

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет робототехніки та приладобудування
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

« ____ » _____ 2026 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та
технології в приладобудуванні»**

спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Пристрій автоматизованого зволоження повітря»

Виконав:

студент IV курсу, групи ПМ-21

Павленко Дмитро Сергійович

Керівник:

доцент, к.т.н.

Богдан Галина Анатоліївна

Рецензент:

доцент, к.т.н.

Маркін Максим Олександрович

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2026 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	ДП ПМ21.10.1760.000 ПЗ	Пояснювальна записка	73	
2	A4	ДП ПМ21.10.1760.001 ТЗ	Технічне завдання	4	
3	A2	ДП ПМ21.10.1760.002 СхЕ	Схема електрична принципова	1	
4	A4	ДП ПМ21.10.1760.002 ПЕ	Перелік елементів друкованої плати	2	
5	A4	ДП ПМ21.10.1760.003 СП	Специфікація	2	
6	A1	ДП ПМ21.10.1760.004 СК	Складальний кресленик	1	
7	A1	ДП ПМ21.10.1760.005	Алгоритм роботи	1	

				ДП ПМ21.10.1760.000		
	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробник	Павленко Д.С.			Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Керівник	Богдан Г.А.				1	1
Консульт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПМ-21	
Н/контр.						
Зав. каф.	Киричук Ю.В.					

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Пристрій автоматизованого зволоження повітря»**

Київ – 2026 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет робототехніки та приладобудування
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Павленко Дмитро Сергійович

1. Тема роботи «Пристрій автоматизованого зволоження повітря», керівник роботи Богдан Галина Анатоліївна, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «26» травня 2026 р. №1905-с.

2. Термін подання студентом проєкту

3. Вихідні дані до проєкту: розробка пристрою автоматизованого зволоження повітря

4. Зміст пояснювальної записки

Вступ

1. Аналітичний огляд

2. Проєктування схемотехніки та конструкції пристрою

3. Розробка системи керування та алгоритму роботи

Загальні висновки

Перелік літератури

5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо) 2 кресленика, 3 плакати

1 – Схема електрична принципова

2 – Складальний кресленик

3 – Алгоритм роботи

4 – Структурна схема

5 - Розкладена модель

6. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Формулювання завдання проєкту	12.02.2026	
2	Проведення аналітичного огляду	18.05.2026	
3	Проектування схемотехніки та конструкції пристрою	21.05.2026	
4	Розробка системи керування та алгоритму роботи	28.05.2026	
5	Розробка креслеників	01.06.2026	

Студент

Дмитро ПАВЛЕНКО

Керівник

Галина БОГДАН

Анотація

У дипломному проєкті розглянуто розробку пристрою автоматизованого зволоження повітря, призначеного для підтримання оптимального рівня відносної вологості в житлових приміщеннях. Запропоновано конструкцію зволожувача з автономним живленням від літій-іонного акумулятора, що забезпечує його функціонування в умовах нестабільного енергопостачання. Обґрунтовано вибір елементної бази, зокрема мікроконтролера серії STM32F407VGT6, датчика вологості DHT22, а також допоміжних електронних компонентів. Як виконавчий елемент використано ультразвуковий п'єзоелектричний диск із резонансною частотою 1,7 МГц. Реалізовано алгоритм бінарного керування з урахуванням гістерезису, що підвищує стабільність роботи системи. Розроблено конструкцію корпусу, друковану плату та інтерфейс користувача. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованого рішення для забезпечення комфортного мікроклімату.

Ключові слова: вологість, зволожувач, автоматизація, автономне живлення.

Annotation

This thesis project examines the development of an automated air humidifier designed to maintain optimal relative humidity levels in residential spaces. A humidifier design is proposed that is powered by a lithium-ion battery, ensuring its operation even under unstable power supply conditions. The selection of components is justified, specifically the STM32F407VGT6 series microcontroller, the DHT22 humidity sensor, and auxiliary electronic components. An ultrasonic piezoelectric disc with a resonant frequency of 1.7 MHz is used as the actuator. A binary control algorithm has been implemented, taking into account hysteresis, which increases the system's operational stability. The enclosure design, printed circuit board, and user interface have been developed. The results obtained confirm the effectiveness of the proposed solution for ensuring a comfortable microclimate.

Keywords: humidity, humidifier, automation, battery-powered.

ЗМІСТ

ВСТУП	10
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	11
1.1 Загальна характеристика проблеми підтримання вологості повітря	11
1.1.1 Значення параметрів мікроклімату в житлових і виробничих приміщеннях	13
1.1.2 Вплив рівня вологості на комфорт, здоров'я людини та збереження матеріалів	14
1.1.3 Нормативні показники відносної вологості та температури.....	15
1.2 Аналіз сучасних методів зволоження повітря	19
1.2.1 Класифікація зволожувачів повітря.....	19
1.2.2 Порівняльна характеристика методів за енергоефективністю, рівнем шуму, безпекою, вартістю.....	20
1.2.3 Особливості промислових та побутових систем зволоження.....	21
1.3 Аналіз конструктивних і технічних рішень існуючих зволожувачів.....	22
1.3.1 Основні вузли та елементи	22
1.3.2 Матеріали, що застосовуються у виробництві	24
1.3.3 Огляд технічних параметрів моделей провідних виробників	24
1.3.4 Аналіз недоліків існуючих конструкцій та тенденцій розвитку.....	25
1.4 Аналіз систем керування та автоматизації процесу зволоження.....	26
1.4.1 Датчики контролю вологості та температури.....	26
1.4.2 Алгоритми регулювання рівня вологості.....	29
1.4.3 Використання мікроконтролерів, модулів IoT та мобільного керування	31
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	33
2 ПРОЄКТУВАННЯ СХЕМОТЕХНІКИ та КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ.....	34
2.1 Проєктування схемотехніки пристрою	34
2.1.1 Підбір компонентів.....	34
2.1.2 Розробка принципової електричної схеми	36
2.1.3 Розробка друкованої плати пристрою	44
2.2 Проєктування конструкції пристрою.....	53
2.2.1 Розробка структурної схеми пристрою	54
2.2.2 Розробка специфікації пристрою	55
2.2.3 Розробка складального кресленика пристрою.....	57
2.3 Виготовлення пристрою.....	58
2.3.1 Виготовлення друкованої плати.....	59
2.3.2 Виготовлення розроблених деталей	59
2.3.3 Збірка пристрою	60
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	61
3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ.....	63
3.1 Розробка структурної схеми системи керування.....	63
3.2 Розробка алгоритму роботи	65

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	68
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	69
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ	71
ДОДАТОК А.....	72
ДОДАТОК Б	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК В.....	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК Г	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК Ґ.....	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК Д.....	Ошибка! Закладка не определена.

ВСТУП

В даному дипломному проєкті розглядається розробка пристрою автоматизованого зволоження повітря із використанням датчиків вологості та температури, дисплею, та можливості автономної роботи за допомогою акумулятора. Цей проєкт є актуальним, оскільки вологість повітря коливається протягом доби та дуже чутлива до таких факторів як повітрообмін, система опалення. Оптимальні значення відносної вологості повітря регламентуються національними стандартами, тому що занижені значення відносної вологості повітря негативно впливає на здоров'я людини, призводить до подразнення слизових ділянок та трісканню шкіри. Акумуляторне живлення пристрою робить цей проєкт унікальним в порівнянні з комерційними аналогами, а також додає актуальності в умовах нестабільного енергопостачання.

У межах цього проєкту було проведено аналітичний огляд як самого питання вологості повітря так і наявні конструктивні рішення у вже існуючих моделях зволожувачів, в тому числі спираючись на проходження практики в компанії, що спеціалізується на товарах медичного призначення ТОВ «ТЕХНОМЕДИКА». Проведено проєктування схемотехніки та конструкції пристрою, що включає в себе: структурну схему пристрою, підбір компонентів, принципову електричну схему, топологію друкованої плати, специфікацію пристрою, складальний кресленик. Також розроблено структурну схему системи керування та алгоритм роботи пристрою. Наведено рекомендації щодо виготовлення пристрою та окремих його деталей.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальна характеристика проблеми підтримання вологості повітря

Для вирішення проблеми підтримання вологості повітря, потрібно зрозуміти поняття «вологість» та як вона вимірюється.

Вологість - це концентрація водяної пари в повітрі. Водяна пара - газоподібний стан води, зазвичай невидима неозброєним оком [1]. Вологість великою мірою залежить від температури повітря, що можна побачити на діаграмі Мольєра (рис. 1.1) [2].

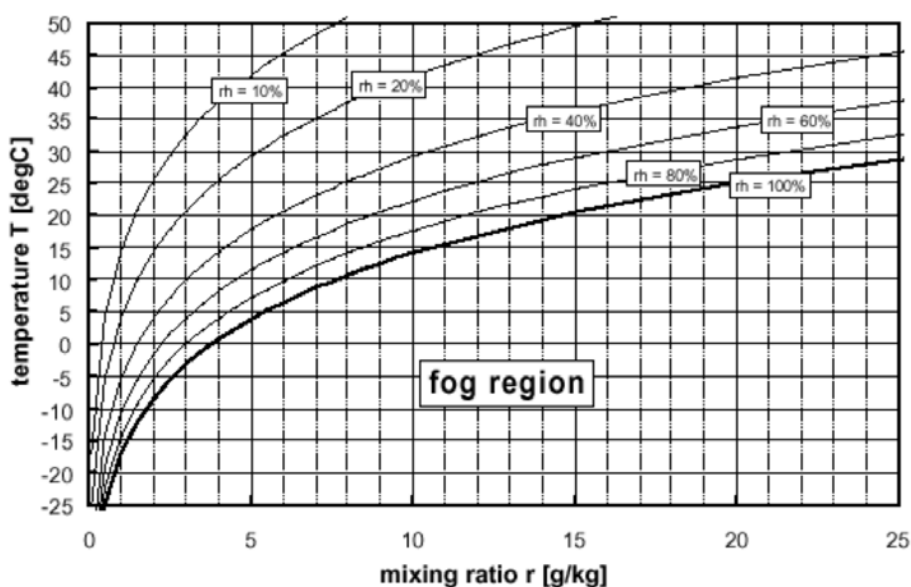


Рисунок 1.1 - Діаграма Мольєра

На осі ординат подано температуру повітря ($^{\circ}\text{C}$), на осі абсцис — пропорцію змішування (г/кг), що характеризує відношення маси водяної пари до маси сухого повітря в однаковому об'ємі. Лініями позначено відносну вологість повітря (%), яка визначається як співвідношення фактичного та максимально можливого вмісту вологи в повітрі. [3].

Слід приділити увагу точці роси — температурі, за якої повітря досягає насичення водяною парою за сталого тиску [4]. За температури нижче точки

роси відбувається конденсація вологи. Точку роси (DP) при заданих температурі сухого повітря та відносній вологості (RH) визначають за психрометричною діаграмою (рис. 1.2) [5].

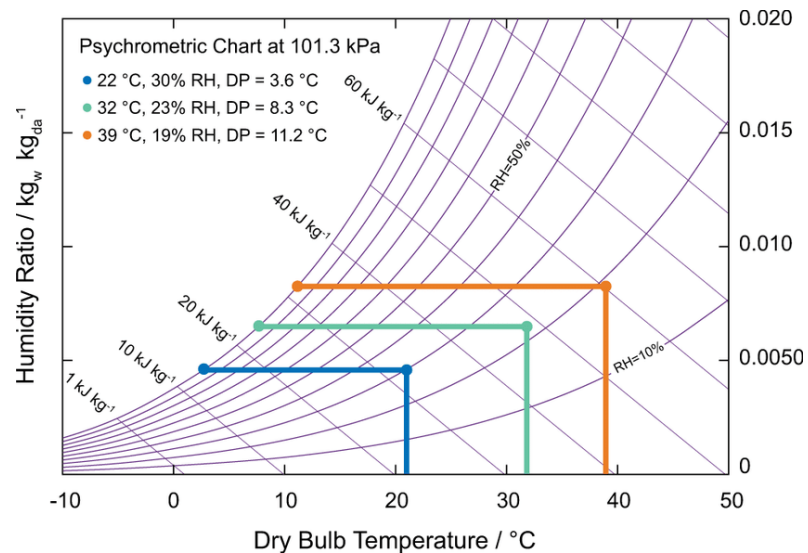


Рисунок 1.2 - Психрометрична діаграма для визначення точки роси

Для визначення відносної вологості повітря традиційно використовують гігрометр психрометричний (рис. 1.3).

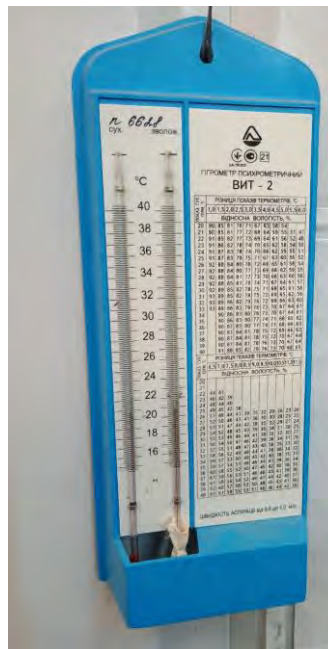


Рисунок 1.3 - Гігрометр психрометричний в компанії ТОВ «ТЕХНОМЕДИКА»

У цьому пристрої відносна вологість визначається завдяки психрометричній таблиці через різницю між температурою сухого і зволоженого термометра.

1.1.1 Значення параметрів мікроклімату в житлових і виробничих приміщеннях

Основними параметрами мікроклімату житлових і виробничих приміщень є температура та відносна вологість повітря. Комфортні умови забезпечуються за оптимальних значень цих параметрів, а складність їх підтримання залежить від кліматичної зони розташування приміщення. Згідно з класифікацією Кеппена, на території України переважає помірно континентальний клімат [6]. На рис. 1.4 наведено мапу кліматичних зон України [7].

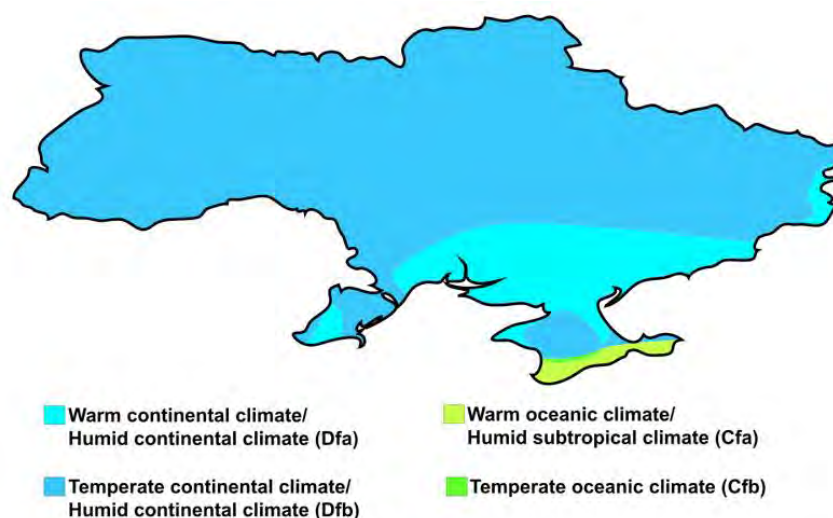


Рисунок 1.4 - Мапа класифікації кліматів Кеппена на території України

На рис. 1.4 помірно континентальний клімат позначено відтінками синього та поділено на зони Dfa і Dfb. Категорія D відповідає регіонам із середньою температурою найхолоднішого місяця нижче 0 °C і температурою понад 10 °C щонайменше в один місяць року. Літера f вказує на відсутність

посушливого сезону, а індекси a та b характеризують температуру найтеплішого місяця [8], [9]. Для цього типу клімату також характерна підвищена вологість протягом року, що ілюструє мапа кількості днів із відносною вологістю понад 80 % (рис. 1.5) [10].

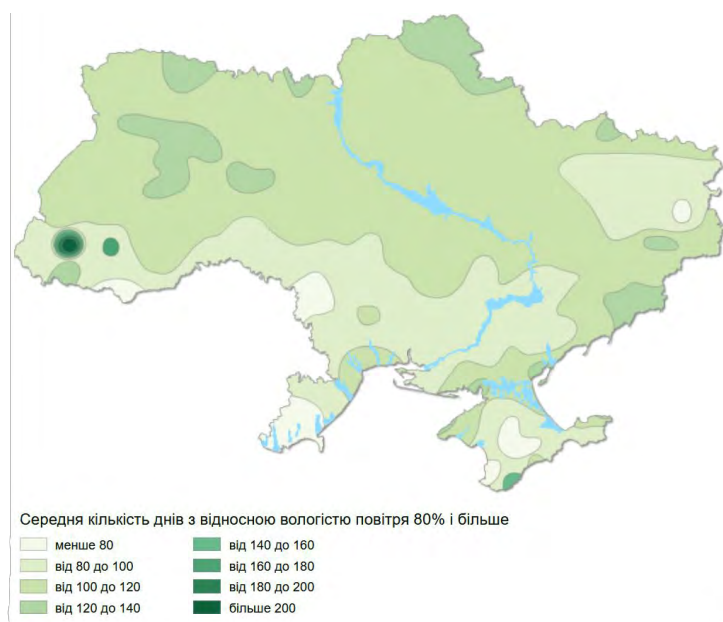


Рисунок 1.5 - Мапа відносної вологості повітря в Україні

Крім того, параметри мікроклімату залежать від типу приміщення, добових змін і наявності систем кондиціонування. У житлових приміщеннях температура зазвичай становить 18–20 °С при вологості 58–69 %, тоді як у виробничих — 19–24 °С і 58–80 % відповідно [11]. Використання систем кондиціонування зменшує добові коливання температури та вологості [12]. Стабільність параметрів мікроклімату є важливою умовою комфортного перебування в приміщенні.

1.1.2 Вплив рівня вологості на комфорт, здоров'я людини та збереження матеріалів

Відносна вологість (RH) суттєво впливає на тепловий комфорт: за високої вологості знижується ефективність випаровування поту, через що навіть

помірна температура може сприйматися як надмірно висока [13]. Підвищена вологість також здатна спричиняти подразнення шкіри, респіраторні проблеми та інші порушення здоров'я [14]. Крім того, вологість негативно впливає на матеріали, зокрема деревину й метали, спричиняючи розвиток цвілі, грибкове руйнування та корозію. Вплив відносної вологості на корозію сталі показано на рис. 1.6.

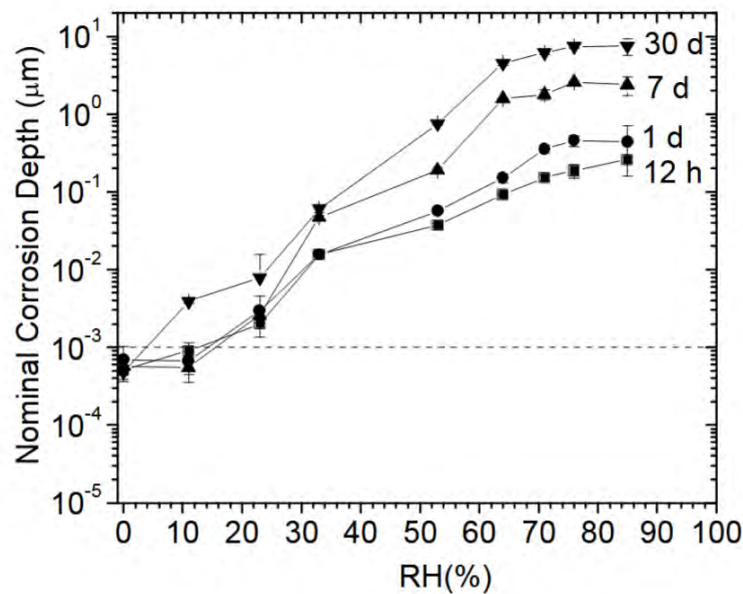


Рисунок 1.6 - Діаграма номінальної глибини корозії для сталі обробленої штучною морською водою

Після обробки сталі штучною морською водою стійка корозія спостерігалася вже за 11 % RH, а зі зростанням вологості та тривалості впливу її інтенсивність підвищувалася. Помітна втрата матеріалу виникала після 7 днів експозиції, а найбільша середня глибина корозії фіксувалася при $\text{RH} \geq 64\%$, після чого її зростання сповільнювалося [15].

1.1.3 Нормативні показники відносної вологості та температури

Для забезпечення комфортного мікроклімату в житлових і виробничих приміщеннях діють нормативні документи, що регулюють температуру та

відносну вологість повітря, зокрема ДСТУ, стандарти ISO/EN і ASHRAE. В Україні параметри мікроклімату виробничих приміщень визначаються ДСН 3.3.6.042-99, де оптимальні значення температури, вологості та швидкості руху повітря встановлюються залежно від категорії робіт і пори року (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Оптимальні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні постійних виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/сек.
Холодний період року	Легка Іа	22 - 24	60 - 40	0,1
	Легка Іб	21 - 23	60 - 40	0,1
	Середньої важкості Іа	19 - 21	60 - 40	0,2
	Середньої важкості Іб	17 - 19	60 - 40	0,2
	Важка ІІІ	16 - 18	60 - 40	0,3
Теплий період року	Легка Іа	23 - 25	60 - 40	0,1
	Легка Іб	22 - 24	60 - 40	0,2
	Середньої важкості Іа	21 - 23	60 - 40	0,3
	Середньої важкості Іб	20 - 22	60 - 40	0,3
	Важка ІІІ	18 - 20	60 - 40	0,4

Оптимальні параметри мікроклімату встановлюються для постійних робочих місць. Температура повітря в робочій зоні не повинна виходити за межі нормативних значень для відповідної категорії робіт, а температура поверхонь обладнання та огорожувальних конструкцій — відхилятися більш ніж на 2 °С від цих значень [16].

Параметри мікроклімату житлових, громадських і адміністративно-побутових будівель регулюються стандартом ДСТУ Б EN ISO 7730, який визначає допустимі умови мікроклімату залежно від сфери застосування (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Область застосування та взаємозв'язок між позначеннями умов
мікроклімату

Умови мікроклімату		Область застосування
Підвищені оптимальні	А	Приміщення з дуже чутливими людьми з особливими потребами, такими як: інваліди, хворі, маленькі діти та люди похилого віку
Оптимальні	В	Приміщення з постійним перебуванням людей у нових будівлях і в існуючих будівлях при реконструкції та капітальному ремонті, у тому числі термомодернізації
Допустимі	С	Приміщення з тимчасовим перебуванням людей у нових будівлях і в існуючих будівлях при реконструкції та капітальному ремонті, у тому числі термомодернізації; існуючі будівлі
Обмежено допустимі	-	Будівлі з обмеженим використанням упродовж року

Відповідно до ДСТУ Б EN ISO 7730 рівень метаболізму людини залежить від її стану та категорії виконуваних робіт, а термічний опір типових комбінацій одягу людини слід приймати згідно тим же стандартом.

Відносну вологість повітря у приміщеннях (будівлях), об'єми яких установлюють за кількістю присутніх людей, слід приймати згідно з таблицею 1.3 (відповідно до ДСТУ Б EN 15251). Спеціальні приміщення (будівлі), такі як музеї тощо, можуть мати властиві лише для них обмеження відносної вологості повітря [17].

Таблиця 1.3

Відносна вологість повітря в різних умовах клімату

Умови мікроклімату	Відносна вологість повітря, %
Підвищені оптимальні	30-50
Оптимальні умови	25-60
Допустимі	25-70
Обмежено допустимі	Менше 20 та більше 70

Американські стандарти параметрів мікроклімату в приміщеннях регулюється документом ANSI/ASHRAE 55. Особливістю ASHRAE 55 є використання точки роси замість відносної вологості для визначення вологості повітря. Прийнятний діапазон температур і вологості для зими та літа згідно ASHRAE 55 визначений на психрометричній діаграмі (рис. 1.7) [18].

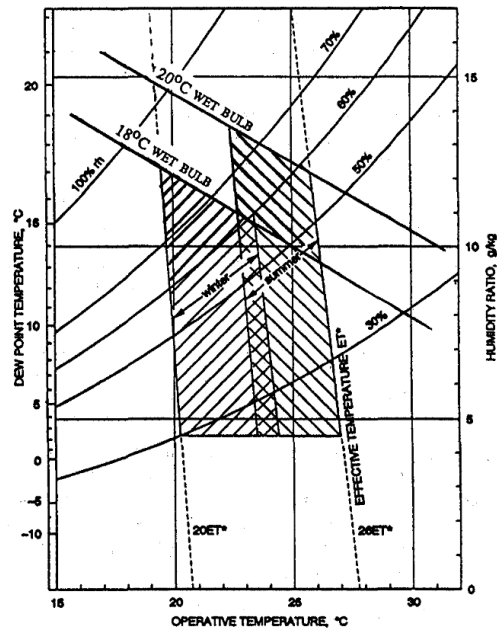


Рисунок 1.7 - Прийнятні діапазони робочої температури та вологості для людей у типовому літньому та зимовому одязі під час легкої, переважно сидячої діяльності

Згідно з рис. 1.7, зимова зона комфорту відповідає температурі 20–23 °C при 18 °C за вологим термометром та 20–24,5 °C при точці роси 2 °C. Її похилі межі відповідають лініям ефективної температури (ET*) 20 °C і 23,5 °C.

Для літньої зони комфорту характерна температура 22,5–26 °C при 20 °C за вологим термометром та 23,5–27 °C при точці роси 2 °C. Межі зони відповідають лініям ET* 23 °C і 26 °C.

Для медичної галузі діють спеціалізовані стандарти, зокрема ДСТУ EN ISO 13485:2018. У компанії ТОВ «ТЕХНОМЕДИКА» температура в зоні зберігання медичної продукції підтримується в межах +15...+25 °C (20 ± 5 °C),

а відносна вологість — не вище 65 % RH. Контроль цих параметрів здійснюється щоденно відповідальним працівником.

1.2 Аналіз сучасних методів зволоження повітря

Для підтримання нормативної вологості повітря застосовують різні методи зволоження. До простих природних способів належать ємності з водою біля джерел тепла, кімнатні рослини та сушіння білизни в приміщенні. Однак такі методи не забезпечують стабільного результату, тому більш ефективним рішенням є використання автоматизованих зволожувачів повітря [19].

Зволожувачі можуть бути окремими пристроями або частиною HVAC-систем. Сучасні моделі використовують різні технології випаровування, нові матеріали та інтеграцію IoT-технологій [20].

1.2.1 Класифікація зволожувачів повітря

Зволожувачі повітря застосовують у приміщеннях різного призначення — від житлових кімнат до виробничих цехів. За масштабом використання їх поділяють на зволожувачі для всього будинку, консольні та настільні моделі.

1.Зволожувачі повітря для всього будинку

Зволожувачі для всього будинку інтегруються з HVAC-системами та забезпечують зволоження великих площ через вентиляційні канали будівлі. Вони підключаються до водопроводу й автоматично підтримують рівень води, тому не потребують ручного доливання. До цього типу належать bypass-, барабанні та каналні зволожувачі [21].

2.Консольні зволожувачі повітря

Ці великі прилади можуть забезпечувати вологість повітря в декількох кімнатах, але вони досить компактні, щоб бути більш портативними. Резервуари для води вимагають ручного наповнення.

3.Настільні зволожувачі повітря

Настільні зволожувачі призначені для окремих кімнат, мають компактні розміри та резервуар із ручним наповненням. Вони є найпоширенішим типом зволожувачів і поділяються на моделі теплого та холодного туману [21].

Зволожувачі теплого туману працюють шляхом кип'ятіння води та подачі пари. До них належать і випарники, які можуть використовуватися для ароматерапії та медичних цілей. Зволожувачі холодного туману утворюють аерозоль без нагрівання води, тому вважаються безпечнішими. Основними їх типами є випарні, ультразвукові та імпульсні зволожувачі [21].

1.2.2 Порівняльна характеристика методів за енергоефективністю, рівнем шуму, безпекою, вартістю

Доцільно порівняти настільні зволожувачі повітря з різними методами зволоження за енергоефективністю, рівнем шуму, безпекою та вартістю. Показником енергоефективності обрано споживану потужність. Усі методи, окрім парового, є безпечними, оскільки не пов'язані з високими температурами. Для імпульсних зволожувачів існує ризик забруднення повітря через несвоєчасну заміну фільтрів. Порівняльну характеристику наведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4

Порівняльна характеристика зволожувачів з різними методами зволоження

Метод зволоження	Енергоефективність	Рівень шуму	Безпека	Вартість
Паровий	260-365 Вт	32-55 дБ	Посередня	2800 - 7000 грн
Випарний	5-18 Вт	5-26 дБ	Висока	800 - 6000 грн
Ультразвуковий	12-280 Вт	25-38 дБ	Висока	500 - 4000 грн
Імпульсний	23-43 Вт	20-51 дБ	Посередня	8000 - 20000 грн

Найдорожчі зволожувачі є імпелерними. Найменш енергоефективний метод зволоження це паровий. Найменший рівень шуму можна знайти саме у випарному методі зволоження. Так само у випарних зволожувачів велика різниця між найдешевшою і найдорожчою моделлю.

1.2.3 Особливості промислових та побутових систем зволоження

Для приміщень різної площі застосовують системи зволоження відповідної потужності. Промислові зволожувачі мають вищу продуктивність порівняно з побутовими та використовуються в лікарнях, навчальних закладах, лабораторіях, музеях і на виробництві. Вони забезпечують контрольоване та рівномірне зволоження, необхідне для підтримання здорового мікроклімату, якості продукції та безпеки [22].

Такі системи підключаються до централізованого водопостачання, часто з додатковою фільтрацією води, а використання різних форсунок і насосів дозволяє зволожувати приміщення будь-якого об'єму. Керування параметрами мікроклімату здійснюється автоматично, а контроль температури й вологості відображається на дисплеях датчиків. Зволоження може виконуватися як безпосередньо в приміщенні, так і через центральні вентиляційні системи [22].

На рисунку 1.8 [23] представлені приклади деяких ізотермічних промислових зволожувачів.

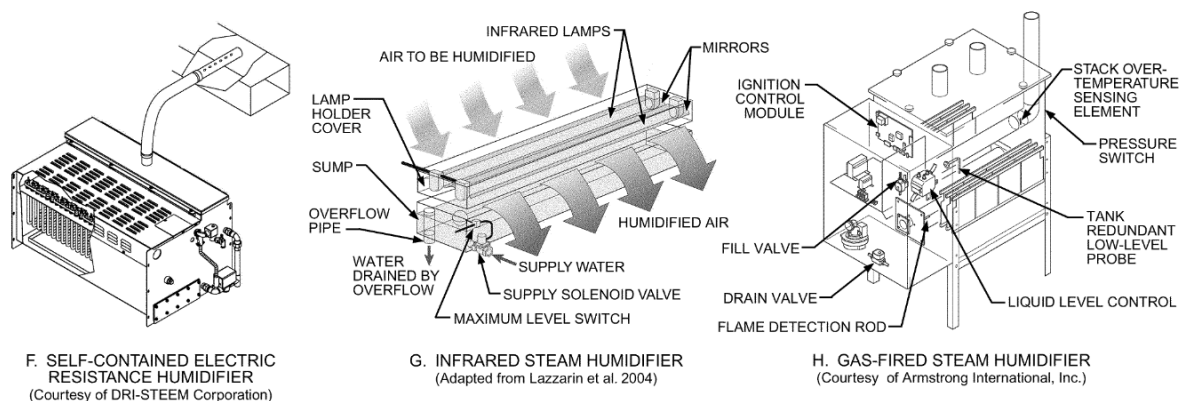


Рисунок 1.8 - Будова деяких промислових зволожувачів

Парові зволожувачі встановлюють у місцях, де повітря здатне поглинати пару, а температура повітря перевищує точку роси. За потреби свіже або змішане повітря попередньо нагрівають для ефективного зволоження. Такі системи перетворюють водопровідну воду на пару за допомогою електричної або газової енергії та подають її через повітропроводи або безпосередньо в приміщення. Використання пом'якшеної чи демінералізованої води зменшує потребу в очищенні обладнання [23].

1.3 Аналіз конструктивних і технічних рішень існуючих зволожувачів

Для побудови настільних зволожувачів повітря використовуються різні вузли та елементи керування, які складаються з різноманітних матеріалів. Однак в усіх них є загальні конструктивні і технічні рішення, що довели свою практичність і довговічність.

1.3.1 Основні вузли та елементи

Настільні зволожувачі оснащені резервуаром для води, що забезпечує їхню портативність і автономну роботу. Однією з ключових характеристик є об'єм резервуара, від якого залежить тривалість роботи пристрою. Найпоширенішими у 2026 році були моделі з ємністю 4–6 л, здатні працювати всю ніч без доливання води [24].

Основним елементом зволожувача є випарник, який перетворює воду на пару або аерозоль. У парових зволожувачах для цього використовують нагрівальні елементи (ТЕНи) [25]. В ультразвукових моделях функцію випарника виконує п'єзоелектричний диск, що завдяки п'єзоелектричному ефекту створює високочастотні коливання та утворює туман [26]. Під дією напруги диск деформується, а після її вимкнення повертається у вихідний стан (рис. 1.9) [27].

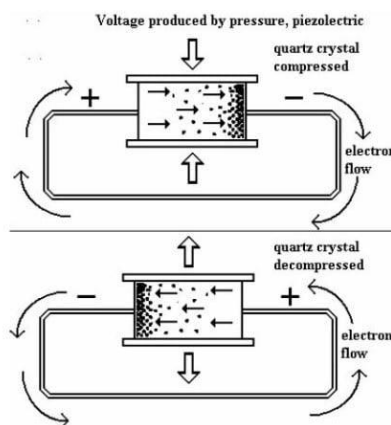


Рисунок 1.9 - Принцип роботи п'єзоелектричного диска

Важливим елементом зволожувача є вентилятор, який забезпечує видув туману та рівномірний розподіл вологи в приміщенні. Особливо це актуально для ультразвукових і випарних моделей, де повітря проходить через вологий фільтр або гніт, прискорюючи випаровування. Для запобігання утворенню цвілі вентилятор може продовжувати роботу після вимкнення пристрою.

Сучасні зволожувачі оснащуються датчиками вологості, температури та рівня води, що дозволяє автоматично підтримувати задані параметри мікроклімату та попереджати користувача про нестачу води. Датчики вологості зазвичай є ємнісними й працюють на основі зміни електричних властивостей полімерної або оксидної плівки під впливом вологості [28]. Датчики температури часто інтегруються в один модуль із датчиками вологості та містять цифрові напівпровідникові елементи й аналогово-цифрові перетворювачі (рис. 1.10) [29].

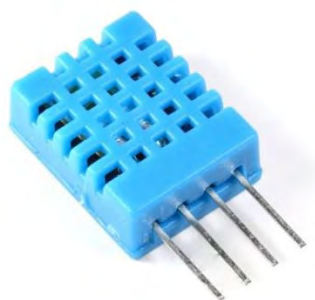


Рисунок 1.10 - Датчик температури та вологості DHT11

У деяких настільних зволожувачах використовують датчики рівня води, найчастіше — поплавкові сенсори. Вони визначають рівень рідини за допомогою поплавка, який активує мікроперемикач або герконовий контакт при зміні рівня води [30]. За критичного зниження рівня води пристрій повідомляє користувача звуковою або світловою індикацією.

Взаємодію всіх компонентів зволожувача забезпечує мікроконтролер, який обробляє дані сенсорів і регулює інтенсивність випаровування. Сучасні мікроконтролери можуть підтримувати IoT-технології, що дозволяє дистанційний моніторинг і керування параметрами пристрою [31].

1.3.2 Матеріали, що застосовуються у виробництві

Залежно від типу зволожувача корпус виготовляють із полімерних або металевих матеріалів. Для непарових моделей найчастіше використовують ABS-пластик (акрилонітрил-бутадієн-стирол), який характеризується високою міцністю, ударостійкістю та простотою обробки [32].

Резервуари для води зазвичай виготовляють із поліпропілену (PP), що вирізняється стійкістю до корозії, хімічного впливу та механічних пошкоджень [33]. Для герметизації застосовують силікон і синтетичний каучук, а електронні компоненти захищають епоксидними смолами. Фільтри зволожувачів виготовляють із целюлози, бавовни або поліестеру з антимікробним покриттям.

1.3.3 Огляд технічних параметрів моделей провідних виробників

Оглянемо технічні параметри сучасних моделей провідних виробників настільних зволожувачів. Для порівняння оберемо такі параметри, як: об'єм резервуара води, метод зволоження, інтеграція з IoT, вихід пари. Вихід пари показує об'єм води, яку зволожувач використовує за годину безперервної роботи. Порівняльна таблиця технічних параметрів моделей представлений у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

Технічні параметри сучасних моделей провідних виробників

Модель	Об'єм резервуара	Метод зволоження	Інтеграція з IoT	Вихід пари
WETAIR MH-204B	2.3 л	Ультразвуковий	Ні	300 мл/год
PHILIPS HU5710	4.5 л	Випарний	Так	400 мл/год
DEERMA DEM-F951W	4.8 л	Ультразвуковий	Так	300 мл/год
COOPER&HUNTER CH-2550T	5 л	Ультразвуковий	Ні	250 мл/год
ARDESTO USH-H-26W	3.1 л	Ультразвуковий	Ні	250 мл/год
BONECO U700	9 л	Ультразвуковий	Ні	600 мл/год

Майже всі зволожувачі мають ультразвуковий метод зволоження. Об'єм зволожувача варіюється від декількох до десяти літрів, залежно від цінової категорії. Цікаво, що висока ціна не означає наявності інтеграції з IoT, наприклад модель BONECO U700 є найдорожчою у табл.1.5, але вона не має можливостей управління через інтернет. Найчастіше зустрічаються моделі з виходом пари 250-300 мл/год.

1.3.4 Аналіз недоліків існуючих конструкцій та тенденцій розвитку

Настільні зволожувачі мають низку недоліків, пов'язаних із впливом на якість повітря та здоров'я людини. В ультразвукових моделях туман утворюється механічною атомізацією води, через що разом із краплями в повітря потрапляють мінерали, важкі метали та мікроорганізми [34]. Після випаровування води тверді домішки осідають у вигляді дрібнодисперсних частинок PM2.5 («білого пилу»), концентрація яких може суттєво перевищувати рекомендації ВООЗ [35], [36]. Це створює ризики для дихальної та серцево-судинної систем, тому такі пристрої потребують додаткової фільтрації.

Випарні зволожувачі також мають недоліки: вологі гніти створюють сприятливе середовище для розвитку біоплівки і мікроорганізмів [37]. Навіть за регулярної заміни фільтрів бактерії та спори можуть поширюватися повітряним потоком, спричиняючи неприємний запах і потенційну небезпеку для здоров'я [38]. Додатковою проблемою є складність очищення резервуарів, що залежить від їх конструкції.

Сучасні тенденції розвитку спрямовані на підвищення гігієнічності та безпеки зволожувачів. Виробники переходять до використання нержавіючої сталі та боросилікатного скла, а також конструкцій, сумісних із миттям у посудомийних машинах [39]. Для усунення проблем PM2.5 застосовують технології молекулярного випаровування, зокрема «Invisible Mist» і «NanoCloud», які затримують мінерали та бактерії всередині пристрою [40]. Перспективним напрямом є мембранні системи з порожнистими волокнами, що пропускають лише водяну пару, запобігаючи викиду домішок і мікроорганізмів у повітря [41].

1.4 Аналіз систем керування та автоматизації процесу зволоження

Кожен сучасний настільний зволожувач має в своїй конструкції елементи керування та автоматизації. Основним вузлом автоматизації для кожного зволожувача є його датчики вологості та температури. Показники з цих датчиків беруться до уваги алгоритмами регулювання рівня вологості. Ці алгоритми приводяться в дію за допомогою мікроконтролерів, а в деяких випадках і модулями IoT та мобільного керування.

1.4.1 Датчики контролю вологості та температури

Більшість комерційно доступних моделей датчиків вимірюють саме відносну вологість повітря. Відносна вологість повітря (RH) визначається як відношення часткового тиску водяної пари (p_w) до рівноважного тиску водяної пари (p_{ws}) при заданій температурі (T).

$$RH = \frac{p_w}{p_{\{ws\}(T)}} \times 100\%$$

Домінування RH як показника зумовлене властивостями гігроскопічних полімерів і кераміки, чутливих до відносної насиченості повітря вологою, а не до абсолютної маси води [42]. Датчики вологості зазвичай одночасно вимірюють температуру, оскільки p_{ws} є нелінійною функцією температури, а навіть незначна температурна похибка суттєво впливає на точність визначення RH. Зокрема, за умов 25 °C і 50% RH похибка ± 1 °C може спричинити відхилення RH на 3–4%. Для підвищення точності високоточні датчики вологості термічно інтегрують із датчиками температури. У сучасних ІС обидва елементи виготовляють на одному кремнієвому кристалі для забезпечення ізотермічних умов [43].

Більшість датчиків також є ємнісними. Ці датчики працюють як паралельні пластини або інтердигітовані конденсатори (рис. 1.11) [44].

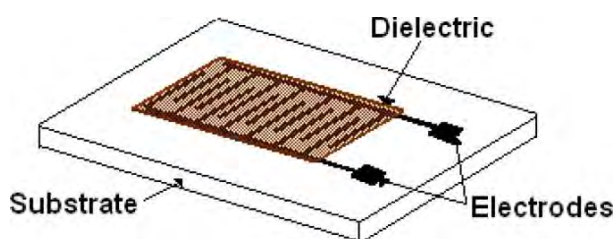


Рисунок 1.11 - Будова інтердигітованого конденсатора

Діелектричним матеріалом у ємнісних датчиках вологості зазвичай є полімер або оксид металу. Поглинання молекул води полімером зі зростанням RH підвищує його ефективну діелектричну проникність, що спричиняє збільшення ємності сенсора. Висока діелектрична проникність води ($\epsilon \approx 80$) порівняно з сухим повітрям ($\epsilon \approx 1$) забезпечує високу чутливість таких датчиків.

Ємнісні датчики характеризуються лінійною передавальною характеристикою, низьким гістерезисом і можливістю вимірювання RH у

діапазоні 0–100%. Вони менш чутливі до температурних змін, ніж резистивні аналоги, однак потребують високоточних аналого-цифрових схем для реєстрації малих змін ємності у фемтофарадному діапазоні [45].

У ТОВ «ТЕХНОМЕДИКА» для моніторингу температури та вологості у виробничих приміщеннях аптечного складу застосовується система дистанційного моніторингу Polimetrica TH10. Калібровані датчики встановлюють у контрольних точках, визначених під час температурного картування та валідації складу. Кожному датчику присвоюють індивідуальний ID, а інформацію про нього вносять до переліку ЗВТ, що підлягають калібруванню.

Таблиця 1.6

Перелік засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), що перебувають в експлуатації на складі та підлягають калібруванню

№ з/п	Тип ЗВТ	№ ЗВТ за схемою	Заводський № ЗВТ	Дата останньо- го калібру- вання	Дата наступно- го калібру- вання	Місце розташуван- ня ЗВТ
1	Датчик температури та вологості AM2302	1 (Зима) 8,2 м.	SNA 1222023144	30.05.2025	30.05.2026	Зона зберігання
2	Датчик температури та вологості AM2302	1 (Літо) 8,2 м.	SNA 12210269D9	30.05.2025	30.05.2026	Зона зберігання
3	Датчик температури та вологості AM2302	2 (Зима, Літо) 0,3 м	SNA 1221026B66	30.05.2025	30.05.2026	Зона зберігання
4	Термометр інфрачервоний (Пірометр) FLUS IR-821	Не застосовано	20200815870	28.10.2025	28.10.2026	Робоче місце У/ВО АС№1
5	Датчик температури та вологості AM2302	Резервний	SNL62304 2 A09E-1	23.02.2026	23.02.2027	Відділ якості
6	Датчик температури та вологості AM2302	Резервний	SNL62304 2 A83D-1	23.02.2026	23.02.2027	Відділ якості

Sensirion AG стала піонером інтеграції сенсорного елемента та схеми зчитування на одному CMOS-чіпі за технологією CMOSens®, що підвищило стійкість до перешкод і знизило собівартість датчиків [46]. Серія SHT4x характеризується ультранизьким енергоспоживанням і компактними розмірами корпусу ($1.5 \times 1.5 \times 0.5$ мм). Особливістю серії є програмований нагрівач із трьома режимами роботи для усунення конденсату та забезпечення працездатності в умовах низьких температур. Середнє споживання струму становить 0,4 мкА при частоті дискретизації 1 Гц. Модель SHT41 забезпечує точність $\pm 1,8$ % RH, тоді як SHT45 — $\pm 1,0$ % RH [47].

Bosch розробила інтегрований датчик BME280, який поєднує вимірювання тиску, температури та вологості. Датчик характеризується швидким часом відгуку близько 1 с, що забезпечує ефективне виявлення швидких змін умов середовища. Гістерезис датчика вологості становить ± 1 % RH, що гарантує стабільність показань під час циклічних змін вологості [48].

Texas Instruments представила серію HDC302x, орієнтовану на довгострокову стабільність і компенсацію дрейфу. Модель HDC3022 має довгостроковий дрейф лише 0,19 % RH/рік, що є нижчим за середньогалузеві значення. Вбудовані алгоритми забезпечують автоматичну корекцію зміщення, спричиненого старінням або забрудненням. Варіант HDC3022 із мембраною IP67 забезпечує захист від пилу та брызок води без потреби у зовнішніх захисних елементах [49].

1.4.2 Алгоритми регулювання рівня вологості

Регулювання вологості реалізується за допомогою алгоритмів керування різної складності — від бінарного перемикання до нечіткої логіки та нейронних мереж. Ефективність керування визначається якістю вхідних даних датчиків, які можуть бути зашумленими, нелінійними та чутливими до впливу температури. Самонагрівання датчика, спричинене близькістю джерел тепла, призводить до локального зниження вимірюваної RH. Для компенсації цього ефекту

застосовують терморезистори та алгоритми поліноміальної корекції, отримані шляхом калібрування [50].

Датчики вологості також характеризуються гістерезисом і затримкою відгуку, що може досягати 30–60 с при різких змінах вологості [51]. Для підвищення швидкодії системи використовують прогнозування на основі похідної сигналу, яке дозволяє оцінити кінцеве значення RH до досягнення сенсором стану рівноваги та запобігти перевищенню заданого значення [52].

У системах із бінарним керуванням застосовують гістерезис у межах 3–5 % RH для зменшення частоти циклічного перемикавання [53]. Додатково використовують часовий гістерезис, який задає мінімальний час увімкнення та вимкнення обладнання. Це особливо важливо для парових зволожувачів, де часті цикли роботи знижують енергоефективність і ресурс обладнання [54].

Алгоритми нечіткої логіки базуються на перетворенні чітких вхідних параметрів у нечіткі лінгвістичні множини та використанні бази правил для прийняття рішень (рис. 1.12). Такий підхід забезпечує адаптивне керування в умовах невизначеності та нелінійності процесу.



Рисунок 1.12 - Приклад бази правил нечіткої логіки

Дослідження свідчать, що алгоритми нечіткої логіки забезпечують швидший час стабілізації та ефективніше придушення збурень, зокрема при відкритті дверей, порівняно з регуляторами з фіксованими параметрами [55].

Сучасні адаптивні алгоритми використовують елементи машинного навчання для оцінки тепло- та гідродинамічних характеристик приміщення. Аналізуючи швидкість зростання та спаду вологості, система визначає інтенсивність повітрообміну та наявність протягів. За високої швидкості спаду алгоритм може автоматично підтримувати мінімальний рівень потужності зволожувача для компенсації втрат вологи.

Нейронні мережі додатково враховують зовнішні чинники, зокрема час доби, погодні умови та моделі присутності користувачів, що дозволяє прогнозувати зміни вологості та здійснювати превентивне керування [56].

1.4.3 Використання мікроконтролерів, модулів IoT та мобільного керування

Еволюція систем керування зволожувачами пов'язана з переходом від аналогових схем до цифрових мікроконтролерних та IoT-рішень. Ранні парові зволожувачі використовували нагрівальні елементи, підключені через механічні вимикачі або біметалічні гігростати, без алгоритмічної обробки сигналів. В ультразвукових моделях застосовували аналогові генератори, а регулювання здійснювали змінними резисторами, що змінювали амплітуду п'єзоелектричних коливань. Такі системи характеризувалися низькою точністю та не забезпечували стабільного підтримання заданого рівня RH.

Поява недорогих 8-бітних мікроконтролерів дала змогу реалізувати цифрове керування із зворотним зв'язком та широтно-імпульсною модуляцією. Аналогові регулятори були замінені кнопковими інтерфейсами та цифровими дисплеями, а керування почало базуватися на даних цифрових датчиків і алгоритмах гістерезисного регулювання. Це дозволило підвищити точність підтримання вологості та знизити енергоспоживання.

Сучасні системи інтегрують IoT-модулі для дистанційного моніторингу та керування через мобільні застосунки або хмарні сервіси. Вони передають телеметричні дані в реальному часі, підтримують віддалене оновлення прошивки та можуть використовувати розподілену архітектуру керування. У ТОВ «ТЕХНОМЕДИКА» система Polimetrica TH10 здійснює автоматичний моніторинг параметрів мікроклімату, надсилає сповіщення через web-інтерфейс і Telegram-бот, а також забезпечує архівування даних у хмарному сховищі.

Сучасні 32-бітні мікроконтролери мають вбудовану флеш- та оперативну пам'ять і працюють на тактових частотах у десятки мегагерц. Це забезпечує одночасне виконання задач обробки даних із кількох датчиків, керування приводами, вентиляторами та цифровими інтерфейсами користувача.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

У результаті проведеного аналітичного огляду встановлено, що підтримання оптимальної вологості повітря є важливою умовою забезпечення комфортного мікроклімату, збереження матеріалів та дотримання нормативних вимог у житлових і виробничих приміщеннях. Показано, що параметри температури та відносної вологості регламентуються національними й міжнародними стандартами, а їх порушення негативно впливає на здоров'я людини, енергоефективність та довговічність обладнання.

Проаналізовано сучасні методи зволоження повітря та визначено їх основні переваги й недоліки. Встановлено, що ультразвукові зволожувачі є найбільш поширеними завдяки високій продуктивності, компактності та енергоефективності, однак потребують вирішення проблем утворення дрібнодисперсних частинок і біологічного забруднення.

Досліджено конструктивні особливості сучасних зволожувачів, їх сенсорні системи та алгоритми керування. Визначено, що найбільш ефективними для контролю вологості є ємнісні датчики RH із температурною компенсацією, інтегровані в сучасні CMOS-мікросхеми.

Встановлено, що сучасні системи керування зволоженням переходять від простих бінарних алгоритмів до адаптивних методів на основі нечіткої логіки та елементів машинного навчання. Такі алгоритми забезпечують швидшу стабілізацію параметрів мікроклімату, компенсацію інерційності датчиків та ефективніше придушення зовнішніх збурень. Інтеграція IoT-модулів і 32-бітних мікроконтролерів дозволяє реалізувати дистанційний моніторинг, хмарне зберігання даних і автоматичне оновлення програмного забезпечення.

Отже, сучасні тенденції розвитку систем зволоження спрямовані на підвищення точності вимірювання, енергоефективності, автономності та рівня автоматизації, що створює передумови для розроблення інтелектуальних систем підтримання мікроклімату.

2 ПРОЄКТУВАННЯ СХЕМОТЕХНІКИ ТА КОНСТРУКЦІЇ ПРИБОРУ

2.1 Проектування схемотехніки пристрою

Відповідно до технічного завдання наведеного в Додатку А, схемотехніка пристрою має включати в себе: мікроконтролер, дисплей, акумуляторне живлення, потенціометр та кнопки, ультразвуковий привод, датчик вологості та тензодатчик, супутні компоненти.

Потрібно обрати компоненти, які зможуть виконувати поставлені перед ними задачі. Підібравши компоненти, можна буде розробити принципову електричну схему, яку потім використаємо для розробки топології друкованої плати пристрою.

2.1.1 Підбір компонентів

Для реалізації цього проекту необхідно обрати компоненти, що забезпечують стабільність роботи та технологічність пристрою. Основним джерелом живлення обрано літій-іонний акумулятор типу 18650, ємність якого становить 1200–3500 мА·год залежно від моделі. Такі акумулятори забезпечують достатні параметри струму та напруги для живлення мікроконтролера і периферійних модулів.

Для безпечної експлуатації акумулятора передбачено використання мікросхем захисту DW01A та 8205A, які реалізують функції захисту від перезарядження та глибокого розрядження. Зазначені компоненти широко застосовуються у системах керування акумуляторами (BMS).

Оскільки напруга акумулятора 18650 змінюється залежно від рівня заряду, для стабілізації живлення до 3,3 В використовується перетворювач TPS63020DSJT. Дана мікросхема забезпечує стабільну вихідну напругу та працює на частоті 2,4 МГц.

Як мікроконтролер обрано STM32F407VGT6 із сімейства STM32F4, що базується на 32-бітній ARM-архітектурі. Контролер характеризується високою продуктивністю та широкими можливостями керування периферією.

Таблиця 2.1

Характеристики мікроконтролера STM32F407VGT6

Характеристика	Значення
Максимальна частота роботи	168 МГц
Об'єм флешпам'яті	1 МБ
Об'єм статичної оперативної пам'яті	192 кБ
Інтерфейси підключення	3x SPI, 3x USART, 2x UART, 2x I2S, 3x I2C, 1x FSMC, 1x SDIO, 2x CAN
Аналогово-цифрові перетворювачі	3x ADC (12-біт / 16-каналів), 2x DAC (12-біт)

Для вимірювання вологості та температури використовується датчик DHT-22, який характеризується простотою підключення та доступністю. Діапазон його живлення становить 3,3–6 В, межі вимірювання вологості — 0–100 %RH із похибкою ± 2 %RH, а температури — від -40 до 80 °C із похибкою $\pm 0,5$ °C.

Контроль рівня води в резервуарі реалізовано за допомогою тензодатчика та мікросхеми HX711, яка виконує обробку сигналу й передачу даних до мікроконтролера. HX711 є 24-бітним аналого-цифровим перетворювачем із цифровим керуванням та серійним інтерфейсом, що широко застосовується у вагових системах.

Для спрямування потоків водяної пари використовується вентилятор JD-2510M12S, який працює від напруги 12 В та має компактні розміри $25 \times 25 \times 10$ мм. Виконавчим елементом пристрою є ультразвуковий п'єзоелектричний диск із резонансною частотою 1,7 МГц, робочою напругою 12 В та діаметром 20 мм.

Оскільки вентилятор і п'єзоелектричний диск потребують напруги 12 В, додатково застосовується підвищувальний перетворювач MT3608. Мікросхема підтримує вхідну напругу 2–24 В та забезпечує вихідну напругу до 28 В при частоті перетворення 1,2 МГц.

Для реалізації інтерфейсу користувача використовується потенціометр WH-148 із номінальним опором 10 кОм та кутом обертання 300°. Відображення інформації забезпечує OLED-дисплей SSD1306 з інтерфейсом I2C та роздільною здатністю 128×64 пікселів. Для керування пристроєм застосовано кнопку типу rocker switch для живлення та push button для реалізації функцій короткого й тривалого натискання.

Для заряджання акумулятора обрано роз'єм USB Type-C із вбудованою мікросхемою TP4056, яка забезпечує стабільну напругу заряджання 4,2 В для літій-іонних акумуляторів.

2.1.2 Розробка принципової електричної схеми

Розробку принципової електричної схеми пристрою варто почати із схеми BMS для акумулятору. Акумулятор буде підключеним через конектор, а мікросхеми DW01A та 8205A мають бути підключені між собою та резисторами і конденсаторами з номіналами, що рекомендовані виробником, як показано на рис.2.1.

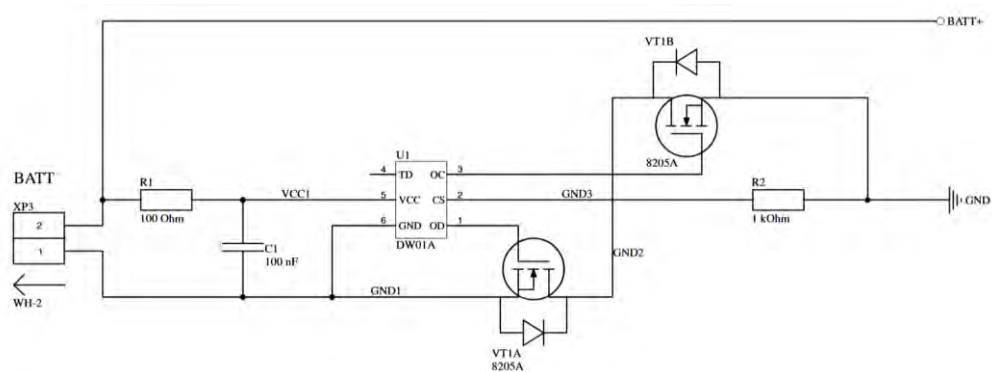


Рисунок 2.1 - Принципова електрична схема BMS

Гніздо зарядки USB Type-C з вбудованим TP4056 та кнопка включення буде приєднуватись до електричної схеми за допомогою конекторів та з'єднанні так як показано на рис.2.2.

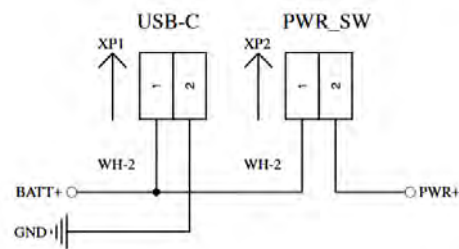


Рисунок 2.2 - Принципова електрична схема для гнізда зарядки та кнопки включення

Для правильної роботи мікросхеми TPS63020DSJT вона має бути підключена до котушки індуктивності, резисторів та конденсаторів номіналом, що рекомендований виробником. Варто зазначити, що окрім виходу VOUT, що постачає напругу в 3.3В, використовується також вихід PG (Power Good), що має передавати до мікроконтролера сигнал про якість напруги VOUT. Детальна принципова електрична схема підключення представлена на рис.2.3.

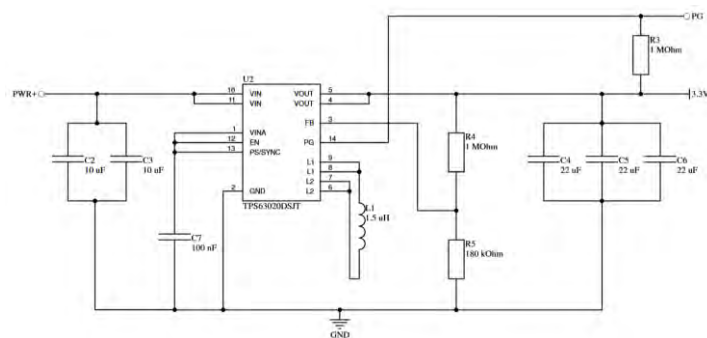


Рисунок 2.3 - Принципова електрична схема підключення мікросхеми TPS63020DSJT

Мікроконтролер буде живитися від напруги 3.3 В. Варто наголосити, що мікроконтролер використовується в рамках плати розробки DevEBox (рис.2.4), що має вже встановлені кварцові кристали та інші компоненти необхідні для

роботи та програмування мікроконтролера. На принциповій електричній схемі усі виводи пронумеровані та підписані відповідно до виводів на платі розробки. Схеми підключення мікроконтролера представлена на рис.2.5.

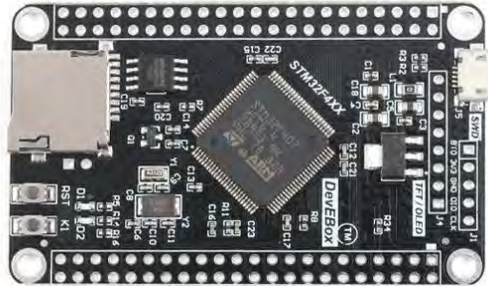
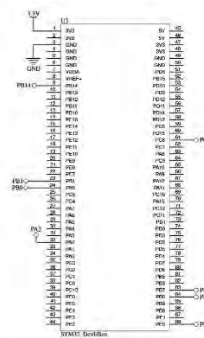


Рисунок 2.4 - Зовнішній вигляд плати розробки DevEBox на мікроконтролері STM32F407VGT6



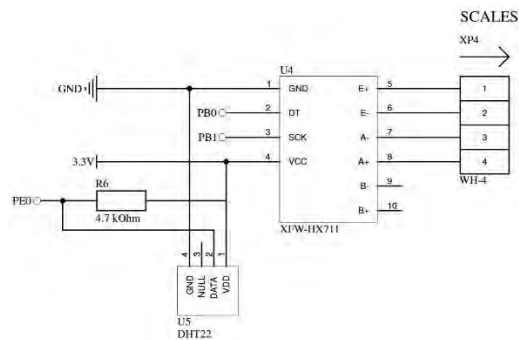


Рисунок 2.6 - Принципова електрична схема підключення датчика вологості та тензодатчика

Для підключення дисплею буде потрібен лише конектор та два виходи на мікроконтролері (рис.2.7).

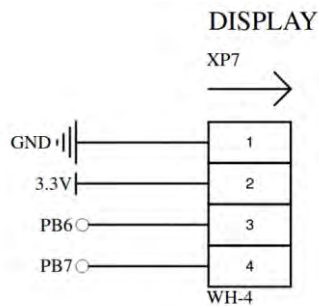


Рисунок 2.7 - Принципова електрична схема підключення дисплея

Для правильної роботи диска потрібно побудувати LC осцилятор на біполярних транзисторах, адже обраний диск має частоту резонансу 1.7 МГц. В якості біполярних транзисторів буде використано NPN транзистор 2N2222 так як він підтримує частоту перемикання у 1.7 МГц. Також на нього має подаватися напруга у 12 В як зазначено у технічних характеристиках диску. Топологією LC осцилятора було обрано осцилятор Клаппа, де частота резонансу визначається значеннями послідовно сполучених індуктивності та конденсатора. Розрахуємо номінали компонентів для $V_{cc} = 12$ В (напруга живлення), $I_c \approx 2$ мА (сила струму для повного відкриття транзистора), $V_E \approx 10\% V_{cc} \approx 1,2$ В (Напруга емітера для хорошої термічної стабільності).

Колекторний резистор (R_7):

Для максимального коливання вихідної напруги, напруга спокою колектора (V_C) повинна бути приблизно посередині між V_{CC} і V_E .

$$V_C \approx \frac{(V_{CC} + V_E)}{2} \approx \frac{(12 \text{ В} + 1,2 \text{ В})}{2} \approx 6,6 \text{ В}.$$

$$V_{drop_RC} = V_{CC} - V_C = 12 \text{ В} - 6,6 \text{ В} = 5,4 \text{ В}.$$

$$R_7 = \frac{V_{drop_RC}}{I_C} = \frac{5,4 \text{ В}}{2 \text{ мА}} = 2,7 \text{ кОм}.$$

Отже значення колекторного резистора буде 2,7 кОм.

Конденсатори зворотного зв'язку (C_8, C_{12}):

Відповідно до принципу Клаппа, вони повинні бути великими, щоб перекрити паразитні ємності. На основі загальноприйнятої практики оберемо $C_8 = 10 \text{ нФ}$ і $C_{12} = 47 \text{ нФ}$. Як і для всіх осциляторів, необхідно дотримуватися критеріїв Баркгаузена, що вимагають загального коефіцієнта підсилення 1 і зсуву фази 0° від входу до виходу.

Компоненти налаштування частоти (L_2, C_{11}):

Частота резонансу встановлюється за формулою:

$$f_{osc} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_2 \cdot C_{11}})}.$$

Оберемо для $L_2 = 100 \text{ мкГн}$, що є стандартним значенням для індуктивностей. З цього можна розрахувати C_{11} :

$$C_{11} = \frac{1}{(4 \times \pi^2 \times 100e-6 - 6 \times (1,7e6)^2)} \approx 87,6 \text{ пФ}$$

Отже для C_{11} оберемо стандартне значення 82 пФ.

Перевіримо частоту резонансу з обраними компонентами:

$$f_{osc} = \frac{1}{(2\pi\sqrt{100e-6 \times 82e-12})} = 1,758 \text{ МГц}.$$

Це знаходиться в межах 3,5% від цільового значення 1,7 МГц і є задовільним результатом.

Контур резонатора Клаппа (L_2, C_{11}) є резонансним контуром з точним налаштуванням. Якщо зовнішнє навантаження підключено безпосередньо до колектора осцилятора, імпеданс цього навантаження змінить властивості

контур. Щоб попередити це, потрібно побудувати буферний емітерний повторювач на біполярному транзисторі. Для цього оберемо емітерний резистор та резистори подільника напруги з такими вхідними даними як $V_{CC} = 12\text{ В}$, $V_E \approx \frac{V_{CC}}{2} = 6\text{ В}$.

Емітерний резистор (R_{14}):

Цей резистор забезпечує шлях постійного струму до землі та встановлює струм спокою. Як здогадку, візьмемо значення 1 кОм :

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{6\text{ В}}{1\text{ к}\Omega} = 6\text{ мА}.$$

Це прийнятне значення, отже $R_E = 6\text{ мА}$.

Резистори подільника напруги (R_8, R_{13}):

Для дільника напруги передавальна функція буде визначатися як:

$$\frac{V_E}{V_{CC}} = \frac{R_{13}}{R_8 + R_{13}} = \frac{1}{2}$$

Для цього випадку підберемо для цих резисторів однаковий номінал у 4.7 кОм , що задовольнить умову передавальної функції. Отже, $R_8 = R_{13} = 4,7\text{ кОм}$.

Між контуром резонатора та буфером (C_9), а також між буфером і конектором для диска (C_{10}) поставимо з'єднуючий конденсатор зі стандартним номіналом 100 нФ для блокування постійного струму. Готова принципова електрична схема LC осцилятора представлена на рис.2.8.

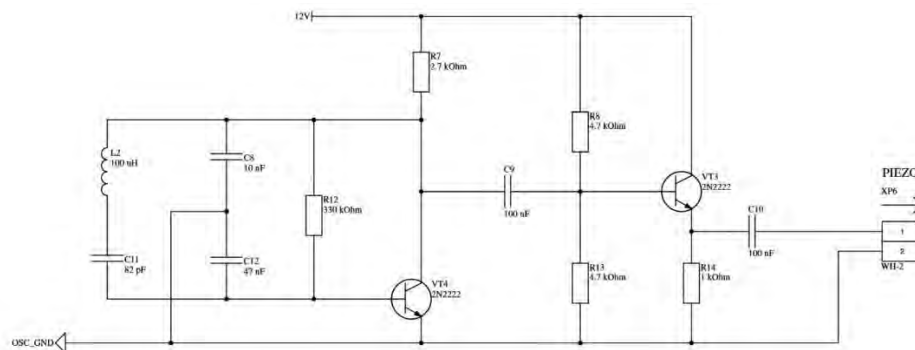


Рисунок 2.8 - Принципова електрична схема LC осцилятора

Щоб зробити живлення у 12 В та для кращої стабільності пристрою використаємо готову плату на основі MT3608, вона має два входи VIN-, VIN+, а також два виходи VOUT+, VOUT-. Для забезпечення перемикання включення осцилятора буде використовуватись біполярний транзистор 2N2222, адже він має задовільні технічні характеристики для даної роботи. Його мають супроводжувати pull-down резистор номіналом 10 кОм та резистор на вході номіналом 100 Ом для того щоб забезпечити повне включення та виключення транзистора. Принципова електрична схема представлена на рис.2.9.

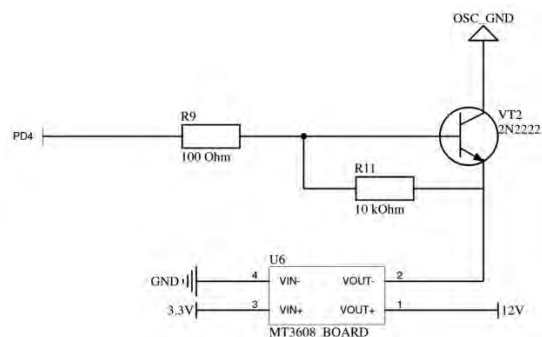


Рисунок 2.9 - Принципова електрична схема підключення живлення 12В та перемикання осцилятора

Потенціометр легко підключається до мікроконтролера як показано на рис.2.10.

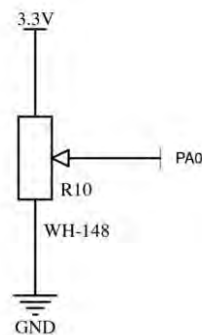


Рисунок 2.10 - Принципова електрична схема підключення потенціометра

Вентилятор буде підключатись через конектор, а два виходи будуть з'єднані діодом 1N4001, для захисту компонентів від різкої зміни напруги під час вимкнення вентилятора (рис.2.11).

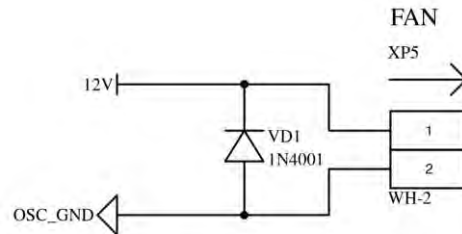


Рисунок 2.11 - Принципова електрична схема підключення вентилятора

Додатково, реалізуємо можливість для мікроконтролера виміряти рівень поточного заряду акумулятора. Для цього достатньо використати подільник напруги з резисторами номіналом 10 кОм (рис.2.12).

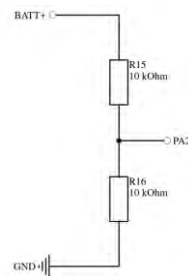


Рисунок 2.12 - Принципова електрична схема вимірювання заряду акумулятора

Кнопка дії буде як й інше під'єднуватись за допомогою конектора. На додачу варто використати конденсатор та резистор з високим номіналом, для того щоб виключити можливість «фальшивих» натискання. Принципова електрична схема підключення кнопки дії представлена на рис.2.13.

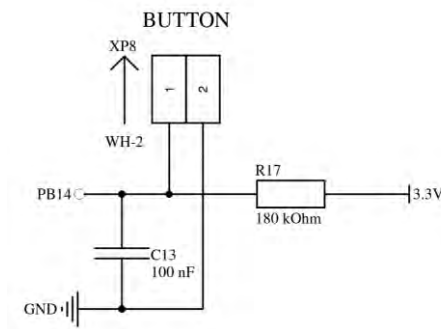


Рисунок 2.13 - Принципова електрична схема підключення кнопки дії

Готова і повна принципова електрична схема пристрою представлена в Додатку Б.

2.1.3 Розробка друкованої плати пристрою

Розробка друкованої плати пристрою буде здійснюватися за допомогою програмного забезпечення Altium Designer 24. Спочатку розробимо посадкові місця для всіх компонентів принципової електричної схеми.

Конектором для підключення двох пінів було обрано JST NX2500-02SMS, а для чотирьох пінів - JST NX1500-04SMS. Довжина і ширина посадкового місця, а також крок контактів зображено на рис.2.14-2.15.

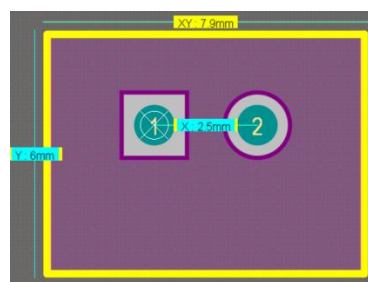


Рисунок 2.14 - Посадкове місце конектора JST NX2500-02SMS

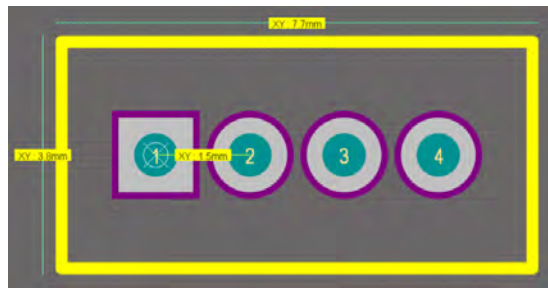


Рисунок 2.15 - Посадкове місце конектора JST NX1500-04SMS

Всі резистори будуть мати посадкове місце типу SMD 0805 - для легкості монтажу та для компактності їх розташування (рис.2.16).

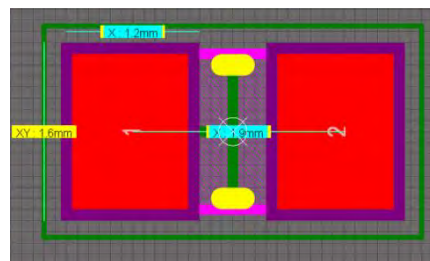


Рисунок 2.16 - Посадкове місце SMD 0805

Транзистор 2N2222 постачається у пакуванні SOT-54. Для цього проєкту було незначно модифіковано стандартне посадкове місце для компонентів такого типу пакування як показано на рис.2.17.

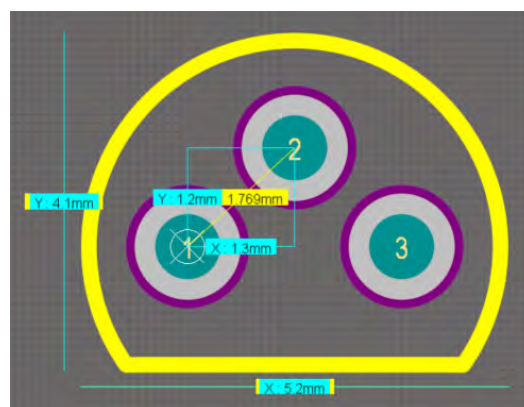


Рисунок 2.17 - Посадкове місце для транзистора 2N2222

Діод 1N4001 постачається у пакуванні DO41, тому для цього було накреслено відповідне посадкове місце (рис.2.18).

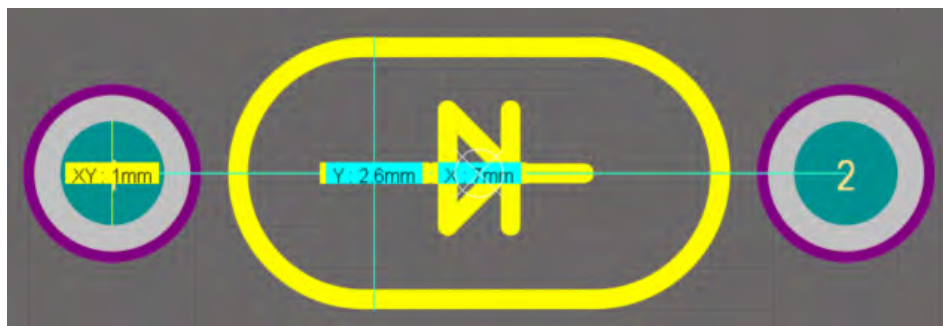


Рисунок 2.18 - Посадкове місце DO41

Для підключення плати розробки мікроконтролера до друкованої плати будуть використовуватись вісім конекторів із 22 пінами KLS1-208-1-22-S, адже плата розробки має 44 виходи по двом сторонам. Це робиться для зручності програмування мікроконтролера, а також дозволяє розміщувати інші компоненти під платою розробки, що робить друковану плату більш компактною. Посадкове місце для плати розробки показано на рис.2.19.

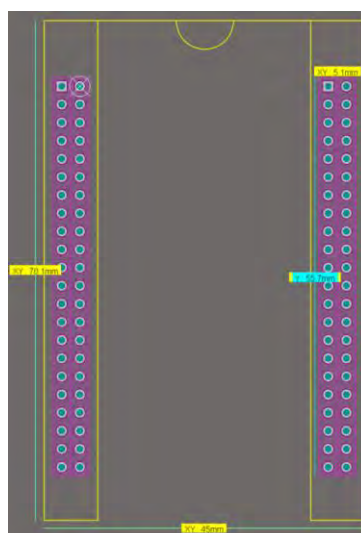


Рисунок 2.19 - Посадкове місце для плати розробки мікроконтролера

Для конденсаторів, як і для резисторів було обрано тип монтажу SMD. Для конденсаторів різних номіналів було обрано різні типорозміри, тому що від типорозміру залежить максимальна сила струму та напруга, що може пройти через компонент і не всюди доречно використовувати лише один типорозмір:

- 100 нФ, 82 пФ - SMD 0805 (рис.2.16);
- 10 мкФ, 22 мкФ, 47 нФ - SMD 1206 (рис.2.20);
- 10 нФ - SMD 1210 (рис.2.21);

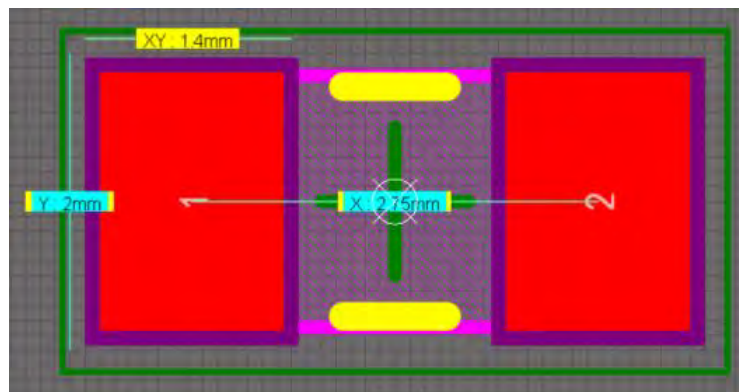


Рисунок 2.20 - Посадкове місце SMD 1206

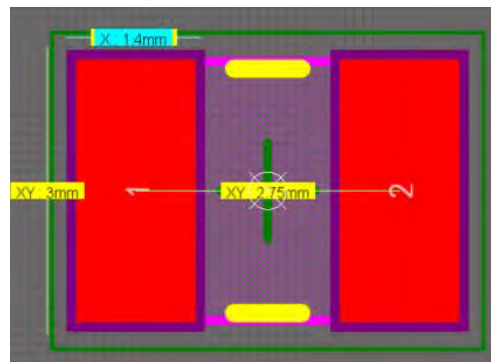


Рисунок 2.21 - Посадкове місце SMD 1210

Для індуктивностей було зроблено два посадкових місця. Перше для індуктивності номіналом у 1.5 мкГн - SMD 1210, адже саме такий типорозмір рекомендований для роботи із мікросхемою TPS63020DSJT. Для LC осцилятора використовується котушка індуктивності номіналом в 100 мкГн; на ринку найбільш доступними є котушки з монтажем наскрізь (рис.2.22).

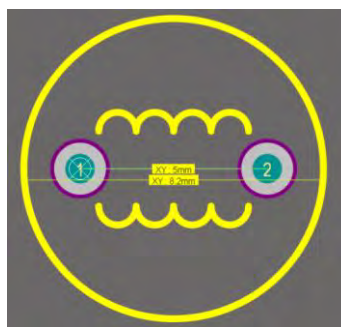


Рисунок 2.22 - Посадкове місце для котушки індуктивності

Для монтажу мікросхеми DW01A використовується стандартний пакет SOT-23-6 (рис.2.23).

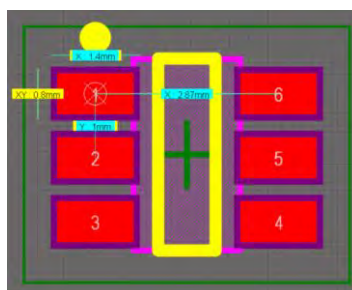


Рисунок 2.23 - Посадкове місце SOT-23-6

Мікросхема TPS63020DSJT використовує нестандартне посадкове місце. Воно складається з 14 вихідних пінів та термічного паду (рис.2.24).

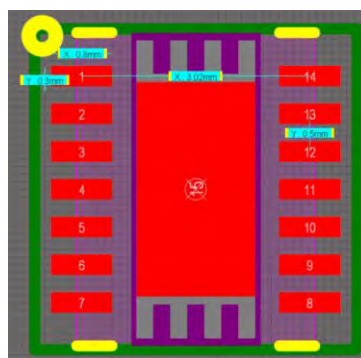


Рисунок 2.24 - Посадкове місце TPS63020DSJT

У мікросхеми 8205А використовується стандартний пакет TSSOP-8, що можна легко відтворити в програмному забезпеченні Altium Designer (рис.2.25).

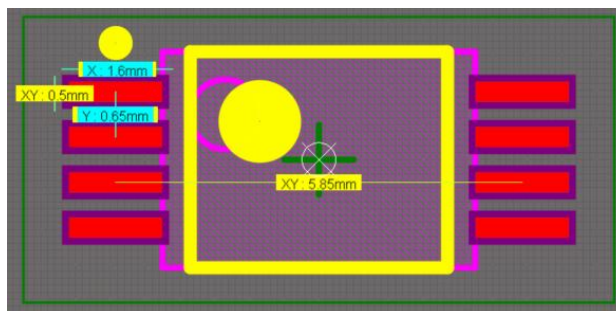


Рисунок 2.25 - Посадкове місце TSSOP-8

Мікросхема XFW-HX711 часто постачається у вигляді готової окремої плати, де всі компоненти необхідні для функціонування мікросхеми вже присутні. Посадкове місце для такої плати представлено на рис.2.26.

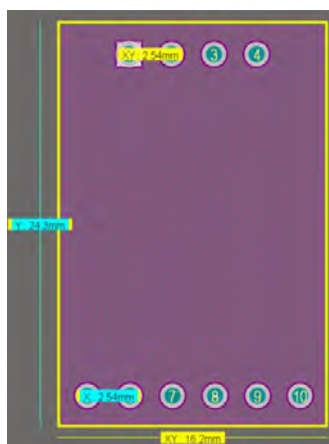


Рисунок 2.26 - Посадкове місце для XFW-HX711

Для потенціометра WH-148 посадкове місце буде виглядати так, як на рис.2.27.

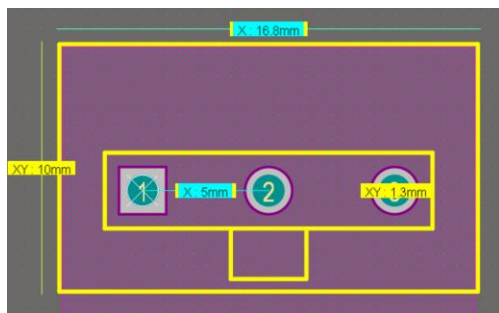


Рисунок 2.27 - Посадкове місце для потенціометра

Для плати MT3608 посадкове місце буде мати простий вигляд. Для того щоб не переплутати виходи, один з них підписаний відповідно до маркування на платі (рис.2.28).

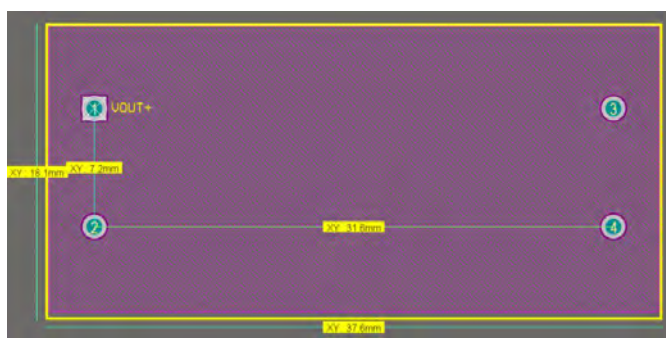


Рисунок 2.28 - Посадкове місце для плати MT3608

У датчика вологості DHT-22 є 4 виходи, тому і на посадковому місці зробимо 4 отвори як показано на рис.2.29.

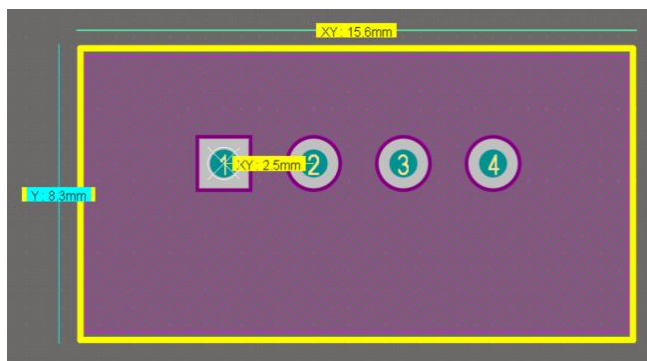


Рисунок 2.29 - Посадкове місце для датчика DHT-22

Таким чином готові посадкові місця для всіх компонентів друкованої плати (PCB). Тепер зробимо трасування плати. Так як компонентів на друкованій платі передбачається багато та різних типів монтажу, то трасування буде здійснюватися для двох шарів друкованої плати.

В ході розміщенні компонентів та трасування плати вдалося досягнути квадратної форми PCB зі стороною у 88 мм. Сама плата має чотири отвори для монтажу діаметром 3 мм, що підписані як «2» на рис.2.30.

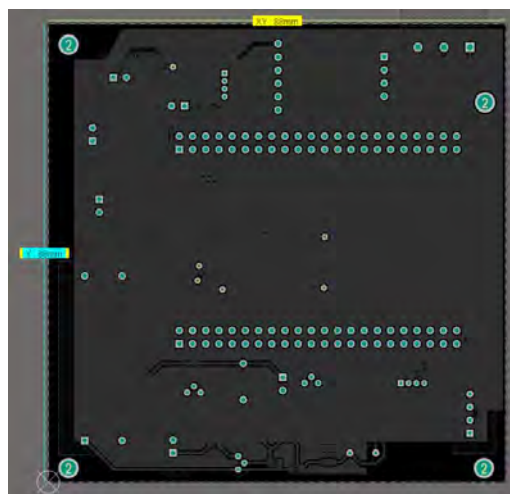


Рисунок 2.30 - Розміри друкованої плати та наскрізні отвори

Всі конектори на платі мають підписи на шарі «Top Overlay» для зручності ідентифікації їх призначення. Додатково, в зовнішньому кутку кожного конектора присутній підпис, що позначає полярність, або послідовність найближчого виходу - це буде корисно в майбутньому після виготовлення плати, для того щоб не плутатися з підключенням периферії. Наприклад, XP1 має підпис «USB-C», що означає приналежність цього конектора до порту зарядки акумулятора; також знизу присутній підпис «+», що позначає позитивну полярність на виході з нижньої сторони (рис.2.31).

Для поєднання компонентів між собою використовують доріжки шириною 0.2 мм для сигнальних ліній та 0.6 мм для ліній енергоживлення. Для ланок «GND» та «OSC_GND» використано суцільні полігони, що не перетинаються між собою. Мікросхема TPS63020DSJT та BMS розміщені приблизно посередині, щоб забезпечити рівномірну довжину доріжок живлення до периферії. Матеріалом для друкованої плати слугує FR-4, що є стандартним для таких проєктів. Товщина плати 1.6 мм, для того щоб плата не деформувалась під тиском всіх компонентів. Мінімальна відстань між доріжками - 3 мм, мінімальний радіус наскрізних отворів 0.3 мм. Репрезентація друкованої плати із всіма встановленими компонентами зображена на рис.2.32.

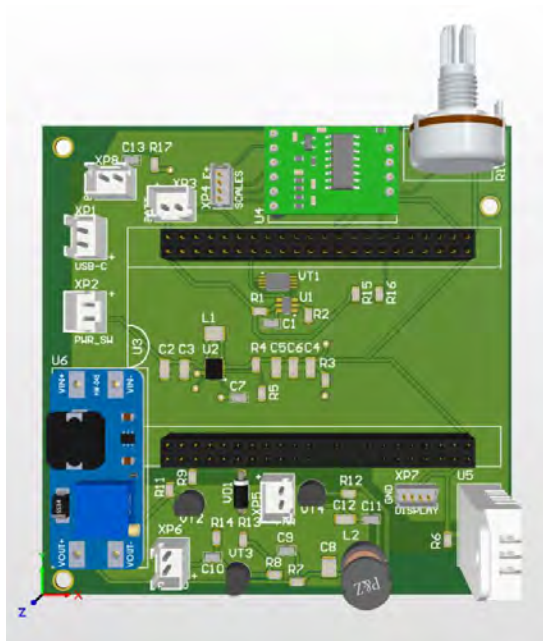


Рисунок 2.32 - 3-D репрезентація друкованої плати пристрою

Перелік елементів для друкованої плати наведений в Додатку В.

2.2 Проєктування конструкції пристрою

Так як пристрій має працювати з водою, це накладає певні обмеження та вимоги до конструкції. Конструкція має бути розробленою таким чином, щоб

забезпечувати правильну роботу всіх датчиків, та доступ користувача до елементів керування.

2.2.1 Розробка структурної схеми пристрою

Для проєктування конструкції пристрою варто спочатку розробити структурну схему пристрою. Головним елементом конструкції пристрою є його друкована плата, що бере на себе енергопостачання всіх електронних компонентів, а також здійснює прийом і передачу інформації для мікроконтролера, який на ній встановлений.

На рис.2.33 показана структурна схема пристрою.

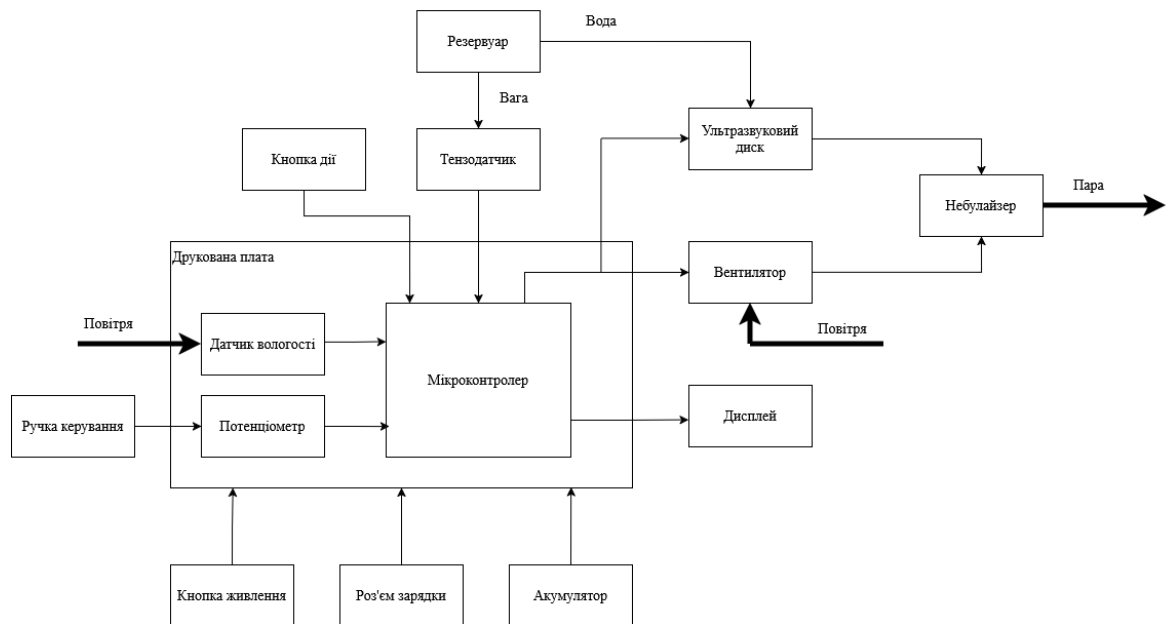


Рисунок 2.33 - Структурна схема пристрою

Перш за все, датчик вологості розташований на друкованій платі, а тому він має мати окремий доступ до повітря середовища. Ручка керування є окремою деталлю і слугує ковпаком для потенціометра, що також встановлений на друкованій платі. Кнопка живлення керує включенням або виключенням енергопостачання від акумулятора до всіх компонентів плати. Роз'єм зарядки

також підключається до друкованої плати разом з акумулятором, тому рекомендовано не вмикати пристрій під час зарядки.

Пряме підключення до мікроконтролера є у датчика вологості, щоб передавати зчитані значення, та потенціометра з кнопкою дії, для того щоб користувач міг впливати на роботу пристрою та розрахунки мікроконтролера. На дисплей мікроконтролер виводить дані з датчиків та іншу інформацію для користувача.

Мікроконтролер здійснює одночасне керування ультразвуковим диском та вентилятором. Він має можливість або вимкнути їх або включити. Це рішення мікроконтролер приймає в тому числі беручи до уваги рівень води в резервуарі, що вимірюється за допомогою тензодатчика. Вода з резервуару має потрапляти до ультразвукового диску, для перетворення її на водяну пару. Ця пара не зможе потрапити до навколишнього середовища без несучих потоків повітря, тому є потреба у вентиляторі. Вентилятор має забирати повітря і передавати його до небулайзера, де змішуються повітряні потоки і водяна пара. Ця суміш потім виходить з небулайзера у навколишнє середовище таким чином зволожуючи повітря.

2.2.2 Розробка специфікації пристрою

Конструкція пристрою не може обійтись без друкованої плати пристрою. Для неї має бути розроблений окремий відсік, щоб ізолювати чутливі електронні компоненти плати від води. Друкована плата буде закріплена у відсіку за допомогою гайок M3 DIN934. Щоб зекономити місце, в цьому ж відсіку можна розмістити інтерфейс користувача.

В одному відсіку з друкованою платою буде розміщено і тримач для акумулятора 18650, щоб спростити підключення живлення до електронних компонентів. Тримач буде закріплюватися до відсіку за допомогою болтів M3x10 DIN912. Для зручності встановлення акумулятора або його заміни, тримач буде

розташований біля стінки конструкції, що також робить необхідним наявність кришки для акумулятора.

Для інтерфейсу користувача необхідно розробити і ручку керування, що являє собою «ковпачок» для потенціометра. Це є необхідністю, тому що користувач має мати змогу зручно управляти значенням потенціометра. Також для інтерфейсу користувача необхідний дисплей OLED SSD1306 128x64 і для його закріплення використання гайок M2 DIN934, кнопка для включення/виключення пристрою KCD1-101, кнопка дії PBS-11B, а також гніздо USB-C для заряджання акумулятора.

Компоненти приводу будуть розташовуватись в окремому відсіку приводу. Він буде розміщений над відсіком з друкованою платою та інтерфейсом користувача, та скріплютися з ним болтом M6x50 DIN933. В цьому відсіку буде розміщений ультразвуковий п'єзоелектричний диск 24мм із частотою резонансу 1.7 МГц. Для його ізоляції від води, варто розробити кришку для приводу. Також в цьому ж відсіку має бути розташований тензодатчик LOAD-CELL-10kg, на ньому буде розташована спеціально розроблена плита вагів, щоб тензодатчик міг чітко зафіксувати вагу. Обидва компоненти монтуються до відсіку за допомогою болтів M3x20 DIN965 та M4x20 DIN967. На плиту вагів ставиться резервуар, що має зберігати воду для роботи пристрою. Додатково, до цього відсіку монтується і вентилятор JD-2510M12S за допомогою болтів M4x20 DIN967.

Щоб змішати випарену воду від ультразвукового п'єзоелектричного диску та потоки повітря від вентилятора має бути створений відсік небулайзера. Він буде розташований зверху відсіку приводу і кріпитись до нього за допомогою буртика та пазу. На виході небулайзера буде розташований носик виходу пари, для того щоб користувач мав контроль за напрямком потоку пари.

Для того щоб вода з резервуару не переливалася в інші місця буде мати місце окрема кришка пристрою, яку користувач зможе відкривати і закривати за необхідністю. Готова специфікація наведена в Додатку Г.

2.2.3 Розробка складального кресленика пристрою

В розробку складального кресленика (Додаток Г) входить розробка деталей передбачених специфікацією та покупка стандартних деталей. Розкладена модель пристрою з усіма деталями наведена на рис.2.34.

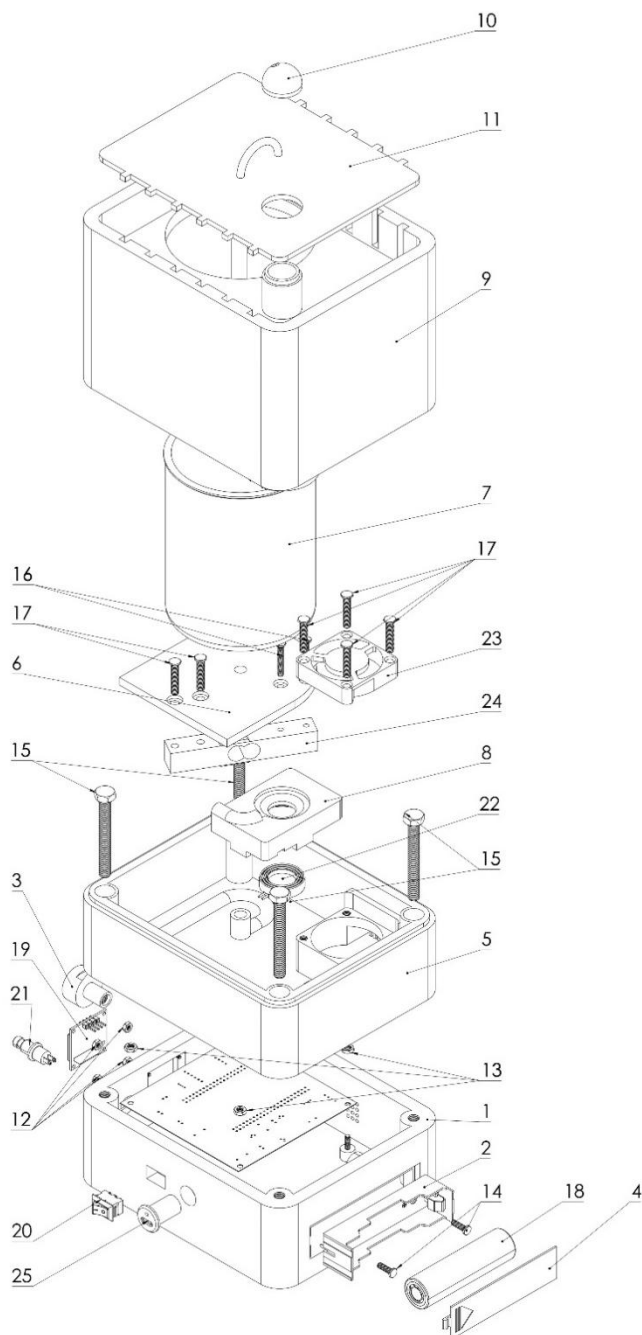


Рисунок 2.34 - Розкладена модель пристрою

Відсік друкованої плати та інтерфейсу користувача 1 має геометричні розміри 124x154x52мм. В цій деталі присутні отвори для компонентів інтерфейсу користувача 3, 19, 20, 21, 25; чотири кріпильні отвори для закріплення відсіку приводу 5, чотири бобишки з різьбою для монтажу друкованої плати та дві бобишки з отворами для кріплення тримача акумулятора 2. Дисплей 19 закріплюється до відсіку 1 за допомогою чотирьох гайок 12, що накручуються на бобишки з різьбою відсіку 1. Гайки 13 тримають друковану плату в закріпленому стані. Болти 14 закріплюють тримач акумулятора. Акумулятор 18 вставляється в тримач, а кришка акумулятора 4 закриває собою отвір для акумулятора.

Відсік приводу 5 має висоту 46 мм і закріплюється до відсіку 1 за допомогою болтів 15. У спеціальний жолоб відсіку 5 поміщається ультразвуковий диск 22, який покривається кришкою привода 8 для ізоляції від води. Тензодатчик 24 разом з плитою вагів 6 поверх, закріплюється до відсіку 5 за допомогою болтів 16 і 17. Вентилятор 23 закріплюється до відсіку 5 за допомогою болтів 17.

Відсік небулайзера 9 має висоту 102 мм закріплюється до відсіку 5 за допомогою виступу і канавки на відповідних відсіках. У круглий виріз відсіку 9 вставляється резервуар 7, що накривається кришкою пристрою 11. Носик виходу пари 10 насаджується на вихід труби відсіку небулайзера 9 за допомогою виступу і канавки відповідно. Висота пристрою без урахування носика виходу пари сягає 200 мм.

2.3 Виготовлення пристрою

Пристрій має в своєму складі як покупні так і розроблені пластикові деталі. Покупні деталі включають в себе компоненти для друкованої плати що наведені в Додатку В, вони доступні для покупки на радіоринках або в спеціалізованих магазинах, так само як і інші покупні деталі наведені в специфікації в Додатку Г.

2.3.1 Виготовлення друкованої плати

Так як основою друкованої плати є матеріал FR-4 це робить плату твердою, отже легкою для закріплення щупами. При напаяванні компонентів на друковану плату рекомендовано закріпити її за допомогою «третьої руки» щупами. Додатково, для кращого результату пайки і меншої шкоди зору варто забезпечити хорошу освітленість робочого столу і використовувати збільшувальне скло, так як в склад друкованої плати входять компоненти розміром в декілька міліметрів. Ці рекомендації актуальні при ручній пайці компонентів, але можливе і використання автоматичних машин для напаявання компонентів.

Для пайки рекомендується використовувати безгалогеновий флюс і свинцевий припій Cynel Sn60Pb40 діаметром 1 мм. В жало паяльника має бути використаний з гострим наконечником типу 900M-T-I. Перед напаянням компонента, на посадкове місце треба нанести флюс так, що він покриває всю площу посадкового місця. Після цього можна взяти паяльник розігрітий до 420°C і нанести краплю плавленого припою необхідного розміру.

2.3.2 Виготовлення розроблених деталей

Всі розроблені деталі мають в якості матеріалу пластик ABS, що робить їх ідеальними для друку на 3Д принтері. З міркувань дизайну, рекомендовано використовувати пластик саме білого кольору, бо білий колір підходить для абсолютної більшості інтер'єрів, але можна використовувати будь-який інший колір. Допуски розмірів деталей зроблено з урахуванням діаметра сопла принтеру 0.2 мм, тому треба використовувати принтери саме з цим діаметром. Геометричні розміри найбільшої деталі не перевищують 124x154x102мм, що дозволяє надрукувати деталі для цього пристрою на більшості комерційних 3Д принтерів.

2.3.3 Збірка пристрою

Для збірки пристрою знадобляться наступні інструменти: викрутка хрестова на М3, М4, М6 та ключ на М2 та М3 хрестоподібний. Конструкція пристрою розроблена таким чином, щоби максимально спростити ручну збірку. Збірка йде за схемою «знизу-наверх», тобто кожна наступна деталь ставиться поверх іншої і закріплюється за допомогою болтів або гайок. В процесі збірки не потрібно використовувати жодного клею або інших кріпильних речовин.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У другому розділі було виконано проєктування схемотехніки та конструкції пристрою ультразвукового зволожувача повітря. На основі технічного завдання здійснено підбір електронних компонентів, що забезпечують стабільну, енергоефективну та функціональну роботу пристрою. Зокрема, обрано мікроконтролер STM32F407VGT6, датчики вологості та ваги, OLED-дисплей, модулі живлення, а також елементи керування й виконавчі компоненти системи.

У процесі розробки створено принципову електричну схему пристрою, яка включає систему живлення з акумулятором 18650, BMS-захистом та перетворювачами напруги, модулі збору даних із датчиків, схеми керування периферією та LC-осцилятор для роботи ультразвукового п'єзоелектричного диска. Для окремих вузлів виконано інженерні розрахунки номіналів електронних компонентів, що дозволило забезпечити роботу пристрою на резонансній частоті 1,7 МГц.

Також було розроблено друковану плату пристрою в середовищі Altium Designer 24. Для всіх електронних компонентів створено посадкові місця, виконано двошарове трасування та реалізовано компактне компонування елементів. Плата має квадратну форму зі стороною 88 мм, містить необхідні монтажні отвори та забезпечує зручне підключення периферійних модулів.

Крім електронної частини, у розділі було виконано проєктування конструкції пристрою. Розроблено структурну схему, специфікацію та складальний кресленик виробу. Конструкція враховує особливості роботи з водою, забезпечує ізоляцію електроніки, зручність користування, а також можливість обслуговування та складання без використання додаткових кріпильних матеріалів. Для виготовлення корпусних деталей обрано ABS-пластик, що дозволяє реалізувати їх методом 3D-друку.

Отже, у результаті виконання другого розділу було повністю спроектовано схемотехнічну та конструктивну частини пристрою, підготовлено основу для виготовлення друкованої плати, корпусних деталей і подальшої практичної реалізації зволожувача повітря.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ

3.1 Розробка структурної схеми системи керування

Об'єктом керування (ОК) для пристрою автоматизованого зволоження повітря (зволожувача) є відносна вологість у приміщенні. Відносна вологість вимірюється у відсотках і є відношенням між фактичною кількістю вологи та максимальною її кількістю, яку може містити повітря. Виходячи із цього визначення, на об'єкт керування будуть впливати такі збурення як температура повітря, повітрообмін, об'єм приміщення, кількість людей в приміщенні, фізична активність людей у приміщенні, та інші джерела зволоження.

Температура повітря є одним із найважливіших збурювачів, адже від температури залежить максимальна кількість вологи, що може втримати повітря, і як наслідок система керування може підвищити масу водяної пари в повітрі до неприпустимих значень, намагаючись досягнути бажаного значення відносної вологості.

Повітрообмін є збурювачем, оскільки від руху потоків повітря залежить концентрація вуглекислого газу та водяної пари в приміщенні. При не оптимальному повітрообміні для приміщення відносна вологість повітря буде або занадто низькою, або занадто високою. Відповідно оптимальність повітрообміну залежить від об'єму приміщення, кількості людей що в ньому перебувають та їх фізична активність. Ці параметри є одночасно і збурювачами.

Ще одним збурювачем об'єкту керування є інші джерела зволоження такі як вологий одяг що сушиться, чайник що кип'ятить воду, або контейнери з водою що має контакт із повітрям.

Система керування (СК) має складатися з регулятора (Р) та виконавчого механізму (ВМ). Регулятором у пристрої буде виступати мікроконтролер, а виконавчим механізмом ультразвуковий привод. На цю систему керування

будуть впливати такі збурення як: недостатня кількість води в резервуарі та низький заряд акумулятора.

Також у структурній схемі має бути присутній зворотній зв'язок (ЗЗ) що складається з датчика вологості (Д). Він потрібний для повноцінного функціонування регулятора.

Виконана структурна схема системи керування пристроєм представлена на рис. 3.1.

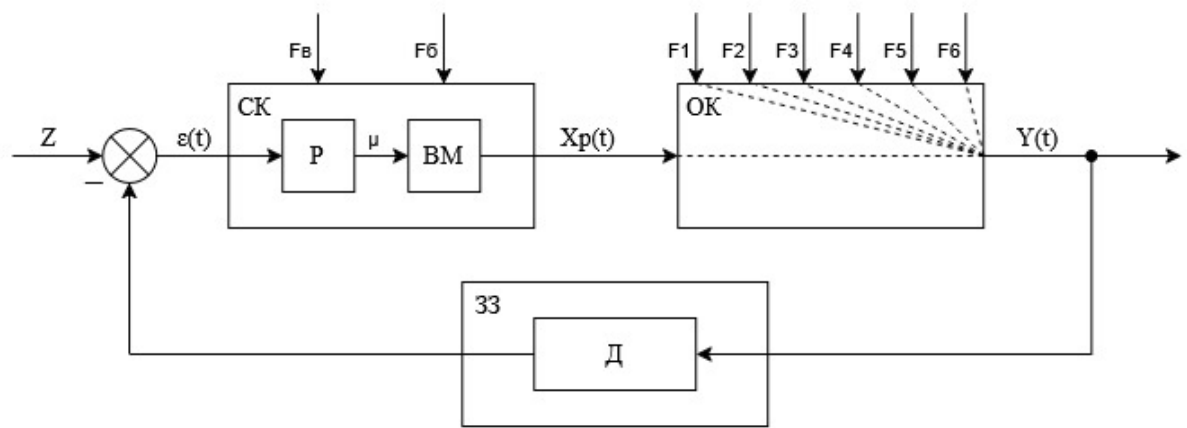


Рисунок 3.1 - Структурна схема системи керування пристроєм

На рис. 3.1 зображено:

- Задатчик Z - задана користувачем цільова відносна вологість повітря (%);
- Різниця $\varepsilon(t)$ - різниця між цільовим і вихідним значенням відносної вологості повітря (%);
- Вхідний сигнал регулятора μ ;
- Керувальний вплив $X_p(t)$ - потік пари із зволожувача (мл/год);
- Вихід $Y(t)$ - вихідна відносна вологість (%);
- Параметр t - час роботи зволожувача (год);
- Збурення F_1 - температура повітря в приміщенні ($^{\circ}\text{C}$);
- Збурення F_2 - повітрообмін в приміщенні ($\text{м}^3/\text{год}$);
- Збурення F_3 - об'єм приміщення (м^3);

- Збурення F4 - кількість людей в приміщенні (люд);
- Збурення F5 - фізична активність людей у приміщенні;
- Збурення F6 - інші джерела зволоження (мл/год);
- Збурення Fв - наявність води в резервуарі (л);
- Збурення Fб - заряд акумулятора.

3.2 Розробка алгоритму роботи

Алгоритм роботи, по якому мікроконтролер буде працювати, має в своєму складі роботу з дисплеєм, засобами введення та перевірок умови. При вмиканні користувачем кнопки живлення, струм з акумулятора заживлює всі компоненти пристрою, в тому числі мікроконтролер.

Робота мікроконтролера розпочинається з ініціалізації його інтерфейсів таких як GPIO, DMA, I2C, TIM, ADC. Наступним кроком, за допомогою ADC мікроконтролер зчитує рівень заряду акумулятора, якщо рівень заряду менше 15%, то мікроконтролер виводить на дисплей попередження про низький заряд. Від користувача очікується вимкнення пристрою і підключення його до зарядного пристрою за допомогою роз'єму USB-C. Якщо рівень заряду в акумуляторі задовільний, то мікроконтролер проводить ще одну перевірку працездатності пристрою, а саме зчитує дані з тензодатчика. Якщо вага в резервуарі більше 50 г, то на дисплей виводиться меню користувача (рис. 3.2). В протилежному випадку виводиться попередження про низький рівень води в резервуарі. Від користувача очікується вимкнення пристрою і доливання води в резервуар до необхідного рівня.

За допомогою кнопки дії користувач може зробити вибір бажаного інтервалу роботи. Існує три інтервалу роботи, які визначають кількість часу, на яку привод буде увімкнений та вимкнений:

- Швидкий (FAST) - вмикається на 5 хв, вимикається на 2 хв;
- Середній (MEDIU) - вмикається на 3 хв, вимикається на 5 хв;
- Економний (ECO) - вмикається на 1 хв, вимикається на 10 хв.

Для того щоб обрати необхідний інтервал потрібно натискати на кнопку дії, так щоб на дисплеї підсвітилась секція дисплею з інтервалами. Після цього потрібно повертати ручку керування до поки не буде підкреслено необхідний користувачу інтервал. Для того щоб підтвердити свій вибір користувач має затиснути кнопку дії на 2 секунди, після чого інтервал буде змінено, а секція дисплею з інтервалами погасне.



Рисунок 3.2 - Приклад вигляду меню користувача

Щоб ввести бажане значення відносної вологості користувач має натискати на кнопку дії, допоки на дисплеї не підсвітиться секція з цільовою вологістю (TARGET HUMIDITY). Після цього користувач керує значенням за допомогою прокручування ручки керування. Для того щоб підтвердити свій вибір користувач має затиснути кнопку дії на 2 секунди, після чого мікроконтролер запам'ятає значення, а секція дисплею з цільовою вологістю погасне.

Наступним кроком мікроконтролер опитує у датчика вологості дані і обробляє їх для подальшого використання. Опитування відбувається 2 рази з інтервалом 3 секунди, для того щоб зробити поправку на гістерезис. Це відбувається за формулою:

$$HR = \alpha * HR2 + (1 - \alpha) * HR1,$$

де HR - фільтроване значення вологості; α - динамічний коефіцієнт; $HR2$ - значення вологості на друге опитування датчика; $HR1$ - значення вологості на перше опитування датчика.

Значення динамічного коефіцієнта α залежить від модуля різниці $HR2$ і $HR1$. Якщо різниця більше 3%, то $\alpha = 0.5$, в іншому випадку $\alpha = 0.1$. На кінець, мікроконтролер проводить порівняння цільової вологості і фільтрованого значення вологості. Якщо цільова вологість більша за фільтровану, то мікроконтролер вмикає привід відповідно до інтервалу роботи. Коли цільова вологість досягнута, мікроконтролер перестає вмикати привод.

Блок-схема алгоритму роботи представлена в Додатку Д.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

У третьому розділі було розроблено систему керування та алгоритм роботи пристрою автоматизованого зволоження повітря. Проведено аналіз об'єкта керування, визначено основні збурювальні фактори, що впливають на відносну вологість у приміщенні, зокрема температуру повітря, повітрообмін, об'єм приміщення, кількість людей та інші джерела зволоження. На основі цього сформовано структурну схему системи керування із використанням мікроконтролера як регулятора, ультразвукового приводу як виконавчого механізму та датчика вологості у колі зворотного зв'язку.

Також було розроблено алгоритм роботи пристрою, який забезпечує контроль рівня заряду акумулятора, наявності води в резервуарі, вибір режимів роботи та підтримання заданого значення вологості. Реалізовано логіку взаємодії користувача з пристроєм через дисплей, кнопку дії та ручку керування. Для підвищення точності вимірювання вологості передбачено фільтрацію показників датчика із застосуванням динамічного коефіцієнта.

У результаті виконаної роботи сформовано повну логічну основу функціонування пристрою, що забезпечує автоматизоване підтримання комфортного рівня вологості повітря, енергоефективність та безпечну експлуатацію системи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломного проєкту було розроблено пристрій автоматизованого зволоження повітря з акумуляторним живленням, призначений для підтримання нормативного рівня відносної вологості у житлових і виробничих приміщеннях. Актуальність розробки обумовлена необхідністю забезпечення комфортного та безпечного мікроклімату, а також потребою в автономних рішеннях в умовах нестабільного електропостачання.

У ході роботи було проведено аналітичний огляд сучасних методів зволоження повітря, нормативних вимог до параметрів мікроклімату, конструктивних особливостей існуючих зволожувачів та сучасних систем автоматизації. Встановлено, що найбільш перспективними для побутового застосування є ультразвукові зволожувачі завдяки їх енергоефективності, компактності та високій продуктивності. Також визначено доцільність використання цифрових датчиків вологості, мікроконтролерного керування та алгоритмів автоматичного регулювання.

У процесі проєктування було розроблено схемотехніку пристрою, виконано підбір електронних компонентів та створено принципову електричну схему. Для реалізації системи керування обрано мікроконтролер STM32F407VGT6, датчик вологості DHT-22, тензодатчик із модулем HX711, OLED-дисплей SSD1306 та ультразвуковий п'єзоелектричний привод. Також реалізовано систему акумуляторного живлення із захистом та заряджанням через USB Type-C.

Було розроблено структурну схему системи керування та алгоритм роботи пристрою, що забезпечує контроль рівня вологості, стану акумулятора та наявності води в резервуарі. Реалізовано режими роботи пристрою, взаємодію користувача через дисплей та елементи керування, а також алгоритм фільтрації показників датчика вологості для підвищення точності регулювання.

У результаті виконаної роботи створено технічну основу для побудови компактного, автономного та енергоефективного пристрою автоматизованого зволоження повітря. Розроблений пристрій може бути використаний у житлових приміщеннях, офісах, медичних та складських приміщеннях для підтримання оптимальних параметрів мікроклімату. Подальшим напрямом розвитку проєкту може стати інтеграція IoT-технологій, мобільного керування та більш складних адаптивних алгоритмів регулювання вологості.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. WeatherQuestions. What is water vapor? 2019. URL: https://www.weatherstreet.com/weatherquestions/What_is_water_vapor.htm (дата звернення: 10.02.2026).
2. JLC International. Measuring Humidity – Basics. 2012. URL: <https://jlcinternational.com/product/measuring-humidity-basics/> (дата звернення: 10.02.2026).
3. ASHRAE. Handbook—Fundamentals. Atlanta : ASHRAE, 2025.
4. ДСТУ 3513:2021. Метеорологія. Терміни та визначення основних понять. Київ, 2021.
5. Almassad H. A., Abaza R. I., Siwwan L., Al-Maythalony B., Cordova K. E. Environmentally adaptive MOF-based device enables continuous self-optimizing atmospheric water harvesting // Nature Communications. 2022. Vol. 13. No. 4873.
6. Manchester Metropolitan University. Continental Climate // Encyclopedia of the Atmospheric Environment. 2000.
7. Zifan A. Ukraine map of Köppen climate classification. 2016. URL: https://id.wikipedia.org/wiki/Geografi_Ukraina#/media/Berkas:Ukraine_map_of_K%C3%B6ppen_climate_classification.svg (дата звернення: 10.02.2026).
8. Beck H. E., Zimmermann N. E., McVicar T. R., Vergopolan N., Berg A., Wood E. F. Köppen–Geiger climate classification map for Humid continental climates: Hot summer subtype (Dfa, Dwa, Dsa). 2018.
9. Peel M. C., Finlayson B. L., McMahon T. A. Humid continental climates: Warm summer sub-types Dfb, Dwb, and Dsb. 2011.
10. Грачев А. Карты України. 2023. URL: <https://геомап.land.kiev.ua/climate-7.html> (дата звернення: 10.02.2026).
11. Yurchenko Y. et al. Comprehensive study of the microclimate parameters in the residential building // Journal of KONBiN. 2021. Vol. 51, No. 3.

12. Elantary A. R. Microclimate Dynamics in Residential Spaces: Analyzing Humidity and Temperature for Improved Indoor Comfort // Civil Engineering and Architecture. 2025. Vol. 13. No. 3A. P. 2288–2300.
13. Givoni B. Climate considerations in building and urban design. New York : John Wiley & Sons, 1998.
14. Wolkoff P., Azuma K., Carrer P. Health, work performance, and risk of infection in office-like environments: The role of indoor temperature, air humidity, and ventilation // International Journal of Hygiene and Environmental Health. 2021. Vol. 233. Article 113709.
15. Schindelholz E. J., Kelly R. G., Risteen B. E. Effect of Relative Humidity on Corrosion of Steel under Acidified Artificial Seawater Particles. 2014.
16. Міністерство охорони здоров'я України. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99. 1999. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text> (дата звернення: 10.02.2026).
17. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». 2013. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3074971619479783152 (дата звернення: 10.02.2026).
18. ANSI/ASHRAE. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. 1995.
19. Needham A. 7 Ways To Humidify A Room Without A Humidifier, According To Experts // Southern Living. 2026. 30 Jan. URL: <https://www.southernliving.com/how-to-humidify-a-room-without-a-humidifier-8727785> (дата звернення: 10.02.2026).
20. Lee Mr. What Are the Future Trends in Humidifier Products? // HisoAir Co., Ltd. 2025. 9 Jan. URL: <https://hisoair.com/future-trends-humidifier-products/> (дата звернення: 10.02.2026).
21. Harbison Y. Humidifier Buying Guide // Ferguson Enterprises, LLC. 2024. URL: <https://www.fergusonhome.com/humidifier-buying-guide/a24227> (дата звернення: 10.02.2026).

22. FINESTFOG GmbH. Air Humidification for the industry. URL: <https://www.finestfog.com/en/air-humidification-for-industry/> (дата звернення: 10.02.2026).
23. ASHRAE. Handbook-HVAC Systems and Equipment (SI). Atlanta : ASHRAE, 2016.
24. Carlsen J. Best Humidifiers of 2026 // CNET. 2026. 5 Jan. URL: <https://www.cnet.com/home/best-humidifiers/> (дата звернення: 10.02.2026).
25. ДСТУ 2821-94. Промислове електронагрівання. Терміни та визначення. Київ, 1994.
26. Piezo Direct. Piezoelectric Discs. URL: <https://piezodirect.com/piezo-disc-actuators/> (дата звернення: 10.02.2026).
27. University of Queensland. School science lessons. 2026.
28. AIM dynamics. What is a Humidity Sensor? How They Work, Types, and Applications. 2024. 2 July. URL: <https://aimdynamics.com/humidity-sensor> (дата звернення: 10.02.2026).
29. Arduino GEEKMATIC. Цифровий датчик температури та вологості DHT11. 2026. URL: <https://geekmatic.in.ua/ua/dht11> (дата звернення: 10.02.2026).
30. Liptak B. G. Instrument Engineers' Handbook. Vol. 1. 4th ed. CRC Press, 2003.
31. Rane D. B., Shaukat B. N., Jalindar K. P., Vilas M. P. Portable Smart Humidifier with ESP32 // International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology (IJARSCT). 2024. Vol. 4. No. 5.
32. Peters E. N. Plastics: Thermoplastics, Thermosets, and Elastomers // Handbook of Materials Selection. New York : John Wiley & Sons, Inc., 2007.
33. ASTM International. Standard Specification for Pressure-rated Polypropylene (PP) Piping Systems. 2017.
34. Yao W., Gallagher D. L., Dietrich A. M. An overlooked route of inhalation exposure to tap water constituents for children and adults: Aerosolized aqueous minerals from ultrasonic humidifiers. 2020.

35. Jarry J. Questions Abound on the Safety of Humidifiers // McGill University. 2020. 15 Dec. URL: <https://www.mcgill.ca/oss/article/critical-thinking-health/questions-abound-safety-humidifiers> (дата звернення: 10.02.2026).
36. World Health Organisation. WHO global air quality guidelines. 2021.
37. Aqua free. Biofilms in water systems: formation, risks and solutions. 2025. 24 Jun. URL: <https://www.aqua-free.com/en/magazine/what-is-a-biofilm> (дата звернення: 10.02.2026)
38. U.S. Environmental Protection Agency. Use and Care of Home Humidifiers. 2022.
39. Carepod. Why Carepod? 2026. URL: <https://hellocarepod.com/pages/why-carepod> (дата звернення: 10.02.2026).
40. Philips. Air Humidifier-The NanoCloud Story. 2012.
41. Nielsen M. P., Olesen A. C., Menard A. Modeling of a Membrane Based Humidifier for Fuel Cell Applications Subject to End-Of-Life Conditions // The 55th Conference on Simulation and Modelling. Aalborg, 2014.
42. Nainwal A. Humidity Sensors: Types, Features, and Best Practices for Accurate Measurements // DigiKey. 2024. URL: <https://forum.digikey.com/t/humidity-sensors-types-features-and-best-practices-for-accurate-measurements/44954> (дата звернення: 10.02.2026).
43. RIKA Sensor. What are the Applications of Temperature and Humidity Sensors? 2025. 22 Apr. URL: <https://www.rikasensor.com/blog/what-are-the-applications-of-temperature-and-humidity-sensors.html> (дата звернення: 10.02.2026).
44. Arshak K., Morris D., Arshak A., Korostynska O., Jafer E. Development of a Wireless Pressure Measurement System Using Interdigitated Capacitors // IEEE Sensors Journal. 2007. Vol. 7. P. 122–129.
45. Ersaelectronics PTE. LTD. Humidity Sensors & IC Integration: Types, Working Principles, Applications, and Selection Guide. 2025. 4 Sep. URL: <https://www.ersaelectronics.com/blog/humidity-sensors-ic-integration-guide> (дата звернення: 10.02.2026).

46. Smith K. Environmental Sensors: Omron, Bosch, and Sensirion Sensors for Smart Homes, IoT Devices, Wearables. 2018. 29 Oct. URL: <https://www.allaboutcircuits.com/news/environmental-sensors-omron-bosch-sensortec-sensirion/> (дата звернення: 10.02.2026).
47. SENSIRION. SHT41 and SHT45 Humidity Sensors available. 2021. 13 Oct. URL: <https://sensirion.com/de/unternehmen/news-bereich/pressemitteilungen-news/article/sht41-and-sht45-humidity-sensors-available> (дата звернення: 10.02.2026).
48. Bosch. BME280 – Data sheet. 2024. URL: <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme280-ds002.pdf> (дата звернення: 10.02.2026).
49. Texas Instruments. HDC302x Datasheet. 2024. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/hdc3022.pdf> (дата звернення: 10.02.2026).
50. Texas Instruments. Optimizing Placement and Routing for Humidity Sensors. 2017. URL: <https://www.ti.com/lit/an/snaa297a/snaa297a.pdf?ts=1769373285279> (дата звернення: 10.02.2026).
51. SENSIRION. Design Guide for Humidity and Temperature Sensors. 2024. URL: https://sensirion.com/media/documents/FC5BED84/662B494D/Sensirion_Humidity_Temperature_Design_Guide.pdf (дата звернення: 10.02.2026).
52. Yang W., Li W., Lu H., Liu J., Zhang T. Dynamic Compensation Method for Humidity Sensors Based on Temperature and Humidity Decoupling. Basel, 2022.
53. Carrier Corp. Advanced Installation and Configuration Instructions. 2017.
54. Peffer T. E. California DREAMing: the Design of Residential Demand Responsive Technology with People in Mind. 2009.
55. Gouda M. M., Danaher S. L., Underwood C. P. Fuzzy Logic Control Versus Conventional PID Control for Controlling Indoor Temperature of a Building Space. 2000.
56. Song Y. Intelligent PID controller based on fuzzy logic control and neural network technology for indoor environment quality improvement. 2014.

57. Спеціальні розділи математики: конспект лекцій : навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко, В. М. Сокурєнко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 192 с.
58. Муравйов О. В. Передача даних та сучасні методи обробки сигналів. Практикум: навчальний посібник / О. В. Муравйов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 55 с.
59. Статистичні методи визначення залежностей між випадковими величинами: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 115 с.
60. Комп'ютерне проектування електронних схем. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / Р. М. Галаган ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 21,33 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 419 с.
61. Баженов В.Г. Електроніка. Лабораторний практикум: навчальний посібник / В. Г. Баженов, Є. Ф. Суслєв, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 70 с.
62. Галаган Р. М. Теоретичні основи ультразвукового неруйнівного контролю: підручник / Р. М. Галаган. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 263 с.
63. Куц Ю.В. Новітні системи та технології: навчальний посібник / Ю. В. Куц, Ю. Ю. Лисенко, А.С. Момот; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 123 с.
64. Петрик В.Ф., Протасов А.Г., Галаган Р.М., Муравйов О.В., Момот А.С. Бездротові технології в автоматизації неруйнівного контролю. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2021. Том 32 (71), № 5. с. 25-29.

Додатки надаються за запитом до авторів.

ДОДАТОК А

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Технічне завдання на розробку пристрою автоматизованого зволоження повітря

1. Призначення розробки

Пристрій автоматизованого зволоження повітря призначений для підтримання заданого рівня вологості повітря у приміщенні шляхом автоматичного генерування та подачі водяної пари в навколишнє середовище. Пристрій має забезпечувати автономну роботу, контроль рівня вологості та рівня води, а також взаємодію з користувачем через елементи керування та дисплей.

2. Підстава для розробки

Підставою для розробки є необхідність створення компактного енергоефективного пристрою для автоматизованого контролю мікроклімату приміщення з можливістю автономного живлення та сучасним інтерфейсом користувача.

3. Призначення та область застосування

Пристрій призначений для:

- підтримання комфортного рівня вологості у житлових приміщеннях;
- використання у невеликих офісах та побутових приміщеннях;
- автоматичного керування процесом зволоження без постійного втручання користувача.

4. Технічні вимоги

4.1. Функціональні вимоги

Пристрій повинен:

- вимірювати температуру та вологість повітря;
- автоматично вмикати та вимикати систему зволоження;
- контролювати рівень води у резервуарі;
- відображати інформацію на дисплеї;
- забезпечувати ручне налаштування параметрів роботи;
- забезпечувати захист від роботи без води;
- забезпечувати автономне живлення від акумулятора;
- забезпечувати заряджання через USB Type-C.

4.2. Вимоги до апаратної частини

Мікроконтролер: тип STM32F4, тактова частота до 168 МГц; архітектура ARM Cortex-M4, живлення 3,3 В. Датчики: датчик вологості та температури DHT-22;

тензодатчик із модулем HX711 для контролю рівня води. Система зволоження: ультразвуковий п'єзоелектричний диск із робочою частотою 1,7 МГц та напругою живлення 12 В. Система живлення: акумулятор Li-ion 18650, заряджання через USB Type-C, наявність BMS-захисту.

4.3. Вимоги до програмного забезпечення

Програмне забезпечення повинно:

- здійснювати зчитування показників датчиків;
- реалізовувати алгоритм автоматичного підтримання вологості;
- керувати вентилятором та ультразвуковим приводом;
- контролювати рівень заряду акумулятора;
- забезпечувати роботу інтерфейсу користувача;
- відображати параметри системи на дисплеї;
- реалізовувати захист від помилкових режимів роботи.

5. Конструктивні вимоги

Конструкція пристрою повинна:

- забезпечувати ізоляцію електроніки від води;
- складатися з окремих функціональних відсіків;
- забезпечувати доступ до елементів керування;
- забезпечувати зручність складання та обслуговування;
- бути придатною для виготовлення методом 3D-друку.

Матеріал корпусу: ABS-пластик.

6. Вимоги до друкованої плати

Друкована плата повинна:

- бути двошаровою;
- виготовлятися з матеріалу FR-4;
- мати товщину 1,6 мм;
- містити монтажні отвори;
- забезпечувати компактне розташування компонентів;
- мати окремі полігони землі для живлення та осцилятора.

7. Вимоги до надійності та безпеки

Пристрій повинен:

- мати захист акумулятора від перезарядження та глибокого розряду;
- автоматично вимикати систему зволоження при відсутності води;
- забезпечувати безпечну роботу користувача;
- не допускати перегріву електронних компонентів.

8. Вимоги до виготовлення

Компоненти друкованої плати повинні бути придатними для ручного або автоматизованого монтажу. Корпусні деталі мають виготовлятися на 3D-принтері.

Конструкція повинна забезпечувати можливість багаторазового складання та розбирання.

9. Етапи розробки

- Розробка структурної схеми;
- Підбір електронних компонентів;
- Розробка принципової електричної схеми;
- Проєктування друкованої плати;
- Розробка конструкції корпусу;
- Створення програмного забезпечення;
- Виготовлення дослідного зразка;
- Тестування та налагодження;
- Підготовка конструкторської документації.

10. Очікуваний результат

Результатом виконання роботи має стати працездатний пристрій автоматизованого зволоження повітря з автономним живленням, системою автоматичного контролю вологості та комплектом конструкторської документації для його виготовлення.