МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Кафедра електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

рівень вищої освіти *другий (магістерський)*

на тему Дослідження та розробка системи контролю вологості та іонізації повітря у довкіллі

Виконав: студента *II* курсу, групи *8.1764*

Ключко А.В. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Напряму підготовки_____
(шифр)

Спеціальності *176*

Мікро- та наносистемна техніка
(назва)

Керівник *доцент, доцент, к.т.н.*
Ніконова А.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент *інженер-конструктор Конструкторського бюро Колосова Григор'єва І.К.*
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя

2025 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Рівень вищої освіти __*другий (магістерський)*_____
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Напрям підготовки
_____*176*_____
(шифр)

Спеціальність___*Мікро- та наносистемна техніка*_____
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри __*ЕІСПЗ*_____

____*Критська Т.В.*_____

“ 12 ” *грудня* 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____*Ключко Андрій Володимирович*_____
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження та розробка системи контролю вологості та іонізації повітря у довкіллі »
керівник роботи_____*Ніконова Аліна Олександрівна*
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від *“ 27” лютого 2025 року №313-с*
2. Строк подання студентом роботи_____*12 грудня 2025*_____
3. Вихідні дані до роботи *Arduino Uno R3, сенсорний вимикач TTP223, дисплей I2C OLED SSD1306, датчик CCS811, акумулятор 18650 LI-ION, реле-модуль, іонізатор*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
1 Аналіз сучасних технологій контролю вологості та іонізації повітря
2 Розробка приладу для контролю вологості та іонізації повітря
3 Техніко-економічне обгрунтування
4 Охорона праці та техногенна безпека
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)
Л1-значення іонізації повітря для здоров’я людини; Л2-принцип дії коронного іонізатора; Л3-загальна схема контролю вологості та іонізації повітря; Л4-алгоритм регулювання параметрів повітряного середовища із застосуванням іонізатора; Л5-схема підключення сенсорного вимикача TTP223 до Arduino Uno; Л6-схема керування 12-вольтовими вентиляторами за допомогою транзисторного ключа; Л7-сигнали системи керування Mosfet-транзистором на осцилографі; Л8-схема електрична принципова

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
I	*Ніконова А.О.*	*.2025*
II	*Ніконова А.О.*	*.2025*
III	*Ніконова А.О.*	*.2025*
IV	*Ніконова А.О.*	*.2025*

7. Дата видачі завдання _____*27.02.2025 року*_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного Роботи	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	*Аналіз технологій контролю вологості та іонізації повітря.*	*12.03.2025*	
2	*Дослідження сенсорів іонізації і вибір елементів системи.*	*07.04.2025*	
3	*Розробка структурної схеми приладу.*	*19.05.2025*	
4	*Розробка алгоритму роботи та функціональних блоків системи.*	*23.06.2025*	
5	*Створення принципової електричної схеми приладу*	*11.07.2025*	
6	*Техніко-економічне обґрунтування.*	*14.08.2025*	
7	*Охорона праці та техногенна безпека.*	*09.09.2025*	
8	*Оформлення пояснювальної записки.*	*01.12.2025*	
9	*Рецензування, нормоконтроль, підписання роботи*	*15.12.2025*	
10	*Оприлюднений захист магістерської роботи*	*18.12.2025*	

Студент _____ *Ключко А.В.*

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи) _____ *Ніконова А.О.*

(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено _____ *Верьовкін Л.Л.*

(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить 76 сторінок, 20 рисунків, 10 таблиць, 18 джерел літератури.

Об’єкт дослідження - пристрій для контролю вологості та іонізації повітря.

Мета роботи - створення та дослідження системи, призначеної для контролю вологості й рівня іонізації повітря.

Завдання роботи - розроблення структурної схеми, алгоритму регулювання, вибір необхідних компонентів, опис функціональних блоків та побудова принципової електричної схеми пристрою.

Методика досліджень - проведено моделювання системи контролю вологості та іонізації повітря у середовищі Proteus**,** з використанням мікроконтролера, датчиків та іонізатора.

Короткий виклад результатів досліджень - у роботі досліджено принципи контролю мікроклімату та створено пристрій, що поєднує вимірювання вологості й автоматичне керування іонізатором. Прилад стабільно фіксує параметри повітря та відображає їх на дисплеї, забезпечуючи оперативний контроль його якості та рівня іонізації.

Результати впроваджень - результати дослідження були апробовані на II Міжнародній науково-практичній конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні ЗНУ «Інженерні інновації та розбудова національної економіки».

Прогнозні пропозиції - рекомендується провести подальші дослідження з метою забезпечення високої надійності та стабільності функціонування розробленого пристрою.

ТРАНЗИСТОР, РЕЗИСТОР, МІКРОСХЕМА, ДИСПЛЕЙ, СЕНСОРНИЙ ВИМИКАЧ, ВЕНТИЛЯТОРИ, ДАТЧИК ЯКОСТІ ПОВІТРЯ, РЕЛЕ-МОДУЛЬ, ІОНІЗАТОР, АКУМУЛЯТОР

Кваліфікаційну роботу виконано на кафедрі електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення з 27.02.2025р. по 12.12.2025 р

ЗМІСТ

ВСТУП……6
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ТА ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ……7
1.1 Сучасні технології контролю вологості 10
1.2 Дослідження сучасних сенсорів іонізації 12
1.2.1 Вплив іонізації повітря на фізіологічні показники об’єктів 17
1.2.2 Принцип дії іонізатора 18
1.2.3 Види іонізаторів 19
1.3 Вибір сенсорів і виконавчих пристроїв 21
2 РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ТА ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ……..24
2.1 Розробка загальної структурної схеми приладу 24
2.2 Алгоритм роботи приладу 25
2.3 Розробка блоку сенсорного вимикача 27
2.4 Розробка блоку ініцілізації системи 29
2.5 Розробка блоку зчитування даних з датчиків 31
2.6 Розробка блоку виведення даних на екран 33
2.7 Розробка блоку керування іонізатором 34
2.8 Розробка блоку транзисторного ключа 36
2.9 Принципова електрична схема пристрою 38
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ 43
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 50
4.1 Електробезпека при роботі з системами контролю вологості та іонізації повітря 50
4.2 Безпека при роботі з іонізаторами 51
4.3 Організаційно-технічні заходи пожежної безпеки 54
4.4 Санітарно - гігієнічні вимоги 57
4.5 Ергономічні аспекти 58
4.6 Техногенні ризики 59
4.7 Заходи щодо мінімізації ризиків 61
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ 64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ……..66
Додаток А 68
Додаток Б 69
Додаток В 74

ВСТУП

У сучасному світі, де стрімко зростає урбанізація та щільність забудови, якість повітря в закритих приміщеннях набуває особливої важливості. Вона безпосередньо впливає на здоров’я, самопочуття та продуктивність людей. Особливо важливими параметрами мікроклімату є вологість і рівень іонізації повітря, що сприяють профілактиці респіраторних захворювань, зниженню алергічних реакцій, покращенню концентрації уваги, а також стабільній роботі електронного обладнання та збереженню матеріалів.

У зв’язку з цим спостерігається зростання попиту на інтелектуальні системи управління мікрокліматом, які не лише фільтрують повітря, а й забезпечують контроль вологості та іонного складу. Все більше користувачів обирають автоматизовані рішення для створення комфортного середовища вдома й на роботі. Така тенденція набуває особливої актуальності в умовах розвитку технологій "розумного будинку", орієнтації на енергоефективність та здоровий спосіб життя.

Проте аналіз ринку показує, що більшість сучасних пристроїв спеціалізуються лише на одній функції - зволоженні або іонізації, що знижує загальну ефективність підтримки мікроклімату. До того ж багато з них мають обмежені можливості налаштування, споживають значну кількість енергії та не інтегруються з іншими автоматизованими системами.

Таким чином, виникає потреба у створенні багатофункціональної автоматизованої системи, яка б ефективно контролювала як вологість, так і рівень іонізації повітря, адаптуючись до змін навколишнього середовища та індивідуальних потреб користувача.

Це й зумовлює актуальність даного дослідження, спрямованого на проєктування та аналіз сучасної енергоефективної системи управління мікрокліматом, яка поєднує простоту експлуатації, надійність та можливість інтеграції в інтелектуальні середовища. [1]

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ТА ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ

Вологість повітря визначає кількість водяної пари, що міститься в повітрі. Низька або висока вологість може негативно впливати на здоров’я людини, викликаючи сухість шкіри, подразнення слизових оболонок, алергічні реакції та підвищуючи ризик простудних і респіраторних захворювань. Крім того, надмірна вологість сприяє утворенню цвілі та грибків, що може погіршувати якість повітря та викликати захворювання дихальних шляхів. З іншого боку, надто сухе повітря призводить до електростатичних розрядів, що є особливо небезпечним для чутливої електроніки та промислового обладнання, де статична електрика може викликати пошкодження компонентів або навіть аварії.



Рисунок 1.1 - Вплив вологості повітря на здоров’я та техніку.

Іонізація повітря - це наявність у повітрі заряджених частинок - іонів. Позитивно заряджені іони часто асоціюються з накопиченням статичної електрики і можуть погіршувати самопочуття людини, викликати втому та зниження концентрації. Негативні іони, навпаки, мають очищувальний ефект: вони зменшують кількість пилу, алергенів і шкідливих мікроорганізмів у

повітрі, сприяють покращенню настрою, підвищенню імунітету та загальному оздоровленню організму. Тому контроль іонного балансу повітря є важливим для створення здорового мікроклімату, особливо у приміщеннях з високою людською активністю або у виробничих умовах.

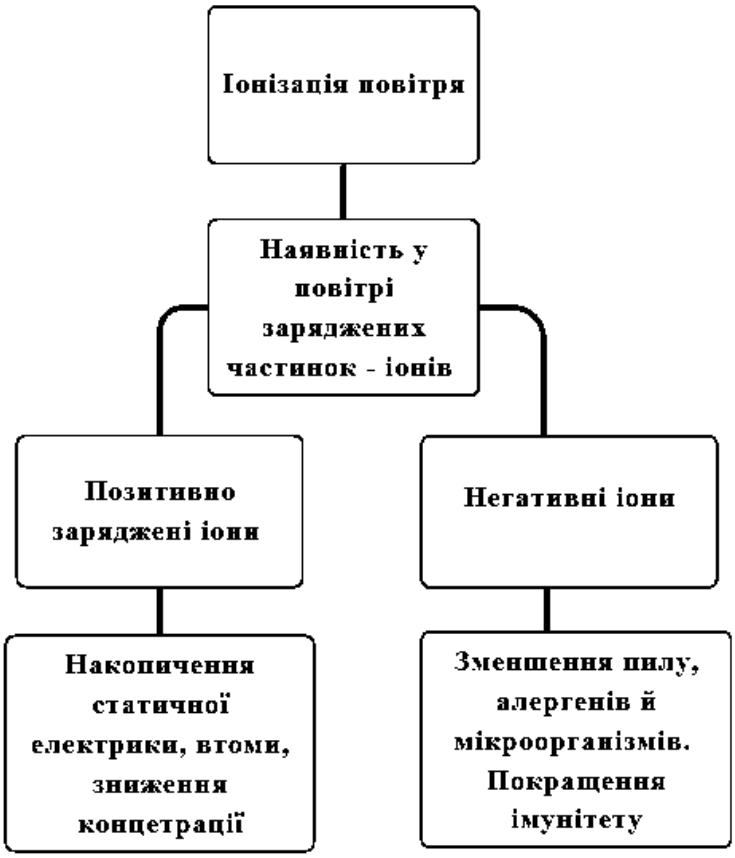


Рисунок 1.2 - Значення іонізації повітря для здоров’я людини.

Ефективне регулювання вологості та іонного складу повітря є ключовим фактором створення комфортного та безпечного середовища для проживання, праці та відпочинку. Правильний контроль мікроклімату сприяє підвищенню продуктивності праці, зміцненню здоров’я людей та зменшенню витрат на обслуговування і ремонт обладнання, оскільки знижує ризик корозії, накопичення пилу та пошкодження електронних пристроїв. Використання сучасних сенсорних технологій та автоматизованих систем регулювання дозволяє підтримувати стабільні оптимальні умови навіть у приміщеннях зі складними або динамічними параметрами.

Контроль вологості та іонізації повітря також має критичне значення для запобігання розвитку шкідливих мікроорганізмів, грибків і цвілі, які можуть

активно розмножуватися при високій вологості та недостатній вентиляції. Це особливо важливо для медичних закладів, навчальних приміщень, лабораторій, а також для промислових і виробничих об’єктів, де якість повітря безпосередньо впливає на безпеку персоналу, точність технологічних процесів і тривалість служби обладнання.

Іонізація повітря є ефективним засобом очищення повітря від пилу та алергенів. Негативно заряджені іони сприяють агрегації дрібнодисперсних частинок та їх осадженню, що значно зменшує рівень забруднення повітря. Це особливо актуально для приміщень із високим техногенним навантаженням: серверних кімнат, офісів з великою кількістю електронної техніки, виробничих цехів та житлових будинків у промислових районах. Наукові дослідження показують, що оптимальний рівень негативної іонізації покращує функціонування дихальної системи, сприяє нормалізації сну, знижує прояви алергічних реакцій та позитивно впливає на психоемоційний стан людини.

Сучасні системи управління мікрокліматом інтегрують високоточні датчики та мікроконтролери, які забезпечують безперервний моніторинг параметрів повітря та автоматичне регулювання режимів роботи обладнання. Це дозволяє реалізовувати енергоефективні стратегії керування вентиляцією, зволоженням, очищенням та іонізацією повітря, підвищуючи комфорт та економічну доцільність експлуатації приміщень.

Особливе значення мають алгоритми адаптивного управління, які дозволяють системам оперативно реагувати на зміни зовнішніх та внутрішніх умов. Вони аналізують тенденції коливань температури, вологості та рівня іонізації, прогнозують можливі відхилення та автоматично вживають заходів для їх корекції. Це забезпечує максимальну ефективність роботи обладнання навіть у періоди різких змін погодних умов або під час інтенсивного використання приміщень.

Крім того, інтеграція систем контролю вологості та іонізації з технологіями «розумного дому» або промислового автоматизованого управління дозволяє оптимізувати витрати енергії та ресурсів, створюючи не

лише безпечний та здоровий, а й екологічно та економічно ефективний простір. Впровадження таких систем сприяє підвищенню загальної якості життя та забезпечує відповідність сучасним стандартам екологічності, енергоефективності та безпеки.

Таким чином, ефективне регулювання вологості та іонізації повітря є багатофункціональною складовою сучасного мікрокліматичного контролю, що поєднує фізіологічні, технологічні та енергетичні аспекти функціонування приміщень, забезпечуючи здорове, комфортне та оптимізоване середовище для людей і обладнання. [1]

1.1 Сучасні технології контролю вологості

Існує широкий спектр сенсорів вологості, що відрізняються принципом дії та сферою застосування (табл 1.1).

Таблиця 1.1 - Порівняння основних типів сенсорів вологості за їх характеристиками та умовами використання.

Тип сенсора	Принцип дії	Переваги	Недоліки
Ємнісний	Зміна діелектричної проникності → зміна ємності	- Висока точність - Діапазон 0-100% RH - Висока чутливість - Низьке споживання - Довговічність	- Чутливі до температури - Потреба в калібруванні
Резистивний	Зміна опору гігроскопічного матеріалу	- Проста конструкція - Добра чутливість у вузькому діапазоні RH - Низька вартість	- Менша стабільність - Схильність до забруднень і деградації

Тепловий (термогігрометр)	Зміна теплопровідності повітря	- Нечутливі до забруднень - Надійні у складних умовах	- Повільна реакція - Низька точність у побутових умовах
Оптичний	Зміна показника заломлення або поглинання світла	- Висока точність у лабораторіях - Нечутливість до електромагнітних завад	- Складна конструкція - Висока вартість - Обмежене застосування у побуті

Для контролю вологості повітря використовуються різні типи сенсорів, які базуються на різних фізичних принципах. Серед них найбільш поширеними є ємнісні та резистивні сенсори, а також менш розповсюджені теплові та оптичні методи вимірювання.

Ємнісні сенсори вологості - це найбільш популярний тип датчиків, у яких зміна вологості впливає на ємність діелектричного матеріалу. При зміні вологості навколишнього середовища змінюється діелектрична проникність матеріалу сенсора, що призводить до відповідної зміни його ємності. Ці сенсори відзначаються високою чутливістю, швидким часом відгуку та широким діапазоном вимірювань - від 0 до 100 % відносної вологості (RH). Вони також мають тривалий термін служби і стабільність показників. Через ці переваги ємнісні сенсори широко застосовуються у кліматичних системах, системах домашньої автоматизації, а також у промисловому обладнанні, де потрібен точний і надійний контроль вологості.

Резистивні сенсори вологості працюють на основі зміни електричного опору спеціального гігроскопічного матеріалу, який реагує на вологу в повітрі. Зі збільшенням вологості змінюється концентрація іонів у матеріалі, що впливає на його провідність. Резистивні сенсори мають добру чутливість і можуть використовуватися у різних сферах. Проте вони можуть бути менш

стабільними в довгостроковій експлуатації через чутливість до забруднень і впливу агресивних середовищ, що іноді знижує їх точність і надійність.

Менш поширеними, але важливими для спеціалізованих застосувань є теплові сенсори вологості або гігрометри з тепловим вимірюванням. Вони визначають вологість за зміною теплопровідності повітря, оскільки наявність водяної пари змінює теплові характеристики середовища. Ці сенсори використовуються, як правило, у лабораторних або промислових умовах, де потрібен високоточний контроль вологісних параметрів.

Ще одним сучасним напрямком є оптичні методи вимірювання вологості, що базуються на аналізі змін оптичних властивостей повітря або спеціальних середовищ під впливом вологості. Ці методи застосовуються у складних наукових і лабораторних системах, оскільки дозволяють отримати високоточні дані, проте мають високу вартість та складність реалізації. [1, 2]

1.2 Дослідження сучасних сенсорів іонізації

Контроль іонного складу повітря є важливою складовою в забезпеченні мікроклімату приміщень, особливо у медичних, лабораторних, промислових та побутових умовах. Іонізація повітря відбувається природним чином (після грози, біля водоспадів, у горах), однак в умовах замкнутого простору часто спостерігається дефіцит негативно заряджених іонів та надлишок позитивних (катіонів), що негативно впливає на здоров’я та самопочуття людини, а також може спричинити накопичення статичної електрики, яка шкодить електроніці.

Таблиця 1.2 - Приклади сенсорів іонізації за характеристиками.

Модель / Пристрій	Тип	Діапазон	Точність / Особливості	Призначення
AIC-1000 Ion Counter	Електрометричний	10^4 - 10^6 іонів/см^3	Висока чутливість,	Медичні лабораторії, дослідження

			професійне застосування	якості повітря
AlphaLab Inc. Air Ion Counter	Електрометричний	±2×10⁶ іонів/см³	Портативний, зручний у використанні, LCD-дисплей	Перевірка роботи іонізаторів
Sharp Plasmacluster Sensor	Інтегрований	До 7000 іонів/см³ (і більше)	Вбудований сенсор + генератор, контроль вологості	Побутова та медична техніка
IonoMeter IM806	Цифровий	0 - 10⁶ іонів/см³	Статистична точність ±10 %	Промислова екологія, контроль чистих приміщень

В умовах зростаючого інтересу до екологічної безпеки та поліпшення якості повітря все більшого значення набувають технології іонізації, що ґрунтуються на фізичних процесах формування заряджених частинок у газовому середовищі. Іонізатори являють собою пристрої, які створюють штучне збагачення повітря іонами, що виникають внаслідок впливу енергетичних чинників на атоми або молекули. Принцип їхньої дії полягає у створенні потужного електричного поля поблизу загострених електродів, що призводить до утворення коронного розряду. У цій зоні відбувається або відрив електронів від молекул повітря, або їх приєднання, внаслідок чого утворюються негативно або позитивно заряджені частинки.

Окрему групу становлять пристрої, які не лише генерують іони, але й здатні здійснювати їх детекцію. Такі системи працюють за електрометричним принципом, згідно з яким концентрація іонів визначається шляхом реєстрації надзвичайно малих електричних струмів, що виникають під час осідання іонів на електродах. Для цього застосовуються високочутливі вимірювальні каскади з великим вхідним опором, здатні фіксувати струми в діапазоні піко- та наноампер. Цей підхід широко використовується у метрологічних дослідженнях і лабораторній практиці для точного аналізу аероіонного складу повітря.

Сучасні інтегровані іонізаційні системи поєднують у єдиному корпусі іонізаційний блок та сенсорний модуль контролю параметрів середовища. Такий конструктив дозволяє зменшити розміри пристрою, знизити енергоспоживання та забезпечити автономну роботу. Завдяки вбудованим алгоритмам регулювання, ці пристрої в режимі реального часу адаптують рівень іонізації відповідно до змін у навколишньому середовищі, що суттєво підвищує їх ефективність і стабільність функціонування.

Цифрові технології у сфері аналізу іонного складу повітря передбачають перетворення аналогових сигналів, які виникають під час взаємодії іонів з чутливими елементами сенсора, у цифрові дані за допомогою аналого-цифрових перетворювачів. Надалі ці дані обробляються мікропроцесором, фільтруються, аналізуються та відображаються користувачеві у зручному форматі. Такий підхід дає змогу здійснювати постійний моніторинг повітря, зберігати результати вимірювань, здійснювати дистанційний контроль і вбудовувати систему в інтелектуальні платформи керування мікрокліматом.

Залежно від принципу роботи, сенсори іонізації поділяються на кілька типів. Найбільш поширеними є електрометричні сенсори, що вимірюють струм, який протікає між двома електродами унаслідок руху іонів. Такі пристрої забезпечують високу точність і чутливість, але потребують регулярного калібрування і мають відносно високу собівартість. Оптичні сенсори, які ґрунтуються на аналізі змін інтенсивності світлового потоку, спричинених наявністю заряджених частинок, використовуються рідше через складну конструкцію та залежність від зовнішніх факторів, таких як пил або освітлення.

У сучасних побутових, комерційних та лабораторних іонізаторах активно застосовуються вбудовані сенсори, які дозволяють у режимі реального часу контролювати концентрацію іонів і забезпечувати оптимальне функціонування пристрою. Це дозволяє не лише підвищити ефективність і надійність роботи, а й інтегрувати системи у середовище «розумного

будинку», медичних закладів, наукових лабораторій та інших високотехнологічних об’єктів.

Серед прикладів комерційно доступних пристроїв можна виділити:

- AIC-1000 - лабораторний професійний прилад для вимірювання рівня іонізації з високою точністю;



Рисунок 1.3 - Лічильник повітряних іонів AIC-1000 Ion Counter.

- AlphaLab Air Ion Counter - портативний лічильник іонів для побутового та офісного застосування;



Рисунок 1.4 - AlphaLab Air (Ion Counter).

- Sharp Plasmacluster Sensor - сенсор іонізації, інтегрований у систему очищення повітря з функцією генерації іонів.



Рисунок 1.5 - Sharp Plasmacluster Sensor.

- IonoMeter IM806 - цифровий високочутливий електрометричний прилад для вимірювання концентрації позитивних і негативних іонів у повітрі, що використовується в екологічному моніторингу, наукових дослідженнях і системах контролю мікроклімату.



Рисунок 1.6 - Прилад IonoMeter IM806 для вимірювання концентрації позитивних і негативних іонів у повітрі.

Таким чином, розвиток технологій іонізації повітря супроводжується впровадженням високоточних цифрових і електрометричних методів вимірювання, що створює підґрунтя для формування автономних, ефективних і інтелектуальних систем керування якістю повітря в різних сферах - від побуту до наукових досліджень. [3, 4]

1.2.1 Вплив іонізації повітря на фізіологічні показники об’єктів

Іонізація повітря передбачає насичення повітряного середовища негативно або позитивно зарядженими іонами. У контексті житлових, виробничих або лабораторних приміщень застосування негативної іонізації є найбільш поширеним через її позитивний вплив на фізіологічний стан організму.

Наукові дослідження показали, що негативно заряджені іони (аніони) сприяють:

- покращенню роботи дихальної системи;
- нормалізації артеріального тиску;
- зниженню рівня втоми та стресу;
- підвищенню працездатності та концентрації уваги;
- покращенню якості сну.

Механізм дії аніонів пов’язаний з їх здатністю нейтралізувати пил, алергени, віруси та інші мікрочастинки в повітрі, які можуть подразнювати слизові оболонки та викликати алергічні реакції або респіраторні захворювання. Завдяки цьому повітря стає чистішим, що особливо важливо для людей з хронічними захворюваннями дихальних шляхів, такими як бронхіальна астма або алергічний риніт.

Дослідження в галузі медицини та біофізики також доводять, що оптимальний рівень аероіонів у приміщенні позитивно впливає на електричну

активність мозку (ЕЕГ), знижує частоту серцевих скорочень у стані спокою та сприяє стабілізації емоційного стану.

У системах регулювання мікроклімату використання іонізаторів є ефективним засобом не лише покращення санітарного стану повітря, а й створення сприятливих умов для життєдіяльності людини, особливо у приміщеннях з обмеженою вентиляцією або в умовах підвищеного забруднення. [5]

1.2.2 Принцип дії іонізатора

Іонізатор повітря - це пристрій, призначений для очищення повітря шляхом насичення його зарядженими частинками, переважно негативними іонами (аніонами). Основна мета іонізації - покращення якості повітря та створення сприятливого мікроклімату в приміщенні.

Принцип дії іонізатора базується на явищі електричної коронної розрядки або електронної емісії, в результаті якої утворюються іони. Пристрій зазвичай складається з високовольтного електрода, який створює електричне поле. У цьому полі відбувається збудження молекул повітря, зокрема кисню, що призводить до відриву електронів і формування негативно заряджених іонів:

$$O_2 + e^- \rightarrow O_2^-$$

Ці аніони зв’язуються з пилом, алергенами, вірусами та іншими дрібнодисперсними частинками у повітрі, утворюючи агломерати, які осідають на поверхні або захоплюються фільтраційною системою. Таким чином зменшується кількість шкідливих речовин у повітрі.

Деякі іонізатори також створюють позитивні іони для балансування заряду в середовищі, однак надмірна їх кількість може мати негативний вплив на самопочуття людини, тому більшість сучасних систем віддають перевагу генерації саме негативних іонів.

Переваги дії іонізатора:

- зниження концентрації пилу, диму, алергенів;
- зменшення кількості бактерій і вірусів у повітрі;
- покращення дихання та загального самопочуття;
- нейтралізація неприємних запахів.

У сучасних кліматичних системах іонізатори часто поєднуються з фільтрами тонкого очищення та системами зволоження повітря, що забезпечує комплексне покращення мікроклімату в приміщенні. [6, 7]

1.2.3 Види іонізаторів

Коронні іонізатори функціонують за принципом створення високої напруги на електродах, що призводить до виникнення коронного розряду, який іонізує частинки повітря. Дана технологія забезпечує ефективну генерацію великої кількості іонів, що робить її придатною для широкого спектра застосувань у системах очищення та кондиціонування повітря. Проте слід враховувати, що процес коронного розряду супроводжується утворенням озону, що вимагає впровадження заходів контролю для забезпечення безпеки експлуатації та зниження шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Плазмові іонізатори базуються на використанні холодної плазми, яка генерується шляхом електричного розряду. Така технологія відзначається низьким рівнем утворення озону, безшумністю роботи та високою ефективністю у процесах очищення повітря від шкідливих домішок. Однак

конструктивна складність та підвищена вартість виробництва та обслуговування обмежують їх широке застосування в побутових системах.

Радіоактивні іонізатори використовують джерела іонізуючого випромінювання, такі як полоній-210, для прямої іонізації повітряних частинок. Головною перевагою цієї технології є стабільність іонізації без необхідності електроживлення. Водночас наявність радіоактивних матеріалів створює серйозні вимоги до безпеки, ліцензування і регулювання, що значно ускладнює експлуатацію та обмежує їх застосування у побуті та промисловості.

Фотоіонізатори реалізують іонізацію повітря за допомогою ультрафіолетового випромінювання високої енергії. Ця технологія характеризується відсутністю рухомих механічних частин, що знижує зношуваність обладнання, а також забезпечує безконтактний процес іонізації з мінімальним утворенням озону. Основними недоліками є обмежена зона впливу та потреба у періодичній заміні ультрафіолетових ламп, що впливає на експлуатаційні витрати.

Електростатичні іонізатори створюють електростатичне поле, яке сприяє одночасному очищенню повітря від пилу та іонізації його частинок. Часто такі пристрої інтегруються безпосередньо у вентиляційні системи, що дозволяє підвищити якість повітря у приміщеннях. Проте для підтримання ефективності роботи необхідне регулярне очищення електродів, а також існує ризик утворення озону, що потребує додаткового контролю.

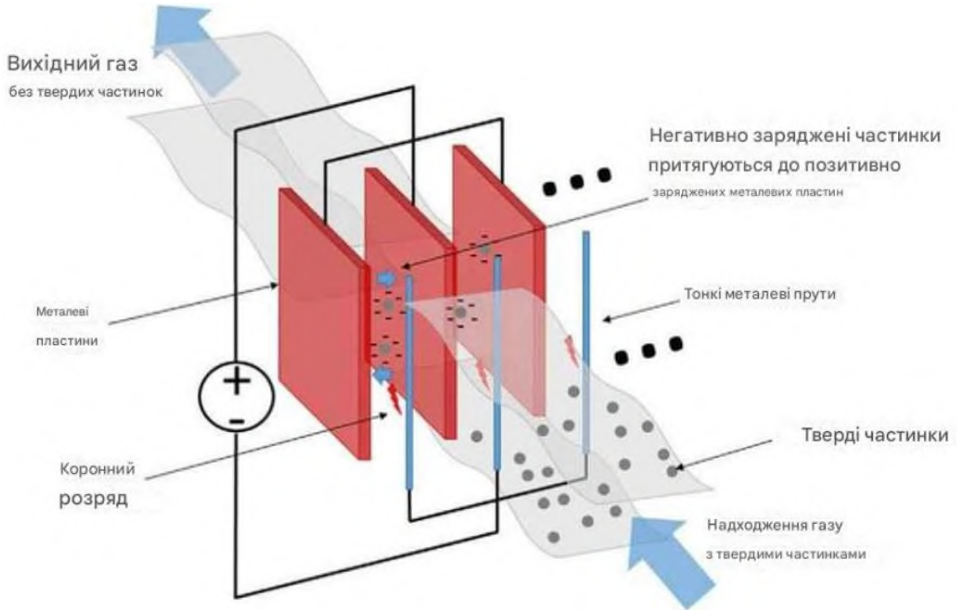


Рисунок 1.7 - Принцип дії коронного іонізатора.

Таким чином, кожен тип іонізаторів має свої технічні особливості, переваги і недоліки, які слід враховувати при виборі оптимального рішення для конкретних умов експлуатації. Раціональний підбір типу іонізатора залежить від вимог до рівня іонізації, безпеки, вартості, а також умов навколишнього середовища. [8, 9]

1.3 Вибір сенсорів і виконавчих пристроїв

Для комплексного контролю параметрів мікроклімату, таких як вологість та іонізація повітря, необхідно не лише точно вимірювати відповідні показники, але й ефективно впливати на них. Тому правильний вибір сенсорів і виконавчих пристроїв є ключовим етапом у створенні інтегрованої системи моніторингу та регулювання.

Серед сенсорів вологості оптимальним варіантом є ємнісний сенсор Sensirion SHT3x. Завдяки високій точності (±2 % RH), цифровому інтерфейсу (I^2C або SMBus) і стабільній роботі в широкому діапазоні (0-100 % RH), цей сенсор підходить для застосувань у промисловості, клімат-контролі, системах

"розумного дому" та портативних приладах. Крім вологості, він також може вимірювати температуру, що дає змогу коригувати вплив температурних змін на інші параметри мікроклімату.

Для контролю іонного складу повітря доцільно використовувати іонний лічильник Alphasense ION1. Цей прилад здатен фіксувати концентрацію як позитивно, так і негативно заряджених іонів у реальному часі, що особливо важливо для контролю якості повітря в приміщеннях з підвищеними вимогами: операційних, лабораторіях, архівах, серверних. Alphasense ION1 вирізняється високою чутливістю, стабільністю та наявністю цифрового виходу, що спрощує інтеграцію з іншими пристроями управління.

Щодо виконавчих пристроїв, вони поділяються на кілька категорій залежно від призначення:

Зволожувачі повітря застосовуються для підвищення вологості в умовах надто сухого повітря, що характерно для зимового періоду або для приміщень з інтенсивною вентиляцією чи обігрівом. Існують ультразвукові, парові та традиційні моделі, які відрізняються за принципом дії та рівнем енергоспоживання. У зв’язці з сенсором вологості, зволожувач може вмикатися автоматично при зниженні рівня RH нижче заданого порогу.

Осушувачі повітря використовуються для зниження вологості в умовах надмірної вологи, що може спричинити розвиток плісняви або пошкодження обладнання. Осушувачі можуть бути конденсаційними або адсорбційними. Вони ефективні в підвалах, архівах, басейнах та інших вологих середовищах. У поєднанні з автоматизованою системою сенсорів, осушувачі забезпечують стабільну підтримку заданого діапазону вологості.

Іонізатори повітря слугують для збагачення повітря негативними іонами, що сприяє покращенню самопочуття, зменшенню концентрації пилу та деяких патогенів. Іонізатори використовують електричні поля для створення іонів, які нейтралізують позитивно заряджені частинки в повітрі. Завдяки даним з іонного лічильника можна забезпечити динамічне регулювання інтенсивності іонізації відповідно до реального стану повітря.

Вентиляційні системи з фільтрацією виконують функції циркуляції, очищення та оновлення повітря в приміщенні. Вони можуть включати фільтри HEPA, вугільні або фотокаталітичні елементи для видалення пилу, алергенів, бактерій і шкідливих газів. Інтеграція з сенсорами вологості та іонізації дозволяє автоматично змінювати режим роботи вентиляції, наприклад, активувати додаткову фільтрацію при перевищенні порогових значень забруднення або надмірній вологості.

Комплексне поєднання сенсорів і виконавчих пристроїв дозволяє реалізувати розумну систему керування мікрокліматом, яка забезпечує не лише комфорт, але й безпеку для здоров’я, стабільність зберігання матеріалів і ефективність роботи обладнання. [10]

Метою кваліфікаційної роботи є створення та дослідження системи, призначеної для контроля вологості й рівня іонізації повітря, яка здійснює постійний моніторинг стану навколишнього середовища та автоматично підтримує оптимальні параметри мікроклімату.

Для реалізації поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- проаналізувати сучасні технології контролю вологості та іонізації повітря**,** визначити їх принципи роботи, переваги та обмеження;

- розробити загальну структурну схему системи з описом взаємодії основних модулів;

- підібрати датчики, мікроконтролер та виконавчі елементи**,** обґрунтувавши доцільність їх використання;

- сформувати алгоритм регулювання параметрів повітря із використанням іонізатора, описавши роботу кожного функціонального блоку;

- розробити окремі функціональні блоки системи для ініціалізації пристрою, зчитування даних із датчиків, вентиляцією й іонізатором;

- створити принципову електричну схему пристрою та перевірити її працездатність у моделюванні та практичних тестах;

- провести тестування системи в різних умовах навколишнього середовища.

2 РОЗРОБКА ПРИЛАДУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ТА ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ

2.1 Розробка загальної структурної схеми приладу

Система збору даних, яка виконує роль багатофункціонального датчика, проводить оцінку якості повітря в різних типах приміщень. Це дозволяє здійснювати подальший аналіз інформації та приймати рішення для покращення мікроклімату. Вбудований контролер автоматично регулює швидкість роботи вентиляторів, що видаляють забруднене повітря, залежно від ступеня його забруднення.

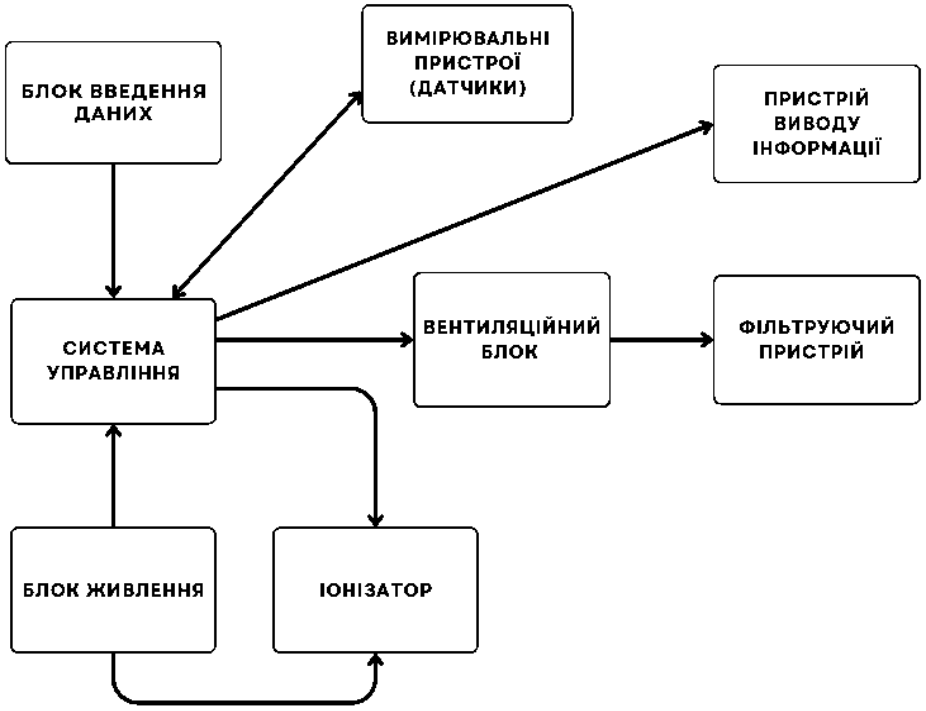


Рисунок 2.1 - Загальна схема контролю воголості та іонізації повітря.

Сучасні системи очищення та іонізації повітря базуються на інтеграції декількох функціональних модулів, кожен з яких виконує специфічну роль у забезпеченні якості повітря в приміщенні. Центральним елементом є система управління, яка координує роботу всіх компонентів відповідно до заданих параметрів. Інформація для прийняття рішень надходить від вимірювальних пристроїв, зокрема сенсорів температури та іонізації. Сенсори температури дозволяють контролювати мікроклімат у реальному часі, виявляючи відхилення від встановлених значень і надсилаючи відповідні сигнали. Дані про температуру та інші параметри виводяться на головний дисплей, надаючи користувачу змогу оцінити стан середовища та за необхідності вручну налаштовувати швидкість вентиляції.

Блок введення даних дозволяє користувачеві встановлювати або змінювати режими роботи пристрою, а пристрій виводу інформації - відображати актуальні показники. Блок живлення подає енергію до системи управління та іонізатора, забезпечуючи стабільну роботу ключових елементів. Це критично важливо для безперебійного функціонування всієї системи, зокрема для реалізації алгоритмів контролю іонного складу, підтримки мікроклімату та автоматичного реагування на зміну зовнішніх умов.

2.2 Алгоритм роботи приладу

Злагоджена робота всіх зазначених модулів дозволяє ефективно підтримувати високий рівень чистоти повітря та комфортну атмосферу в приміщеннях, особливо в умовах підвищених вимог до гігієни та здоров’я.

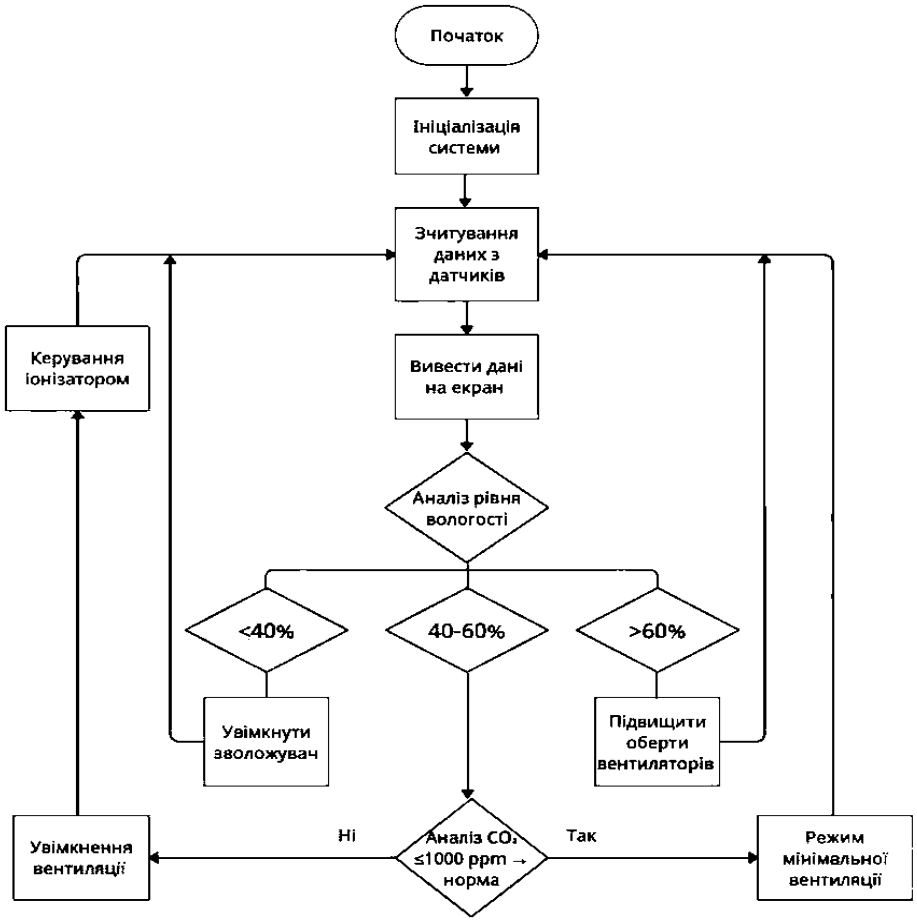


Рисунок 2.2 - Алгоритм регулювання параметрів повітряного середовища із застосуванням іонізатора

Після запуску система переходить у початковий режим роботи. На цьому етапі здійснюється ініціалізація системи, під час якої контролер перевіряє справність усіх підключених модулів - датчиків, виконавчих пристроїв та дисплея. Якщо усі компоненти функціонують належним чином, система переходить до наступного етапу.

Після ініціалізації починається зчитування даних із датчиків, які контролюють температуру, вологість та концентрацію вуглекислого газу (CO_2). Отримані показники передаються до мікроконтролера, де відбувається їх попередня обробка. Одночасно ці значення виводяться на екран, що дозволяє користувачеві спостерігати за станом мікроклімату в реальному часі.

Далі система переходить до аналізу рівня вологості:

- Якщо вологість нижча за 40 %, активується зволожувач, який підвищує рівень вологості до норми.

- Якщо вологість перевищує 60 %, контролер збільшує оберти вентиляторів**,** щоб зменшити надлишкову вологість до допустимого рівня.

- Якщо показник знаходиться в межах 40-60 %, система переходить до аналізу рівня вуглекислого газу.

На етапі аналізу CO_2 контролюється, чи не перевищує його концентрація допустиме значення - 1000 ppm. Якщо рівень CO_2 знаходиться в нормі, система підтримує режим мінімальної вентиляції, при якому вентилятори працюють на зниженій швидкості, забезпечуючи плавну циркуляцію повітря.

У разі перевищення граничного рівня CO_2 або виявлення дисбалансу вологості система активує режим інтенсивної вентиляції**.** Вентилятори працюють на повній потужності, поки параметри не нормалізуються. Після стабілізації показників активується керування іонізатором - він очищує повітря від пилу та шкідливих домішок упродовж заданого часу.

Якщо під час роботи система виявляє, що всі параметри стабільні, а рівень вологості й CO_2 відповідають нормі, контролер вимикає вентилятори й переходить у режим очікування або мінімальної вентиляції**,** готуючись до наступного циклу зчитування даних.

Таким чином, система автоматично забезпечує підтримання оптимального мікроклімату: керує роботою вентиляторів, зволожувача та іонізатора, здійснює постійний моніторинг стану повітря та реагує на зміни без участі користувача. [11]

2.3 Розробка блоку сенсорного вимикача

Блок сенсорного вимикача призначений для безконтактного керування роботою електронної системи шляхом дотику до сенсорної поверхні. Основним елементом даного блоку є модуль на мікросхемі TTP223, який працює за принципом ємнісного сенсора. Зовнішній вигляд модуля та схема

розташування виводів модуля наведені на рисунку 2.3, сформованому в середовищі Proteus 8.

Модуль TheEngineeringProjects - це стороння бібліотека TTP223, завантажена для перевірки в електронному середовищі Proteus, т.к в стандартному Proteus цей модуль відсутній. Модуль TTP223 і підключений за схемою: VCC - 5V, GND - GND, OUT - цифровий вхід Arduino (D2).

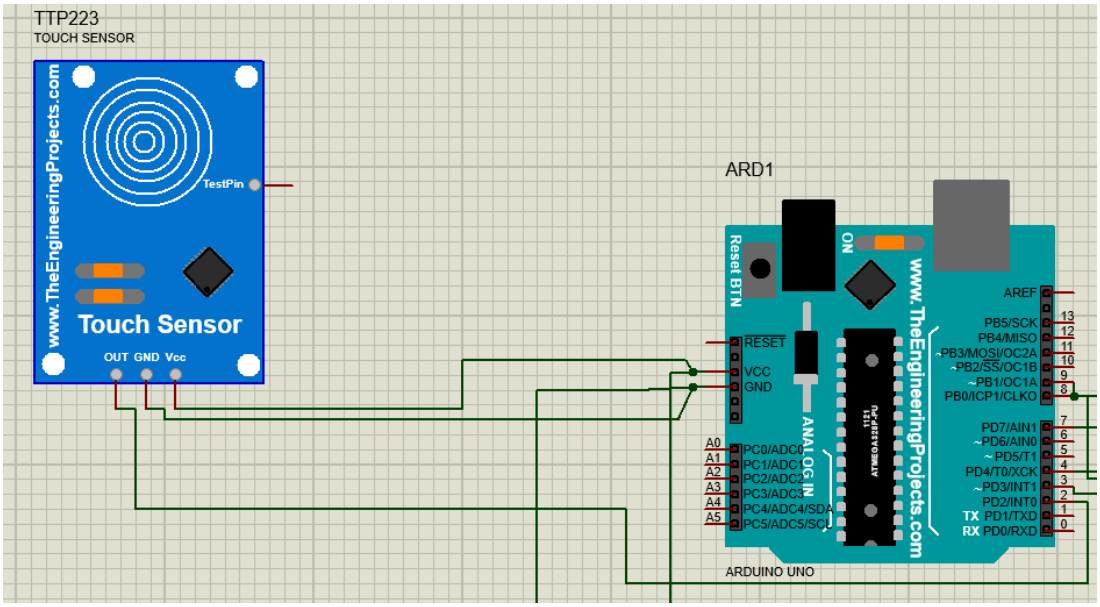


Рисунок 2.3 - Сенсорний вимикач на мікросхемі TTP223

Модуль TTP223 використовується для виявлення дотику людини до сенсорної зони та формування логічного сигналу, який може бути поданий на вхід мікроконтролера або використовуватися для керування іншими електронними пристроями, такими як реле, світлодіоди, вентилятори тощо.

На схемі показано, що вивід VCC підключається до джерела живлення +5В, яке подається безпосередньо від мікроконтролера Arduino через контакти 5V та GND. Вивід GND приєднується до спільного мінуса системи, а вихід OUT підключається до входу мікроконтролера або до схеми керування навантаженням.

Після подачі живлення мікросхема TTP223 переходить у режим очікування. Сенсорна площадка у верхній частині плати створює електричне поле, і коли користувач торкається поверхні сенсора, ємність у цій області змінюється. Це миттєво фіксується мікросхемою, після чого на виході OUT

з’являється логічна «1» (приблизно 5 В). Якщо дотику немає, на виході підтримується логічний «0». У такий спосіб сенсорний модуль працює як електронна кнопка та дозволяє здійснювати зручне і надійне безконтактне керування.

Модуль забезпечує безконтактний спосіб керування без використання механічних кнопок, що підвищує довговічність системи. Він вирізняється низьким енергоспоживанням - струм у робочому режимі становить лише кілька міліампер. Завдяки широкому діапазону напруги живлення від 2 до 5,5В модуль сумісний із більшістю мікроконтролерів. За потреби рівень чутливості можна змінювати шляхом коригування ємності сенсорної зони. При торканні сенсора модуль формує високий логічний рівень, який служить сигналом активації для інших блоків системи, забезпечуючи простий та надійний спосіб вмикання і вимикання пристроїв без фізичних кнопок.

2.4 Розробка блоку ініцілізації системи

Як основний керуючий елемент системи обрано мікроконтролерну плату Arduino Uno R3 (на базі ATMega328P). Вона забезпечує достатню обчислювальну потужність, велику кількість цифрових і аналогових портів, простоту програмування та широку підтримку бібліотек. Зовнішній вигляд плати наведено на рисунку 2.4.

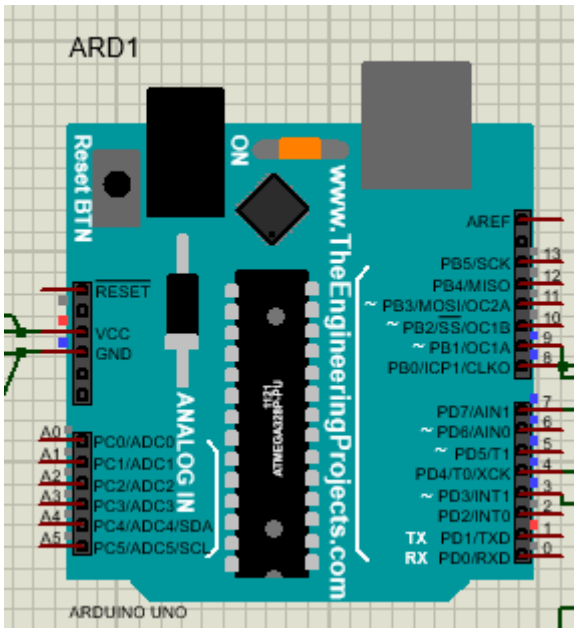


Рисунок 2.4 - Мікроконтролер Arduino Uno R3

Блок ініціалізації системи виконує початкову підготовку мікроконтролера та підключених периферійних пристроїв до роботи. Основним завданням цього етапу є забезпечення коректного запуску системи, встановлення необхідних параметрів обміну даними, конфігурація входів і виходів, а також перевірка працездатності основних модулів.

Ініціалізація є першим кроком після подачі живлення або перезапуску пристрою. Її результатом є готовність усіх підсистем до виконання основних функцій контролю та регулювання параметрів повітряного середовища, концентрації CO_2 та іонізації.

Під час ініціалізації система насамперед конфігурує мікроконтролер Arduino Uno R3. Спочатку встановлюється швидкість послідовного порту, що забезпечує стабільний обмін даними між контролером і підключеними модулями. Далі проводиться підготовка цифрових та аналогових входів і виходів, через які працюють датчики вологості, CO_2, а також виконавчі пристрої, такі як іонізатор, та вентиляційні вентилятори. Така підготовка потрібна для того, щоб кожен компонент був правильно визначений і міг працювати без помилок.

Після налаштування портів контролер перевіряє наявність зв’язку з датчиками через інтерфейси I^2C або UART. На цьому етапі відбувається

тестовий обмін даними та отримання контрольного сигналу, що дає змогу впевнитися в працездатності сенсорів. Одночасно може здійснюватися індикація стану системи у вигляді світлового сигналу або повідомлення на дисплеї, що допомагає користувачу бачити результат ініціалізації.

Коли всі компоненти успішно пройшли перевірку, контролер встановлює початкові значення внутрішніх змінних, які потрібні для подальших розрахунків і логіки роботи. Після цього система переходить у режим сприймання даних, де мікроконтролер починає постійно зчитувати інформацію з датчиків, аналізувати отримані дані та керувати виконавчими елементами відповідно до заданих умов.

2.5 Розробка блоку зчитування даних з датчиків

Блок зчитування даних із датчика виконує функцію отримання інформації про стан повітряного середовища, зокрема рівень вуглекислого газу (CO_2) та концентрацію летких органічних сполук (TVOC).

Структура та основні виводи цифрового сенсора, що використовується в цьому блоці, наведені на рисунку 2.5.

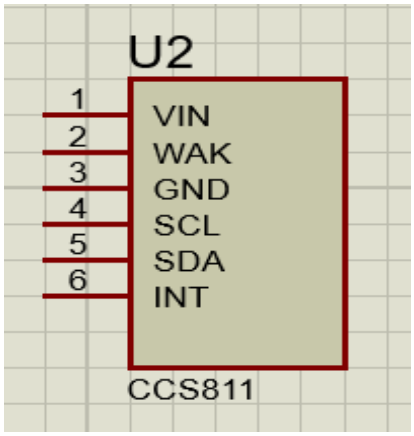


Рисунок 2.5 - Цифровой сенсор CCS811

Цей блок є важливою складовою системи контролю повітря, оскільки забезпечує вимірювання параметрів, необхідних для подальшого аналізу та автоматичного регулювання роботи вентиляції або іонізатора.

У даній системі використано цифровий сенсор CCS811, який має вбудований АЦП та мікроконтролер, що здійснює обробку сигналів безпосередньо всередині модуля. Обмін даними між CCS811 та мікроконтролером Arduino Uno R3 відбувається через інтерфейс I^2C, що дозволяє зменшити кількість з'єднань та підвищити надійність передавання інформації.

Блок зчитування даних на основі сенсора CCS811 виконує кілька ключових функцій, серед яких встановлення двостороннього зв'язку між Arduino Uno R3 та датчиком через інтерфейс I^2C, регулярне отримання інформації про концентрацію CO_2 та леткі органічні сполуки, а також контроль працездатності сенсора. У разі порушення зв'язку система має можливість сформувати повідомлення про помилку, що дозволяє вчасно виявити несправність та уникнути некоректної обробки даних. Отримані значення передаються до блоку аналізу, де використовуються для подальшої оцінки стану повітряного середовища.

Після подачі живлення мікроконтролер ініціалізує інтерфейс I^2C та встановлює зв'язок із CCS811, який може працювати за однією з двох адрес. Датчику необхідний короткий час для стабілізації, після чого він починає передавати цифрові значення концентрацій CO_2 та TVOC. Ці дані надходять у програму мікроконтролера, де проходять обробку та виводяться користувачу за допомогою дисплея або через Serial Monitor.

Якщо отримані значення CO_2 перевищують допустимий рівень, що зазвичай становить приблизно 1000 ppm, мікроконтролер формує керуючий сигнал для запуску наступного етапу роботи системи. Це може бути активація вентиляції або іонізатора, що дозволяє автоматично підтримувати безпечні та комфортні параметри мікроклімату.

Таким чином, блок зчитування на базі CCS811 забезпечує точне та своєчасне отримання інформації про стан повітря, що є необхідною умовою для ефективної та стабільної роботи всієї системи контролю мікроклімату.

2.6 Розробка блоку виведення даних на екран

Для реалізації візуалізації обрано OLED-дисплей 128×64 пікселів (модуль типу SSD1306), який підключається до мікроконтролера Arduino Uno R3 через інтерфейс I²C. Такий дисплей забезпечує високу контрастність, енергоефективність і чітке відображення текстової та графічної інформації навіть при низькому освітленні. Зовнішній вигляд дисплея наведено на рисунку 2.6.

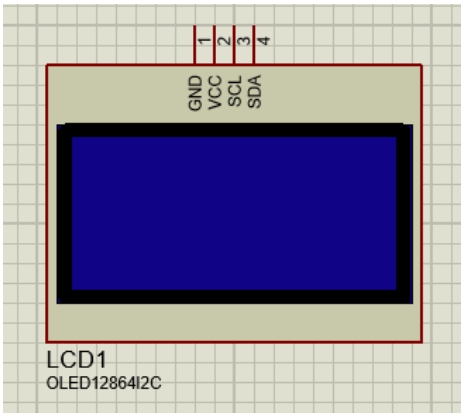


Рисунок 2.6 - Дисплей OLED 128×64

Блок виведення даних призначений для відображення основних параметрів повітряного середовища, зчитаних із сенсора, у зручному для користувача форматі. Завдяки цьому оператор системи може в реальному часі спостерігати за рівнем вуглекислого газу (CO_2), концентрацією летких органічних сполук (TVOC), а також отримувати інформаційні повідомлення про стан системи.

Блок виведення даних виконує функцію відображення основних параметрів роботи системи, зокрема поточних значень концентрації CO_2 у ppm та TVOC у ppb. Він також показує стан роботи системи, що дає змогу користувачу одразу оцінити ситуацію, наприклад визначити нормальний режим, виявити перевищення рівня CO_2 або помітити відсутність зв’язку з датчиком. Крім поточних параметрів, блок відображає інформацію про процеси ініціалізації та оновлення даних, що дозволяє стежити за коректністю запуску та стабільністю роботи. За потреби він також повідомляє про активацію вентиляції чи іонізатора, забезпечуючи додатковий зворотний зв’язок.

Після того як мікроконтролер завершив обробку даних, блок виведення отримує цифрові значення газових концентрацій разом зі статусом системи та перетворює їх у зрозумілу для користувача форму. Завдяки цьому інтерфейс забезпечує наочність та простоту сприйняття інформації, що суттєво підвищує ефективність експлуатації всієї системи. Наявність такого блока покращує зручність контролю, допомагає швидше реагувати на зміну параметрів мікроклімату та полегшує діагностику можливих несправностей.

2.7 Розробка блоку керування іонізатором

Блок іонізатора призначений для керування процесом утворення іонізованого повітря та реалізується за допомогою реле-модуля, підключеного до мікроконтролера Arduino. Конструкція та підключення реле-модуля наведені на рисунку 2.7.

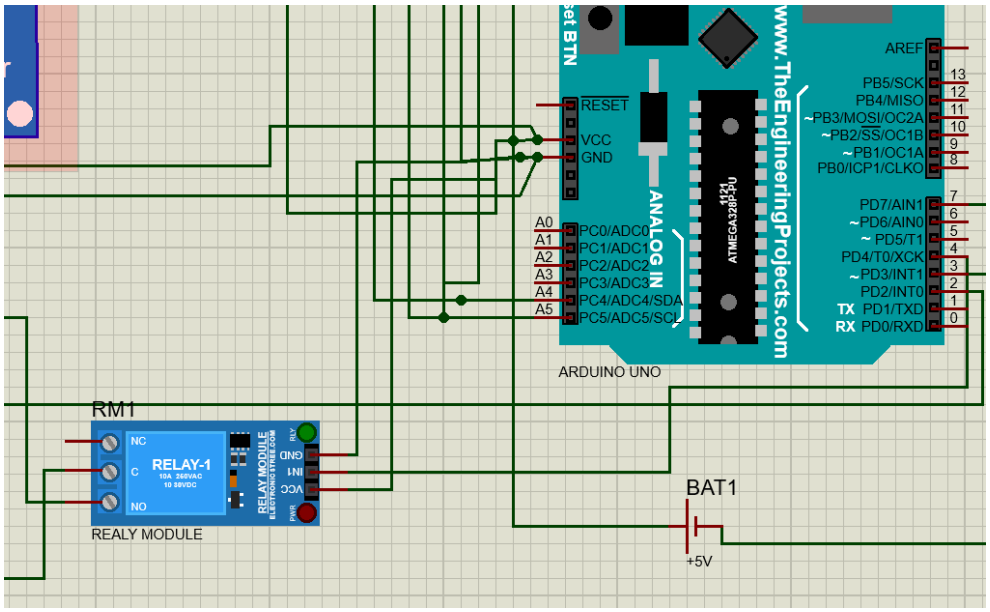


Рисунок 2.7 - Підключення реле-модуля іонізатора до Arduino

Основним завданням цього блока є забезпечення безпечного вмикання та вимикання високовольтного модуля іонізації, який працює від мережі 220 В.

Управління іонізатором здійснюється через цифровий вихід Arduino, що подає логічний сигнал на вхід реле-модуля. При активації реле відбувається замикання силового контакту (NO-COM), після чого іонізатор отримує живлення від мережі. Коли логічний сигнал вимикається, реле роз'єднує ланцюг, повністю відключаючи високовольтний модуль.

Для підвищення безпеки реле-модуль ізолює низьковольтну частину системи від мережевої напруги, захищаючи Arduino та інші компоненти від можливих перевантажень. Силова частина реле використовується виключно для комутації 220 В, тоді як керувальна працює на напрузі 5 В від Arduino.

Таким чином, блок іонізатора забезпечує надійне та контрольоване керування високовольтним обладнанням, дозволяючи інтегрувати іонізацію повітря в автоматизовану систему з дотриманням усіх вимог електробезпеки.

2.8 Розробка блоку транзисторного ключа

Блок керування вентиляторним модулем реалізовано на основі польового транзистора IRL3705N, який виконує функцію низькобічного ключа, тобто встановлюється між навантаженням і загальною шиною (GND) та здійснює комутацію шляхом підключення або відключення навантаження до землі. При подачі керуючого сигналу на затвор транзистор відкривається, замикаючи коло живлення вентилятора, а при відсутності сигналу - розмикає його. Даний MOSFET належить до логік-рівневих транзисторів, що дозволяє керувати ним безпосередньо від цифрових виходів Arduino. Схему було розроблено та змодельовано у програмі Proteus 8, а керування вентилятором забезпечується програмою, створеною в середовищі Arduino IDE, яка формує PWM-сигнал для регулювання швидкості обертання.

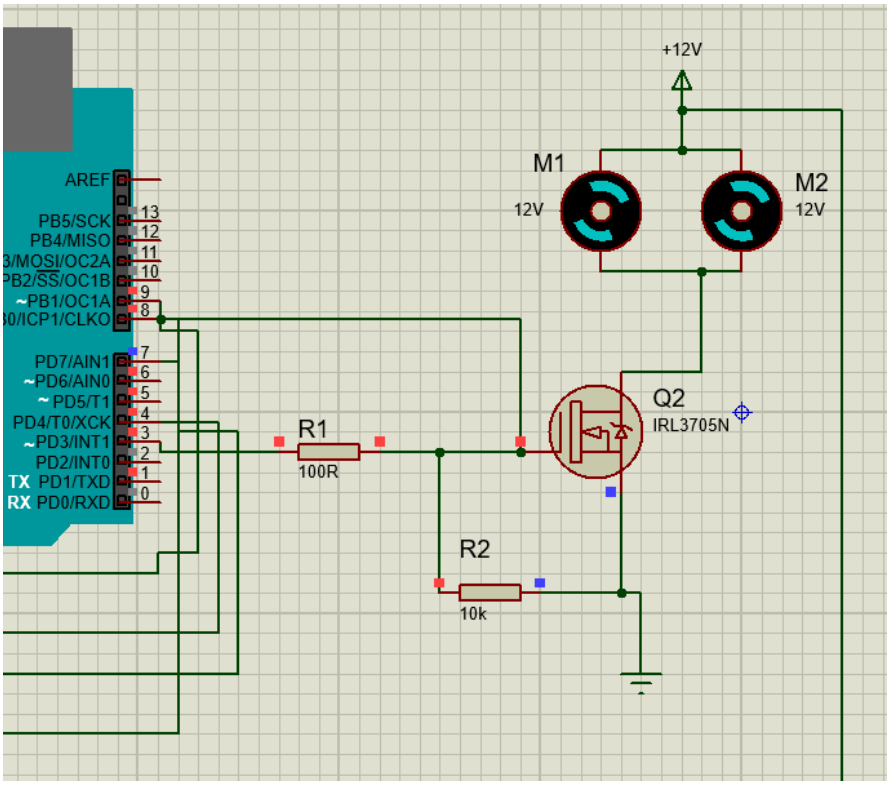


Рисунок 2.8 - Схема керування 12-вольтовими вентиляторами за допомогою транзисторного ключа

Сигнал керування з мікроконтролера надходить на затвор транзистора через резистор R1 номіналом 100 Ω, який обмежує імпульсний струм заряду/розряду затворної ємності. Це зменшує високочастотні перешкоди,

запобігає паразитним осциляціям та покращує електромагнітну сумісність вузла.

Резистор R2 зі значенням 10 кΩ виконує роль підтягувального (pull-down) резистора та забезпечує надійне утримання затвора у низькому потенціалі при відсутності керуючого сигналу або під час перезавантаження мікроконтролера. Завдяки цьому транзистор не відкривається випадково.

Під час активації керуючого сигналу транзистор IRL3705N переходить у стан провідності, з'єднуючи навантаження з землею. У такому режимі два вентилятори M1 та M2, підключені безпосередньо до шини +12 В, отримують живлення через відкритий канал MOSFET і працюють на повну потужність.

При відсутності сигналу затвор закривається, транзистор блокує струм, і навантаження вимикається.

Малий опір відкритого каналу (приблизно 0,008 Ом) забезпечує ефективну роботу з великими струмами при мінімальному тепловиділенні, що підвищує енергоефективність системи.

Характеристики транзистора IRL3705N дозволяють ефективно використовувати його у вентиляторному модулі. Його опір каналу у відкритому стані становить приблизно 0,008 Ом при напрузі керування 4 В, що забезпечує низькі теплові втрати та надійне комутування струмів значної величини. Максимальний струм стоку перевищує 60 А, тому транзистор має великий запас щодо струму, який споживають два 12-вольтові вентилятори. Поріг відкривання у межах 1-2 В гарантує коректне відкривання при напрузі 5 В від Arduino, а належність IRL3705N до логік-рівневих MOSFET робить його сумісним із цифровими виходами мікроконтролера.

Орієнтовний тепловий розрахунок показує, що при сумарному струмі двох вентиляторів 0,5 А теплові втрати становлять близько 0,002 Вт. Це дуже мале значення, тому транзистор не потребує додаткового охолодження. Напруга керування Arduino 5 В знаходиться в межах допустимого діапазону для затвора IRL3705N, оскільки максимальна напруга на затворі може досягати ±20 В. Опір резистора R1 підібрано з урахуванням ємності затвора,

яка становить приблизно 2-3 нФ. При такому виборі струм заряджання затвора досягає близько 0,05 А, що забезпечує швидке перемикання і не перевищує допустимі значення.

Під час моделювання у Proteus 8 Professional була побудована повна електрична схема модуля і перевірено роботу ключового елемента. Транзистор стабільно відкривається при подачі високого сигналу з Arduino, а за його відсутності вентилятори впевнено вимикаються завдяки резистору затяжки на землю. У ввімкненому стані напруга на вентиляторах практично дорівнює 12 В, а у вимкненому падає до 0 В. Падіння напруги на транзисторі у відкритому режимі є мінімальним, що підтверджує правильність вибору IRL3705N. Сигнал на навантаженні залишається чистим і стабільним, без осциляцій та провалів, що свідчить про коректний вибір резисторів R1 і R2.

2.9 Принципова електрична схема пристрою

На рисунку 2.9 показано структурну схему розробленої системи, у якій сенсорний модуль забезпечує активацію керування, а мікроконтролер Arduino виконує обробку сигналів і формує необхідні керуючі впливи. Транзисторний ключ використовується для комутації струмового навантаження вентиляторів, тоді як релейний модуль забезпечує гальванічно розв’язане вмикання іонізатора. Така конфігурація дає змогу реалізувати стабільний та безпечний алгоритм роботи всієї системи.

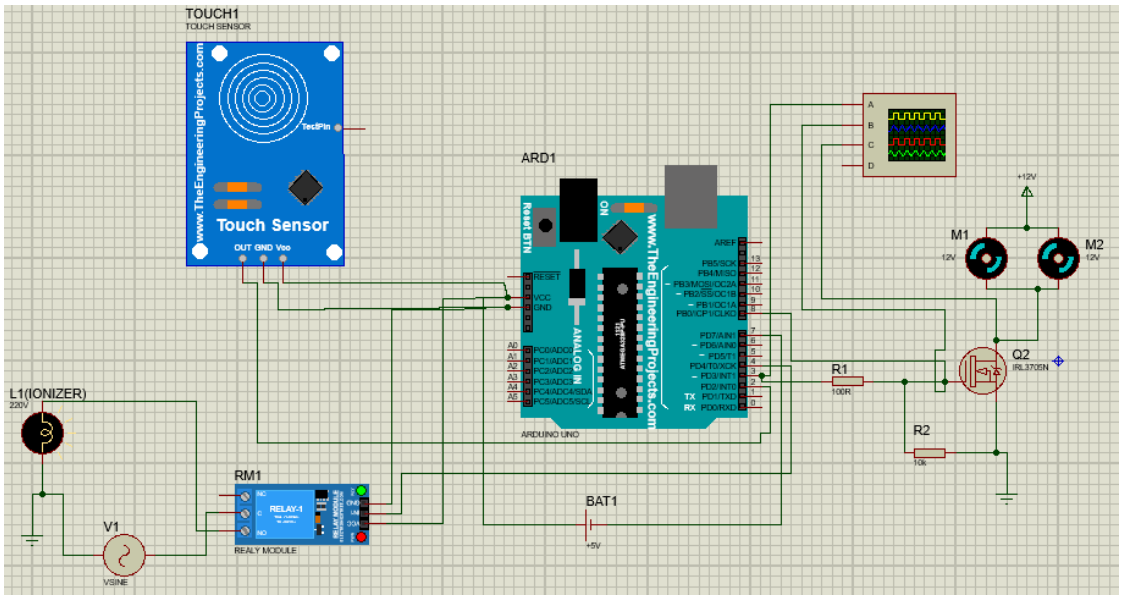


Рисунок 2.9 - Сенсорна система керування іонізатором та вентиляторами на базі Arduino

Мікроконтролер Arduino Uno є центральною частиною схеми. Він приймає дані від сенсорного інтерфейсу, формує керуючі сигнали та забезпечує взаємодію з периферійними модулями. Для керування іонізатором передбачено використання релейного модуля, який отримує логічний сигнал від Arduino і комутує силовий ланцюг високовольтного навантаження. Завдяки гальванічній розв’язці реле гарантується безпечне відокремлення високовольтної та низьковольтної частин системи.

Блок керування вентиляторами побудований на n-канальному MOSFET-транзисторі IRL3705N, який працює як силовий ключ. Керуючий сигнал з Arduino подається на затвор через резистор R1, що обмежує струм заряду затворної ємності, а резистор R2 підтягує затвор до землі та запобігає випадковому відкриванню транзистора. Через цей ключ живляться вентилятори M1 та M2 від окремого джерела постійної напруги, що забезпечує стабільну роботу двигунів та надійну комутацію струму.

Система живлення передбачає подачу 5 В на плату Arduino та релейний модуль, тоді як вентилятори працюють від власного джерела живлення. Усі елементи мають спільну «землю», необхідну для коректної взаємодії цифрових та силових модулів.

У цілому схема забезпечує узгоджену роботу сенсорного, керуючого та виконавчого блоків. Така структура дозволяє керувати вентиляторами, вмикати іонізатор і приймати команди від сенсорного елемента, формуючи стабільний і надійний режим функціонування пристрою. [12]

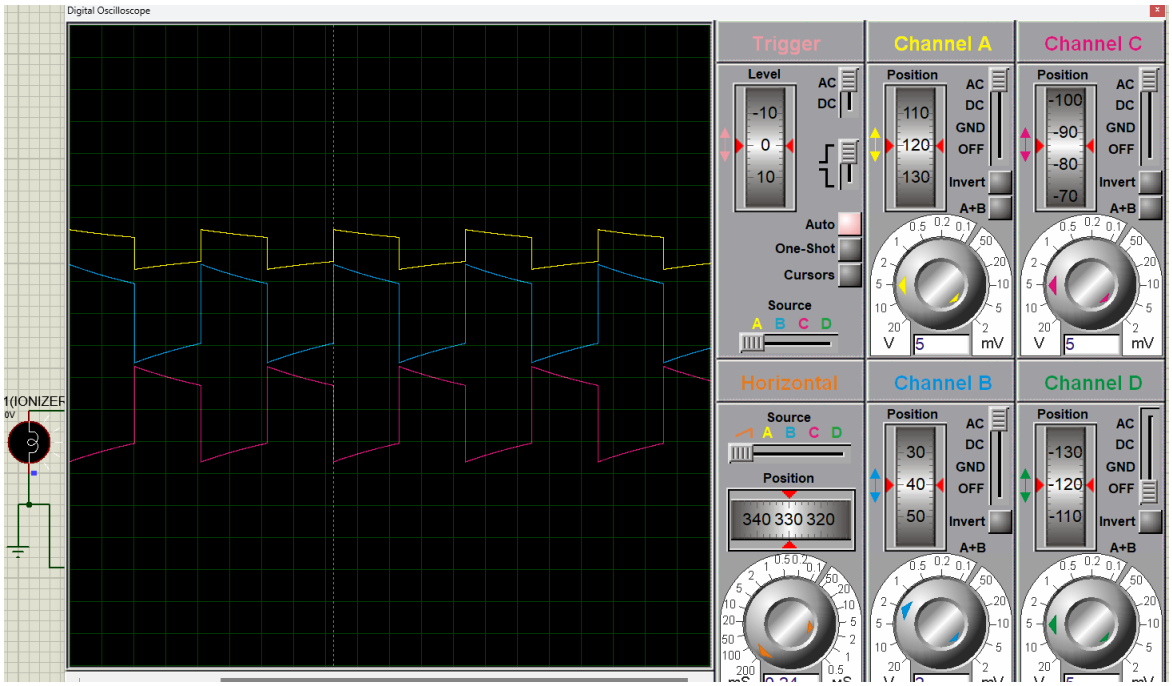


Рисунок 2.10 - Сигнали системи керування на осцилографі

На рисунку 2.10 подано осцилограму, що відображає динаміку зміни електричних параметрів у вузлі керування MOSFET-транзистора. Жовтий сигнал показує форму напруги, яку формує мікроконтролер на вихідному піні. Це керуючий ШІМ-сигнал з прямокутною структурою, стабільною частотою та чіткими фронтами, що підтверджує правильну роботу алгоритму модуляції.

Синій сигнал відображає напругу на затворі MOSFET після проходження через резистор обмеження струму. За своєю формою він практично повторює жовтий сигнал, що свідчить про мінімальні втрати та коректну передачу керуючого впливу від мікроконтролера. Плавне згладження фронтів пояснюється ємнісними властивостями затвора, який потребує часу для заряду та розряду. Коли рівень синього сигналу піднімається вище порога відкривання, MOSFET переходить у провідний стан. Після зниження керуючої напруги нижче порога закривання транзистор повертається в запірний режим і перестає пропускати струм.

Рожевий сигнал показує потенціал на стоку, до якого під'єднане навантаження у вигляді вентиляторів. У моменти відкривання MOSFET рожевий сигнал різко зменшується, що означає формування низькоомного каналу та наближення стокової напруги до нуля. Коли керуючий сигнал зникає, стоковий потенціал повертається до початкового рівня, що відповідає закриттю транзистора та розриву силового кола.

Таким чином, осцилограма чітко демонструє процеси відкривання та закривання MOSFET і підтверджує синхронність роботи силового елемента з керуючим сигналом мікроконтролера.

На рисунку 2.11 представлено електричну принципову схему пристрою, створену у програмі sPlan 7. Схема відображає повну структуру апаратної частини системи, включаючи модулі живлення, сенсорні елементи, силові ключі, виконавчі вузли та мікроконтролер Arduino, що забезпечує їх взаємодію.

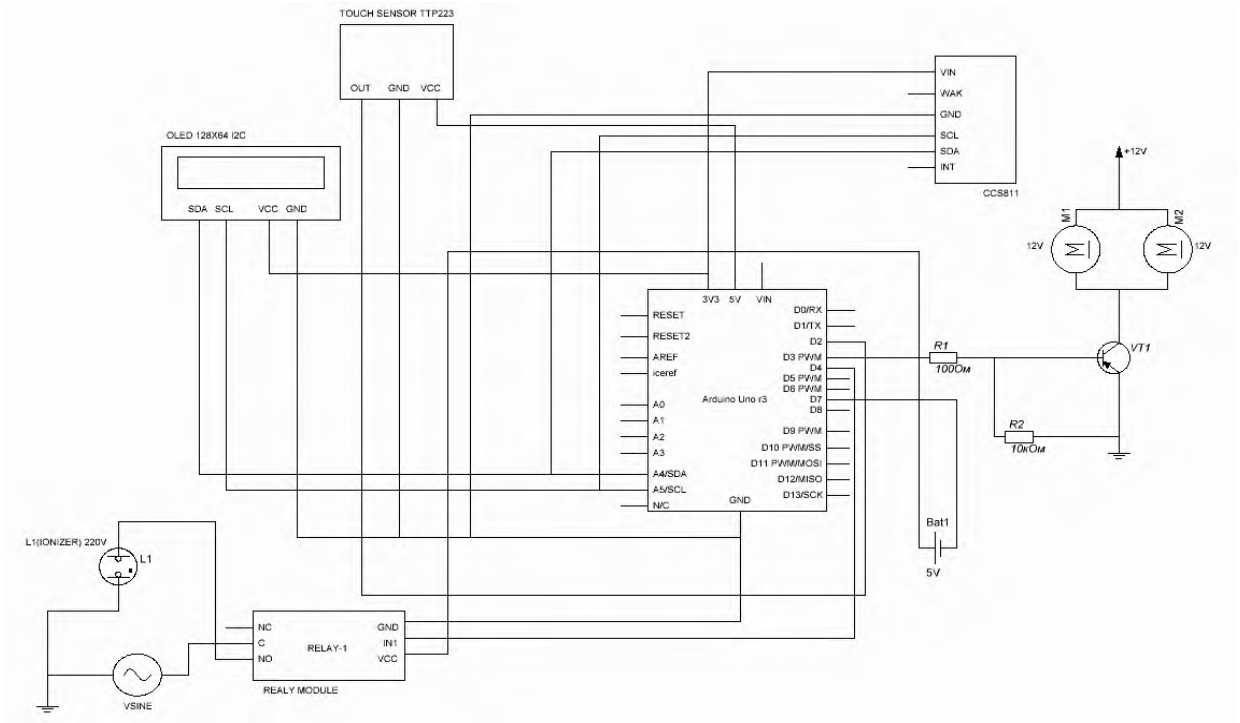


Рисунок 2.11 - Електрична принципова схема керування іонізатором на Arduino Uno

Схема являє собою мікроконтролерну систему на основі Arduino Uno R3, до якої підключені модулі сенсорного керування, індикації та датчик

контролю якості повітря. Датчик CCS811 працює через інтерфейс I²C (лінії SDA та SCL) і забезпечує вимірювання концентрації летких органічних сполук та еквівалентного рівня CO_2, передаючи дані до мікроконтролера. Через той самий інтерфейс працює OLED-дисплей 128×64, який використовується для відображення інформації про поточні параметри системи. Керування режимами здійснюється за допомогою сенсорного модуля TTP223, підключеного до цифрового входу Arduino.

Керування навантаженнями виконано за допомогою двох окремих вузлів. MOSFET-транзистор використовується для комутації живлення вентиляторів від джерела 12 В, а стабільність його роботи забезпечується резистором у колі затвора та резистором стягування. Другий силовий елемент - релейний модуль, призначений для безпечного комутування іонізатора, що живиться від мережевої напруги 220 В.

Живлення системи здійснюється від стабілізованих джерел 5 В та 12 В, а спільна шина GND об’єднує всі модулі. На схемі лампа використана як імітація включення іонізатора у середовищі Proteus. Після подачі Arduino керуючого сигналу на вхід IN реле відбувається замикання контактів COM і NO, унаслідок чого на лампу подається напруга 220 В, що візуально підтверджує спрацьовування комутаційного вузла.

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

У серійному виробництві систем очищення повітря розрізняють кілька основних сімейств приладів, що використовують технології іонізації та озонування. До найбільш поширених належать іонізатори низької напруги, керамічні озоногенератори, коронні високовольтні системи, а також комбіновані іонно-озонові установки. Кожне з цих сімейств має власні конструктивні особливості, продуктивність та сферу застосування.

Іонізатори низької напруги - це компактні та недорогі пристрої, що створюють негативні іони за допомогою тонких металевих голок або дротяних електродів. Вони використовуються у побутових умовах, автомобільних салонах, невеликих кімнатах та офісах. Такі прилади відзначаються високою енергоефективністю, простотою застосування та мінімальними вимогами до обслуговування. Їх основним призначенням є покращення якості повітря, зниження концентрації пилу та усунення запахів без глибокої дезінфекції.

Керамічні озоногенератори - це більш потужні пристрої, у яких озон виробляється шляхом пропускання високовольтного розряду через спеціальні керамічні пластини. Вони характеризуються стабільною продуктивністю у діапазоні 10-60 г/год і широко застосовуються у побутових та напівпрофесійних задачах: очищенні приміщень, стерилізації складів, холодильних камер, обробці меблів та текстилю. Пристрої цього класу мають оптимальне співвідношення ціни, ресурсу роботи та ефективності.

Коронні озонатори професійного рівня - це системи, що використовують розширені високовольтні каскади і декілька паралельних електродних блоків. Вони здатні генерувати великі обсяги озону (100-300 г/год та більше) і застосовуються у медичних установах, харчовій промисловості, системах знезараження повітря та води. Такі установки відрізняються підвищеною надійністю, наявністю систем охолодження, довшим строком служби та можливістю безперервної роботи у важких умовах.

Комбіновані іонно-озонові установки поєднують одночасну генерацію негативних іонів та озону. Завдяки цьому вони ефективні як у побуті, так і у професійному використанні: у сервісних центрах, лабораторіях, оздоровчих комплексах та вентиляційних системах. Комбіновані пристрої забезпечують широкий вибір режимів роботи, підвищену ефективність очищення та можуть виконувати багатоцільові функції залежно від потреб користувача.

Для вибору оптимального типу іонізатора в рамках даного проєкту необхідно проаналізувати конструктивні особливості та технічні характеристики кожного з наведених сімейств. З цією метою сформовано ієрархію чотирьох можливих варіантів пристроїв (табл. 3.1) та використано шкалу відносної важливості критеріїв (табл. 3.2), що дозволяє об’єктивно оцінити їхню придатність для поставлених завдань.

Таблиця 3.1 - Можливі варіанти іонізаторів

Позначення	Тип іонізатора	Короткий опис
A	Побутовий іонізатор низької потужності	Компактний прилад для малих приміщень, низька продуктивність, мінімальне споживання енергії.
B	Керамічний озоногенератор 20-60 г/год	Середній клас, використовується в побуті та сервісних роботах, стабільна робота.
C	Коронний високовольтний озонатор	Професійні установки з декількома електродами, високий ресурс.
D	Комбінована іонно-озонова система	Поєднання іонізації та озонування, багаторежимна робота.

Таблиця 3.2 - Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	рівна важливість
3	помірна перевага
5	сильна перевага
7	значна перевага
9	дуже сильна перевага
2,4,6,8	проміжні судження

Порівняння виконується за набором критеріїв, що мають ключовий вплив на ефективність роботи іонізатора, а саме: продуктивність (г/год), безпечність експлуатації, термін служби та вартість виготовлення. У таблиці 3.3 наведено матрицю попарних порівнянь критеріїв, складену згідно з інтенсивностями відносної важливості, визначеними у таблиці 3.2.

У матриці прийнято такі позначення: i - номер критерію ($i = 1…4$);

X_i - локальний пріоритет критерію, тобто його відносна вага в загальній оцінці ефективності;

Елементи матриці відображають ступінь переваги одного критерію над іншим.

Порівняння проводиться за такими правилами: значення «1» означає рівну важливість; значення 3, 5, 7, 9 - відповідно помірну, сильну, значну та дуже сильну перевагу одного критерію над іншим; зворотні значення (1/3, 1/5 тощо) відображають меншу вагу критерію порівняно з іншим.

Таблиця 3.3 - Попарне порівняння критеріїв для іонізатора

Критерій	1	2	3	4	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
1. Продуктивність (г/год)	1	3	5	3	3,147	0,42
2. Безпечність	1/3	1	1/3	1	0,693	0,14

3. Термін служби	1/5	3	1	1/3	0,561	0,26
4. Вартість	1/3	1	3	1	1,442	0,18
∑					5,843	1

$$X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}}{\sum_{i=1}^{4} \sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}}, \qquad (3.1)$$

де $\sum$ - сума по стовпці $\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}$;

Порівняння проводимо так: відносна вага кожного критерію самого до себе дорівнює 1. Почнемо, наприклад, з критерію «продуктивність (г/год)»: відносно критерію «безпечність» він має помірну перевагу, тобто оцінку 3 (за табл.3.2).

Тоді в 1-й строчці, 2-му стовпчику ставимо 3, а у 2-й строчці, 1-му стовпчику ставимо 1/3.

Так само порівнюючи кожний критерій з іншими, заповнюємо таблицю 3.3.

Далі в кожній строчці перемножуємо усі 4 значення і беремо з цього добутку корінь 4-го ступеню - так заповнюємо стовпчик $\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}$; знаходимо суму по цьому стовпчику $\sum$, знаходимо $X_i = \frac{\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}}{\sum_{i=1}^{4} \sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4} \omega_i}}$ для кожної строки і заповнюємо стовпчик X_i.

Далі аналогічно складаємо 4 матриці попарних порівнянь альтернатив стосовно кожного критерію за (3.1) (таблиці 3.4, 3.5, 3.6, 3.7).

Таблиця 3.4 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «Продуктивність (г/год)»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	1/7	1/4	4	0,615	0,102
B	7	1	5	6	3,807	0,633
C	4	1/5	1	3	1,245	0,207
D	1/4	1/6	1/3	1	0,343	0,057
∑					6,010	1

Таблиця 3.5 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «Безпечність»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	3	4	5	2,213	0,410
B	1/3	1	2	3	1,260	0,234
C	1/4	1/2	1	2	0,841	0,156
D	1/5	1/3	1/2	1	0,607	0,113
∑					4,921	1

Таблиця 3.6 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «Термін служби»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	1/3	1/4	1/5	0,184	0,040
B	3	1	1/2	1/3	0,606	0,132
C	4	2	1	1/2	1,000	0,218
D	5	3	2	1	1,500	0,310
∑					3,290	1

Таблиця 3.7 - Порівняння альтернатив стосовно критерію «Вартість»

Технологія	A	B	C	D	$\sqrt[4]{\prod_{i=1}^{4}\omega_i}$	X_i
A	1	1/5	1/8	1/7	0,061	0,015
B	5	1	1/2	1/3	0,607	0,132
C	8	2	1	1/2	1,000	0,244
D	8	3	2	1	1,682	0,409
∑					3,350	1

Глобальний пріоритет для кожної альтернативи обчислюється як сума добутків кожного локального пріоритету на його ваговий коефіцієнт. Глобальний пріоритет для кожного іонізатора розраховуємо так:

для A - побутовий іонізатор: $0{,}42 \times 0{,}102 + 0{,}14 \times 0{,}410 + 0{,}26 \times 0{,}040 + 0{,}18 \times 0{,}015 = 0{,}113$

для B - керамічний озоногенератор: $0{,}42 \times 0{,}633 + 0{,}14 \times 0{,}234 + 0{,}26 \times 0{,}132 + 0{,}18 \times 0{,}132 = 0{,}357$

для C - коронний високовольтний іонізатор: $0{,}42 \times 0{,}207 + 0{,}14 \times 0{,}156 + 0{,}26 \times 0{,}218 + 0{,}18 \times 0{,}244 = 0{,}415$

для D - комбінована іонно-озонова система: $0{,}42 \times 0{,}057 + 0{,}14 \times 0{,}113 + 0{,}26 \times 0{,}310 + 0{,}18 \times 0{,}409 = 0{,}194$

Таблиця 3.8 - Глобальний пріоритет для кожної альтернативи

Пріоритети	№1	№2	№3	№4	Глобальний
Вага	0,539	0,119	0,096	0,247	
A	0,102	0,410	0,040	0,015	0,113
B	0,633	0,234	0,132	0,132	0,357
C	0,207	0,156	0,218	0,244	0,415
D	0,057	0,113	0,310	0,409	0,194

З аналізу глобальних пріоритетів іонізаторів (табл. 3.8) встановлено, що найбільш доцільним для реалізації у межах даного проєкту є варіант C -

коронний високовольтний іонізатор. Отримані результати свідчать про збалансоване поєднання його технічних та експлуатаційних характеристик.

Коронний іонізатор забезпечує достатній рівень продуктивності та характеризується підвищеним ресурсом роботи, що зумовлено застосуванням високовольтних електродних систем. Це дозволяє використовувати пристрій у режимі тривалої безперервної роботи без істотного зниження ефективності.

Попри вищу початкову вартість порівняно з побутовими аналогами, тривалий строк служби та стабільність параметрів зменшують сумарні витрати під час експлуатації. Конструктивні рішення, передбачені в коронних іонізаторах, забезпечують необхідний рівень безпечності та відповідність чинним технічним вимогам.

Таким чином, коронний високовольтний іонізатор найбільш повно відповідає завданням проєкту та умовам професійного застосування.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Електробезпека при роботі з системами контролю вологості та іонізації повітря

Системи контролю вологості та іонізації включають електронне обладнання, що працює від мережі змінного струму (220 В) або джерел постійного живлення. Робота з ними пов’язана з ризиком ураження електричним струмом, коротких замикань та інших аварій.

Індивідуальний захист включає ізолюючі рукавички, діелектричне взуття та захисні окуляри. Належне заземлення відводить потенційно небезпечний струм, знижуючи ймовірність ураження.

Технічні заходи безпеки: використання автоматичних вимикачів, пристроїв захисту від струмів короткого замикання та витоку, стабілізаторів напруги, герметичних корпусів (IP54 і вище). Регулярне обслуговування та тестування захисних пристроїв забезпечують надійну роботу системи.

Правила роботи: монтаж і ремонт проводяться тільки при відключеному живленні; робота з оголеними проводами під напругою заборонена, а в разі необхідності - тільки з ізольованими інструментами. Роботи виконуються відповідно до ПУЕ, ГОСТ, ДСТУ та після проведення інструктажу з охорони праці.

Умови експлуатації: підвищена вологість знижує опір ізоляції, тому обладнання має відповідний клас захисту від вологи і пилу. Монтажні та

ремонтні роботи у вологих приміщеннях проводяться лише з додатковим захистом.

Моніторинг і діагностика: автоматичний контроль напруги, температури, перевантажень та коротких замикань дозволяє вчасно виявляти потенційні загрози. Ручна перевірка стану ізоляції, з'єднань та датчиків забезпечує надійність і безпеку системи.

Дії при аварії: у разі диму, запаху горіння або несправності необхідно негайно вимкнути живлення, повідомити відповідальних осіб та діяти за планом аварійного реагування. Для гасіння електропристроїв використовуються лише порошкові або вуглекислі вогнегасники.

Системне дотримання заходів електробезпеки, регулярні інструктажі та обслуговування забезпечують надійну роботу обладнання, захист здоров'я персоналу та зменшують ризик аварій. [13]

4.2 Безпека при роботі з іонізаторами

Іонізатори повітря, особливо коронного та плазмового типів, працюють під високою напругою і генерують активні іони, які очищують повітря від забруднень. Проте під час їхньої роботи може утворюватися озон - газ, який у великих концентраціях є шкідливим для людини. Саме тому при експлуатації таких пристроїв необхідно суворо дотримуватися певних заходів безпеки.

Найважливішим з них є забезпечення ефективної вентиляції приміщень, де використовуються іонізатори. Постійний і якісний повітрообмін дозволяє запобігти накопиченню озону вище гранично допустимих концентрацій. Згідно з нормами, концентрація озону не повинна перевищувати 0,1 мг/м³ протягом 8-годинного робочого дня, адже вищі рівні можуть викликати

подразнення дихальних шляхів, головний біль та інші негативні реакції організму.

Для цього рекомендується встановлювати надійні механічні вентиляційні системи або забезпечувати природну вентиляцію за допомогою витяжок, що сприяють постійному оновленню повітря в робочих зонах. Важливо також регулярно перевіряти та обслуговувати вентиляційне обладнання, щоб підтримувати його ефективність і гарантувати безпеку працівників. Такі заходи не лише знижують ризики для здоров'я, а й створюють комфортні умови для роботи з іонізаторами повітря.

Для запобігання ураженню електричним струмом та випадковому контакту з високовольтними електродами іонізаторів повітря, пристрої мають бути оснащені надійними захисними кожухами. Корпуси іонізаторів повинні бути якісно ізольовані, а всі відкриті або потенційно небезпечні частини - закриті спеціальними захисними кожухами. Це забезпечує безпеку користувачів і обслуговуючого персоналу, мінімізуючи ризик травм і пошкоджень під час експлуатації. Такий підхід також запобігає потраплянню пилу, вологи та інших забруднень на електричні компоненти, що сприяє підвищенню надійності та тривалості роботи обладнання.

Для гарантування безпеки при використанні іонізаторів повітря необхідно регулярно здійснювати моніторинг концентрації озону в робочому приміщенні. Це робиться за допомогою спеціальних газоаналізаторів або сенсорів, які точно фіксують рівень озону в атмосфері. У разі перевищення допустимих значень слід негайно вимкнути іонізатори та посилити вентиляцію для швидкого зниження небезпечної концентрації газу до безпечних меж.

Окрім технічних заходів, вкрай важливо забезпечити належну підготовку обслуговуючого персоналу. Працівники мають регулярно проходити навчальні курси та інструктажі, ознайомлюватися з правилами експлуатації обладнання, розуміти можливі ризики і методи їхнього

уникнення. Такий підхід сприяє зниженню рівня небезпеки, підвищує відповідальність персоналу і сприяє більш безпечній роботі з приладами.

Крім підготовки персоналу та технічного оснащення, велике значення має організація робочого процесу з іонізаторами повітря. Необхідно передбачати чіткі регламенти роботи, які визначають допустимий час перебування працівників у зонах активної іонізації, а також порядок включення та відключення пристроїв. Це дозволяє уникнути тривалого впливу підвищених концентрацій озону та забезпечує контрольовані умови для виконання завдань. Особлива увага приділяється послідовності технічного обслуговування: перед проведенням будь-яких ремонтних робіт іонізатори повинні бути обов’язково відключені від живлення, а всі електричні елементи ізольовані, щоб виключити можливість ураження струмом.

Не менш важливим є контроль стану самого обладнання. Регулярна перевірка цілісності ізоляції, чистоти електродів та сенсорів дозволяє запобігти коротким замиканням і перегріву. З часом на електродах можуть накопичуватися забруднення або пил, що знижує ефективність генерації іонів і одночасно підвищує ризик аварійного пробою. Вчасне очищення та калібрування забезпечує стабільну роботу системи та підтримує безпечний рівень іонізації.

Для підвищення загальної безпеки корисним є інтегрування іонізаторів у систему моніторингу приміщення. Це дозволяє в режимі реального часу відстежувати не тільки рівень озону, а й параметри мікроклімату, такі як температура і вологість, що впливають на ефективність іонізації. Системи автоматичного сповіщення про перевищення допустимих значень забезпечують своєчасне реагування та скорочують час впливу небезпечних факторів на персонал. Таке комплексне управління дозволяє підтримувати безпечні умови навіть у приміщеннях з великою кількістю техніки та постійним перебігом процесів очищення повітря.

Необхідно також враховувати психологічний аспект роботи з іонізаторами. Чіткі інструкції, наявність зрозумілих сигналів про стан

обладнання, а також доступність інформації про потенційні ризики підвищують обізнаність працівників і сприяють правильній поведінці у разі аварійної ситуації. Усвідомлення небезпек і знання методів їх уникнення знижує рівень стресу та допомагає зосередитися на виконанні професійних завдань без ризику для здоров'я.

Таким чином, безпечна експлуатація іонізаторів повітря потребує поєднання технічних, організаційних та навчальних заходів. Лише системний підхід, який включає ефективну вентиляцію, захист від високої напруги, контроль рівня озону, регулярне обслуговування обладнання та підготовку персоналу, дозволяє забезпечити безпечні умови роботи, знизити ризики для здоров'я та підвищити ефективність очищення повітря в приміщеннях. [14]

4.3 Організаційно-технічні заходи пожежної безпеки

Пожежна безпека гарантується протипожежними системами, протипожежним захистом, організаційно-технічними заходами, які формують цілісну систему попередження, виявлення та ліквідації загорянь. Їх впровадження дозволяє мінімізувати ризики виникнення пожежі, забезпечити безпечну експлуатацію обладнання та створити умови для ефективного реагування в разі виникнення надзвичайної ситуації.



Рисунок 4.1 - Елементи системи пожежної безпеки об'єкта.

Для розробки комплексу спеціальних технічних і організаційних рішень і заходів, здатних забезпечити необхідний ступінь безпеки, необхідно заздалегідь визначити ступінь пожежонебезпеки приміщень. Це включає аналіз призначення будівель і споруд, наявності горючих матеріалів, інтенсивності виробничих процесів, кількості людей у зоні ризику, особливостей електричних і вентиляційних систем. Лише на основі такої оцінки можливо сформувати технічно обґрунтовані та економічно доцільні заходи.

Організаційно-технічні заходи включають планування, реалізацію та підтримку комплексу рішень, зокрема:

- Організаційна складова передбачає створення чіткої структури відповідальності за пожежну безпеку, призначення осіб, відповідальних за експлуатацію систем протипожежного захисту, ведення відповідної документації, організацію навчань, інструктажів і тренувань з евакуації. Розробляються плани дій на випадок пожежі, які повинні враховувати особливості будівлі та маршрути безпечного виходу.

- Технічна складова охоплює проектування, монтаж і технічне обслуговування інженерних систем пожежної безпеки: автоматичної пожежної сигналізації, систем пожежогасіння, димовидалення, оповіщення та

евакуаційного освітлення. Важливе значення має правильне технічне облаштування електромереж, вентиляції, систем кондиціювання та інших інженерних комунікацій - з урахуванням вимог протипожежної безпеки та використання сертифікованих матеріалів і пристроїв.

Усі заходи мають бути адаптовані до типу об'єкта - наприклад, промислові підприємства потребують особливої уваги до вибухопожежонебезпечних зон, тоді як для адміністративних будівель важливим є швидке оповіщення персоналу та чітка організація евакуації. Важливо, щоб усі системи працювали в інтеграції: автоматична сигналізація активує оповіщення, запускає систему димовидалення, а персонал відповідно до інструкцій розпочинає евакуацію й гасіння пожежі первинними засобами.

Ключовим принципом організаційно-технічних заходів є системність і превентивність: пожежну безпеку необхідно забезпечувати ще на етапі проєктування будівлі, регулярно контролювати технічний стан усіх систем та навчати персонал діям у надзвичайних ситуаціях. Тільки такий комплексний і послідовний підхід дозволяє створити надійний захист від пожеж та зберегти життя і здоров’я людей, а також матеріальні цінності. [15]

На рисунку 3.1 представлено схему евакуації у разі пожежі для учасників освітнього процесу Інженерного навчально-наукового інституту імені Ю.М. Потебні Запорізького національного університету. Схема стосується другого поверху лабораторного корпусу, де розташована спеціалізована навчально-наукова лабораторія «Фізичної та біомедичної електроніки».

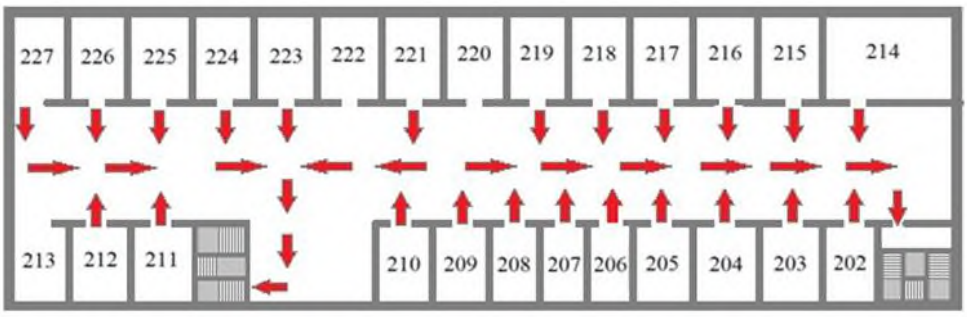


Рисунок 4.2 - Схема евакуації з ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ у разі пожежі.

4.4 Санітарно - гігієнічні вимоги

Для комфортних і безпечних умов праці важливо підтримувати оптимальний мікроклімат: температура 18-22 °С, відносна вологість 40-60 %. Це знижує втому, запобігає перегріванню або переохолодженню і покращує концентрацію.

Системи вентиляції повинні забезпечувати мінімум трикратний повітрообмін на годину в офісах та п’ятикратний - у приміщеннях з високим тепловиділенням або великою кількістю обладнання. Кондиціонери потребують регулярного очищення та заміни фільтрів для запобігання поширенню пилу та мікроорганізмів.

Контроль іонного складу повітря передбачає підтримку балансу позитивних і негативних іонів. Оптимальна концентрація аероіонів: 400-1000 іонів/см³. Озон понад 0,1 мг/м³ токсичний і повинен контролюватися, особливо при роботі з копіювальною технікою, лазерними принтерами або іонізаторами.

Працівники проходять інструктаж із охорони праці щодо допустимих параметрів мікроклімату, використання кліматичного обладнання та перших ознак негативного впливу. Роботодавець організовує регулярний моніторинг і документування умов праці.

Освітлення робочої зони повинно бути комбінованим (загальне та локальне), без відблисків на екрани. Рівень шуму - у межах гігієнічних норм; при перевищенні - застосовуються шумоізоляція та засоби захисту слуху.

Чистота та гігієна приміщень забезпечується регулярним прибиранням і дезінфекцією. Особливу увагу приділяють фільтрам і вентиляційним каналам. Системи постійного моніторингу мікроклімату допомагають вчасно виявляти відхилення та проводити коригування.

Робочий режим передбачає перерви, вправи для очей і м’язів, чергування діяльності для персоналу, що працює у зміненому мікрокліматі.

Комплексний підхід із технічного контролю, навчання персоналу та документування забезпечує стабільне та безпечне робоче середовище, знижує

ризики негативного впливу мікроклімату та іонізації повітря і підвищує ефективність праці. [16]

4.5 Ергономічні аспекти

Раціональна організація робочого місця є важливою умовою підвищення ефективності праці, зниження втоми персоналу та мінімізації помилок під час виконання функціональних обов'язків. Конструкція обладнання й розміщення елементів систем управління повинні забезпечувати безпечний і швидкий доступ до вузлів, що потребують технічного обслуговування або калібрування. Панелі керування доцільно розміщувати на висоті 1000-1200 мм від підлоги, а органи управління - у межах досяжності витягнутої руки без зміни положення тіла. Часто використовувані елементи мають бути чітко промарковані та логічно згруповані.

Для профілактики перевтоми, особливо при тривалій роботі з дисплеями або високому розумовому навантаженні, необхідно дотримуватися регламентованого режиму праці та відпочинку. Рекомендуються короткі перерви тривалістю 5-10 хвилин щогодини з виконанням вправ для зняття статичної напруги або зміною виду діяльності. За умов високоточного ручного керування доцільно застосовувати чергування операцій з періодами м'язового розвантаження.

Рівень шуму в робочій зоні не повинен перевищувати 50 дБА для офісних і диспетчерських приміщень. За наявності шумогенеруючого обладнання застосовуються шумоізоляційні кожухи, віброгасні опори та інші засоби демпфування. У разі неможливості зниження шуму до нормативних значень персонал забезпечується засобами індивідуального захисту слуху, а

час перебування в зоні підвищеного шуму обмежується відповідно до вимог ДСН 3.3.6.037-99.

Важливу роль відіграє освітлення робочої зони. Для робочих місць із дисплеями рекомендовано комбіноване освітлення - загальне та локальне, з урахуванням характеру виконуваних операцій. Освітлення повинно бути рівномірним, без відблисків і прямого потрапляння світла на екрани, що досягається застосуванням матових поверхонь і регульованих світильників.

Комфортний мікроклімат приміщення забезпечується підтриманням оптимальних значень температури, вологості та швидкості руху повітря. Системи вентиляції та кондиціонування сприяють зниженню концентрації пилу й шкідливих речовин та підвищують працездатність персоналу.

Зменшення статичної втоми досягається можливістю зміни положення тіла, використанням ергономічних меблів і раціональним розміщенням інструментів та кабельних ліній. Психологічний комфорт забезпечується зниженням рівня стресу, можливістю індивідуального регулювання освітлення й мікроклімату та мінімізацією відволікаючих чинників.

Отже, ергономічна організація робочого місця ґрунтується на комплексному врахуванні фізичних, психологічних і безпекових факторів, що дозволяє підвищити ефективність праці, знизити перевтому та забезпечити безпечні умови роботи персоналу.

4.6 Техногенні ризики

Системи контролю вологості та іонізації повітря характеризуються низкою специфічних техногенних ризиків, зумовлених особливостями їх конструкції та принципів роботи, що потребує врахування на етапах проєктування, експлуатації й технічного обслуговування.

Одним із основних ризиків є вплив електромагнітних завад на чутливі сенсорні та мікропроцесорні модулі. Джерелами таких завад можуть бути силове обладнання, трансформатори, інвертори та мережі передачі даних, що здатне призводити до хибних спрацьовувань або нестабільної роботи систем. Зменшення цього ризику досягається застосуванням електромагнітного екранування, розділенням силових і сигнальних ліній та організацією надійного заземлення відповідно до вимог EN 61000 (IEC 61000).

Вагомим техногенним ризиком є утворення озону в процесі іонізації повітря. За концентрації понад 0,1 мг/м³ озон є токсичним і може негативно впливати на органи дихання. У зв’язку з цим іонізатори повинні мати системи дозування та автоматичного блокування при перевищенні граничних значень, а також експлуатуватися за умови ефективної припливно-витяжної вентиляції. Доцільним є встановлення незалежних датчиків контролю рівня озону.

Ризики коротких замикань і перегріву електричних компонентів пов’язані з пошкодженням ізоляції, проникненням вологи та перевантаженням елементів живлення. Такі аварійні режими можуть спричиняти займання або ураження персоналу електричним струмом. Для їх запобігання застосовуються автоматичні вимикачі, термозахист, датчики температури та корпуси зі ступенем захисту не нижче IP54, а також регулярне технічне обслуговування і контроль стану кабельних ліній.

Додаткові ризики виникають унаслідок механічних ушкоджень обладнання та програмних збоїв систем керування. Пошкодження сенсорів або електронних блоків можуть призводити до втрати точності вимірювань, а помилки програмного забезпечення - до некоректного регулювання вологості та іонізації. Зменшення цих ризиків забезпечується використанням захисних корпусів, надійним кріпленням обладнання, резервуванням критичних модулів і регулярною верифікацією алгоритмів керування.

Суттєвий вплив на рівень техногенних ризиків має людський фактор. Порушення інструкцій з експлуатації або технічного обслуговування може призвести до аварійних ситуацій, тому необхідним є систематичне навчання

персоналу, проведення інструктажів та тренувань з відпрацювання дій у разі надзвичайних ситуацій.

Крім того, довготривала експлуатація в умовах підвищеної вологості, запиленості або температурних коливань сприяє деградації матеріалів і контактів, що знижує надійність систем. Запобігання цим процесам досягається контролем мікроклімату, профілактичним обслуговуванням та використанням компонентів, стійких до впливу навколишнього середовища.

Отже, техногенні ризики систем контролю вологості та іонізації повітря мають комплексний характер і потребують інтегрованого підходу, що поєднує технічні засоби захисту, правильну організацію експлуатації, регулярне обслуговування та підготовку персоналу. Це забезпечує безпечну й надійну роботу систем та мінімізує загрози для здоров’я людини. [9]

4.7 Заходи щодо мінімізації ризиків

Для забезпечення надійної та безпечної роботи систем контролю вологості й іонізації повітря необхідно впроваджувати комплекс технічних і організаційних заходів. Першочерговим є використання сертифікованого обладнання, яке відповідає міжнародним і національним стандартам (IEC, ДСТУ, ТУ У) та має сертифікати відповідності. Рекомендується застосовувати пристрої з вбудованими модулями захисту від перенапруги, короткого замикання й перегріву, особливо для обладнання, що працює з високою напругою.

Важливим аспектом є регулярне технічне обслуговування, яке передбачає планові огляди, очищення, перевірку точності сенсорів, діагностику систем та заміну несправних елементів. Своєчасне обслуговування запобігає деградації чутливості датчиків вологості та

накопиченню забруднень у фільтрах іонізаторів. Інтервали обслуговування, як правило, становлять від 3 до 12 місяців відповідно до рекомендацій виробників.

Підготовка персоналу є обов’язковою умовою безпечної експлуатації. Користувачі повинні проходити первинний інструктаж, а обслуговуючий персонал - навчання щодо допустимих напруг, концентрацій озону, правил вентиляції та порядку аварійного відключення обладнання. Доцільним є також проведення навчань з надання першої допомоги при ураженні електричним струмом.

Значну роль у зниженні ризиків відіграють системи автоматичного моніторингу, які в режимі реального часу контролюють температуру, вологість, рівень озону та стабільність живлення. У разі перевищення граничних значень вони забезпечують аварійне вимкнення пристроїв, що дозволяє запобігти пошкодженню обладнання та загрозам для здоров’я персоналу.

Особливу увагу слід приділяти контролю утворення озону. За тривалого впливу його підвищені концентрації можуть негативно впливати на органи дихання, тому необхідна ефективна вентиляція або встановлення датчиків контролю. У разі перевищення допустимого рівня (понад 0,1 ppm згідно з ГОСТ 12.1.005-88) робота іонізаторів повинна бути припинена.

Додатковим заходом є систематичний моніторинг технічного стану обладнання з документуванням результатів перевірок. Ведення журналів технічного обслуговування та обліку аварійних ситуацій дозволяє своєчасно виявляти тенденції до зниження надійності системи.

Раціональна організація режимів експлуатації також сприяє зниженню ризиків. Необхідно обмежувати час безперервної роботи іонізаторів у закритих приміщеннях, забезпечувати регулярне провітрювання та правильне розташування обладнання, щоб потоки іонізованого повітря не спрямовувалися безпосередньо на людей.

Важливим є узгодження роботи іонізаторів із вентиляційними та кліматичними системами, а також використання аварійних відключень при нестабільності електроживлення або відмові сенсорів. Психологічна готовність персоналу забезпечується проведенням тренувань і моделюванням аварійних ситуацій, що дозволяє зменшити ризик помилкових дій.

Отже, комплекс заходів щодо мінімізації ризиків, який поєднує технічні, організаційні та навчальні складові, забезпечує безпечну й ефективну експлуатацію систем контролю вологості та іонізації повітря і сприяє захисту здоров’я персоналу. [17, 18]

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У ході виконання дипломної роботи було розроблено та протестовано прототип мікропроцесорної системи контролю вологості та іонізації повітря на базі платформи Arduino Uno R3. Розроблена електрична схема включає модуль керування, високовольтний коронний іонізатор та реле-модуль, що забезпечує автоматичне вмикання іонізації при перевищенні встановленого рівня вологості. Система контролю вологості реалізована із використанням датчика CCS811, який у складі пристрою забезпечує комплексний контроль параметрів повітряного середовища та використовується для формування керуючого сигналу залежно від рівня вологості повітря. На основі отриманих даних здійснюється автоматичне керування процесом іонізації. Відображення поточних параметрів роботи пристрою реалізовано за допомогою OLED-дисплея SSD1306, а взаємодія з користувачем здійснюється через сенсорний вимикач.

Система функціонує стабільно, що підтверджується проведеними тестами та спостереженнями під час її експлуатації. Вимірювання параметрів мікроклімату, таких як вологість та рівень іонізації повітря, демонструють постійність і передбачуваність показань без раптових стрибків або збоїв. Під час тривалого використання всі сенсорні модулі та виконавчі елементи працюють коректно, а значення на дисплеї відповідають реально виміряним умовам і відповідають еталонним приладам з допустимою похибкою. Крім того, система стабільно реагує на зміну умов навколишнього середовища, що підтверджує її надійність та придатність для використання в побутових

Під час розробки системи враховано вимоги безпеки при роботі з високою напругою та озоногенеруючим обладнанням. Використовуються ізольовані компоненти та реле для контролю роботи іонізатора, що мінімізує ризики для користувача.

Передбачено ключові заходи захисту: використання сертифікованих високовольтних резисторів, конденсаторів і кабелів, а також захист від перенапруги за допомогою стабілізаторів та запобіжників.

Автоматичне відключення іонізатора відбувається при перевищенні безпечного рівня вологості або напруги, за рахунок реле та мікроконтролера, які контролюють параметри та розривають ланцюг живлення. Можливість регламентного технічного обслуговування означає, що пристрій спроектовано так, щоб можна було легко перевіряти та замінювати зношені компоненти для підтримки безпечної та стабільної роботи. Інші подібні прилади часто не передбачають такого доступу або контролю, тому їх обслуговування складніше і може бути небезпечним.

Для безпечної експлуатації рекомендується обмежувати тривалість роботи іонізатора таймером або програмним контролем (наприклад, 10-30 хвилин з паузою), забезпечувати постійну вентиляцію для видалення надлишкового озону, контролювати його рівень та регулярно перевіряти високовольтні елементи, щоб запобігти перегріву, коротким замиканням і пошкодженням.

Подальше вдосконалення розробленої системи можливе в кількох напрямках: інтеграція з IoT-середовищем (Wi-Fi або GSM), використання ПІД-регулятора для точнішого керування потужністю іонізації, розширення набору сенсорів (температура, пил, леткі органічні сполуки). Перспективним є також застосування автономного живлення, впровадження енергоефективних алгоритмів та адаптація пристрою для медичних або промислових систем моніторингу якості повітря.

Проведені дослідження підтверджують, що сучасні недорогі мікроконтролерні засоби здатні ефективно виконувати задачі контролю мікроклімату, забезпечуючи основу для подальшої модернізації та практичного застосування створеної системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бурдейний В. В. Електронні системи контролю і автоматизації. Київ: Видавничий дім «Києво-Могилянська академія», 2018. 256 с.

2. Іванов С. П., Петренко О. В. Сенсорні системи вимірювання вологості повітря. Сучасні проблеми автоматики та приладобудування, Харків, 2020, вип. 34, с. 45-53.

3. Верьовкін Л.Л., Світанько М.В., Кісельов Є.М., Хрипко С.Л. Цифрова схемотехніка: підручник. Запоріжжя: ЗДІА, 2016. 214 с

4. Кузнецов І. М. Іонізатори повітря: принципи роботи і застосування. Харків: ТОВ «ТехноПринт», 2019. 128 с.

5. Ляшенко Т. В., Смирнов Ю. В. Технології іонізації повітря в системах очистки. Електротехніка і електроніка, Київ, 2021, № 2, с. 34-42.

6. Козлов В. В. Автоматизація контролю мікроклімату на базі мікроконтролерів. Автоматика та системи управління, Львів, 2022, № 1, с. 12-20.

7. Гнатюк С. С. Системи очищення, фільтрації та іонізації повітря. Тернопіль: ТНТУ, 2020. 120 с.

8. Гончарук В. В., Агеєва Н. М. Вологість повітря та методи її вимірювання. Екологічна безпека та природокористування, Київ, 2020, № 2, с. 72-80.

9. Дьяків С. О. Іонізація повітря у вентиляційних та кліматичних системах. Київ: Наукова думка, 2020. 140 с.

10. Риженко С. М. Озонування повітря: технології, обладнання, безпека. Київ: Наукова думка, 2021. 152 с.

11. Голубенко О. П. Іонізація та фільтрація повітря в побутових системах очистки. Екологічна безпека, Одеса, 2020, № 3, с. 58-65.

12. Arduino Uno Rev3 Datasheet. Режим доступу: https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3 (дата звернення: 25.05.2025).

13. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Київ: Енергетика, 2017. 432 с.

14. Петров С. І. Основи електробезпеки. Львів: Видавництво ЛНУ, 2020. 210 с.

15. Руденко В. В. Основи безпеки праці при роботі з електрообладнанням. Харків: Прапор, 2017. 144 с.

16. Степаненко О. Г. Вплив озону на здоров’я людини: гігієнічні норми та рекомендації. Вісник охорони здоров’я України, Київ, 2018, № 6, с. 24-30.

17. Куріс Ю.В., Бєлоконь К.В., Рижков В.Г. Основи охорони праці: навч. посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 2015. 180 с.

18. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text

Додаток А

Познач.	Найменування	Кільк.	Примітка
	Резистори		
R1	С2-23-0,125-5,6 кОм±10%	1	
R2	С2-23-0,125-56 кОм±10%	1	
	Транзистори		
VT1	IRL3705N	1	
	Акумулятор		
Bat 1	18650 LI-ION	1	
	Мікросхема		
IC1	Arduino Uno R3	1	
	Реле-модуль		
RM1	Relay Module 1-Channel 5V	1	
	Іонізатор		
L1	Іонізатор AC220V 60G	1	
	Датчик		
IC2	CCS811	1	
	Дисплей		
IC3	I2C OLED SSD1306	1	
	Сенсорний вимикач		
IC4	TTP223	1	
	Вентилятори		
M1 M2	SUNON DP200A2123XBT	2	

					ІННІ ЗНУ 8.1764 ДП			
						Літера	*Маса*	*Масштаб*
Змін.	*Арк.*	*№ докум*	*Підпис*	*Дата*	*Перелік елементів до схеми електричної принципової*			
Розроб.		*Ключко А.В.*						
Керівник		*Ніконова А. О.*				*Арк.1*		*Аркушів.1*
Консульт.								
						8.1764		
Н. Контр.		*Верьовкін Л.Л.*						
Затвердив		*Критська Т.В.*						

Додаток Б

```
#include <Wire.h>
#include "Adafruit_CCS811.h"
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
Adafruit_CCS811 ccs;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
// ---------------------- SETTINGS ----------------------
const int RELAY_PIN        = 6;   // Relay control pin (change if needed)
const int BUTTON_PIN       = 7;   // Button to display 24h average
const int CO2_ON_THRESHOLD  = 1000;  // ppm → turn ionizer ON
const int CO2_OFF_THRESHOLD = 900;   // ppm → turn ionizer OFF (hysteresis)
const unsigned long HOUR_INTERVAL = 3600000UL; // 1 hour in ms
// -----------------------------------------------------
int co2Data[24]  = {0};
int tvocData[24] = {0};
int dataIndex = 0;
bool firstRun = true;
unsigned long hourTimer = 0;
bool ionizerOn = false;
void setup() {
  pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);        // Relay OFF (active LOW)
  pinMode(BUTTON_PIN, INPUT_PULLUP);    // Button with internal pull-up
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("CCS811 + Ionizer");
```

```
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Starting...");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  if (!ccs.begin()) {
    Serial.println("Failed to start CCS811! Check wiring.");
    lcd.print("CCS811 ERROR");
    while (1);
  }
  // Wait for the first valid reading
  while (!ccs.available()) delay(10);
  ccs.readData(); // discard first (often garbage) reading
}
void loop() {
  static unsigned long lastUpdate = 0;
  // Update every 2 seconds (CCS811 is slow anyway)
  if (millis() - lastUpdate < 2000) return;
  lastUpdate = millis();
  if (ccs.available() && !ccs.readData()) {
    int co2  = ccs.geteCO2();
    int tvoc = ccs.getTVOC();
    // ---------- Ionizer automatic control ----------
    if (co2 >= CO2_ON_THRESHOLD && !ionizerOn) {
      digitalWrite(RELAY_PIN, LOW);   // Relay ON → ionizer ON
      ionizerOn = true;
      Serial.println("Ionizer turned ON");
    }
    else if (co2 <= CO2_OFF_THRESHOLD && ionizerOn) {
      digitalWrite(RELAY_PIN, HIGH);  // Relay OFF → ionizer OFF
      ionizerOn = false;
```

```
  Serial.println("Ionizer turned OFF");
}
// ---------- Display current values ----------
Serial.print("CO2: ");
Serial.print(co2);
Serial.print(" ppm | TVOC: ");
Serial.print(tvoc);
Serial.print(" ppb | Ionizer: ");
Serial.println(ionizerOn ? "ON" : "OFF");
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("CO2: ");
lcd.print(co2);
lcd.print("ppm");
if (ionizerOn) lcd.print("  ON");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("TVOC: ");
lcd.print(tvoc);
lcd.print("ppb");
// ---------- Save hourly data ----------
if (firstRun || millis() - hourTimer >= HOUR_INTERVAL) {
  co2Data[dataIndex]  = co2;
  tvocData[dataIndex] = tvoc;
  dataIndex = (dataIndex + 1) % 24;
  hourTimer = millis();
  firstRun = false;
}
// ---------- Show 24h average when button pressed ----------
if (digitalRead(BUTTON_PIN) == LOW) {
  delay(20); // simple debounce
```

```
      if (digitalRead(BUTTON_PIN) == LOW) {
        show24hAverage();
        while (digitalRead(BUTTON_PIN) == LOW) delay(10); // wait for release
      }
    }
  }
  else {
    Serial.println("CCS811 read error!");
  }
}
// ---------- Function: display 24-hour average ----------
void show24hAverage() {
  long sumCO2 = 0, sumTVOC = 0;
  int valid = 0;
  for (int i = 0; i < 24; i++) {
    if (co2Data[i] > 0) {          // 0 means no data yet
      sumCO2 += co2Data[i];
      sumTVOC += tvocData[i];
      valid++;
    }
  }
  if (valid == 0) return;
  int avgCO2  = sumCO2 / valid;
  int avgTVOC = sumTVOC / valid;
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("24h Avg CO2:");
  lcd.print(avgCO2);
  lcd.print("ppm");
  lcd.setCursor(0, 1);
```

```
  lcd.print("TVOC:");
  lcd.print(avgTVOC);
  lcd.print("ppb    ");
  Serial.print("24h average → CO2: ");
  Serial.print(avgCO2);
  Serial.print(" ppm | TVOC: ");
  Serial.print(avgTVOC);
  Serial.println(" ppb");
  delay(5000); // show for 5 seconds
}
```

Додаток В

УДК 621.31

Ключко Андрій Володимирович,
здобувач вищої освіти І освітнього рівня «магістр»,
кафедра електроніки, інформаційних систем
та програмного забезпечення,
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізького національного університету
Ніконова Аліна Олександрівна,
к. т. н., доцент, доцент кафедри електроніки,
інформаційних систем та програмного забезпечення,
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні
Запорізького національного університету

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ТА ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯ У ДОВКІЛЛІ

Сучасні умови життя та роботи людини все більше залежать від якості повітряного середовища. Оптимальні параметри вологості та іонізації повітря є критично важливими для здоров'я людини, ефективності виробничих процесів та збереження матеріальних цінностей. Дослідження свідчать, що неправильний мікроклімат у приміщеннях може призводити до розвитку респіраторних захворювань, зниження продуктивності праці на 15-20% та псування технічного обладнання.

Актуальність даного дослідження полягає у необхідності розробки комплексної системи, яка б ефективно контролювала та регулювала два ключові параметри повітря: вологість та іонізацію. Існуючі рішення часто розглядають ці параметри окремо, що знижує загальну ефективність систем контролю мікроклімату.

Сучасний ринок пропонує різноманітні системи контролю мікроклімату, які можна класифікувати за такими основними типами: системи контролю вологості (ультразвукові, парові, адіабатичні, сорбційні) та іонізатори повітря (коронні, ультрафіолетові, термоелектронні, водні). Проведений порівняльний аналіз (Рис. 1) показує, що більшість сучасних систем мають ряд істотних недоліків: високе енергоспоживання, обмежений діапазон регулювання параметрів, відсутність комплексного підходу до контролю мікроклімату та складність інтеграції з системами "розумного будинку". [1,2]



Рисунок 1 – Аналіз основних характеристик існуючих систем контролю мікроклімату

Для розробки ефективної системи контролю вологості та іонізації повітря запропоновано використання високочутливих цифрових сенсорів SHT31 (вологість) та GPS-5003 (іонізація), мікроконтролерної платформи ESP32 з Wi-Fi модулем, PWM-керованих виконавчих механізмів та енергоефективних іонізаційних модулів із керамічними емітерами.

Програмне забезпечення включає адаптивні алгоритми PID-регулювання, елементи машинного навчання для прогнозування змін мікроклімату, хмарний інтерфейс для збору та аналізу даних, а також мобільний застосунок із push-сповіщеннями. Для зменшення енергоспоживання передбачено використання сонячних панелей, режиму глибокого сну та оптимізацію роботи вентиляторних систем.

Очікується, що реалізація системи дозволить забезпечити діапазон регулювання вологості 30–70% з точністю ±2%, підтримку концентрації негативних іонів у межах 1000–5000 іонів/см³, час реакції на зміни параметрів <30 сек та енергоспоживання менше 15 Вт. Система адаптуватиметься до зовнішніх умов, інтегруватиметься з популярними платформами "розумного дому", дозволятиме створення персоналізованих профілів та своєчасно попереджатиме про небажані зміни мікроклімату.

З економічної точки зору, очікується зниження енергоспоживання на 30–40% у порівнянні з аналогами, окупність системи за 2–3 роки та можливість масштабування на промисловий рівень. [3]

Запропонована система контролю вологості та іонізації повітря є інноваційним рішенням, що спрямоване на створення здорового мікроклімату в приміщеннях. Її реалізація дозволить не лише покращити умови життя та праці, а й сприятиме збереженню енергії та інтеграції в екосистему сучасних технологій.

Подальші дослідження можуть бути зосереджені на впровадженні біометричного інтерфейсу для автоматичного визначення оптимальних параметрів, використанні біополімерних матеріалів для іонізації та інтеграції з новими типами систем вентиляції та кондиціювання.

Література

1. Іванов І. І., Петренко П. П. Сучасні методи контролю та регулювання мікроклімату приміщень. Київ: Техніка, 2020. 52 с.
2. Сидоренко С. С., Ковальчук К. К. Розробка інтелектуальної системи іонізації повітря на основі IoT технологій. Харків: НТУ «ХПІ», 2021. 74 с.
3. Павленко П. П., Савченко С. С. Інтелектуальні системи управління мікрокліматом. Київ: НТУУ «КПІ», 2021. 85 с.