTA (over-the-air) прошивки. На противагу цьому, рішення на базі Arduino зазвичай є прототипами з мінімальним захистом, відкритими піновими з'єднаннями, без гальванічної розв'язки. У реальному експлуатаційному середовищі такі системи мають вищий ризик відмови або навіть аварій. З погляду кібербезпеки, також значну перевагу мають TuYa-платформи, що використовують TLS-шифрування та авторизацію пристроїв на хмарі. Arduino-системи потребують реалізації захисту вручну, що є складним завданням для непрофесійного розробника.

Масштабованість та обслуговування. Готові пристрої легко інтегруються у централізовану систему через ZigBee-шлюз або Wi-Fi-маршрутизатор. Вони автоматично ідентифікуються мережею, можуть групуватися, виводитись на центральну панель керування. У системах на базі Arduino кожен новий вузол – це окремий проект, з окремим програмуванням, з'єднаннями, адресацією, тестуванням. При збільшенні масштабів це критично ускладнює обслуговування. Крім того, спеціалізовані ПЗ – TuYa Smart або Smart Life, дозволяють в реальному часі переглядати стан усіх пристроїв, отримувати повідомлення, будувати графіки вологості, вносити

зміни у сценарії роботи. При цьому немає необхідності підключення до комп'ютера чи технічної підтримки.

Підтримка та оновлення. Пристрої масового виробництва мають підтримку від виробників: оновлення прошивок, технічну документацію, часту присутність на форумах спільнот. У випадку програмно-апаратних проблем користувач може звернутися до служби підтримки або знайти готове рішення в інтернеті. Arduino-рішення розробляються індивідуально, й відповідальність за стабільну роботу несе виключно розробник.

Отже хоча рішення на базі мікроконтролерів Arduino, STM або ESP32 залишаються актуальними для навчальних цілей, досліджень та експериментальних проектів, для практичного, надійного й довготривалого впровадження системи контролю вологості у житлових, офісних або промислових приміщеннях значно доцільніше використовувати сертифіковані пристрої з вбудованими датчиками та модулем зв'язку, які підтримують стандартні протоколи (Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth) та централізоване керування через Tuuya Smart, Home Assistant або подібні платформи. Це забезпечує не лише зручність, але й високу точність, безпеку, гнучкість масштабування та мінімальні витрати на обслуговування.

2.2 Вибір датчика відносної вологості повітря

Для побудови системи можливо використати датчики різних типів, проте у контексті концептуального рішення щодо побудови системи, це мають бути готові промислові рішення, що включають до свого складу наступні елементи та можливості:

- наявність вбудованого мережевого або автономного джерела живлення;
- наявність підтримки мережевих функцій (Wi-Fi, ZigBee або Bluetooth);
- сумісність з такими платформами як Tuuya Smart, Smart Life або Home

Assistant.

Також слід вказати, що датчик має бути недорогим та доступним для швидкої покупки. Остання вимога обумовлена тим, що у випадку виходу його з ладу має бути можливість його швидкої заміни для відновлення працездатності системи.

Розглянемо представлені на ринку датчики вологості, що відповідають вказаним вимогам.

Розумний датчик температури та вологості TH01. Це одне з найбільш масових та недорогих рішень на ринку України (рисунок 2.1). Цей датчик доступний на маркетплейсах України та Китаю за ціною від 100 до 300 гривень [15]. Слід також вказати, що датчик TH01 існує як у варіанті підтримки мережі Wi-Fi, так і ZigBee



Вибір одиниць вимірювання температури у додатку

Ви можете вибрати °C або °F як одиниця вимірювання температури через програму.

Голосове управління

Працює з Amazon Alexa, Google Assistant.

Сигналізація про низький заряд батареї

Ви можете контролювати рівень заряду батареї.

Зміни температури та вологості.

Крива зміни температури та вологості, історія зберігається.

Настінний, простий у встановленні

Характеристики датчик температури та вологості

Матеріал корпусу: АБС

Розмір датчика: 70*24*19 мм

Вага: 30 г

Живлення: ААА 2 штуки

Частота Wi-Fi: 2,4 ГГц IEEE 802.11 b/g/n

Діапазон вимірювання температури: -10°C ~ 60°C

Діапазон вимірювання вологості: 0% ~ 100% відносної вологості

Точність вимірювання температури: ±1°C

Точність виміру вологості: ± 5% відносної вологості

Рисунок 2.1 – Датчик температури та вологості TH01

Ще одним рішенням є датчик температури та вологості з дисплеєм TH-08 (рисунок 2.2). Датчик такого типу також існує у двох варіантах виконання (Wi-Fi, так і ZigBee), що впливає на його ціну (від 300 до 500 гривень) та варіанти використання [16]. На відміну від попереднього, цей датчик

дозволяє не тільки використовувати його у якості чутливого елемента для вимірювання вологості у системі, а й бачити поточне значення параметрів мікроклімату у приміщенні на екрані його дисплею.

Тип пристрою	Датчик температури і вологості
Розумний дім	Tuya
Протокол зв'язку	Wi-Fi 2,4 ГГц
Тип підключення	Бездротовий
Робота через хаб	Ні
Екосистема (додаток)	Google Home , Home Assistant , Tuya Smart , Smart Life
Голосове керування	Amazon Alexa, Google Assistant
Живлення	Батарея LR03-1,5 В/AAA*3 (не входить в комплект)
Матеріал	ABS
Розміщення	Всередині приміщення
Додатково	Підсвічування; Діапазон вимірювання температури: -9,9 °C-60 °C; Точність температури: ±1; Діапазон вимірювання вологості: 0% RH~99% RH; Точність вологості: ±5% RH
Сертифікація	CE
Розмір	56.2*56.2*23.3 мм
Комплектація	Датчик*1, інструкція*1



Рисунок 2.2 – Датчик температури та вологості TH-08

Ще одним варіантом датчика, що має вбудований екран, є розумний датчик температури та вологості Zigbee NIMOJO [17]. Зовнішній вигляд та основні параметри показано на рисунку 2.3


Ну і наостанок розглянемо датчик температури і вологості ZigBee TH Sensor (AirVision-Z-TH) від бренду Maxus (рисунок 2.4). Цей датчик не має екрану, але на відміну від більшості датчиків подібного роду, його можна придбати з офіційною гарантією на 12 або навіть 36 місяців, що є достатньо суттєвою перевагою [18].

Насправді датчиків, що можна використати при розробці системи можна навести до декількох десятків, при цьому окрім суто споживацьких характеристик (ціна, доступність, гарантія, тощо), вони будуть відрізнятись лише наступними параметрами:

- наявність або відсутність дисплею;
- джерело живлення (літієва батарея 3В, або 2 елементи типу АА);
- тип підтримуваної мережі (Wi-Fi, ZigBee або Bluetooth);
- підтримка лише Tuya, або ще Home Assistant та MQTT.



Рисунок 2.3 – Датчик температури та вологості НІМОЖО



Тип	датчик
Установка	в приміщенні
Виявлення	температури
Особливості	бездротове підключення
Дальність виявлення	70 м
Робоча температура	від -10 ° С до +50 ° С
Вхідна напруга	3 В
Захист	IP20
Габарити	37x11,6 мм

Рисунок 2.4 – Датчик температури і вологості Maxus ZigBee TH Sensor (AirVision-Z-TH)

Отже для реалізації системи буде обрано датчик Wi-Fi датчик TH01, як найбільш масовий та доступний на ринку. Це достатньо надійний пристрій, що масово використовується по всьому світу. У випадку виходу його з ладу, проблем з його швидкою заміною та інсталяцією до робочої системи керування вологістю не виникне.

2.3 Вибір виконавчого пристрою системи

Повертаючись до огляду, що було виконано у першому розділі поточного дослідження, слід більш конкретно визначитись з тими вимогами до параметрів мікроклімату і як саме вони будуть підтримуватись. Саме це дозволить обрати відповідні виконавчі пристрої системи.

Згідно з отриманим завданням метою розроблюваної системи є підтримка заданого значення вологості лише у сторону зменшення. Тобто збільшення значення відносної вологості у випадку занадто сухого повітря не передбачається. Отже у якості виконавчих пристроїв може бути використано або осушувач повітря, або припливно-витяжна вентиляція. Наявність зволожувача повітря у системі не передбачається.

Якщо говорити про припливно-витяжну вентиляцію, то визначення її параметрів обумовлюється проектними рішеннями домогосподарства і фактично ніяк не впливає на параметри розроблювальної системи. Справа у тому, що виконавчим елементом вентиляційної системи є звичайний електродвигун середньої потужності напругою 220 В (зазвичай максимум до 200 Вт), тобто з його електричним вмиканням впорається практично будь-який виконавчий елемент платформи Tuua, що призначений для роботи зі звичайною побутовою електромережею.

Щодо осушувача повітря, то необхідно розглянути можливі варіанти, та визначитись з їхньою електричною потужністю.

Почнемо огляд з найменш потужної та недорогої моделі Noveen DH450 [19]. Як видно з його технічних характеристик (рисунок 2.5), цей пристрій

дозволяє обслуговувати достатньо велике приміщення (30 м²), а споживана потужність складає лише 70 Вт. Нажаль параметри вологовидалення – 0,52 літри на добу дозволяють зробити висновок про доцільність його застосування лише у звичайних кімнатах, а не у ванних чи підвальних приміщеннях, де ефективність осушення має бути вищою.



Тип пристрою	осушувач
Тип зволожувача	немає
Потужність	70 Вт
Площа що обслуговується	30 м ²
Дисплей	є
Управління	сенсорне
Пульт ДУ	немає
Об'єм бака	1 л
Витрати води	0,52 л/добу (влаговидалення)
Рівень шуму	40 дБ
Габарити (ШхВхГ)	210x325x195 мм
Вага	2,9 кг

Рисунок 2.5 – Осушувач повітря Noveen DH450

Більш потужним але й значно більш дорогим осушувачем є модель TCL DEL10EB [20]. На відміну від попередньо розглянутої моделі, ця може за добу видалити з повітря до 6,1 літри на добу при 20 м² площі, що обслуговується (рисунок 2.6). Таким чином цю модель вже можна рекомендувати для екстреного осушення навіть підвального приміщення значної площі.

Ну і якщо торкатись питання осушення достатньо великої площі, або осушення повітря після виконання будівельних робіт, при виконанні яких використовується достатньо багато води (наприклад штукатурка стін), то потрібно розглянути потужну модель осушувача повітря, наприклад NEO Tools 90-160 [21]. Дана модель осушувача (рисунок 2.7) забезпечує злив 50 літрів води на добу (при температурі 30 С° та відносній вологості 80%)



Тип пристрою	осушувач
Тип зволожувача	немає
Потужність	270 Вт
Площа що обслуговується	20 м²
Дисплей	є
Управління	електронне
Пульт ДУ	немає
Особливості	автовідключення, таймер
Тип таймера	на включення, на відключення
Час таймера	24 ч
Фільтрація	легко очищається фільтр
Об'єм бака	1,5 л
Витрати води	6,1 л/добу
Час роботи (макс.)	24 ч
Рівень шуму	37 дБ
Габарити (ШхВхГ)	280x386x195 мм
Вага	9,7 кг

Рисунок 2.6 – Осушувач повітря TCL DEL10EB



Тип пристрою	осушувач
Тип зволожувача	немає
Потужність	900 Вт
Площа що обслуговується	180 м²
Дисплей	є
Управління	електронне
Пульт ДУ	немає
Особливості	таймер
Тип таймера	на відключення
Час таймера	до 24 год
Фільтрація	сітчастий фільтр, що миється
Об'єм бака	7 л
Рівень шуму	56 дБ
Габарити (ШхВхГ)	450x655x480 мм
Вага	30 кг

Рисунок 2.7 – Осушувач повітря NEO Tools 90-160

Отже якщо підсумувати вищевказане, можна зробити наступний висновок: у випадку незначного перевищення значення відносної вологості повітря відносно норми, найдоцільніше використовувати припливно-витяжну вентиляцію, якщо перевищення значне, то краще використати осушувач середньої потужності, наприклад TCL DEL10EB, і лише у випадку екстремального відхилення керованого параметра від норми, можна застосувати напівпромисловий прилад на кшталт NEO Tools 90-160.

2.4 Визначення типу інтелектуального ядра системи

Раніше було надано обґрунтування недоцільності використання універсальних мікроконтролерів типу Arduino, STM, тощо, отже необхідно обрати інтелектуальний пристрій з підтримкою платформи TuYa. При цьому можливі два підходи:

- реалізація на базі багатоканального контролера для реалізації усіх функцій керування пристроями на базі єдиного приладу;
- реалізація розосередженої системи, де керування кожним окремим виконавчим елементом виконується окремим одноканальним пристроєм.

У сучасних умовах автоматизації інженерних систем приміщень, зокрема вентиляції, зволоження, осушення, моніторингу вологості, виникає необхідність не лише в надійному, але й гнучкому управлінні виконавчими пристроями. Одним із важливих архітектурних рішень, що визначає ефективність і стійкість автоматизованої системи, є вибір між централізованим багатоканальним контролером і розосередженою системою з окремими одноканальними керуючими модулями. Обидві підходи мають свої позитивні моменти та недоліки. Спробуємо визначити який з цих підходів є кращим.

На перший погляд, централізована система з єдиним багатоканальним контролером здається більш логічною: вона передбачає менше фізичних пристроїв, компактніше обладнання, зручність у налаштуванні програмного

забезпечення. Проте в реальній експлуатації така структура часто виявляється менш стійкою, менш масштабованою та дорожчою в обслуговуванні, особливо в умовах змінних або розгалужених інфраструктурних середовищ.

Відсутність єдиної точки відмови. У централізованій системі з багатоканальним контролером увесь контроль здійснюється з єдиного пристрою. Це означає, що у випадку відмови контролера, через збої у живленні, помилку прошивки, пошкодження плати, виходить з ладу вся система повністю. Відповідно, усі виконавчі пристрої стають некерованими.

Натомість у розосередженій архітектурі з окремими одноканальними пристроями (наприклад, розумні реле, Wi-Fi або ZigBee модулі для кожного елемента – вентилятора, клапана, зволожувача тощо) кожен компонент працює незалежно. Вихід з ладу одного з них не впливає на роботу інших складових, що забезпечує значно вищу відмовостійкість системи загалом.

Масштабованість і гнучкість розширення. Централізовані багатоканальні контролери мають фіксовану кількість каналів, наприклад 4, 8 або 16. Якщо потрібно додати новий виконавчий елемент, часто доводиться міняти весь контролер або докуповувати новий. Це ускладнює розширення системи, особливо у випадках, коли об'єкт постійно доповнюється новим обладнанням (наприклад, при модернізації вентиляції або підключенні нових зон у приміщенні).

У розосередженій архітектурі достатньо додати один новий модуль, який автоматично підключається до мережі та інтегрується у систему керування через програмне забезпечення (Tuya Smart або Home Assistant). Такий підхід істотно знижує витрати на апаратне оновлення та дозволяє еволюційно розвивати інфраструктуру без перепроектування системи.

Простота обслуговування і заміни. У разі виходу з ладу одного з одноканальних пристроїв його легко замінити без зупинки всієї системи. Заміна багатоканального контролера, навпаки, часто вимагає відключення всієї системи, перепідключення великої кількості проводів, повторного

налаштування усіх каналів і їхніх параметрів.

Крім того, в централізованих системах часто виникає складність з локалізацією несправностей – необхідно тестувати весь контролер і всі канали. У розосередженій архітектурі кожен вузол має окрему діагностику, і його помилки легко ідентифікуються на рівні окремого пристрою або мобільного застосунку.

Оптимальне розташування обладнання. Багатоканальні контролери вимагають централізованого розміщення, часто в окремій шафі або технічному приміщенні. Від нього до кожного виконавчого елемента потрібно прокладати кабелі, що збільшує довжину з'єднань, підвищує витрати та ускладнює інсталяцію.

Одноканальні бездротові пристрої (на базі ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth) монтуються безпосередньо поруч із виконавчим елементом (наприклад, на розетці зволожувача або в корпусі вентилятора), зменшуючи кабельні траси й покращуючи енергоефективність. Це особливо важливо в будівлях із готовим інтер'єром або в історичних спорудах, де монтаж нових кабелів є недоцільним або неможливим.

Незалежне керування, сценарії та логіка. Кожен розосереджений пристрій може мати власну логіку роботи або сценарії. Наприклад, вмикатися лише при наявності людей у кімнаті, певному рівні вологості, часу доби або погоді. У централізованій системі всі логічні правила реалізуються на одному контролері, що обмежує можливість адаптації до змін у приміщенні та збільшує складність прошивки.

Додатково, розосереджені системи легко інтегруються у хмарні сервіси автоматизації, які дозволяють створювати складні зв'язки між пристроями різних компаній виробників без перепрошивки основного контролера.

Отже хоча централізовані системи з багатоканальними контролерами мають певні переваги в початковій інсталяції на об'єктах з фіксованою структурою (наприклад, автоматика будинку), для побутових, офісних або модульних систем контролю клімату більш доцільною є розосереджена

архітектура на основі окремих одноканальних пристроїв. Такий підхід забезпечує гнучкість, масштабованість, стійкість до відмов, зручність у технічному обслуговуванні та кращу інтеграцію з сучасними хмарними та мобільними платформами.

Розглянемо ці два підходи на більш конкретних прикладах.

Перший варіант: централізована система з багатоканальним контролером. Типова конфігурація: TuYa-сумісний 4-канальний (relay) контролер (наприклад, TYWB-4 [22], рисунок 2.8) встановлюється у шафі автоматики. До нього підключаються всі виконавчі пристрої (двигуни вентиляторів, осушувач, вентиляційний клапан, тощо). Будь-яке додавання нових каналів потребує розширення панелі або установки ще одного подібного контролера.



Рисунок 2.8 – Чотирьохканальний контролер TYWB-4

Переваги:

- компактність: один пристрій замість кількох модулів;
- єдине місце для прошивки, кабельної розводки і живлення;
- простота первісного налаштування досить додати до TuYa Smart.

Недоліки:

- єдина точка відмови. Якщо «мозок» системи виходить з ладу – вся

система перестає функціонувати;

- обмежена кількість каналів: додати більше не завжди можливо без нового обладнання;
- проблемність обслуговування складної системи, трудомістка діагностика.

Другий варіант: розосереджена система на одноканальних реле. Для кожного виконавчого елемента (осушувач, клапан, вентилятор, тощо) використовується окреме 1-канальне реле, наприклад YOSO Smart W-Relay-01 [23] або одноканальне Wi-Fi реле Moes [24] (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – Приклади одноканальних контролерів з підтримкою TuYa

Переваги такого підходу до побудови системи:

- гнучкість: будь-який канал можна додати/змінити без впливу на інші;
- відмовостійкість: вихід будь-якого модуля не зупиняє роботу систему цілком;
- локальне розміщення поруч з приладом: менше проводів та витрат на монтаж;
- кожен модуль може налаштовуватися незалежно від іншого через TuYa Smart.

Недоліки:

- необхідно більше пристроїв, тобто більше монтажу та управління мережею;

- необхідність слідкувати за кількістю Wi-Fi пристроїв, можливо знадобиться Bluetooth або ZigBee хаб.

В результаті проведеного аналізу було обрано другий варіант побудови системи: на окремих одноканальних контролерах.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ

3.1 Розробка структури системи контролю

У відповідності до мети роботи і технічного завдання пропонується реалізація системи контролю, що складається з наступного набору її елементів:

- датчики температури та вологості ТН01 для контролю вологості у підвальному приміщенні, ванній кімнаті та зовнішньому середовищі. Останній вказаний датчик має бути встановлений на вулиці таким чином, щоб на нього не попадало сонце та дощ, але при цьому він мав можливість вимірювати поточну відносну вологість зовнішнього повітря;

- датчик температури та вологості ТН-08. Оскільки у якості контрольного параметра має вимірюватись вологість у звичайному приміщенні (коридор, кімната або кухня), то пропонується використання приладу з вбудованим екраном, тобто він може виконувати функції побутової метеостанції;

- одноканальне Wi-Fi реле Moes для вмикання вентиляційних приладів або осушувачів повітря, у залежності від конкретної реалізації системи.

Загальна структура у максимально можливому варіанті показано на рисунку 3.1. Зазначимо, що на рисунку вказані усі можливі пристрої, але насправді в одному приміщенні може бути застосовано не більше одного виконавчого елемента (або двигун вентилятора, або осушувач повітря), саме тому на схемі під'єднання осушувача показано штриховою лінією. Справа у тому, що реалізація складних сценаріїв у Tuua навіть з використанням IFTTT, ге для складних багатоелементних систем є практично неможливою. Можна використати альтернативні рішення, наприклад Google Sheets + Google Apps Script або Home Assistant (чи Node-RED), але це значно ускладнить систему, що є неприпустимим.



Рисунок 3.1 – Узагальнена структура системи контролю вологості

У процесі проєктування системи контролю вологості в приміщенні критичним є вибір оптимального способу комунікації між пристроями: сенсорами, виконавчими модулями (реле, розетки) та центральною платформою керування. Серед найпоширеніших бездротових технологій у розумному будинку – Wi-Fi, Bluetooth та ZigBee, у більшості прикладних сценаріїв саме Wi-Fi демонструє найкраще співвідношення між функціональністю, стабільністю та доступністю, що й обґрунтовує його перевагу для реалізації поточного проєкту.

Перш за все, Wi-Fi має найвищу пропускну здатність серед згаданих технологій. Хоча система контролю вологості не потребує великого обсягу переданих даних, висока швидкість з'єднання дозволяє зменшити затримки при надсиланні сигналів та оновленнях, а також забезпечує надійний канал зв'язку для розширених функцій, наприклад, отримання історії показників чи віддаленого доступу через хмарні сервіси.

Другою важливою перевагою є відсутність потреби у додатковому шлюзі. Пристрої, що працюють на Wi-Fi, безпосередньо підключаються до наявної домашньої мережі та взаємодіють із хмарним сервісом (наприклад, Tuya Smart). Натомість для ZigBee або Bluetooth потрібен окремий шлюз або

хаб, що ускладнює структуру системи та підвищує її вартість. Зниження кількості компонентів системи без втрати функціональності є важливим чинником для побутових систем автоматизації.

Також слід врахувати широку доступність і підтримку Wi-Fi-пристроїв на ринку. На ринку можна знайти великий вибір сенсорів, розеток, реле, реле-контролерів та камер з підтримкою Wi-Fi і TuYa, що дозволяє легко масштабувати систему або замінювати компоненти без потреби у глибокій технічній інтеграції. Bluetooth і ZigBee-пристрої зазвичай мають менший асортимент і потребують сумісності з вузьким набором хабів.

Окрім цього, Wi-Fi забезпечує стабільне покриття в межах звичайної оселі завдяки потужним роутерам та ретрансляторам, які вже наявні в більшості будинків. У той час як Bluetooth має малий радіус дії (до 10 метрів без перешкод), що ускладнює встановлення пристроїв у різних кімнатах, ZigBee хоча й має кращу дальність, але потребує побудови сітки з проміжних вузлів для надійної роботи, що вимагає технічного налаштування.

Ще одним важливим фактором є енергоспоживання. ZigBee та Bluetooth мають перевагу у низькому енергоспоживанні, що є вирішальним у випадках використання батарейок. Проте для системи контролю вологості, де більшість пристроїв живиться від мережі або через постійне джерело живлення (USB або 220V), ця перевага втрачає значущість. У цьому контексті Wi-Fi-пристрої можуть працювати без обмежень у часі навіть за умови підключення до живлення постійно.

Таким чином, з урахуванням простоти інтеграції, масової доступності обладнання, відсутності потреби в додатковому шлюзі, а також надійності та стабільності зв'язку, використання Wi-Fi як базового протоколу в системі контролю вологості є найбільш доцільним вибором для побутових і напівпромислових умов. Саме ця технологія зв'язку дає змогу створити функціональну, економічно обґрунтовану та зручну в управлінні систему без зайвих складнощів і витрат на додаткове обладнання.

3.2 Реалізація сценаріїв на платформі Tuuya

Нажаль платформа Tuuya Smart / Smart Life дозволяє створювати автоматизації тільки на основі фіксованих значень одного сенсора, але не дозволяє безпосередньо порівнювати значення двох сенсорів між собою. Щоб обійти це обмеження, буде використано штучно встановлені пороги, які імітують різницю у вологості між двома зонами.

Оцінка реалізації системи контролю вологості на базі платформи Tuuya Smart із використанням методу псевдо-порівняння значень вологості має свої переваги та недоліки. Така система ґрунтується на фіксованих порогових значеннях вологості, що дає змогу імітувати поведінку адаптивного контролера, здатного реагувати на локальні зміни мікроклімату.

Однією з основних переваг такого рішення є інженерна простота. Реалізація системи не потребує поглиблених знань у програмуванні чи використанні додаткових апаратних або програмних засобів. Всі етапи конфігурації виконуються безпосередньо в мобільному застосунку Tuuya Smart або Smart Life, що суттєво знижує вхідний бар'єр для користувача.

Другою істотною перевагою є хмарна архітектура системи, яка забезпечує стабільну роботу автоматизації без необхідності розгортання локального сервера або шлюзу (наприклад, на базі Home Assistant чи Node-RED). Всі обчислення й прийняття рішень здійснюються на стороні серверів Tuuya, що гарантує універсальність та віддалений доступ.

Також позитивом є адаптивність логіки на основі порівняння з умовно постійним фоном. Завдяки залученню двох сенсорів вологості в різних приміщеннях (наприклад, ванна кімната та коридор), система здатна реагувати лише на локальні відхилення, ігноруючи загальне підвищення вологості в оселі, зумовлене, наприклад, погодними умовами або порою року.

Попри переваги, зазначене рішення має низку недоліків. Насамперед, слід виокремити обмежену гнучкість логіки порівняння. Оскільки платформа

Туа не дозволяє здійснювати пряме порівняння значень з різних сенсорів у рамках однієї умови (типу « $A > B$ »), користувач змушений використовувати наперед задані порогові значення, які є статичними. Це знижує адаптивність системи до динамічних змін середовища.

Крім того, відсутність підтримки математичних операцій або умов з дельтами (наприклад, «різниця більше 5%») унеможливорює створення більш точних та чутливих алгоритмів реагування. Це робить систему потенційно вразливою до хибних спрацювань у випадку межових значень, де варіації вологості можуть бути не суттєвими. Ще одним недоліком можна вважати неможливість централізованої обробки даних та гнучкого налаштування сценаріїв з історичними даними або логічними оператором «інакше» (ELSE). Це обмежує потенціал системи в умовах змінного графіка роботи, наявності декількох користувачів або різних режимів експлуатації.

На рівні архітектури, система обмежена функціоналом автоматизації платформи Туа, яка реалізована у вигляді базового конструктора «умова-дія» (IF-THEN). Це означає, що одночасне використання декількох складних умов (наприклад, логічне «АБО», вкладені умови, порівняння трьох змінних тощо) є неможливим без залучення зовнішніх платформ.

Також одним з недоліків є відсутність локального резервування сценаріїв. У разі втрати з'єднання з хмарними серверами Туа (наприклад, через проблеми з інтернетом або інші обмеження), автоматизації можуть не виконуватись, що критично для систем, де контроль вологості має пряму залежність від безперебійного функціонування.

Розглянемо принцип дії методу псевдо-порівняння для нашого конкретного випадку.

Мета – вмикати вентилятор, коли:

- у ванній кімнаті вологість підвищується вище заданої норми;
- при цьому в коридорі вологість не перевищує значення «фонового» рівня.

Вентилятор вимикається, якщо:

- рівень вологості в приміщенні вирівнюється;
- або зростає в усьому домі (наприклад, дощовий день), і вентилявати вже не потрібно.

Якщо у ванній вологість зросла, а в коридорі ще нижча – це сигнал, що вологість локальна і потрібно вмикати вентиляцію. У лістингу 3.1 і 3.2 показано реалізацію обох сценаріїв.

Лістинг 3.1 – Сценарій 1 (увімкнення вентиляції)

Умови (IF) :

Humidity Sensor A (ванна) > 75%

Humidity Sensor B (коридор) < 70%

Дія (THEN) :

Увімкнути розетку TuYa (вентилятор)

Лістинг 3.2 – Сценарій 2 (вимкнення вентиляції)

Умови (IF) :

Humidity Sensor A < 70%

Дія (THEN) :

Вимкнути розетку TuYa (вентилятор)

Альтернативно:

Вимкнути вентилятор, якщо:

Sensor B > 72% – тобто вологість у домі підвищилась у цілому.

Отже використання методу псевдо-порівняння вологості на основі фіксованих порогів у межах екосистеми TuYa є оптимальним компромісом між простотою впровадження та функціональною обмеженістю логіки. Він ідеально підходить для побутових умов із типовими сценаріями (наприклад, ванна/коридор), але для складніших ситуацій або комерційного застосування

може знадобитися використання більш гнучких систем автоматизації на базі відкритих платформ.

На рисунках 3.2 і 3.3. наведено скриншоти додатку Tuuya Smart, що реалізують обидва сценарії вмикання вентиляції у ванній кімнаті приватного будинку.

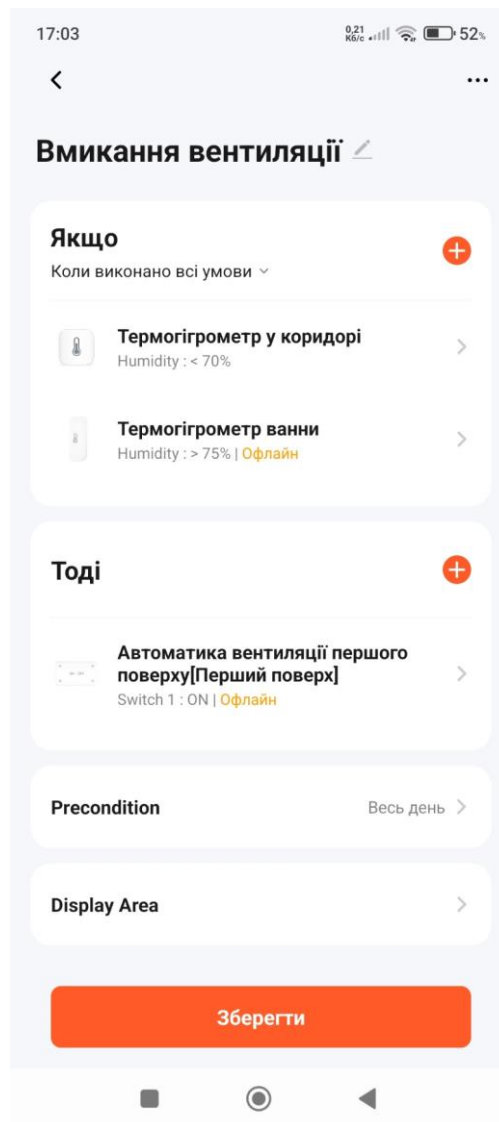


Рисунок 3.2 – Реалізація сценарію увімкнення вентиляції

Таким чином розроблена система контролю вологості на базі платформи Tuuya Smart забезпечує просте, доступне та ефективне рішення для підтримання оптимального мікроклімату в приміщеннях. Завдяки використанню Wi-Fi-пристроїв та сценаріїв з умовними порогами, система

дозволяє реагувати на локальні зміни вологості, вмикаючи вентиляцію лише за потреби, без складного програмування чи додаткового обладнання. Такий підхід забезпечує енергозбереження, мінімальну залежність від сторонніх компонентів і зручність для кінцевого користувача.

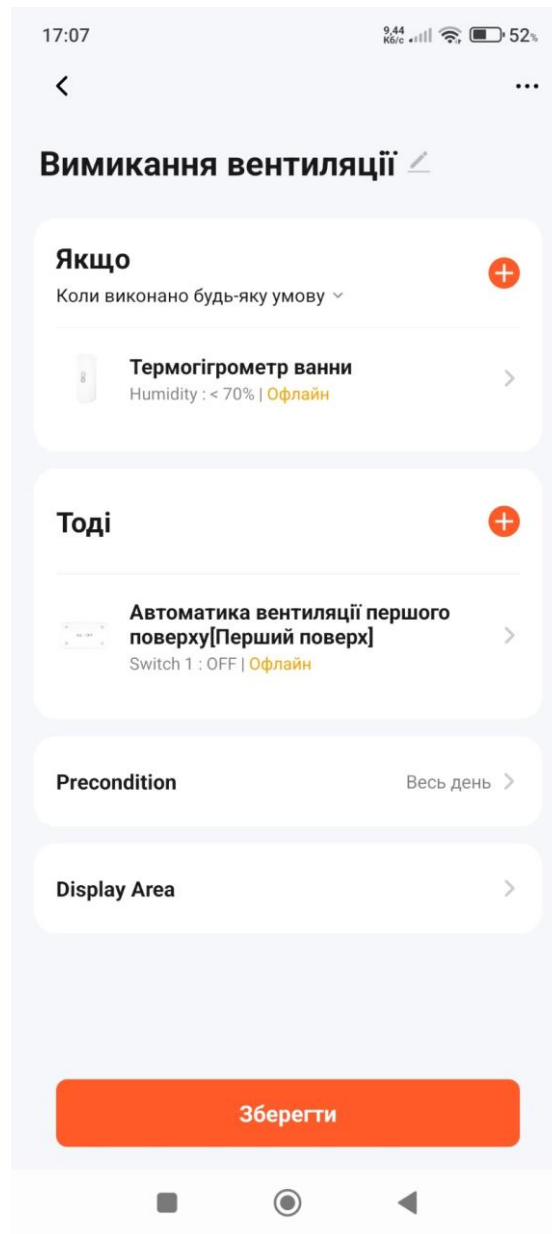


Рисунок 3.3 – Реалізація сценарію вимкнення вентиляції

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було проведено аналіз предметної області, а саме розглянуті відомі типи систем контролю вологості у приміщенні. Доведено актуальність реалізації підтримки комфортного рівня вологості повітря у побутових приміщеннях.

Проведено огляд та вибір технічних засобів реалізації системи контролю вологості: розроблено концепцію побудови, виконано огляд та вибір датчиків і виконавчих пристроїв, визначено тип інтелектуального ядра.

Виконано розробку системи контролю: запропоновано загальну структуру та реалізовано сценарії на платформі Туа. Розроблена система характеризується невеликою вартістю, хорошою повторюваністю, та простотою налаштування й експлуатації невідготовленим персоналом.

Таким чином основні завдання кваліфікаційної роботи виконано у повному обсязі.

За результатами досліджень кваліфікаційної роботи опубліковано тези доповіді на п'ятнадцятій міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» 24-25 квітня 2025 року [25].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Левченко Ю. М., Голубев Л. П., Пилипенко Ю. М., та ін. Розробка системи контролю та моніторингу вологості і температури приміщення. Технології та дизайн № 4 (25) 2017 р. С.1–9. ISSN 2304-2605
2. Норми вологості повітря в приміщеннях різного призначення. URL:https://pobut.lviv.ua/articles/normi-vologost?srsltid=AfmBOopNXIT0hQCJBfVa_BoM13cutLO8L7Aph1n5ch0IjB-8sIxUbzMM (дата звернення: 21.05.2025)
3. Поглиначі вологи. URL:<https://ua.absorbwell.com/home-use-moisture-absorber/page-7/> (дата звернення: 21.05.2025)
4. Зволожувачі повітря з датчиком вологості. URL:<https://vencon.ua/ua/catalog/uvlazhniteli-vozduha/datchiki-raboty-datchik-vlazhnosti> (дата звернення: 20.05.2025)
5. Осушувачі повітря: професійне осушення URL:https://osushuvachi.com.ua/?gad_source=1&gad_campaignid=17123789244&gclid=Cj0KCQjwucDBBhDxARIsANqFdr1VZi74_cubqCLDWfONrUaFa_qbQLT2OwvZ92NYbxuifOxyP3QntlEaAmzyEALw_wcB (дата звернення: 20.05.2025)
6. Система контролю вологості повітря URL:https://sanpid.in.ua/ua/p1775963632-sistema-kontrolya-vlazhnosti.html?srsltid=AfmBOorgqSft3dqaBCQXL2Ug_9GDhqNcPCxPRgmA6jz8yHnjZ85ZB5Bg (дата звернення: 22.05.2025)
7. Комплект «Здоровий мікроклімат» (контролер, датчик температури та вологості, розетка) URL: <https://maxus.com.ua/komplekt-zdorovij-mikroklimat-kontroler-datchik-temperaturi-ta-vologosti-rozetka.html?srsltid=AfmBOop5-BwmxB0qM-CK2gfgddA5Z6eOzKEOfV3rA6V56SidVZMvCqUV> (дата звернення: 22.05.2025)
8. Контролер вологості і температури «RUBEZH» РКВТ-2/16 URL:

https://poliv-service.kiev.ua/ua/p1951352527-kontroller-vlazhnosti-temperature.html?source=merchant_center&gad_source=1&gad_campaignid=20338474251&gclid=Cj0KCQjwucDBBhDxARIsANqFdr0n4NtJkZ99D1fo-DLTY2x1LfdGVRpE3eAlqRRMQRbNmhlRnQX5JiEaAi8WEALw_wcB (дата звернення: 22.05.2025)

9. Трансмітери температури, відносної вологості та швидкості повітря серій HD29...х... URL: https://environmental.senseca.com/wp-content/uploads/document/DeltaOHM_HD2903_datasheet_ENG.pdf (дата звернення: 22.05.2025)

10. Застосування промислових осушувачів повітря URL: <https://osushiteli.ua/uk/promislov/zastosuvannya-promislovikh-osushuvach-v-pov-trya?srsltid=AfmBOooV4bEo2c6CtL1MSIBosXdzT4fYPLeULZwMwy676k8LLvUfTXk8> (дата звернення: 21.05.2025)

11. Датчик вологості – види і принцип роботи URL: <https://uk.fmuser.net/content/?14777.html> (дата звернення: 21.05.2025)

12. Ємнісний датчик вологості URL: https://arduino.ua/prod2755-emkostnii-datchik-vlajnosti-pochvi?srsltid=AfmBOoqqALhY5EiLY_8n14-350dpO1-TgGShCYj4x9C-5hgZlcFFG82F (дата звернення: 21.05.2025)

13. Резистивний датчик вологості HR31 URL: https://arduino.ua/prod273-Rezistivnii_datchik_vlajnosti_HR31?srsltid=AfmBOopsAUq1yz3e9yBsjKOnpCXmufLm_PFuV8xhLTo5I_OAH92Xmgs4 (дата звернення: 21.05.2025)

14. Датчики вологості і температури (психрометр) ДВТ-013 URL: <https://regmik.ua/uk/product/datchiki-vlazhnosti-i-temperatureyi-psihrometr-modifikatsiya-013/> (дата звернення: 22.05.2025)

15. Датчик температури та вологості TH01 для Tuuya, Smart Life, термометр гігрометр. URL: https://rozetka.com.ua/ua/485168049/p485168049/?gad_source=1&gad_campaignid=20077527273&gclid=CjwKCAjw9anCBhAWEiwAqBJ-cy5ZqQ_mzVHh-FycdyxTo-itQ6Y9JoWmq_uzaxLJFrVUs0X5Ap4jIxoCq0YQAvD_BwE (дата звернення: 22.05.2025)

16. Датчик температури та вологості WiFi з дисплеєм Tuuya (TH-08)
 URL: <https://futurio.com.ua/datchyk-temperature-tya-volohosti-wifi-z-dyspleiem-tuuya-th-08/?srsltid=AfmBOoqLRcdfMlc77ShJ0Cdn65IDRE9gAlp-PgMebjMEs1ufVmWbvTKj> (дата звернення: 22.05.2025)

17. ZigBee Розумний датчик температури та вологості Zigbee HIMOJO (з дисплеєм, білий) - Tuuya Smart Life URL: https://teplota.ua/shop/rozumniy-datchik-temperature-tya-volohost-zigbee-himojo-z-dsplem-bliy-tuuya-smart-lifep.html?srsltid=AfmBOorAezfVVv_r3WsU9FZxWhqlCY8ai-gS-M7ByWl9ZJwN8qZFsXdA (дата звернення: 22.05.2025)

18. Датчик температури і вологості Maxus ZigBee TH Sensor (AirVision-Z-TH) URL:
https://elmir.ua/ua/sensors_for_alarm_systems/temperature_and_humidity_sensor_maxus_zigbee_th_sensor_airvision-z-th.html?gclid=CjwKCAjw9anCBhAWEiwAqBJ-cyhorYAWV0ypzksMh3-kHcDEZBS4cGZavTsQ6fFhduObWbpTJxYtlBoCzzYQAvD_BwE#specs (дата звернення: 22.05.2025)

19.осушувач повітря Noveen DH450 URL:
https://elmir.ua/ua/humidifiers_air_purifiers_drying/air_dryer_noveen_dh450.html
 (дата звернення: 23.05.2025)

20.осушувач повітря TCL DEL10EB URL:
https://elmir.ua/ua/humidifiers_air_purifiers_drying/air_dryer_tcl_del10eb.html
 (дата звернення: 23.05.2025)

21.осушувач повітря NEO Tools 90-160 URL:
https://elmir.ua/ua/humidifiers_air_purifiers_drying/air_dryer_neo_tools_90-160.html (дата звернення: 23.05.2025)

22. 4 канальне Wi-Fi реле 220В Tuuya Smart Life TYWB-4 сухий контакт URL:
https://smarty.kiev.ua/ua/p1998342773-kanalnoe-rele-220v.html?srsltid=AfmBOooScbXrmLDwbYBXs1FVO_w6luHVS68Szty7ifl-9owWnfM5DMU2 (дата звернення: 24.05.2025)

23. Бездротове Wi-Fi реле YOSO Smart W- Relay-01, 230 В., 16А, 3500 Вт, Tuuya, 1 Ch Smart Switch URL: https://master-a.com.ua/ua/besprovodnoe-wi-fi-rele-yoso-smart-w-relay-01-230-v16a-3500-vt-tuuya-smartw-relay-01?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 24.05.2025)

24. Одноканальне WiFi реле Moes (Tuuya smart) URL: https://wisehome.ua/ua/odnokanal-ne-wifi-rele-moes-tuuya-smart.html?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 24.05.2025)

25. Камишан О. Є., Бовчалюк С. Я. Інтелектуальна система контролю вологості у приміщенні // СУЧАСНІ НАПРЯМИ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ. Тези доповідей п'ятнадцятої міжнародної науково-технічної конференції 24 – 25 квітня 2025 року. Том 2: Секція 2. 2025. С. 16. DOI: <https://doi.org/10.32620/ICT.25.t2>.