

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

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

До захисту допущено:

В. о. завідувача кафедри АСНК

_____Галина БОГДАН

«_____»__20__р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра

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

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

на тему: «Система автоматизованого забезпечення
якості повітря в укритті»

Виконав (-ла):
студент (-ка) IV курсу, групи ПМ-11
Цимбалюк Максим Васильович

Керівник:
асистент
Драчук Олеся Олександрівна

Рецензент:
асистент.
Заєць Сергій Сергійович

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

Студент (-ка) _____

Київ – 2025 року

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Пояснювальна записка	60	
3	A1	ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.СС	Структурна схема	1	
4	A1	ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЕС	Принципова електрична схема	1	
5	A1	ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.БСА	Блок-схема алгоритму	1	
6	A1	ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.СК	Складальне креслення	1	
7	A2	ДПБ.ПМ-11.17.1760.001	Корпус	1	
8	A2	ДПБ.ПМ-11.17.1760.002	Кришка корпусу	1	
9	A4	ДПБ.ПМ-11.17.1760.000.СП	Специфікація	1	

				ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.00		
	ПБ	Підп.	Дата			
Розробн.	Цимбалюк М. В.			Відомість дипломного проєкту	Лист	Листів
Керівн.	Драчук О. О.				1	1
Консульт.					НТУУ «КП ім. Ігоря Сікорського» Каф. АСНК, Гр. ПМ-11	
Н/контр.						
Зав.каф.						

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Система автоматизованого забезпечення
якості повітря в укритті»

Київ – 2025 року

АНОТАЦІЯ

Метою дипломної роботи є проєктування та впровадження автоматизованої системи забезпечення якості повітря в укритті цивільного захисту, розрахованому на перебування до 10 осіб. Розробка здійснена відповідно до чинних державних будівельних норм та орієнтована на забезпечення безпечного мікроклімату як у повсякденних, так і в надзвичайних умовах. Система функціонує у двох режимах: режим чистої вентиляції забезпечує подачу свіжого повітря зі стандартною фільтрацією в нормальних умовах, а режим фільтраційної вентиляції активується за наявності хімічного або біологічного забруднення, забезпечуючи багаторівневу очистку повітря. Практичне значення роботи полягає в можливості інтеграції розробленої системи в житлові укриття для підвищення рівня безпеки та автономності. Запропоноване рішення також може бути використане як основа для впровадження у системи інтелектуального будівництва та технології реагування на надзвичайні ситуації.

ANNOTATION

The aim of this diploma thesis is to design and implement an automated air quality control system for a civil protection shelter intended to accommodate up to 10 people. The system is developed in accordance with current national construction standards and is designed to maintain a safe indoor microclimate in both normal and emergency conditions. It operates in two modes: a clean ventilation mode that supplies fresh air with standard filtration under regular circumstances, and a filtration-ventilation mode that is activated in case of chemical or biological threats, providing multi-stage air purification. The practical relevance of this work lies in the potential integration of the system into residential shelters to enhance safety and autonomy. The proposed solution can also serve as a prototype for broader applications in smart building technologies and emergency preparedness systems.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ПЕРЕЛІК ЗАВДАНЬ	10
1.1 Важливість повітря для здоров'я людини	10
1.2 Розумні системи вентиляції	11
1.3 Основні завдання.....	12
1.4 Висновки по розділу	13
2. СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ В УКРИТТЯХ	15
2.1 Типи вентиляційних систем для очищення повітря.....	15
2.2 Методи очищення повітря	16
2.3 Огляд існуючих систем забезпечення якості повітря	19
2.4 Висновок до розділу	22
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ	24
3.1 Особливості створення системи автоматизованого забезпечення якості повітря в укритті	24
3.2 Створення структурної схеми системи.....	25
3.3 Визначення елементної бази для функціонування модулів системи	26
3.4 Розробка принципової електричної схеми	49
3.5 Алгоритм роботи системи.....	50
3.6 Віртуальна симуляція функціонування системи	51
3.7 Висновки по розділу	53

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Цимбалюк М. В.			Автоматизована система забезпечення якості повітря в укритті		
Перевір.							
Н. Контр.							
Затверд.		Драчук О. О.					
					Літ.	Арк.	Акрушів
						6	
					НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» Каф. АСНК, гр. ПМ-11		

ВИСНОВКИ..... 55

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 57

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система забезпечення якості повітря в укритті				Літ.		Арк.	Акрушів	
Розроб.	Цимбалюк М. В.										7		
Перевір.													
Н. Контр.													
Затверд.	Драчук О. О.												

ВСТУП

В умовах зростання військових загроз та надзвичайних екологічних ситуацій роль інфраструктури цивільної оборони значно зростає. Одним із ключових елементів забезпечення захисту та виживання цивільного населення під час таких подій є наявність належним чином обладнаних укриттів. Ці споруди повинні забезпечувати не лише структурний захист, але й необхідні умови життєзабезпечення, включаючи чисте повітря, комфортну температуру та безпечний рівень вологості.

Якість повітря є критичним фактором, який безпосередньо впливає на здоров'я та самопочуття користувачів укриттів. Під час тривалого перебування в закритих приміщеннях концентрація CO₂ може зростати до небезпечного рівня, вологість може збільшуватися через присутність людини, а повітря може забруднюватися шкідливими речовинами в надзвичайних ситуаціях. Ручне керування вентиляцією в таких середовищах може бути неефективним або затримуватися, особливо в умовах стресу.

Метою цієї дипломної роботи є розробка автоматизованої системи забезпечення якості повітря, яка підтримуватиме оптимальні параметри мікроклімату в укритті невеликої місткості (до 10 осіб). Система буде здатна працювати у двох основних режимах: чиста вентиляція за нормальних умов та фільтраційно-вентиляційна у небезпечних середовищах. Вона контролюватиме ключові параметри навколишнього середовища, такі як температура, вологість, концентрація CO₂, та інших шкідливих елементів, автоматично регулюватиме роботу вентиляторів, фільтрів та виконавчих механізмів.

Система розроблена відповідно до останніх державних будівельних норм, включаючи ДБН В.2.2-5:2023, які встановлюють нормативні вимоги до захисних укриттів. Акцент робиться на створенні енергоефективного, економічно ефективного та адаптивного рішення, що робить його придатним для інтеграції в житлові будівлі.

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Актуальність цієї роботи полягає в її практичній застосовності та внеску в безпеку цивільного населення . Розроблена система підвищує автономність укриттів, зменшує залежність від ручного керування та забезпечує дотримання стандартів охорони здоров'я та безпеки.

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ПЕРЕЛІК ЗАВДАНЬ

1.1 Важливість повітря для здоров'я людини

Повітря є визначальним фактором ефективності функціонування людського організму. У закритих приміщеннях, особливо в укриттях цивільної оборони, якість повітря безпосередньо впливає як на короткострокове самопочуття, так і на довгострокові наслідки для здоров'я. На відміну від відкритих або природно вентильованих приміщень, укриття часто герметично закриті та розташовані під землею або в армованих конструкціях, що обмежує природний повітрообмін. Як наслідок, будь-який дисбаланс у складі повітря може швидко призвести до небезпечних умов.

Однією з основних проблем у таких приміщеннях є накопичення вуглекислого газу (CO_2), який постійно видихають люди. Хоча концентрація CO_2 на вулиці в середньому становить близько 0,4%, концентрація в приміщенні може перевищувати 1% протягом кількох хвилин у погано вентильованих приміщеннях і може досягати 5% або більше в закритих приміщеннях. Тривалий вплив високих рівнів CO_2 може викликати головний біль, запаморочення, втому, порушення когнітивних функцій, а в крайніх випадках – втрату свідомості. При вищих рівнях ризик серйозної фізіологічної шкоди різко зростає [1].

Вологість – ще один критичний фактор. Люди виділяють вологу через дихання та піт. Без належної вентиляції або контролю вологості відносна вологість у приміщенні може перевищувати безпечні межі. Надмірна вологість (вище 70–80%) не тільки створює дискомфорт, але й сприяє росту цвілі, бактерій та вірусів, збільшуючи ризик респіраторних інфекцій. І навпаки, низька вологість (нижче 30%) може спричинити сухість слизових оболонок та подразнення шкіри [2].

Температуру також необхідно ретельно контролювати. Навіть помірне підвищення температури в невентильованому приміщенні може посилити вплив CO_2 та вологості. Підвищення температури лише на кілька градусів вище 30°C може викликати тепловий стрес, особливо для вразливих груп населення, таких як діти, люди похилого віку або люди з захворюваннями. Тому, згідно зі стандартами

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

охорони здоров'я та безпеки, для тривалого перебування у приміщенні рекомендується підтримувати температурний діапазон від +18 до +25°C та відносну вологість 40–70%.

Погана вентиляція може призвести до відчуття задухи, паніки або неспокою, особливо в стресових ситуаціях, таких як надзвичайні ситуації або події воєнного часу. Підтримка свіжого, чистого повітря допомагає зменшити тривожність і підтримує емоційну стабільність, що є критично важливим, коли кілька людей повинні знаходитись в обмеженому просторі протягом тривалого часу.

Потреба в чистому повітрі стає ще гострішою під час техногенних або військових надзвичайних ситуацій, коли зовнішня атмосфера може містити токсичні речовини, пил або патогенні біоаерозолі. У таких випадках повітря, що потрапляє до укриття, має бути ретельно фільтроване для видалення шкідливих речовин, перш ніж воно потрапить до користувачів.

Враховуючи всі ці фактори, якість повітря в укритті цивільної оборони є ключовим елементом безпеки людини. Це підкреслює важливість впровадження автоматизованих систем, які можуть постійно контролювати та регулювати склад повітря, температуру та вологість, забезпечуючи комфортні умови.

1.2 Розумні системи вентиляції

Технологічний прогрес останніх років дозволив створити інтелектуальні системи вентиляції, які автоматично адаптуються до змін умов навколишнього середовища. Ці системи інтегрують датчики, контролери та виконавчі механізми для моніторингу та управління параметрами повітря в приміщенні в режимі реального часу. На відміну від традиційних систем, які можуть вимагати ручного ввімкнення або мати фіксовані режими роботи, розумні вентиляційні рішення можуть динамічно реагувати на такі фактори, як рівень накопичення CO₂, різкі коливання вологості або виявлення небезпечних речовин.

У контексті укриттів цивільної оборони розумні системи пропонують чіткі переваги. По-перше, вони забезпечують автоматичне перемикання режимів між нормальним та аварійним режимами роботи. По-друге, вони забезпечують

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергоефективність, що особливо важливо в укриттях з обмеженим енергопостачанням. По-третє, такі системи можуть продовжити термін служби укриття, підтримуючи оптимальні умови мікроклімату.

Завдяки наявності доступних мікроконтролерів та високоточних датчиків навколишнього середовища, розробка таких систем є технічно можливою навіть за обмежених ресурсів. Це відкриває можливості для їх розгортання в житлових та громадських укриттях по всій Україні та за її межами.

1.3 Основні завдання

Дипломна робота присвячена розробці компактної автоматизованої системи забезпечення якості повітря для укриття цивільного захисту, розрахованого на перебування до 10 осіб. Основною функцією запропонованої системи є забезпечення стабільних та безпечних умов повітряного середовища в режимах стандартної (чистої) та аварійної (фільтрованої) вентиляції відповідно до чинних державних нормативів України [3, 4, 5, 6].

Для досягнення поставленої мети визначено такі основні завдання:

- провести аналіз чинної нормативної бази, зокрема ДБН В.2.2-5:2023, з метою формалізації вимог до вентиляції, фільтрації та параметрів мікроклімату, які стосуються укриттів малої місткості;
- сформулювати технічні та функціональні вимоги до системи автоматизованого керування, включаючи допустимі діапазони температури, вологості, концентрації CO₂ та рівня повітрообміну, а також критерії переходу між режимами вентиляції;
- здійснити обґрунтований вибір складових частин системи, серед яких — сенсори навколишнього середовища, фільтраційні елементи, вентилятори, електронні компоненти керування, виконавчі пристрої, джерела живлення та елементи індикації;
- розробити алгоритм керування системою, який забезпечить обробку даних сенсорів у реальному часі та реалізацію логіки

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прийняття рішень щодо перемикання режимів роботи й керування мікрокліматом;

- виконати інтеграцію апаратної частини з мікроконтролером та розробити відповідне програмне забезпечення для реалізації функціоналу системи;
- спроектувати інтерфейс користувача, що забезпечує зчитування поточних параметрів середовища та стану системи, а також передбачає візуалізацію тривожних сповіщень за допомогою індикаторів і дисплеїв.

Виконання зазначених завдань дозволить створити функціональний прототип системи, що продемонструє можливість застосування недорогих автоматизованих рішень для підвищення безпеки, автономності та комфортності перебування в захисних укриттях як у повсякденних, так і в надзвичайних умовах.

1.4 Висновки по розділу

У цьому розділі ретельно проаналізовано актуальність якості повітря в контексті укриттів цивільної оборони. Було встановлено, що підтримка оптимального рівня кисню, вуглекислого газу, температури та вологості є важливою не лише для фізичного здоров'я, але й для психологічного благополуччя, особливо в обмежених приміщеннях, призначених для тривалого перебування під час надзвичайних ситуацій.

Аналіз показав, що традиційні методи вентиляції недостатні для забезпечення належної якості повітря в приміщеннях за таких умов. Це підкреслює необхідність інтелектуальних, автоматизованих систем, здатних здійснювати моніторинг навколишнього середовища в режимі реального часу та динамічне регулювання процесів вентиляції та фільтрації. Розумні системи вентиляції представляють собою життєздатне та ефективне рішення цієї проблеми, пропонуючи автоматичне керування, мінімальну участь людини та енергоефективність.

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виходячи з цього розуміння, було сформульовано мету цього дипломного проекту: розробити компактну, автоматизовану систему забезпечення якості повітря для укриття невеликої місткості, яка підтримує два режими вентиляції та відповідає національним стандартам безпеки. Для досягнення цієї мети було визначено комплекс завдань, починаючи від аналізу нормативних вимог і закінчуючи проектуванням, впровадженням та тестуванням функціонального прототипу.

Ця робота спрямована на подолання розриву між теоретичними вимогами безпеки та практичними інженерними рішеннями шляхом інтеграції сучасних сенсорних технологій, управління на основі мікроконтролера та надійної фільтрації для підвищення життєздатності та безпеки захисних укриттів.

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ В УКРИТТЯХ

2.1 Типи вентиляційних систем для очищення повітря

Вентиляційні системи, що забезпечують якісну очистку повітря в приміщеннях, поділяються на кілька типів залежно від принципу роботи, ефективності фільтрації та енергоспоживання. Розглянемо основні типи систем, що застосовуються в сучасних будівлях для забезпечення належного мікроклімату та безпечного повітряного середовища.

Природна вентиляція. Функціонує за рахунок природних чинників, таких як тиск вітру та різниця температур внутрішнього й зовнішнього повітря. Цей тип вентиляції не потребує електричного живлення або вентиляторів, що забезпечує її енергоефективність. Однак головним недоліком є неможливість контролювати інтенсивність повітрообміну та відсутність механізмів очищення повітря. Зазвичай така система використовується у приміщеннях з низьким рівнем забруднення або як допоміжне рішення до основної вентиляції.

Механічна вентиляція (примусова). Передбачає використання електричних вентиляторів та повітропроводів для забезпечення контрольованого руху повітря. Залежно від функціонального призначення, розрізняють декілька підтипів:

- *Припливна вентиляція* забезпечує подачу свіжого повітря до приміщення. Для підвищення якості повітря можуть використовуватись системи фільтрації, зокрема HEPA-фільтри, вугільні або електростатичні фільтри, встановлені на повітрозабірниках. Такі системи особливо ефективні в умовах, де необхідно створити надлишковий тиск повітря в приміщенні, наприклад, у «чистих кімнатах», щоб запобігти потраплянню зовнішніх забруднень.
- *Витяжна вентиляція* спрямована на видалення відпрацьованого або забрудненого повітря з приміщень. Хоча вона не забезпечує ефективного очищення повітря, її застосування доцільне в умовах, де

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пріоритетом є швидке виведення шкідливих речовин, як-от на кухнях або у виробничих приміщеннях.

- *Збалансована вентиляція* об'єднує елементи припливної та витяжної вентиляції, дозволяючи підтримувати нейтральний тиск у приміщенні. Обидва потоки — вхідний і вихідний — можуть бути оснащені системами фільтрації, що робить цю систему однією з найефективніших з точки зору контролю якості повітря.
- *Системи з рекуперацією тепла (HRV) або енергії (ERV)* є сучасними рішеннями, які дозволяють знижувати втрати енергії завдяки передачі тепла або вологи від витяжного повітря до свіжого припливного потоку. У поєднанні з фільтраційними системами (наприклад, HEPA або вугільними фільтрами) ці системи забезпечують високий рівень енергоефективності й очищення повітря, що особливо важливо в умовах енергозберігаючого будівництва [7].

Таким чином, вибір типу вентиляційної системи залежить від особливостей приміщення, рівня необхідної фільтрації повітря, енергетичних вимог і функціонального призначення об'єкта. Найбільш універсальними та ефективними вважаються збалансовані системи з можливістю рекуперації, які забезпечують комплексний контроль за якістю повітря та енергоспоживанням.

2.2 Методи очищення повітря

Для забезпечення високої якості повітря у внутрішніх просторах використовуються різноманітні методи очищення, кожен з яких має свої переваги, обмеження та сферу застосування. До основних способів очищення повітря належать механічна фільтрація, електростатичне осадження, адсорбція, ультрафіолетове опромінення, фотокаталітичне окислення, іонізація, озонування та термічна стерилізація.

Механічна фільтрація ґрунтується на фізичному затриманні частинок з використанням фільтрувальних матеріалів, зазвичай виготовлених із синтетичних

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або скляних волокон. Найбільш ефективним типом є НЕРА-фільтри (High Efficiency Particulate Air), які здатні затримувати щонайменше 99,97% частинок розміром 0,3 мкм і більше. НЕРА-фільтри ефективно очищають повітря від пилу, пилку, спор цвілі, бактерій та частини вірусів. Грубіші фільтри типу G4 або F7 часто використовуються як попередні ступені очищення, подовжуючи термін експлуатації високоточних фільтрів. Метод є пасивним, вимагає постійного потоку повітря та не ефективний для усунення газів і запахів [8].

Електростатичне осадження передбачає використання високої напруги для заряджання частинок у повітрі, які потім притягуються до протилежно заряджених металевих пластин. Принцип роботи такого очищення представлено на рис. 2.1. Цей підхід ефективний для видалення дрібнодисперсного пилу, диму та алергенів. Проте ефективність системи суттєво знижується при несвоєчасному очищенні осаджувальних елементів. Також метод не дозволяє видаляти газоподібні домішки та запахи [9].

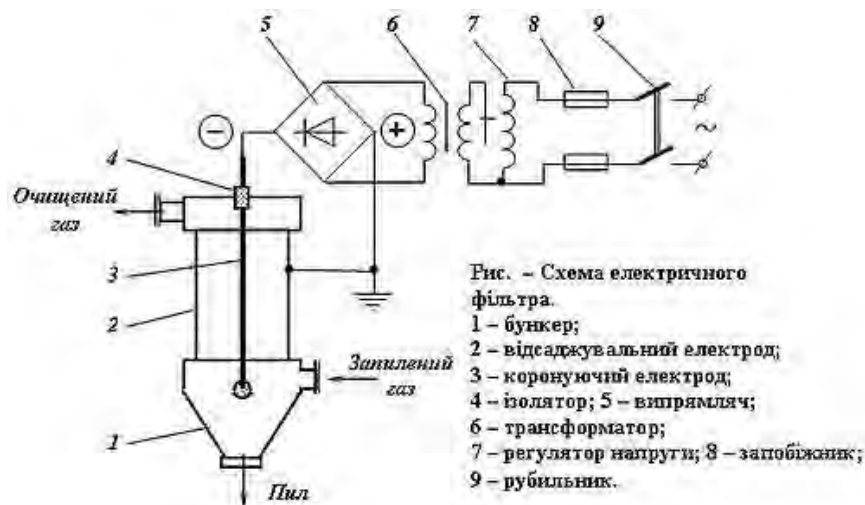


Рисунок 2.1. Принцип роботи фільтра електростатичного осадження

Адсорбція на активованому вугіллі застосовується для видалення газових забруднювачів завдяки великій площі поверхні пористої структури вуглецю. На рис.2.2. представлено схему роботи адсорбційного фільтра. Активоване вугілля ефективно адсорбує леткі органічні сполуки (ЛОС), дим та різноманітні запахи.

Зазвичай цей метод поєднується з механічною фільтрацією для досягнення комплексного очищення. Важливо враховувати необхідність періодичної заміни вугільних фільтрів після їх насичення [10].

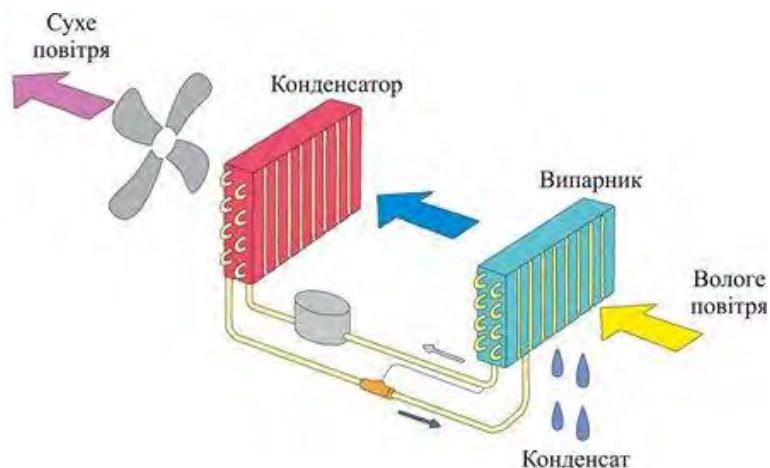


Рисунок 2.2. Принцип роботи адсорбційного повітряного фільтру

Бактерицидне УФ-С опромінення реалізується через випромінювання ультрафіолетового спектру (200–280 нм), яке руйнує генетичний матеріал (ДНК/РНК) мікроорганізмів, тим самим нейтралізуючи бактерії, віруси та спори. Рис.2.3. ілюструє принцип дії такого методу. УФ-лампи розміщують у вентиляційних каналах або в очищувачах повітря як додатковий етап знезараження. Метод не впливає на частинки пилу та газів і потребує захисних заходів через небезпеку для шкіри та очей [11].

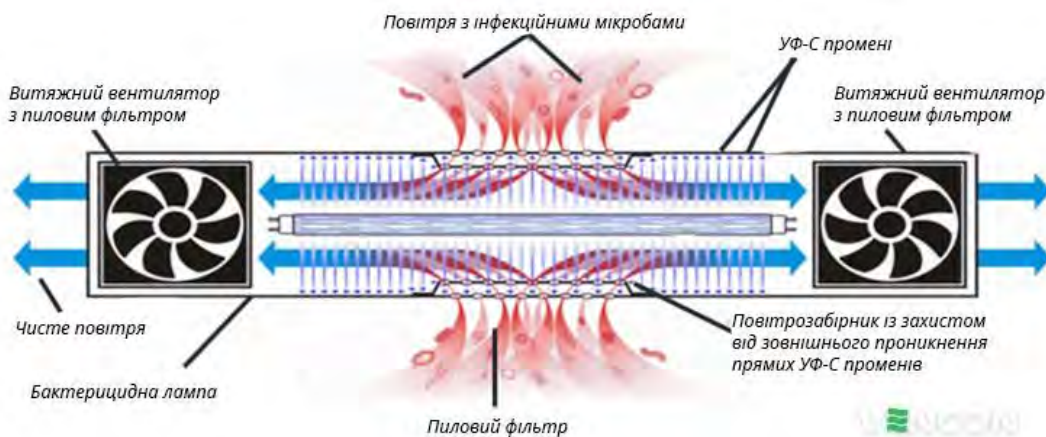


Рисунок 2.3. Принцип роботи бактерицидного повітряного фільтру

Фотокаталітичне окислення (ФКО) — сучасна технологія, яка базується на поєднанні ультрафіолетового випромінювання з каталізатором, найчастіше діоксидом титану (TiO_2). Під впливом УФ-світла каталізатор генерує активні форми кисню, які розкладають забруднювачі на нешкідливі компоненти (вода та CO_2). Метод ефективний проти ЛОС, запахів і мікроорганізмів, хоча може утворювати незначні кількості озону як побічний продукт [12].

Іонізація (генерація негативних іонів) здійснюється за рахунок вивільнення негативно заряджених іонів, які приєднуються до частинок пилу чи диму, викликаючи їх осадження або полегшуючи захоплення фільтрами. Іонізатори зменшують концентрацію аерозолів, однак не усувають запахи та гази, а також можуть продукувати озон у незначних кількостях [13].

Озонування — метод очищення, що передбачає навмисне генерування озону (O_3) для окиснення та нейтралізації шкідливих домішок, включаючи ЛОС, запахи та мікроорганізми. Через токсичність озону для людини ці системи використовуються лише у відсутності людей, наприклад, під час знезараження приміщень після затоплення або появи цвілі [14].

Термічна стерилізація базується на нагріванні повітря до температур понад 200°C , що забезпечує повну дезактивацію біологічних агентів. Після нагрівання повітря охолоджується перед подачею до приміщення. Метод застосовується переважно в медичних і лабораторних умовах, характеризується високою ефективністю, але потребує значного енергоспоживання та не усуває тверді частинки чи гази [15].

Таким чином, вибір методу очищення повітря повинен базуватись на характері забруднення, вимогах до якості повітря та специфіці середовища, де застосовується система. У багатьох випадках доцільним є комбінування кількох методів для досягнення максимальної ефективності.

2.3 Огляд існуючих систем забезпечення якості повітря

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У процесі розробки автоматизованої системи очищення повітря для укриттів цивільного захисту доцільним є проведення огляду та аналізу сучасних технічних рішень, представлених як на українському ринку, так і за кордоном. Розглянуті нижче аналоги демонструють різні підходи до забезпечення вентиляції, фільтрації та рекуперації повітря в умовах обмеженого простору, що може бути використано при формуванні технічних вимог до цільової системи.

Одним із вітчизняних виробників систем локальної вентиляції є компанія PRANA, яка спеціалізується на побутових рекуператорах. Зокрема, модель PRANA-150 призначена для приміщень площею до 60 м² та забезпечує одночасну подачу й видалення повітря без використання повітропроводів. Пристрій характеризується високим коефіцієнтом корисної дії (до 96%) та підтримує автономне керування за допомогою пульта або мобільного застосунку [16]. Завдяки компактним розмірам і простоті встановлення, така система може бути інтегрована в невеликі приміщення, зокрема в укриття цивільного захисту. На рис.2.4 представлено зовнішній вигляд рекуператора PRANA-150.



Рисунок 2.4. Рекуператор Prana 150

Іншим прикладом вітчизняного виробника є компанія VENTS, яка пропонує широкий спектр побутових та напівпромислових вентиляційних рішень. Найбільш

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

популярними є осьові вентилятори серій VENTS 100/125, а також припливно-витяжні установки VUE/VUT з вбудованою системою рекуперації тепла. Враховуючи компактність обладнання та доступність компонентів, системи VENTS можуть бути адаптовані для використання в захисних спорудах із можливістю підключення датчиків рівня CO₂, температури та вологості. До переваг належать низька вартість, широкий вибір моделей та простота монтажу. Рис. 2.5 ілюструє приклад побутового вентилятора VENTS 100 Ф, що може бути основою локальної витяжної системи [17].



Рисунок 2.5. Побутовий витяжний вентилятор VENTS 100 Ф

Серед закордонних аналогів варто відзначити продукцію компанії KOVARSON (Чехія), яка спеціалізується на виробництві компактних рекуператорів типу VERTIC AIR і SMALL AIR, орієнтованих на приміщення з обмеженим об'ємом повітря (20–60 м³/год). Такі пристрої можуть використовуватись у невеликих кімнатах, підвалах або технічних приміщеннях, що відповідає умовам розміщення в укриттях [18].

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливу увагу заслуговує шведський виробник Temovex Nordic, який розробляє спеціалізовані вентиляційні системи серії Shelter Air Systems. Ці рішення призначені для забезпечення автономної фільтрації повітря у приміщеннях, розрахованих на перебування до 12 осіб. Системи комплектуються HEPA-фільтрами та вугільними касетами й можуть працювати як у ручному, так і в автоматизованому режимі. Їх застосування актуальне для облаштування професійних сховищ, бункерів і технічних укриттів [19].

Ще одним прикладом високотехнологічних рішень є продукція швейцарської компанії Swiss NBC Systems, яка постачає модульні фільтровентиляційні установки для інфраструктури цивільного захисту. Серед актуальних рішень — модулі AFU 50 та блоки NBC Air Filter Unit, що забезпечують повноцінне очищення повітря від хімічних, біологічних і радіологічних забруднень. Системи використовуються в захисних спорудах, розрахованих на 6–12 осіб, та мають високу ступінь надійності й герметичності [20].

Загалом проведений аналіз демонструє широкий спектр рішень у сфері вентиляції та фільтрації повітря, кожне з яких має свої особливості та область застосування. Знання переваг і обмежень наявних систем дозволяє врахувати найкращі практики при розробці нової автоматизованої системи для укриттів, орієнтованої на автономність, енергоефективність і відповідність вимогам цивільного захисту.

2.4 Висновок до розділу

Огляд літератури та існуючих рішень для автоматизованих систем контролю якості повітря в приміщеннях показує явну потребу в економічно ефективних, компактних та інтелектуальних системах вентиляції, адаптованих для використання в укриттях цивільної оборони. Сучасні системи варіюються від базових механічних блоків до передових, автоматизованих систем захисту від ядерної та хімічної зброї, що використовуються у військовій та критичній інфраструктурі. Однак більшість цих рішень є або занадто простими — без

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

автоматизації та інтеграції датчиків — або занадто дорогими та складними для невеликих укриттів, призначених для цивільного використання.

Зокрема, українські стандартні системи, такі як ФПУ-100/200, забезпечують міцну основу з точки зору надійності та відповідності вимогам, але не мають достатньої автоматизації, контролю користувача та моніторингу середовища в режимі реального часу. І навпаки, очищувачі повітря споживчого класу автоматизовані, але призначені для великих приміщень, мають складні системи фільтрації у дуже дорогі в конструюванні і обслуговуванні, що робить їх не придатними для невеликих укриттів.

Цей аналіз підкреслює потенціал та необхідність розробки інтелектуальної системи контролю та фільтрації якості повітря на основі датчиків, яка поєднує надійність традиційних систем з адаптивністю та інтелектом сучасних мікроконтролерних технологій.

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Особливості створення системи автоматизованого забезпечення якості повітря в укритті

Проектування автоматизованої системи забезпечення якості повітря в укритті потребує комплексного підходу до визначення функціональних вимог, вибору апаратних компонентів та розробки програмного забезпечення. Основною метою створення такої системи є забезпечення належного мікроклімату та безпеки для осіб, що перебувають у приміщенні в умовах як нормального функціонування, так і в разі надзвичайних ситуацій. Укриття повинно забезпечувати надійний захист від шкідливих чинників, зокрема хімічного, біологічного або радіаційного забруднення повітря, а також підтримувати параметри повітряного середовища у межах нормативів, визначених державними будівельними нормами ДБН В.2.2-5:2023.

Перед системою ставляться такі основні завдання: моніторинг параметрів повітря в реальному часі, включаючи температуру, відносну вологість, концентрацію вуглекислого газу та наявність шкідливих газів, з подальшим автоматичним перемиканням між двома режимами роботи — режимом чистої вентиляції (подача свіжого повітря без фільтрації) та режимом фільтраційної вентиляції (активація очищення повітря у разі перевищення допустимих рівнів забруднення). Система також повинна забезпечувати стабільне утримання мікрокліматичних параметрів у межах допустимих значень, здійснювати управління підігрівом та зволоженням повітря, а також інформувати користувача про поточний стан за допомогою дисплея та LED-індикації. Важливою функцією є своєчасна індикація тривожних станів — перевищення порогових показників.

До функціональних вимог системи належать автономність роботи без постійного втручання оператора, здатність швидко реагувати на зміну параметрів середовища, надійне перемикання режимів вентиляції, безпечне керування нагрівальними та зволожуючими пристроями, робота від основного джерела живлення з можливістю резервного підключення, а також відкритість до подальшої

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

модернізації — зокрема, можливість додавання нових сенсорів або інтеграції до ширших систем керування типу "розумний будинок".

Урахування зазначених особливостей на етапі проєктування дозволяє забезпечити надійну та енергоефективну роботу системи, здатної адаптуватись до різних умов експлуатації та виконувати функції критично важливого модуля захисту в інфраструктурі цивільної оборони.

3.2 Створення структурної схеми системи

Структурна схема автоматизованої системи забезпечення якості повітря в укритті відображає загальну функціональну побудову пристрою, який забезпечує контроль параметрів повітряного середовища, аналіз отриманих даних, прийняття логічних рішень та керування виконавчими елементами на основі результатів. В основі системи лежить мікроконтролер, до якого підключені датчики, модулі керування, індикація та блок живлення.

Сенсорна частина системи включає датчик температури та вологості, датчик вуглекислого газу та газовий датчик. Ці пристрої здійснюють безперервний моніторинг якості повітря.

Отримана інформація обробляється мікроконтролером. У разі перевищення встановлених порогових значень система змінює режим роботи.

Крім контролю складу повітря, система також реагує на зміну температури й вологості. За необхідності мікроконтролер активує нагрівач або зволожувач повітря через модуль реле. Для відображення поточних значень та режиму роботи використовується LCD-дисплей з інтерфейсом. Також передбачено LED-індикатори для візуального повідомлення про поточний стан системи.

Живлення пристрою забезпечується через мережу 220 В. Мікроконтролер та інші низьковольтні елементи отримують живлення через понижувач струму.

Розроблена структурна схема слугує основою для побудови принципової електричної схеми системи, яка, у свою чергу, є необхідним етапом для її фізичної реалізації та монтажу. Структурна схема автоматизованої системи забезпечення якості повітря в укритті наведена на Рис. 3.1.

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Надається за запитом

Рисунок 3.1. Структурна схема

3.3 Визначення елементної бази для функціонування модулів системи

Плата керування системи. У процесі проєктування автоматизованої системи вентиляції та очищення повітря для невеликого укриття важливим етапом є вибір плати керування, яка забезпечує обробку даних від датчиків, реалізацію алгоритмів автоматичного керування та управління виконавчими елементами. Від якості обраної апаратної платформи залежить надійність, стабільність та функціональна повнота роботи всієї системи.

Плата керування виконує кілька ключових завдань: зчитування даних від сенсорів навколишнього середовища, аналіз отриманих значень порівняно з наперед заданими порогоми, передавання керуючих сигналів до виконавчих пристроїв (вентиляторів, реле, нагрівачів, серводвигунів), а також виведення даних на інтерфейс користувача. До основних вимог до такої плати належать сумісність із широким спектром датчиків (температури, вологості, концентрації CO₂ та шкідливих газів), можливість управління декількома виконавчими модулями, підтримка інтерфейсу виводу інформації в реальному часі та стабільна робота в умовах закритого простору протягом тривалого періоду.

Для проєктування системи було обрано Arduino Uno. Основними аргументами вибору стали простота використання, широке розповсюдження серед розробників, велика кількість доступних бібліотек для підключення сенсорів, підтримка дисплеїв з інтерфейсом I²C, а також повна сумісність з широким спектром виконавчих модулів (реле, сервоприводи, індикатори тощо). Окрім того, Arduino Uno відзначається надійністю, низьким енергоспоживанням та стабільною роботою при тривалому використанні [21].

На рис. 3.2. зображено плату керування Arduino Uno, яка використовується в системі. Основні технічні характеристики цієї плати наведено у таблиці 3.1.

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.2. Плата керування Arduino Uno

Таблиця 3.1. Технічні характеристики Arduino Uno

Мікроконтролер	ATmega328P
Напруга живлення від USB	5 В
Тактова частота	16 МГц
Цифрові входи і виходи	20
Виходи ШІМ	6
Аналогові входи	6
Пам'ять зберігання програм (Flash)	32 Кб
Оперативна пам'ять (RAM)	2 Кб
Розмір плати	68,6x54,3 мм
Вага плати	25 г

Перетворюючі елементи

У системі автоматизованого забезпечення якості повітря в укритті особливе значення мають сенсорні (перетворюючі) елементи, які виконують функції

моніторингу параметрів повітряного середовища. Від точності та надійності цих компонентів залежить ефективність прийняття рішень щодо перемикання режимів вентиляції, активації фільтраційних модулів і загального реагування системи на зміну умов довкілля.

Система контролює такі ключові параметри: температуру повітря, відносну вологість, концентрацію вуглекислого газу (CO₂), а також наявність токсичних або шкідливих газів (аміак, чадний газ, сірководень, леткі органічні сполуки тощо). Нижче наведено обґрунтування вибору конкретних сенсорів, використаних у даному проєкті.

Датчик температури та вологості DHT22. Для контролю температури та відносної вологості було проаналізовано кілька типів сенсорів: DHT11, DHT22 та BME280 [22, 23, 24].

Таблиця 3.2. Порівняння датчиків температури і вологості

Параметр	DHT11	DHT22	BME280
Температурний діапазон	0...50 °C	-40...80 °C	-40...80 °C
Точність вимірювання температури	±2 °C	±0.5 °C	±1.0 °C
Діапазон вологості	20–80 %	0–100 %	0–100 %
Точність вимірювання вологості	±5 %	±2–3 %	±3 %

За результатами порівняння оптимальним вибором виявився сенсор DHT22 (AM2302), який поєднує достатню точність, широкий діапазон вимірювання та повну сумісність з платформою Arduino Uno. Сенсор має простий цифровий інтерфейс, не потребує складного підключення та широко підтримується в середовищі розробки Arduino.

На рис. 3.3. представлено зовнішній вигляд сенсора DHT22, а в табл. 3.3 — його основні технічні характеристики.



Рисунок 3.3. Датчик температури та вологості DHT22

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики DHT22

Сенсор	DHT22
Напруга живлення	3,3 ... 5 В
Споживаний струм	0,05 - 2,5 мА
Діапазон вимірювання вологості	0...100%
Похибка вимірювання вологості	±2%
Діапазон вимірювання температури	-40 °С ... +125 °С
Похибка вимірювання температури	±0,5 °С
Габарити	15,1 мм x 25,1 мм x 7,7 мм
Вага	2,2 г

Датчик вуглекислого газу MH-Z19C. Контроль рівня CO₂ є важливим з точки зору оцінки повітрообміну в закритому приміщенні. При підвищенні концентрації CO₂ система має автоматично активувати вентиляцію або перейти в режим фільтрації. Найбільш доцільним виявився вибір MH-Z19C, що базується на NDIR-технології, забезпечує добру точність і підтримує UART та PWM інтерфейси. Датчик легко інтегрується з Arduino Uno, не потребує складної калібровки та має широку бібліотечну підтримку [25].

На рисунку 3.4 зображено датчик MH-Z19C, а його основні характеристики подано у табл. 3.4.



Рис.3.4. Датчик концентрації CO₂ MH-Z19C

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики MH-Z19C

Сенсор	MH-Z19C
Робоча напруга	5В
Середній споживаний струм	18 мА
Діапазон вимірювання CO ₂	0 – 5000 ppm
Час виміру	T < 60 с
Робоча температура	0 °C ... +50 °C
Розміри	33 мм × 20 мм × 9 мм
Вага	21 г

Датчик шкідливих газів MQ-135. Для виявлення небезпечних забруднювачів, таких як аміак, чадний газ, бензол, дим або інші леткі органічні сполуки, було обрано MQ-135 — універсальний газовий сенсор, що підтримує широкий спектр детекції та характеризується простою інтеграцією з Arduino Uno. Аналоговий вихід дозволяє задавати гнучкі порогові значення в коді, а наявність великої кількості прикладів використання й бібліотек спрощує програмну реалізацію [26].

Рис. 3.5 демонструє зовнішній вигляд сенсора MQ-135, а табл. 3.5 — його ключові параметри.



Рисунок 3.5. Датчик шкідливих газів MQ-135

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики MQ-135

Сенсор	MQ-135
Напруга живлення	5 В
Споживання струму	до 150 мА
Робоча температура	–10...50°C

Тип виходу	Аналоговий
Вологість	20–90% RH
Розміри	32 × 22 × 27 мм
Вага	9.2 г

Таким чином, вибір сенсорів DHT22, MH-Z19C та MQ-135 обумовлений їх відповідністю функціональним вимогам системи, простотою інтеграції, точністю, енергоефективністю та наявністю повноцінної технічної підтримки. Використання цих перетворюючих елементів забезпечує надійний контроль параметрів повітря в укритті та своєчасне реагування системи на зміну умов середовища.

Вибір виконавчих елементів

У системі автоматизованого забезпечення якості повітря виконавчі елементи забезпечують реалізацію функцій керування відповідно до сигналів, сформованих контролером на основі аналізу даних з сенсорів. Основним призначенням цих елементів є фізичне виконання керуючих дій, що спрямовані на підтримання параметрів повітряного середовища в межах нормативних значень.

Виконавчі елементи відповідають за активацію вентилятора для примусового повітрообміну, вмикання нагрівального та зволожувального модулів для регулювання мікроклімату, перемикання режимів вентиляції за допомогою сервоприводу повітряної заслінки, а також індикацію стану системи через світлові або звукові сигнали.

Вентилятор. Однією з ключових складових системи є вентилятор, що забезпечує примусову вентиляцію приміщення укриття. Він виконує подвійну функцію — створює повітрообмін з зовнішнім середовищем у режимі чистої вентиляції та подає повітря через фільтраційний модуль у разі активації режиму фільтровентиляції.

Вибір вентилятора базувався на розрахунку нормативного повітрообміну відповідно до вимог ДБН В.2.2-5:2023, згідно з якими мінімальна площа приміщення укриття має становити не менше 0,5 м² на одну людину, а мінімальний

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

об'єм — 1,5 м³ на особу. Для 10 осіб мінімальні параметри приміщення становлять 10 м² площі та близько 25 м³ об'єму, що відповідає нормативам.

Для режиму чистої вентиляції норма повітрообміну становить не менше 10 м³/год на одну людину. Таким чином, загальна потреба у повітрі в цьому режимі визначається за формулою:

$$L_{\text{чв}} = l_{\text{чв}} \times n = 10 \times 10 = 100 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \quad (3.1)$$

де:

$L_{\text{чв}}$ — загальна витрата повітря в режимі чистої вентиляції,

$l_{\text{чв}}$ — нормативна витрата повітря на одну людину,

n — кількість людей у приміщенні.

У режимі фільтровентиляції допустимий повітрообмін знижується до 2,5–5 м³/год на одну людину. Для розрахунку приймаємо верхнє значення:

$$L_{\text{фв}} = l_{\text{фв}} \times n = 5 \times 10 = 50 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \quad (3.2)$$

де:

$L_{\text{фв}}$ — витрата повітря у режимі фільтрації.

З урахуванням втрат тиску на фільтрі, старіння компонентів та для забезпечення технологічного запасу, мінімальна рекомендована продуктивність вентилятора повинна перевищувати 120–130 м³/год.

Для реалізації функцій вентиляції у системі було обрано осевий вентилятор Vents VKO1 125, який забезпечує продуктивність близько 185 м³/год, що повністю покриває потреби системи в обох режимах[27]. До його основних переваг належать робота від мережі 220 В, низький рівень шуму (до 39 дБ), енергоефективність та можливість простого керування через реле в складі цифрової системи керування на базі Arduino.

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рис. 3.6. наведено зовнішній вигляд вентилятора Vents VKO1 125, а його основні технічні характеристики подано у таблиці 3.6.



Рисунок 3.6. Вентилятор Vents VKO1 125

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики
вентилятора Vents VKO1 125

Вентилятор	Vents VKO1 125
Тип	Осевий каналний
Напруга живлення	220 В АС
Споживана потужність	16–20 Вт
Продуктивність	185 м³/год
Рівень шуму	39 дБ

Таким чином, вибраний виконавчий елемент забезпечує надійну і безперебійну роботу вентиляції в укрітті, відповідає нормативним вимогам до

повітрообміну та сумісний із іншими компонентами системи автоматизованого керування.

Нагрівач повітря. У закритому просторі укриття температура повітря може знижуватися до некомфортного або навіть небезпечного рівня, особливо в осінньо-зимовий період. Забезпечення стабільного теплового режиму є важливим чинником для підтримання життєдіяльності людей в умовах обмеженого простору. Тому автоматизована система контролю якості повітря повинна передбачати функцію підігріву повітря при зниженні температури нижче нормативного рівня. Активація нагрівального елемента здійснюється за сигналом від сенсора температури, а його вимкнення — після досягнення встановленого температурного порогу в межах 18–20 °С.

Для визначення необхідної теплової потужності використовується загальноприйнята інженерна формула розрахунку необхідної теплової потужності:

$$Q = V \times \Delta T \times k \quad (3.3)$$

де:

Q — необхідна теплова потужність, Вт;

V — об'єм приміщення, м³;

ΔT — різниця між бажаною та зовнішньою температурою, °С;

k — коефіцієнт тепловтрат (для підземних споруд зазвичай у межах 0,6–1,2).

Підставляючи значення для укриття об'ємом 25 м³, з урахуванням середньої зовнішньої температури в Україні $t_1 = 10,7$ °С та необхідної температури в укритті $t_2 = 20$ °С, отримуємо:

$$\Delta T = t_2 - t_1 = 20 - 10,7 = 9,3^\circ\text{C}$$

$$Q = 25 \cdot 9,3 \cdot 0,8 = 186 \text{ Вт}$$

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З урахуванням запасу потужності на компенсацію додаткових тепловтрат (близько 50%) доцільно використовувати нагрівальний елемент потужністю 400–500 Вт. Такий запас дозволяє забезпечити стабільну роботу навіть при коливаннях температури чи втраті герметичності укриття.

Для реалізації функції підігріву було обрано РТС-нагрівач змінного струму з потужністю 500 Вт, який відповідає зазначеним вимогам [28]. Даний тип нагрівача працює на принципі позитивного температурного коефіцієнта, що забезпечує його саморегулювання — при досягненні температурного максимуму споживання струму автоматично знижується. Це дозволяє уникнути перегріву без використання додаткових термостатів.

Серед переваг обраного нагрівача можна виділити:

- безпечну саморегулюючу конструкцію;
- безшумну та надійну роботу;
- наявність вбудованого вентилятора для рівномірного розподілу теплого повітря;
- просту інтеграцію з Arduino Uno через релейний модуль або твердотільне реле;
- готовність до монтажу без необхідності додаткових модулів охолодження чи радіаторів.

На рис. 3.7 зображено зовнішній вигляд обраного РТС-нагрівача, а його технічні характеристики наведено у таблиці 3.7.

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.7. Нагрівач повітря РТС

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики
нагрівача РТС

Нагрівач	РТС
Живлення	220 В АС
Потужність нагріву	500 Вт
Температура повітря на виході	~80–120 °С
Розміри	~140 × 70 × 50 мм

Використання цього нагрівального елемента дозволяє підтримувати комфортну температуру повітря в укритті при мінімальному енергоспоживанні та високій надійності.

Зволожувач повітря. Одним із важливих параметрів мікроклімату у приміщенні укриття є відносна вологість повітря. Зниження цього показника нижче нормативного рівня (менше 40%) може призводити до пересихання слизових оболонок, підвищеного утворення пилу, дискомфорту під час тривалого перебування та загального погіршення самопочуття людей. З метою уникнення цих

негативних факторів автоматизована система контролю якості повітря повинна мати функцію стабілізації вологості шляхом автоматичного вмикання зволожувального пристрою у разі виявлення зниження відносної вологості нижче встановленого порогу.

Для реалізації цієї функції у складі системи було використано зволожувач повітря Philips HU2510/10. Даний тип зволоження не створює надмірної вологості або конденсату, не використовує ультразвукове розпилення, а також характеризується енергоефективністю, низьким рівнем шуму та відсутністю необхідності у частому обслуговуванні. Завдяки пасивному принципу роботи, зволожувач забезпечує рівномірне підтримання вологості в межах заданих параметрів [29]. Його рекомендована площа обслуговування становить до 30 м², що значно перевищує площу досліджуваного укриття (10 м²), а отже, пристрій має достатній ресурс для забезпечення оптимального мікроклімату в усьому об'ємі приміщення.

Зволожувач працює від мережі 220 В, має споживану потужність лише 25 Вт та може бути інтегрований у систему керування за допомогою релейного модуля або твердотільного реле. Наявність резервуара на 2–2,5 л забезпечує безперебійну роботу протягом декількох годин без дозаправки.

На рис. 3.8. зображено зовнішній вигляд зволожувача повітря Philips HU2510/10, а його основні технічні характеристики наведено у таблиці 3.8.

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.8. Зволожувач повітря Philips HU2510/10

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики
зволожувача Philips HU2510/10

Зволожувач	Philips HU2510/10
Живлення	220 В АС
Потужність	25 Вт
Продуктивність зволоження	~250–300 мл/год
Об'єм резервуара	2–2.5 л
Габарити	32.4 x 18.4 x 18.4 см
Вага	1.5 кг

Вибір даного зволожувача обумовлений його відповідністю функціональним та енергетичним вимогам системи, простотою інтеграції з платформою Arduino, а також високою ефективністю в умовах обмеженого простору. Застосування Philips

HU2510/10 у складі системи дозволяє підтримувати стабільний рівень вологості та забезпечити комфортне середовище для перебування людей у захисному укритті.

Серводвигун. У складі автоматизованої системи забезпечення якості повітря передбачено реалізацію двох основних режимів роботи: режиму чистої вентиляції та режиму фільтровентиляції. Перемикання між цими режимами здійснюється за допомогою механічної заслінки, яка повинна змінювати своє положення автоматично. Для виконання цього завдання доцільним є використання серводвигуна, здатного забезпечити обертання заслінки на необхідний кут (не менше 120°) з достатнім крутним моментом для стабільної й надійної роботи.

Під час вибору виконавчого механізму було розглянуто декілька варіантів серводвигунів з напругою живлення 5 В, зокрема:

SG90, який має привабливу вартість, проте характеризується низьким крутним моментом (близько $1,8 \text{ кг}\cdot\text{см}$), що недостатньо для впевненого перемикання повітряної заслінки;

MG90S, що відрізняється кращими показниками довговічності завдяки металевим шестерням, однак також має обмежений крутний момент (близько $2,2 \text{ кг}\cdot\text{см}$), який не гарантує стабільного функціонування в умовах механічного навантаження.

З урахуванням технічних вимог системи було обрано серводвигун **MG996R**, який забезпечує високий крутний момент (до $9,4 \text{ кг}\cdot\text{см}$ при живленні 6 В), що дозволяє з надійним запасом керувати положенням заслінки. Пристрій оснащено металевими шестернями, що значно підвищує його зносостійкість та робочий ресурс. MG996R підтримує кут повороту до 180° та повністю сумісний із мікроконтролером Arduino Uno як за електричними параметрами, так і за програмною інтеграцією [30].

На рис. 3.9 подано зображення серводвигуна MG996R, а його технічні характеристики наведено у таблиці 3.9.

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.9. Серводвигун MG996R

Таблиця 3.9 – Технічні характеристики
серводвигуна MG996R

Серводвигун	MG996R
Живлення	4.8–7.2 В
Крутний момент	~9.4 кг·см при 6 В
Кут повороту	180°
Робоча температура	0-55 °С
Розмір:	4 x 1.9 x 4.3 см
Вага	57 г

Реле. У складі автоматизованої системи забезпечення якості повітря в укрітті функцію центрального контролера виконує мікроконтролер Arduino Uno, що оперує низьковольтними цифровими сигналами (5 В). Водночас деякі виконавчі елементи системи, зокрема вентилятор, нагрівач та зволожувач повітря, працюють від мережі змінного струму напругою 220 В. З огляду на це, для забезпечення безпечного та надійного керування такими навантаженнями необхідним є застосування проміжних комутаційних пристроїв — релейних модулів.

Реле у системі виконують функцію комутаційного інтерфейсу між логічною частиною (керування з боку Arduino) та силовою частиною (виконавчі елементи). Їх завданням є вмикання та вимикання навантажень на основі сигналів, сформованих за результатами обробки даних з температурних і вологісних сенсорів. Для кожного з пристроїв передбачено окремий канал реле, що дозволяє реалізувати незалежне та автоматизоване керування.

Було обрано 4-канальний модуль механічного реле з оптоізоляцією, побудований на базі реле SRD-05VDC-SL-C. Такий вибір зумовлений низкою технічних переваг, серед яких:

- сумісність з логічними рівнями Arduino Uno (5 В);
- наявність гальванічного розділення між логічною та силовою частинами, що підвищує безпеку експлуатації;
- можливість комутації струму до 10 А при напрузі 220 В змінного струму або 30 В постійного струму;
- простота інтеграції у схему керування та підтримка до чотирьох незалежних каналів.

Релейний модуль дозволяє керувати всіма основними силовими елементами системи безпосередньо з плати Arduino, без потреби у додаткових підсилювальних або перетворювальних ланках [31].

На рис. 3.10 наведено зовнішній вигляд релейного модуля на базі реле SRD-05VDC-SL-C, а його основні технічні характеристики наведено в таблиці 3.10.

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.10. 4-канальний модуль реле на базі SRD-05VDC-SL-C

Таблиця 3.10 – Технічні характеристики реле SRD-05VDC-SL-C

Реле	SRD-05VDC-SL-C
Напруга живлення	5 В
Кількість каналів	4
Струм комутації	10A 220V AC , 10A 30V DC
Максимальний струм (на 1 реле)	190mA

Вибір індикаторів стану системи

Індикаційні елементи відіграють важливу роль в автоматизованій системі забезпечення якості повітря, оскільки дозволяють оперативно інформувати користувача про режими роботи, активність вентиляції, стан повітря та потенційно небезпечні умови, пов'язані з перевищенням гранично допустимих концентрацій CO₂ чи токсичних газів. У запропонованій системі передбачено використання як текстового дисплея, так і візуальних світлодіодних індикаторів.

Дисплей. Для виведення поточних параметрів було обрано рідкокристалічний дисплей LCD 2004 (рис. 3.11), який відображає дані у текстовому форматі на

чотирьох рядках по 20 символів. Використання інтерфейсу I²C (рис. 3.12) значно спрощує підключення дисплея до Arduino Uno, зменшуючи кількість необхідних цифрових входів/виходів. Дисплей дозволяє в реальному часі відображати температуру, вологість, рівень CO₂, поточний режим вентиляції та службові повідомлення [32].



Рисунок 3.11. Дисплей LCD 2004



Рисунок 3.12. Модуль інтерфейсу I²C для LCD

Таблиця 3.11 – Основні технічні характеристики дисплею LCD 2004

Дисплей	LCD 2004
---------	----------

Інтерфейс	I2C
Робоча напруга	5 В
Розмір дисплею	20 символів на 4 рядки
Споживання струму	~20 мА
Розмір	98 x 60 x 20 мм

Окрім дисплея, для спрощеного моніторингу стану системи застосовуються світлодіодні індикатори (рис. 3.13). Вони підключаються до цифрових виходів Arduino Uno через обмежувальні резистори й мають такі функції:

- **зелений світлодіод** – сигналізує про активний стан системи;
- **жовтий світлодіод** – індикує режим чистої вентиляції (РЧВ);
- **червоний світлодіод** – активується при переході в режим фільтровентиляції (РФВ) через виявлення забруднення повітря.

Таке рішення вирізняється низьким енергоспоживанням, простотою реалізації, високою надійністю й довгим терміном служби.



Рисунок 3.13. Світлодіодні індикатори системи

Вибір фільтраційних елементів

Система очищення повітря укриття повинна забезпечувати ефективну фільтрацію у разі переходу з режиму чистої вентиляції (РЧВ) у режим фільтровентиляції (РФВ), що передбачено нормативним документом ДБН В.2.2-

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

5:2023. У випадках техногенних аварій або надзвичайних ситуацій необхідним є видалення з повітря не лише пилу, але й шкідливих газів, парів та інших забруднювальних речовин.

Вимоги до фільтраційного блоку в режимі РФВ:

- затримування летких органічних сполук, чадного газу, аміаку, сірководню;
- фільтрація твердих часток (пилу, алергенів, диму);
- сумісність із потужністю вентилятора (120–130 м³/год);
- низький аеродинамічний опір;
- компактність і зручність в обслуговуванні.

Для реалізації зазначених функцій було обрано комбінований фільтр типу НЕРА + активоване вугілля, що забезпечує багаторівневу фільтрацію. Зокрема, використано кишеньковий фільтр Вентс ФБК 100 (рис. 3.14), який відповідає параметрам повітропропускної здатності системи та має високий ступінь очищення [33].



Рисунок 3.14. Кишеньковий фільтр Вентс ФБК 100

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Переваги обраного фільтра:

- компактна конструкція, що полегшує монтаж у вентиляційний канал;
- ефективне комбіноване очищення (HEPA + вуглецевий шар);
- відповідність українським вимогам з цивільного захисту;
- доступність на ринку та легкість заміни.

Застосування такого фільтра дозволяє надійно захистити укриття від забруднень повітря зовнішнього середовища та забезпечити безпеку перебування людей у режимі фільтрації.

Електричне живлення системи

Автоматизована система забезпечення якості повітря в укритті передбачає одночасне функціонування як силових виконавчих пристроїв (нагрівач, вентилятор, зволожувач), так і низьковольтної логічної частини (мікроконтролер Arduino Uno, датчики, дисплей, модулі реле, серводвигун). Для цього система потребує побудови двоконтурної схеми живлення, яка забезпечує змінну напругу 220 В для силових елементів і стабілізовану постійну напругу 5 В для керуючих та обчислювальних модулів.

Як джерело живлення обрано комбінацію двох електронних модулів. Перший — це HLK-PM01 (рис. 3.15), імпульсний модуль AC-DC перетворення, який знижує напругу з 220 В змінного струму до 5 В постійного. Його перевагами є малі габарити, вбудована гальванічна розв'язка, високий рівень безпеки та відсутність потреби у зовнішньому трансформаторі. Модуль здатен видавати струм до 600 мА, чого достатньо для базового живлення низьковольтної частини системи [34].

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.15. Модуль перетворення змінної напруги HLK-PM01

Другим елементом живлення виступає стабілізатор напруги XL4005 — регульований понижуючий DC-DC перетворювач. Він дозволяє точно встановити значення вихідної напруги та забезпечити її стабільність навіть при змінному навантаженні з боку мікроконтролера, дисплея або серводвигуна. Підключення реалізується таким чином, що вихід HLK-PM01 подається на вхід XL4005 (рис. 3.16), а стабілізована напруга вже надходить до всієї низьковольтної частини [35].

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.16. Понижуючий перетворювач XL4005

Загальна схема живлення передбачає подачу змінної напруги 220 В на силову частину системи безпосередньо, з паралельним підключенням HLK-PM01. Отримані 5 В після стабілізації XL4005 використовуються для живлення Arduino Uno, реле, сенсорних модулів, дисплея та сервоприводу, що забезпечує незалежність логічної частини від коливань у силовій мережі та безпечну експлуатацію всієї системи в цілому.

3.4 Розробка принципової електричної схеми

Принципова електрична схема виконує роль основного технічного документа, що дозволяє реалізувати апаратну частину автоматизованої системи контролю якості повітря. Вона є деталізованим представленням усіх електричних з'єднань між компонентами, а також відображає логіку їх взаємодії, типи сигналів, точки підключення живлення, використані інтерфейси та типи керування.

На відміну від схематичного представлення функціональних блоків, принципова схема визначає конкретні електричні елементи, їх позначення згідно зі

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стандартами, електричні параметри з'єднань і вузлів, що робить її незамінною при виготовленні пристрою або під час його налагодження.

У процесі створення принципової схеми було враховано склад обраних виконавчих і сенсорних елементів, типи живлення, вимоги до керування навантаженнями змінного струму, гальванічне розділення між силовою та логічною частинами, а також простота обслуговування системи. Елементи схеми згруповано за функціональним призначенням: живлення, керування, вимірювання та індикація.

Принципова електрична схема показана на Рис.3.17. та є основою для створення друкованої плати й подальшого виготовлення функціонального прототипу.

Надається за запитом

Рисунок 3.17. Принципова електрична схема

3.5 Алгоритм роботи системи

Алгоритм роботи системи визначає впорядковану послідовність операцій, що виконує мікроконтролер автоматизованої системи забезпечення якості повітря від моменту ввімкнення живлення до завершення основних функцій. Він забезпечує логічну обробку вхідних даних з датчиків, аналіз поточних умов середовища, прийняття рішень згідно з закладеними пороговими значеннями та керування відповідними виконавчими елементами.

Реалізований алгоритм охоплює такі основні етапи: ініціалізація обладнання, періодичне зчитування показників температури, вологості, рівня CO₂, визначення поточного режиму роботи (чиста вентиляція або фільтровентиляція), прийняття рішень щодо увімкнення вентилятора, нагрівача, зволожувача, а також перемикання механічної заслінки. Крім того, алгоритм включає виведення актуальної інформації на індикатори й дисплей, а також обробку можливих аварійних ситуацій.

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Формалізоване графічне представлення цього алгоритму, виконане у вигляді блок-схеми, наведено на Рис. 3.18. Воно слугує основою для розробки програмного забезпечення системи та дозволяє наочно відобразити логіку її функціонування.

Надається за запитом

Рисунок 3.17. Блок- схема алгоритму роботи програми

3.6 Віртуальна симуляція функціонування системи

У даному розділі було розроблено та реалізовано програмне забезпечення для мікроконтролерної системи забезпечення якості повітря в укритті. Основною метою програмної частини є забезпечення автоматизованого контролю параметрів повітряного середовища та керування виконавчими елементами на основі вимірних значень. Вигляд симульованої системи в середовищі Wokwi представлена на Рис. 3.17.

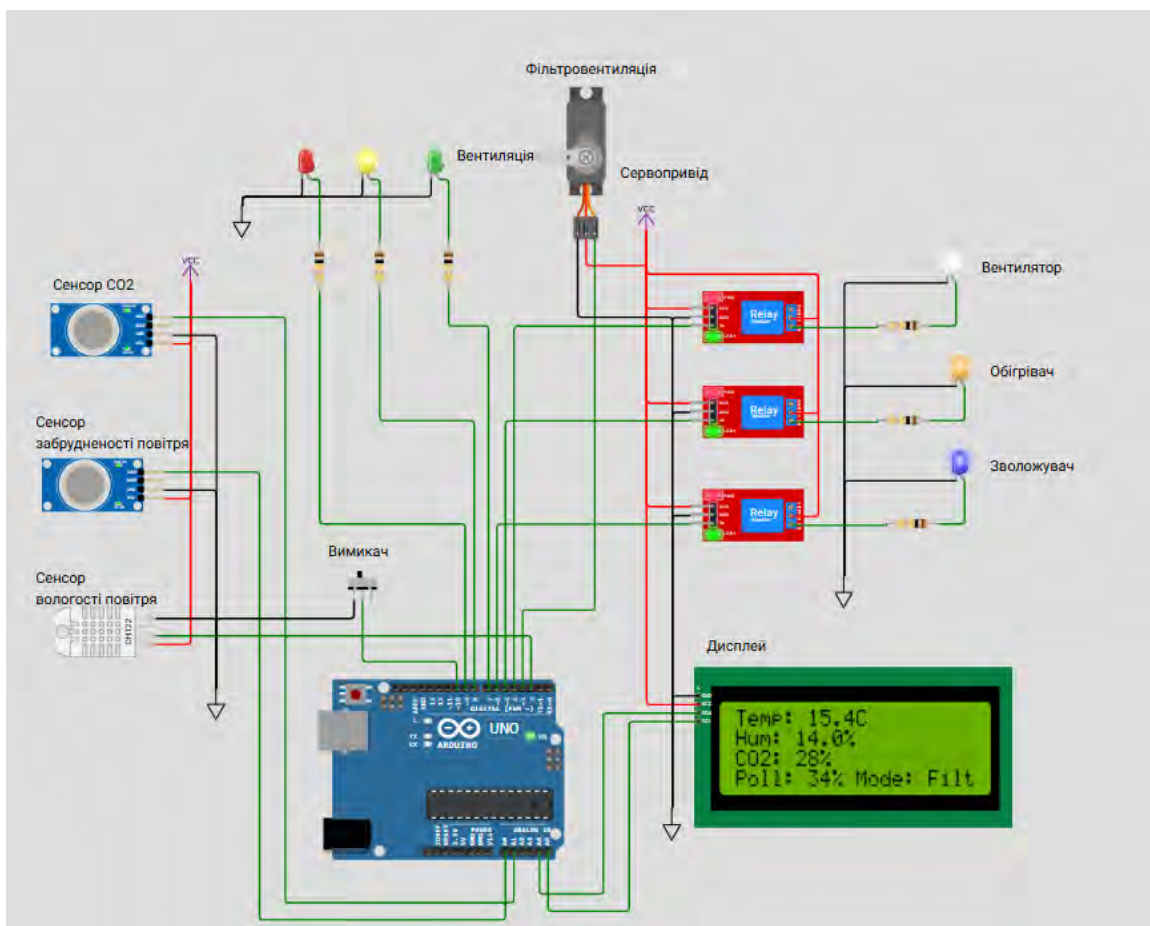


Рис.3.17. Симуляція роботи системи

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Під час роботи над цим етапом були реалізовані функціональні можливості усіх підключених компонентів (датчики, реле, дисплей, індикатори, сервопривід).

Зчитування даних відбувається з цифрового датчика температури та вологості DHT22, зчитування аналогових сигналів з датчика забруднення повітря MQ-135 та сенсора CO₂ які емульовані потенціометром.

Програма обробляє отримані дані і їх аналізує відповідно до встановлених порогових значень і реалізує логіку перемикання між режимами вентиляції (РЧВ і РФВ) за допомогою сервоприводу.

У разі порушення мікрокліматичних умов реалізується автоматичне вмикання нагрівача або зволожувача.

LCD-дисплей відображає поточне значення температури, вологості, CO₂, рівня забруднення повітря, а також активного режиму роботи системи.

За допомогою світлодіодів відбувається індикація стану системи (норма, попередження, аварія).

У процесі розробки програмного забезпечення було використано мову програмування C++ з бібліотеками Arduino IDE. Застосовано бібліотеки: DHT — для роботи з датчиком температури та вологості, Servo — для керування сервоприводом, LiquidCrystal_I2C — для LCD-дисплея, Wire — для I2C-зв'язку.

Вся логіка реалізована в основному циклі програми. За кожною ітерацією система виконує опитування сенсорів, перевіряє актуальний стан мікроклімату та приймає рішення щодо увімкнення або вимкнення відповідних виконавчих елементів. У разі перевищення допустимих значень шкідливих речовин система автоматично переходить у режим фільтрації, при цьому заслонка перемикається сервоприводом у відповідне положення, активується індикація та за необхідності спрацьовують додаткові пристрої — нагрівач або зволожувач.

Для підвищення зручності користування розроблено зрозумілий інтерфейс виводу інформації на дисплей. Всі дані оновлюються з інтервалом 2 секунди, що дозволяє своєчасно реагувати на зміну стану середовища.

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, у цьому розділі було створено повністю функціональне програмне забезпечення, що реалізує необхідну логіку роботи системи відповідно до технічного завдання, забезпечує взаємодію всіх компонентів, безперебійну роботу в автономному режимі та візуальний контроль за параметрами повітря. Програма є достатньо гнучкою для модифікацій, що дозволяє адаптувати її до інших конфігурацій та умов експлуатації.

3.7 Висновки по розділу

У третьому розділі дипломної роботи було здійснено повний цикл розробки електронної частини автоматизованої системи забезпечення якості повітря в укритті, що включає структурне, функціональне та програмне проектування. Детально проаналізовано функціональні вимоги до системи відповідно до нормативів (зокрема, ДБН В.2.2-5:2023), що регламентують повітрообмін і параметри мікроклімату в захисних спорудах.

Було сформовано структуру системи, у якій ключову роль виконує мікроконтролер Arduino Uno, що координує роботу сенсорних та виконавчих елементів. Визначено оптимальний склад обладнання: датчики температури, вологості, вуглекислого газу та шкідливих газів; вентилятор, нагрівач і зволожувач повітря; система індикації та керування режимами. Обрані компоненти проаналізовано за технічними, експлуатаційними та вартісними критеріями, що забезпечує їх ефективну інтеграцію в єдину систему.

Виконано всі необхідні розрахунки для підбору елементів — зокрема, об'єм приміщення, потреба у повітрообміні, теплова потужність нагрівача тощо. Враховано режими роботи системи: чиста вентиляція та фільтраційна вентиляція — і реалізовано їх перемикання за допомогою сервоприводу, що керує повітряною заслінкою.

Розроблено принципову електричну схему, структурну та алгоритмічну модель роботи, що забезпечує повний цикл контролю та адаптивного реагування на зміну умов середовища. Програмне забезпечення реалізовано у вигляді скетчу для Arduino IDE з підтримкою індикації на LCD-дисплеї, обробкою вхідних

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сигналів і логічним керуванням виконавчими пристроями через реле. Також впроваджено функцію ручного вимкнення системи через кнопку.

Таким чином, у цьому розділі створено повноцінну технічну основу для побудови функціонального прототипу системи, яка забезпечує автоматичний контроль якості повітря, відповідає вимогам нормативних документів і може бути адаптована для різних типів укриттів цивільного захисту.

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Під час виконання дипломного проєкту було повністю розроблено автоматизовану систему забезпечення якості повітря в укритті, що відповідає актуальним вимогам безпеки, технічного регламенту та умов експлуатації в надзвичайних ситуаціях. Система призначена для забезпечення життєво необхідних параметрів мікроклімату — температури, вологості та чистоти повітря — у замкнутому просторі захисної споруди, розрахованої на перебування до 10 осіб.

Проектування системи проводилось на основі аналізу нормативних документів, що регламентують вентиляцію, повітрообмін і санітарно-гігієнічні норми в укриттях цивільного захисту. На підставі цих вимог було визначено необхідний об'єм повітряного обміну, підібрано відповідні режими вентиляції (РЧВ та РФВ) та розраховано кількість і параметри виконавчих пристроїв, включаючи вентилятор, нагрівач і зволожувач.

В рамках технічної реалізації створено структурну схему системи, в якій центральним керуючим елементом виступає мікроконтролер Arduino Uno. Була здійснена порівняльна оцінка альтернативних мікроконтролерів, датчиків температури, вологості та шкідливих газів, що дало змогу оптимально підібрати компонентну базу за критеріями надійності, точності, простоти інтеграції та економічної доцільності. Відповідно до розрахунків обрано виконавчі елементи на 220 В та реалізовано безпечне керування ними за допомогою реле.

На основі обраних компонентів було спроектовано принципову електричну схему, електроживлення системи на базі модулів HLK-PM01 та XL4005. Важливою частиною проєкту стала розробка програмного забезпечення, що реалізує повний логічний цикл: зчитування даних з датчиків, аналіз поточних значень, керування режимами вентиляції, включення виконавчих пристроїв, а також виведення актуальної інформації на LCD-дисплей 2004 I2C. Програма включає ручне перемикання системи за допомогою кнопки та індикацію стану через світлодіоди.

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрему увагу приділено тестуванню системи в онлайн-середовищі Wokwi, що дало змогу перевірити логіку програми, точність взаємодії між модулями та наочність функціонування системи без потреби у фізичному збиранні макету на початковому етапі.

Таким чином, у дипломному проєкті виконано повний цикл інженерного проєктування: від аналізу нормативної бази та визначення технічних вимог — до реалізації електронної схеми, програмного забезпечення, моделювання та перевірки працездатності системи. Результатом стала надійна, відкрита до масштабування система, що може бути застосована в реальних умовах для забезпечення безпеки й комфорту в захисних спорудах або в адаптованому вигляді — у вентиляційних системах підвальних приміщень, сховищ, укриттів шкіл, дитячих садків, громадських і житлових будівель.

Отримані результати свідчать про практичну цінність запропонованого рішення та його відповідність технічному завданню. Проєкт також має потенціал подальшого вдосконалення: реалізації Wi-Fi-моніторингу, мобільного застосунку чи дистанційного керування у майбутніх версіях системи.

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] ВООЗ: як забруднене повітря впливає на здоров'я населення [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://ecoclubrivne.org/ambient_air_pollution/ (дата звернення: 20.05.2025).
- [2] Яка вологість повітря повинна бути в приміщенні [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zdorovee.com/blog/kakaya-vlazhnost-vozdukh-dolzha-byt-v-pomeshchenii> (дата звернення: 20.05.2025).
- [3] ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту». — Київ: Мінрегіон України, 2023. — 80 с.
- [4] ДСТУ 9077:2021 «Засоби очищення повітря захисних споруд». — Київ: Держстандарт України, 2021. — 48 с.
- [5] ДСТУ EN 15232:2018 «Енергоефективність автоматизації та систем управління». — Київ: Держстандарт України, 2018. — 120 с.
- [6] ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води та повітря». — Київ: МОЗ України, 2010. — 40 с.
- [7] Класифікація вентиляційних систем [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.vent.com.ua/vydy-system-ventyliatsii/> (дата звернення: 26.05.2025).
- [8] Що таке механічна вентиляція [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://vencon.ua/ua/articles/mechanicheskaya-ventilyaciya-energoeffektivnost-i-ekonomichnost> (дата звернення: 22.05.2025).
- [9] Електростатичний фільтр [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://www.wikiwand.com/uk/articles/Електростатичний_фільтр (дата звернення: 22.05.2025).
- [10] Принцип адсорбції активованого вугілля [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ua.alfa-chemical.com/info/the-adsorption-principle-of-activated-carbon-68726841.html> (дата звернення: 22.05.2025).

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[11] УФ знезараження приміщень і повітря [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.waterlight.pro/uf-znezarazhennya-povitrya> (дата звернення: 22.05.2025).

[12] Фотокаталітичний фільтр окислення [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ua.sffoundrymaterial.com/purification-filter/photocatalytic-oxidation-filter.html> (дата звернення: 23.05.2025).

[13] Для чого потрібна іонізація повітря? Шкода і користь [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://zdorovee.com/blog/dlya-chego-nuzhna-ionizatsiya-vozdukha-vred-i-polza> (дата звернення: 23.05.2025).

[14] Озонація Повітря [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <https://www.deodor.com.ua/tecnologies/ozonirovanie-dezinfektsiya> (дата звернення: 23.05.2025).

[15] Термічна стерилізація повітря [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://studfile.net/preview/1582556/page:2> (дата звернення: 23.05.2025).

[16] Продукти компанії Prana [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://prana.ua/> (дата звернення: 26.05.2025).

[17] Вентилятор VENTS 100 F [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://vents-shop.com.ua/ventilyator-vents-100-f/?srsltid=AfmBOor3SxouE9Zwx3SuloIBTdxFl0gGING3aSzRWP8_WjlChUhHGzwj (дата звернення: 26.05.2025).

[18] Kovarson [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.kovarson.com/> (дата звернення: 26.05.2025).

[19] Конвектори Frisco [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.frico.net/sv/produkter/konvektorer/flaktkonvektorer> (дата звернення: 26.05.2025).

[20] Swiss NBS [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://swissnbs.com/> (дата звернення: 26.05.2025).

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- [21] Arduino Uno kit [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://itmaster.biz.ua/directory/kits-nabory/arduino-uno.html/> (дата звернення: 26.05.2025).
- [22] Датчик температури та вологості DHT11 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://arduino kit.com.ua/ua/p1127136968-datchik-temperature-vlazhnosti.html> (дата звернення: 26.05.2025).
- [23] Датчик температури та вологості DHT22 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://itmaster.biz.ua/directory/sensors/dht22.html/> (дата звернення: 26.05.2025).
- [24] Барометр BME280 5В I2C (датчик температури, вологості, тиску) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://arduino.ua/prod1930-bme280-5v-i2c-datchik-temperatyri-vlajnosti-davleniya> (дата звернення: 26.05.2025).
- [25] Датчик CO2 MH-Z19B [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://diyshop.com.ua/ua/datchik-urovnya-uglekislogo-gaza-co2-mh-z19b?srsId=AfmBOorMVtG75A0fF_DDWXDWet44zD0rINb2c2gX7X6-or96QtWuAQca/ (дата звернення: 26.05.2025).
- [26] Датчик якості повітря MQ-135 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://ardushop.in.ua/arduino/air-quality-sensor-mq-135/> (дата звернення: 26.05.2025).
- [27] Вентилятор витяжний каналний Вентс 125 ВКО [Електронний ресурс]. — Режим доступу <https://vents-shop.com.ua/kanalniy-ventilyator-vents-125-vko> (дата звернення: 26.05.2025).
- [28] Електричний керамічний термостатичний напівпровідниковий нагрівач високої потужності змінного струму 220 В 500 Вт [Електронний ресурс]. — Режим доступу <https://www.coolbe.com/uk/products/661155c4fdd62201c3325699?variant> (дата звернення: 26.05.2025).

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- [29] Зволожувач повітря Philips 2000 series HU2510/10 [Електронний ресурс]. — Режим доступу <https://vencon.ua/ua/products/philips-2000-series-hu251010> (дата звернення: 26.05.2025).
- [30] Серводвигун Tower Pro MG996R-180° [Електронний ресурс]. — Режим доступу <https://arduino.ua/ru/prod5186-servodvigyn-tower-pro-mg996r-180> (дата звернення: 28.05.2025).
- [31] Модуль 4 реле 5v 10a з опторозв'язкою HW-280 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://m-teh.com.ua/modul-4-rele-5v-10a-z-optorazvyazkoy-hw-280> (дата звернення: 28.05.2025).
- [32] LCD 2004 символний дисплей 20x4 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/prod319-lcd-2004-simvolnii-displei-20x4-sinii> (дата звернення: 28.05.2025).
- [33] Фільтр для вентиляційної системи VENTS FBK-160 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://vents-shop.com.ua/kishenkovi-y-fltr-vents-fbk-160-uk/?utm_source (дата звернення: 30.05.2025).
- [34] Блок живлення 5V 600mA компакт [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/ua/blok-pitaniya-5v-600ma-kompakt> (дата звернення: 30.05.2025).
- [35] DC-DC конвертер знижуючий 4...38В на 1.25...32В на XL4005 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.mini-tech.com.ua/ua/dc-dc-konverter-ponizhayushchij-xl4005> (дата звернення: 30.05.2025).

					ДПБ.ПМ-11.18.1760.000.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		