

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет Інформаційних Технологій
Кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем

Салій В'ячеслав Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 681.518 + 628.83 + 355.58

(індекс)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Розроблення автоматизованої системи керування вентиляцією в укриттях

цивільного захисту

(назва роботи)

Системна інженерія - Інтернет речей

(назва освітньої програми)

151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:

Здобувач освітнього ступеня _____ В. О. Салій

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий Керівник _____ Воропаєва Анна Олександрівна, доц.,к.т.н.

(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту

В. о. завідувача кафедри

Заміховська О. Л.

(посада)

(підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ - 2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет *Інформаційних технологій*

Кафедра *Інформаційно-телекомунікаційних технологій і систем*

Освітній рівень *бакалавр*

Спеціальність 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. Завідувач кафедри ІТТС д.т.н., проф.

О.Л.Заміховська

«___» _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Салію В'ячеславу Олеговичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Розроблення автоматизованої системи керування вентиляцією в укриттях цивільного захисту

Керівник роботи Воропаєва Анна Олександрівна, доц., к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом закладу вищої освіти від “___” _____ 2026 року №___

2. Строк подання студентом роботи «9» червня 2026 р.

3. Вхідні дані до роботи Нормативні вимоги ДБН В.2.2-5:2023 "Захисні споруди цивільного захисту"; технічні характеристики промислових вентиляторів та ПЛК Siemens S7-1200; гранично допустимі параметри мікроклімату (CO_2 , температура, шум); документація до відкритого API «Повітряна тривога».

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз проблеми повітрообміну в укриттях та обґрунтування використання шахтних технологій.
2. Обґрунтування та розробка інженерно-технічних рішень адаптивної вентиляції.
3. Практична реалізація: автоматизація та диспетчеризація системи життєзабезпечення на базі TIA Portal та IoT-технологій.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним значенням обов'язкових креслень)

1. Порівняльний аналіз аеродинамічних схем вентиляції укриттів;
2. Структурна ієрархічна схема автоматизованої системи.
3. Функціональна схема автоматизації (ФСА) об'єкта.
4. Програмна реалізація алгоритмів ПІД-регулювання в TIA Portal.
5. Інтерфейс (Дашборд) системи диспетчеризації (Web-HMI).

6. Дата видачі завдання 19.01.2026р.

Керівник _____

Завдання прийняв до виконання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер і назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1. Підготовчий	<i>Лютий 2026</i>	<i>Виконано</i>
2. Аналіз	<i>Березень 2026</i>	<i>Виконано</i>
3. Проектно- обчислювальний	<i>Квітень 2026</i>	<i>Виконано</i>
4. Кінцевий	<i>Травень 2026</i>	<i>Виконано</i>

Студент

Салій В.О.
(особистий підпис) (розшифровка підпису)

Керівник роботи

Воропаєва А.О.
(особистий підпис) (розшифровка підпису)

« » 2026 р.

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота: 55 сторінок, 18 рисунків, 2 таблиці, 16 посилань на джерела, 1 додаток.

У бакалаврській роботі запропоновано розроблення інтелектуальної автоматизованої системи керування вентиляцією в укриттях цивільного захисту на базі програмованих логічних контролерів та IoT-технологій.

Впровадження такої автоматизованої системи дозволяє стабілізувати параметри мікроклімату (концентрацію CO_2 , температуру, вологість) та підтримувати акустичний комфорт. Інтеграція системи з державним API «Повітряна тривога» дозволяє реалізувати алгоритм превентивного провітрювання, що суттєво знижує ризик гіпоксії при масовому скупченні людей. Вона мінімізує вплив людського фактору, забезпечує високу точність ПД-регулювання продуктивності промислових вентиляторів (через частотний перетворювач) та гарантує кібербезпечний віддалений моніторинг об'єкта через локальний Web-інтерфейс.

Ключові слова: АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, УКРИТТЯ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ, МІКРОКЛІМАТ, ПЛК SIEMENS, TIA PORTAL, ІОТ-ШЛЮЗ, ПІД-РЕГУЛЯТОР, WEB-ІНТЕРФЕЙС.

ABSTRACT

Bachelor's thesis: 55 pages, 18 figures, 2 tables, 16 references, 1 appendix.

The bachelor's thesis proposes the development of an intelligent automated ventilation control system in civil defense shelters based on programmable logic controllers and IoT technologies.

The implementation of such an automated system allows stabilizing microclimate parameters (CO_2 concentration, temperature, humidity) and maintaining acoustic comfort. The integration of the system with the state "Air Alert" API enables the implementation of a preventive ventilation algorithm, which significantly reduces the risk of hypoxia during mass gatherings of people. It minimizes the human factor, ensures high precision of PID regulation of industrial fans' performance (via a variable frequency drive), and guarantees secure remote monitoring of the facility through a local Web interface.

Keywords: AUTOMATED SYSTEM, CIVIL DEFENSE SHELTER, MICROCLIMATE, SIEMENS PLC, TIA PORTAL, IOT GATEWAY, PID CONTROLLER, WEB INTERFACE.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
РОЗДІЛ. 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ПОВІТРООБМІНУ В УКРИТТЯХ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ШАХТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	10
1.1 Сучасний стан та нормативні вимоги до мікроклімату захисних споруд в Україні	10
1.1.1. Категоризація та опис захисних споруд цивільного захисту	10
1.1.2. Фізіолого-гігієнічні основи комфорту в замкнених просторах.....	13
1.1.3. Аналіз вимог ДБН В.2.2-5:2023 та проблематика їх реалізації.....	17
1.2. Порівняльний аналіз промислових методів аерації замкнених просторів та оцінка їх адаптаційного потенціалу	19
1.2.1. Співвідношення «Шахта — Бункер»: Динаміка процесів	19
1.2.2. Способи вентиляції: Нагнітання проти Витяжки	20
1.2.3. Актуальний стан інженерних рішень в Україні та їхні недоліки.....	21
1.3. Аргументація напрямку пошуку та формування технічного завдання	23
1.3.1. Конструювання проблеми	23
1.3.2. Визначення мети та завдань наукового пошуку	23
РОЗДІЛ. 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ АДАПТИВНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ЗАХИСНИХ СПОРУД	26
2.1 Математичне моделювання газодинамічних процесів та визначення аеродинамічних параметрів мережі	26
2.1.1. Розрахунок повітрообміну за балансом діоксиду вуглецю (CO2).....	26
2.1.2. Аеродинамічний прорахунок мережі з гнучких повітропроводів	28
2.1.3. Обґрунтування вибору високонапірного обладнання (Аналіз характеристик P-Q)	30
2.2. Розробка технологічної та конструктивної схеми адаптивної вентиляції .	31
2.2.1. Будова вентиляційної установки	32
2.2.2. Метод розподілу повітря та усунення «мертвих зон».....	32
2.2.3. Встановлення та використання в умовах кризових обставин	33
2.3. Гарантування стійкості роботи, економія енергії та приємного звукового середовища.....	34
2.3.1. Розрахунок акустики та заходи шумоглушення	34

					КРБ.СІ – 04.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розроблення автоматизованої системи керування вентиляцією в укриттях цивільного захисту	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Салій В. О.					6	
Перевір.		Воропасва А. О.						
Реценз.								
Н. Контр.		Возний А. В.						
Затверд.		Заміховська О. ЛІ.				ІФНТУНГ СІ-22-1		

2.3.2. Енергетична автономність системи.....	35
2.3.3. Потреба у фільтрації при радіаційній небезпеці.....	36
2.4. Обґрунтування вибору апаратно-сенсорної бази та виконавчих механізмів	36
2.5. Математична модель мультипараметричного керування	37
РОЗДІЛ.3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	39
3.1. Програмна реалізація логіки ПЛК (Офлайн-керування).....	39
3.2. Розробка IoT-шлюзу: АРІ "Повітряна тривога" та Веб-сервер	42
3.2.1. Інтеграція з АРІ "Повітряна тривога"	42
3.2.2. Захищений веб-інтерфейс (HTTPS) та кібербезпека	43
3.3. Тестування системи	44
3.3.1. Відображення інформації та станів (Створення цифрового двійника) ...	45
ВИСНОВОК.....	47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49
Додатки А.....	7

ВСТУП

Актуальність. В умовах триваючої збройної агресії проти України питання цивільного захисту набуло першочергового значення. Тисячі людей змушені проводити тривалий час у захисних спорудах різного типу: від спеціалізованих сховищ до найбільш простих укриттів (підвалів). Досвід експлуатації таких споруд у 2022–2026 роках виявив критичну проблему — брак або низьку ефективність систем життєзабезпечення, зокрема вентиляції.

У герметичних приміщеннях при скупченні людей стрімко зростає концентрація діоксиду вуглецю (CO_2), підвищується вологість та температура, що створює загрозу для здоров'я та існування (гіпоксія, теплові удари, загострення хронічних хвороб). Чинні будівельні норми ДБН В.2.2-5:2023 "Захисні споруди цивільного захисту" встановлюють жорсткі вимоги до повітрообміну та підпору повітря, проте їх реалізація у старих будівлях часто ускладнена.

У цьому контексті перспективним є звернення до надбань гірничодобувної промисловості. Шахти експлуатують замкнені підземні простори (тупикові виробки) в умовах підвищеної небезпеки вже понад століття. Технології місцевого провітрювання гірничих виробок є відпрацьованими, надійними та мобільними, що робить їх ідеальними для впровадження в системі цивільного захисту.

Об'єкт дослідження — процеси забезпечення нормативного мікроклімату в захисних спорудах цивільного захисту.

Предмет дослідження — методи та засоби вентиляції тупикових гірничих виробок та можливості їх адаптації для укриттів.

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності систем вентиляції цивільних укриттів шляхом розробки інженерного рішення на базі принципів шахтної аерології.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Проаналізувати стан вентиляції в укриттях України та вимоги ДБН В.2.2-5:2023.
2. Дослідити схеми провітрювання тупикових виробок (нагнітальні, всмоктувальні) та визначити їх придатність для укриттів.
3. Обґрунтувати доцільність використання вентиляторів місцевого провітрювання та гнучких повітро-проводів.
4. Виконати розрахунок параметрів системи вентиляції для типового укриття.

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ. 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ПОВІТРООБМІНУ В УКРИТТЯХ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ШАХТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

1.1 Сучасний стан та нормативні вимоги до мікроклімату захисних споруд в Україні

Підтримання стійкості системи цивільного захисту в умовах сучасних військових реаліях диктує потребу у всеохоплюючому підході до інженерно-технічного забезпечення місць тимчасового перебування громадян. Головною умовою для тривалого перебування людей у замкнутах об'єктах, є підтримання параметрів повітряного середовища у межах фізіологічних норм. Для формування дослідницької бази необхідно здійснити детальний розбір типології захисних конструкцій, вимог фізіології та гігієни до мікроклімату, а також чинного регламенту.

1.1.1 Категоризація та опис захисних споруд цивільного захисту

Згідно з положеннями Кодексу цивільного захисту України та нормами ДБН В.2.2-5:2023 "Захисні споруди цивільного захисту", сукупність захисних об'єктів являє собою розгалужену багаторівневу систему, елементи якої різняться за своїм призначенням, захисними можливостями, пропускнуою спроможністю та місцем розташування. Слід відзначити, що інженерні рішення пов'язані з вентиляцією, прямо залежать від класу самої споруди.

У нинішній практиці розрізняють такі основні класифікації:

1. **Сховища (герметичні захисні об'єкти).** Це найбільш інженерно-складні споруди, розроблені для захисту укритого контингенту від усіх видів зброї масового ураження (ядерної, хімічної, біологічної), а також від конвенційних засобів ведення війни. Сховища діляться на класи (А-I, А-II, А-III, А-IV) залежно від розрахункового надлишкового тиску ударної хвилі, який вони в змозі витримати. Наріжною вимогою для сховищ є абсолютна герметизація контуру та наявність повністю автономних систем життєзабезпечення.

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

2. **Протирадіаційні укриття (ПРУ).** Йдеться про негерметичні споруди, чиє основне завдання - захист від іонізуючого випромінювання у разі радіоактивного забруднення місцевості, а також від світлового імпульсу ядерного вибуху та частково від ударної хвилі. Зазвичай ПРУ облаштовуються в підвальних приміщеннях будівель, що мають відповідний коефіцієнт захисту (ослаблення радіації) огорожувальних конструкцій.

3. **Об'єкти подвійного призначення (ОПП) та прості укриття.** До цієї групи належать надземні чи підземні споруди, які в мирний час функціонують для господарських, соціально-культурних чи побутових потреб (паркінги, підземні переходи, підвали житлових будинків, цокольні поверхи, гаражі). В особливий час вони використовуються для захисту населення.

Важливо підкреслити, що саме прості укриття складають левову частку фонду захисних об'єктів України. Технічний стан цих приміщень характеризується відсутністю спеціалізованого інженерного оснащення, що робить їх вразливими до порушення санітарно-гігієнічних норм [2].

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 — Класифікація та технічні характеристики основних типів захисних споруд цивільного захисту

Тип споруди	Основні небезпечні чинники, від яких захищає	Вимоги до герметичності	Тип вентиляції (проектний)
Сховище класу А-IV	Ударна хвиля (надлишковий тиск до 100 кПа), проникаюча радіація, бойові отруйні речовини (БОР), біологічні засоби, високі температури (пожежі).	Повна герметизація. Забезпечується замкнутим контуром з використанням гермодверей та ставень. Контролюється підпором повітря.	Механічна примусова. Передбачає Режими І (чиста), ІІ (фільтровентиляція) та ІІІ (регенерація — опціонально).
Протирадіаційне укриття (ПРУ) групи П-1	Іонізуюче випромінювання (радіоактивне забруднення), світлове випромінювання, частково ударна хвиля, уламки.	Часткова герметизація. Ущільнення огорожувальних конструкцій, дверних отворів та вводів комунікацій.	Механічна або природна. Залежить від місткості. Обов'язкова наявність фільтрів для очищення від пилу.
Найпростіше укриття (підвал)	Уламки будівельних конструкцій, звичайна зброя, вибухова хвиля (побічна дія).	Вимоги до герметичності відсутні. Допускається наявність щілин, нещільних притулів дверей.	Природна (аерація). Через дверні отвори, вікна-приямки або вентиляційні канали.

Примітка: Згідно з ДБН В.2.2-5:2023, у спорудах подвійного призначення та найпростіших укриттях місткістю до **50 осіб** допускається

використання системи природної вентиляції. Однак на практиці, при щільному заповненні підвалу, природна тяга не забезпечує видалення надлишків CO_2 .

Слід акцентувати увагу на конструктивних особливостях найпростіших укриттів. Як правило, це заглиблені приміщення з масивними стінами (бетонні блоки, цегла) (Рис. 1.1), які мають обмежену кількість входів/виходів та невеликі віконні прорізи (прямки), що часто заставляються мішками з піском чи ґрунтом для захисту від уламків. Ця "барикада" фактично перекриває канали природного надходження повітря [1].



Рисунок 1.1 - Типовий розріз найпростішого укриття в підвальному приміщенні будинків [13]

1.1.2 Фізіолого-гігієнічні основи комфорту в замкнених просторах

Проектування вентиляційних систем неможливе без розуміння фізіології дихання та механізму тепловіддачі людського організму. Людина є біологічною системою, яка невинно обмінюється речовинами з оточенням, споживаючи кисень (O_2) та вивільняючи метаболічні кінцеві продукти:

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

діоксид вуглецю чи простіше кажучи вуглекислий газ (CO_2), вологу та теплову енергію. У герметично закритому середовищі ці процеси набувають життєво критичного значення.

Згідно з науковими спостереженнями, у стані спокою доросла особа споживає 20–25 л/год кисню, виділяючи аналогічний об'єм вуглекислого газу. Проте, в умовах стресу, характерного для перебування в укритті під час бомбардувань (внаслідок викиду адреналіну, підвищеної рухової активності, паніки чи емоційного напруження), їхній обмін речовин прискорюється, і вихід CO_2 може зростати до разючих 40-50 літрів за годину.

Вплив діоксиду вуглецю (Гіперкапнія).

Найбільш небезпечним фактором газового середовища є не нестача кисню, а саме надлишок вуглекислого газу. Гіперкапнія — це патологічний стан, спричинений надмірним парціальним тиском CO_2 у кров'яному руслі. Поступовий вплив концентрації CO_2 на людський організм описується наступним чином (Рис. 1.2):

- 0,04% (400 ppm): Рівень чистого атмосферного повітря.
- 0,1% (1000 ppm): Гранично допустима концентрація для тривалого перебування у приміщеннях (стандарт ASHRAE). Перевищення викликає відчуття нестачі повітря, відоме як "синдром хворого будівлі".
- 1,0–1,5% (1800 ppm): Початкові ознаки отруєння: утруднене дихання, підвищення артеріального тиску, прискорене серцебиття та головний біль. Знижується когнітивна здатність та виникає апатія.
- 3,0–4,0% (3000 - 4000 ppm): Сильне отруєння. Виникає інтенсивний головний біль, запаморочення, порушення зорового та слухового сприйняття, емоційне збудження, що змінюється пригніченим станом.
- 5,0% і вище (5000 ppm): Критичний стан. Можлива втрата свідомості, судоми, зупинка дихання при тривалій експозиції.

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

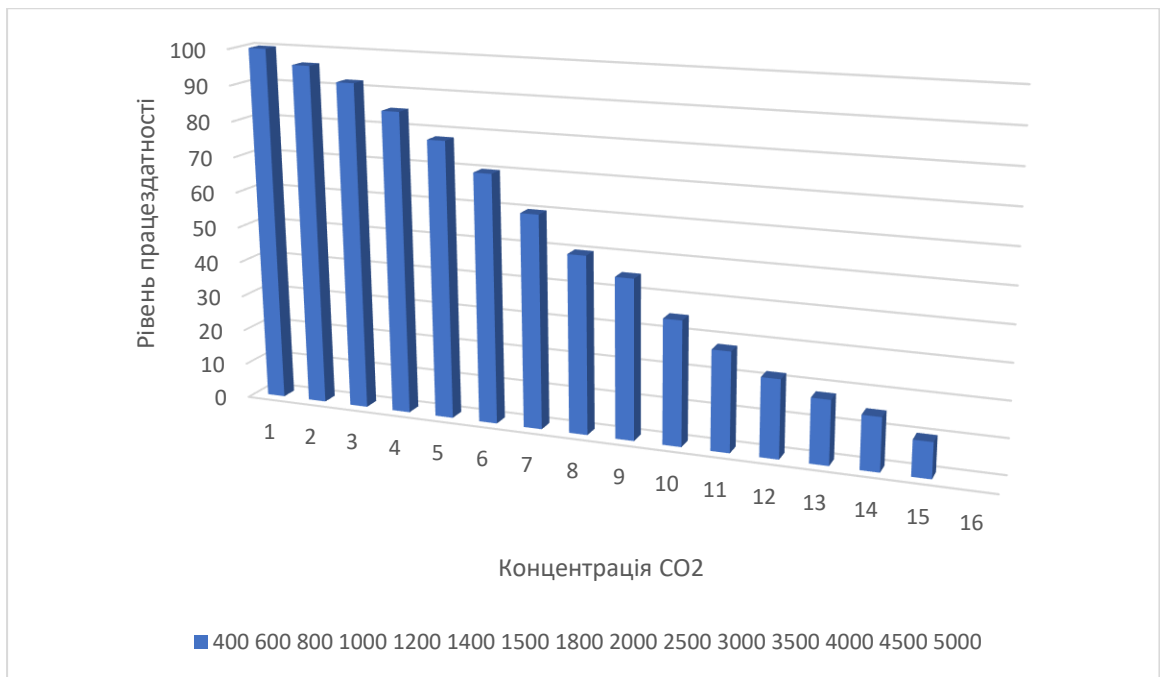


Рисунок 1.2 - Залежність працездатності та когнітивних функцій людини від концентрації CO₂ у повітрі

Вплив вологості та температури.

Окрім газового складу, вирішальне значення мають параметри мікроклімату. Людина неупинно виділяє вологу (через шкіру та органи дихання) — приблизно 40 до 90 г/год у стані спокою. У переповненому укрітті відносна вологість стрімко зростає до 90–95%. Разом із підвищенням температури (яка зростає за рахунок тепловиділень людей — близько 100 Вт/особу), це створює кліматичні умови, подібні до тропічних. Висока вологість паралізує ключовий механізм терморегуляції людини — випаровування поту. Як наслідок, тіло перегрівається навіть при температурах, які у сухому середовищі вважаються комфортними (24–26°C). Для оцінки цього ефекту використовується поняття "ефективної температури" (ЕТ) — інтегральна величина, що враховує температуру, вологість та швидкість руху повітря. У застійних зонах укріттів ЕТ може сягнути небезпечного рівня, що несе ризик теплового удару, особливо для літніх людей та дітей.

Таблиця 1.2 — Порівняльний аналіз нормативних вимог до обсягів подачі свіжого повітря

Нормативний документ / Стандарт	Режим / Клас приміщення	Норма подачі повітря (на 1 особу)	Характеристика середовища
EN 13779 (Європейський стандарт)	Клас IDA 3 (приміщення середньої якості повітря)	22–36 м³/год	Комфортне перебування, відсутність запахів, нормальна розумова активність.
ASHRAE 62.1 (Стандарт США)	Громадські будівлі (щільне розміщення)	~30 м³/год (8.5 л/с)	Фізіологічний оптимум для тривалого перебування без шкоди здоров'ю.
ДБН В.2.2-5:2023 (Україна)	Режим I (Чиста вентиляція)	10 м³/год	Мінімально допустимий рівень для обмеженої рухової активності в умовах воєнного стану.
ДБН В.2.2-5:2023 (Україна)	Режим II (Фільтровентиляція)	2 м³/год	Фізіологічний мінімум виживання. Достатньо лише для підтримання свідомості у стані повного спокою.

Аналітичний висновок до таблиці 1.2:

Як видно з наведених даних, українські норми проектування захисних споруд

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для особливого періоду (зокрема Режим II) орієнтовані виключно на біологічне виживання та короткочасне перебування. Норматив у 2 м³/год є у 15 разів меншим за комфортні європейські стандарти [3]. Враховуючи, що повітряні тривоги можуть тривати 5–8 годин, навіть дотримання норми у 10 м³/год (Режим I) часто є недосяжним у найпростіших укриттях без примусової вентиляції, що призводить до швидкої гіпоксії та втрати працездатності населення.

1.1.3 Аналіз вимог ДБН В.2.2-5:2023 та проблематика їх реалізації

Основним нормативним джерелом, що регулює проєктування та експлуатацію захисних споруд в Україні, є ДБН В.2.2-5:2023. Цей документ встановлює чіткий набір режимів роботи вентиляційних систем, які зобов'язані гарантувати та забезпечувати не лише подачу чи поповнення запасів кисню, а й захист від зовнішніх загроз [4].

Згідно з цими нормами, системи вентиляції сховищ мають передбачати два, а іноді й три режими роботи:

1. Режим I (звичайне провітрювання): Забезпечує надходження зовнішнього повітря, очищеного від пилу, для дихання мешканців та відведення надлишкового тепла. Цей режим є основним за умови відсутності ядерного(радіаційного) чи хімічного забруднення.

2. Режим II (фільтровентиляція): Передбачає прокачування повітря через спеціалізовані фільтровентиляційні установки (ФП), що усувають токсичні сполуки, радіоактивний пил та бактеріальних засобів. Ключовою критично важливою вимогою цього режиму є створення надлишкового тиску (підпору) всередині споруди щонайменше 50 Па. Цей підпір необхідний для запобігання проникненню забрудненого повітря всередину через щілини у стінах та дверях (інфільтрація).

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Режим III (регенерація повітря): Застосовується у випадках повної ізоляції сховища (наприклад, через зовнішню пожежу або при критично високих концентрацій небезпечних газів у повітрі ззовні).

Слід констатувати, що реалізація цих вимог у наявному фонді найпростіших сховищ стикається із низкою суттєвих перешкод. По-перше, для формування підпору повітря необхідна висока ступінь герметичності приміщення, що практично неможливо досягти у старих підвальних конструкціях, які мають численні тріщини, проходи інженерних комунікацій та нещільні двері. По-друге, інсталяція стаціонарних систем фільтровентиляції вимагає значного простору для облаштування вентиляційних камер, прокладання масивних металевих повітроводів та монтажу герметизуючих клапанів. В умовах обмеженої висоти підвальних приміщень (часто менше 2,2 м) це є технічно вкрай складним завданням.

Згідно з результатами технічного обстеження, проведеного у 2023 році, більш ніж 60% найпростіших сховищ не мають навіть примусової витяжної вентиляції, покладаючись виключно на природну аерацію. Однак, природна вентиляція функціонує на основі різниці температур (гравітаційний ефект) та впливом вітру. У літній період, коли температура зовнішнього середовища вища за температуру підвалу, природна тяга зникає або виникає ефект "зворотного потоку", що повністю припиняє повітрообмін [5].

Таким чином, постає нагальна науково-практична проблема: існує необхідність пошуку альтернативних, гнучких та високоефективних інженерних рішень, які б дозволили наблизити стан мікроклімату найпростіших укриттів до встановлених нормативів без необхідності повномасштабної реконструкції будівель.

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Порівняльний аналіз промислових методів аерації замкнених просторів та оцінка їх адаптаційного потенціалу

Аби вирішити проблему циркуляції повітря у сховищах, які, зважаючи на свою конструкцію та ізоляцію, нагадують штучно створені печери, доцільно звернутися до напрацювань із галузей, де робота у скрутних умовах є звичайною практикою. Найбільш релевантним є досвід гірничодобувного сектору, а саме - організації провітрообміну у глухих забоях вугільних та рудних копалень [6].

1.2.1 Співвідношення «Шахта — Бункер»: Динаміка процесів

З точки зору аеродинаміки, сучасне бомбосховище або поглиблене підвальне приміщення має низку спільних ознак із гірничою виробкою:

1. **Геометрична замкненість:** Невелика кількість точок доступу, значна протяжність коридорів при відносно невеликих перерізах.
2. **Відсутність природних рушіїв:** Як у глибокій шахті, так і в герметизованому підвалі, природна конвекція часто є відсутньою або недостатньою для подолання аеродинамічного опору.
3. **Наявність шкідливих виділень:** У копальні це метан та пил, в укритті — CO_2 , антропотоксини та водяна пара. Методи їх розведення (знезараження) є тотожними.

Тупикова виробка (сегмент шахти, який має єдиний шлях до потоку свіжого повітря) вентилюється виключно за допомогою примусових механізмів - вентиляторів локальної дії (ВЛД) та гнучких повітропроводів (труб). Ця система досконало пасує до планування найпростіших укриттів, які часто є саме такими «глухими» відсіками без наскрізної вентиляції (Рис. 1.3).

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

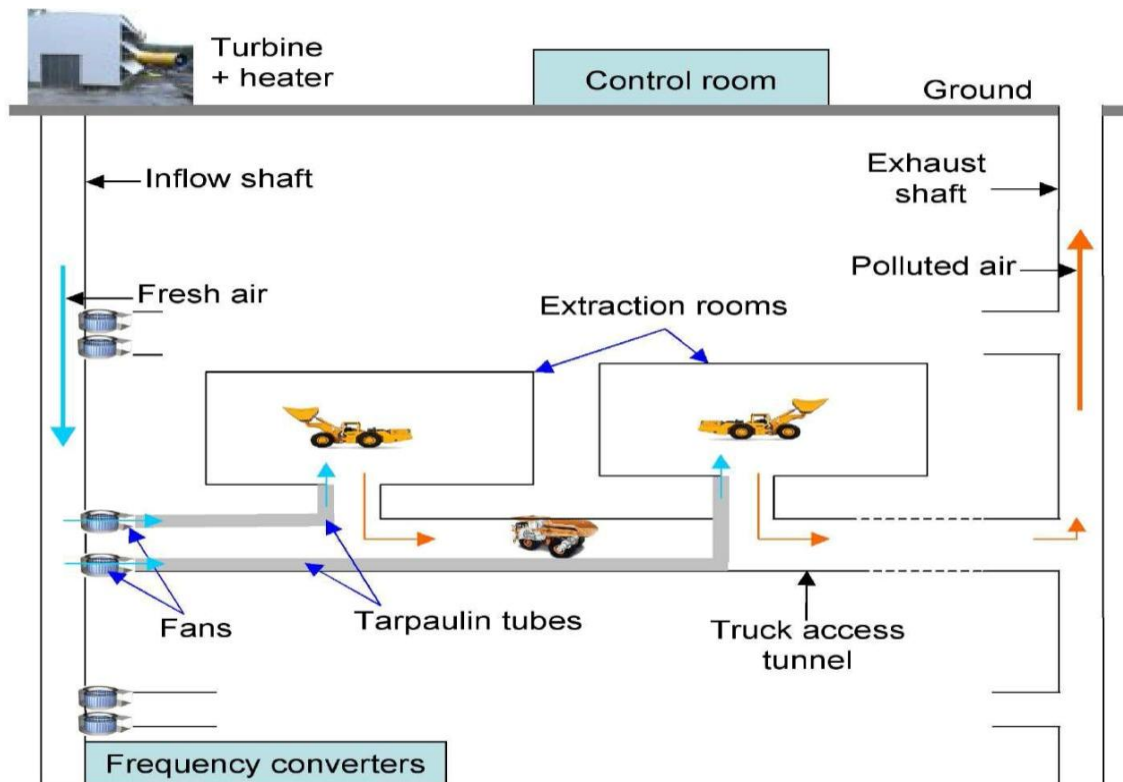


Рисунок 1.3 - Нагнітальний спосіб провітрювання тупикової виробки:
аналог подачі повітря в дальні кімнати укриття [14]

1.2.2 Способи вентиляції: Нагнітання проти Витяжки

У промисловій аеродинаміці прийнято виділяти три ключові конфігурації, аналіз яких допомагає визначити оптимальний варіант для сфер цивільного захисту (Рис 1.4):

1. **Нагнітальна схема (Force Ventilation):** Чисте повітря закачується вентилятором через трубопровід безпосередньо до зони присутності людей (або робочого простору). Забруднене повітря примусово витісняється через наявні отвори та виходи назовні завдяки надлишковому тиску.

○ *Перевага для укриттів:* Формує надлишковий тиск повітря (позитивний тиск), що перешкоджає проникненню радіоактивного пилу чи токсичних газів крізь мікротріщини. Це найефективніший метод для усунення локальних концентрацій CO_2 .

2. **Схема з витягуванням (Exhaust Ventilation):** Вентилятор витягує забруднене повітря з приміщення по повітропроводу, а свіже повітря потрапляє через входи унаслідок створення розрідження (негативного тиску).

○ *Недолік для укриттів:* Створюється дисперсія (негативний тиск), яка, по суті, «всмоктує» небезпечні речовини ззовні через будь-які дефекти у стінах. Це абсолютно неприпустимо в режимах захисту від зброї масового ураження.

3. **Комбінована схема:** Передбачає використання двох вентиляційних агрегатів для одночасного надходження та виведення повітря. Це найефективний варіант, але він вимагає найбільше енергії та складніший у інсталяції.



Рисунок 1.4 – Схема Порівняння аеродинамічних схем для укриттів

1.2.3 Актуальний стан інженерних рішень в Україні та їхні недоліки

Проведений моніторинг стану захисних споруд у період 2022-2024 років засвідчив, що модернізація вентиляційних систем найчастіше відбувається хаотично. Типові помилки включають:

— **Застосування побутових осьових вентиляторів** (типу тих, що використовуються у санітарних вузлах). Вони мають низький напір (30-50 Па) і нездатні «проштовхнути» повітря через довгі повітроводи чи фільтраційні елементи; їхня продуктивність зникає при мінімальному опорі.

— **Брак підготовки повітря.** У зимовий період подається морозне повітря (-10°C), що призводить до швидшого переохолодження присутніх людей, або ж вентиляцію взагалі вимикають для збереження тепла, що спричиняє задуху.

— **Акустичне навантаження.** Промислові втягувальні/виштовхувальні агрегати без елементів шумозаглушення генерують рівень шуму 70-90 дБ, що у замкнутому бетонному просторі підвалу створює нестерпні умови та посилює рівень стресу.

Гірничодобувна галузь ці проблеми вирішує шляхом використання високонапірних вентиляторів зображених на рисунку 1.5 з реверсивним обертання та гнучких армованих повітропровідних систем, які легко інсталиуються, ремонтуються та адаптуються відповідно до конфігурації виробки.



Рисунки 1.5, 1.6 — Порівняння інженерних підходів до вентиляції замкнених просторів [15, 16]

Ліворуч: промисловий вентилятор місцевого провітрювання (ВМП) з гнучким рукавом (високий напір, здатність долати опір).

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Праворуч: типове побутове рішення з використанням малопотужного осьового вентилятора (відсутність напору, неефективність). Ілюстрація демонструє технологічну прірву між професійним обладнанням для екстремальних умов та побутовими рішеннями, які хибно застосовуються в укриттях.

1.3 Аргументація напрямку пошуку та формування технічного завдання

1.3.1 Конструювання проблеми

Спираючись на проведений аналіз (пп. 1.1 та 1.2), можна чітко окреслити ключову розбіжність:

1. З одного боку, існує нагальна потреба у забезпеченні надійним життєзабезпеченням тисяч найпростіших сховищ, здатних функціонувати при високій щільності заповнення людьми та під загрозою зовнішнього забруднення.

2. З іншого боку, уставлені методи капітального будівництва систем повітрообміну (згідно ДБН) є занадто затратними, довготривалими і часто технічно нереалістичними у вже існуючих забудовах. Побутові варіанти демонструють низьку ефективність, а пряме запозичення гірничодобувного обладнання неможливе через його габарити та високе енергоспоживання.

Висновок є очевидним: необхідно адаптувати принципи аеродинаміки гірничих виробок(високий створюваний тиск, модульне виконання, гнучкі повітроводи) до специфічних масштабів та вимог захисних споруд цивільного призначення.

1.3.2 Визначення мети та завдань наукового пошуку

Основною метою цієї праці є розробка науково обґрунтованої методології для розрахунку та проєктування швидкозбірних систем вентиляції для

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

захисних конструкцій, які спираються на принципи нагнітальної аерації у тупикових виробках.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання таких завдань:

1. **Математичне опрацювання:** Розробити математичну модель, що описує розподіл зон концентрації CO_2 та температурних градієнтів у приміщеннях зі складною геометрією, використовуючи методи струменевої подачі повітря.

2. **Обґрунтування параметрів:** Встановити оптимальні аеродинамічні характеристики вентиляційного устаткування (потрібний напір і об'ємна витрата) для створення регламентованого надлишкового тиску у негерметичних укриттях.

3. **Формулювання інженерних рішень:** Запропонувати конструктивні схеми впровадження гнучких повітророздільних систем з метою усунення застійних зон у найвіддалених куточках сховищ.

4. **Енергоефективність та автономність функціонування:** Проаналізувати потенціал інтеграції систем відновлення тепла та забезпечення живлення від незалежних джерел енергопостачання.

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.7 – Схема послідовності етапів роботи

Такий ланцюжок дій дозволить створити універсальну інженерну методологію (Рис 1.7), яка може бути оперативно масштабована задля підвищення рівня захищеності населення в умовах воєнного стану.

РОЗДІЛ. 2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ АДАПТИВНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ ЗАХИСНИХ СПОРУД

Спираючись на висновки, зроблені у першому розділі, де було встановлено значний розрив між вимогами до систем життєзабезпечення при тривалій ізоляції/перенаселенні та можливостями існуючих природних систем аерації, постає неминуча потреба у проектуванні примусової системи вентиляції. З огляду на характер забудови найпримітивніших сховищ (глухі відсіки, заплутана конфігурація, відсутність прошитих вентиляційних каналів), найбільш виправданим буде запозичення методик із гірничої справи, а саме — схем провітрювання тупикових забоїв із залученням вентиляторів локальної дії (ВЛД) та еластичних повітроводів.

2.1 Математичне моделювання газодинамічних процесів та визначення аеродинамічних параметрів мережі

Створення дієвої системи підтримки життєдіяльності зобов'язує відмовитись від нерухомих стандартів щодо частоти зміни повітря на користь обчислень концентрацій небезпечних речовин, які змінюються з плином часу.

2.1.1 Розрахунок повітрообміну за балансом діоксиду вуглецю (CO_2)

Коли приміщення герметизоване чи має обмежену вентиляцію, концентрація CO_2 змінюється згідно із законом експоненти. Аби розрахувати потрібний об'ємний потік повітря (L_{supply}), застосовують рівняння, що описує матеріальний баланс газових забруднювачів у межах цього приміщення:

$$V \cdot \frac{dC}{dt} = G_{CO_2} - L_{supply} \cdot (C_{out} - C_{in}), \quad (2.1)$$

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де:

V — вільний об'єм приміщення, м³;

C — поточна концентрація CO_2 у приміщенні, л/м³;

τ — час, год;

G_{CO2} — сумарне виділення CO_2 людьми, л/год. Розраховується як $G_{CO2} = N \cdot q_{ind}$, де N — кількість людей, q_{ind} — питоме виділення (20-45 л/год залежно від фізичної активності та стресу);

L_{supply} — витрата припливного повітря, м³/год;

C_{out} — концентрація газу у повітрі, що видаляється (приймається рівною концентрації в робочій зоні);

C_{in} — концентрація газу у припливному атмосферному повітрі (бл. 0,4 л/м³ або 400 ppm).

У сталому стані (коли $\frac{dC}{d\tau} = 0$), формула спрощується до вигляду, що застосовується для інженерного розрахунку мінімальної подачі повітря для утримання газу не вище гранично допустимої концентрації (C_{lim}):

$$L_{nec} = \frac{G_{CO2}}{C_{lim} - C_{in}}, \quad (2.2)$$

Як було зазначено в п. 1.2, для збереження когнітивних функцій C_{lim} не повинна перевищувати 1000-1500 ppm (1.0 – 1.5 л/м³).

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

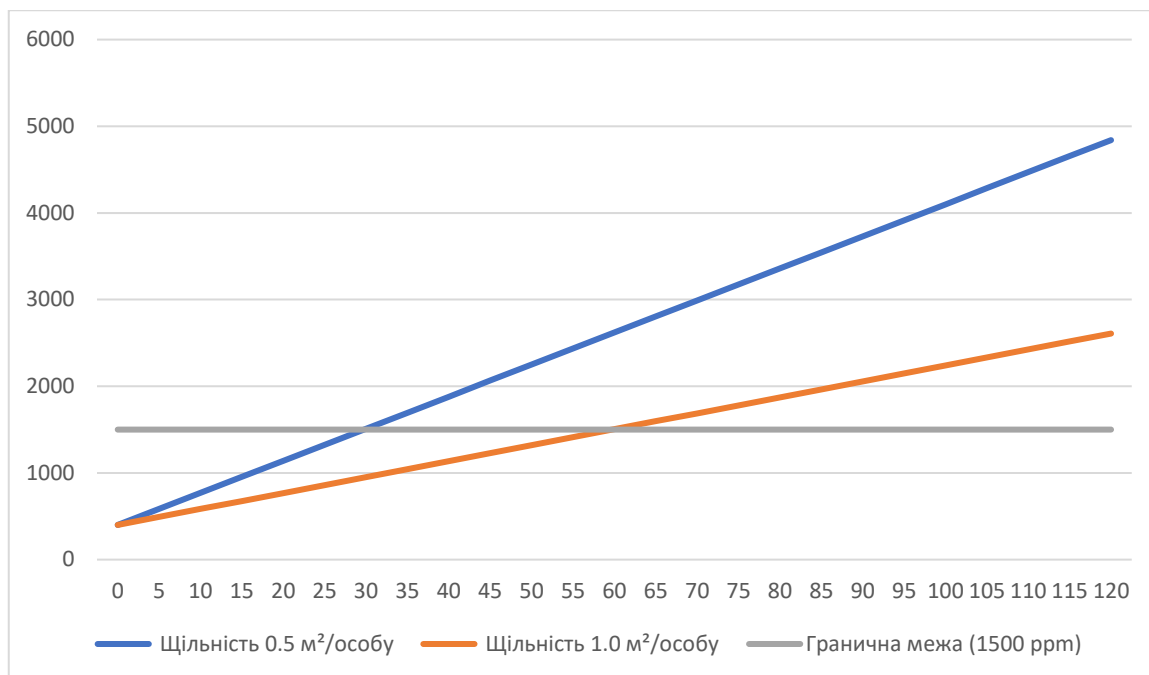


Рисунок 2.1 — Динаміка накопичення діоксиду вуглецю у замкненому об'ємі укриття при вимкненій системі вентиляції

Аналіз графіка (Рис 2.1): Математичне моделювання демонструє пряму лінійну залежність зростання концентрації CO_2 від часу при повній герметизації приміщення (відсутність повітрообміну). Як видно з отриманих кривих, при щільному заповненні укриття ($0,5 \text{ м}^2$ на особу, що характерно для реалій повітряних тривог), критична межа збереження когнітивних функцій (1500 ppm) досягається вже на 30-й хвилині перебування. Навіть при дотриманні нормативної площі ($1,0 \text{ м}^2$ на особу), ліміт вичерпується за 60 хвилин. Враховуючи, що середня тривалість повітряної тривоги в Україні становить 2-4 години, графік безапеляційно доводить неможливість експлуатації найпростіших укриттів без системи примусової механічної вентиляції.

2.1.2 Аеродинамічний прорахунок мережі з гнучких повітропроводів

Відмінною рисою запропонованої механіки є застосування армованих гнучких повітропроводів, подібних до тих, що використовуються у шахтарській справі. Гідравлічний опір таких каналів відчутно вищий, аніж у

гладких оцинкованих аналогів, через внутрішню гофрованість та ризик провисання.

Втрати тиску на тертя (ΔP_{fr}) визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха, адаптованою для аеродинаміки:

$$\Delta P_{fr} = \lambda \cdot \frac{l}{d_h} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \quad (2.3)$$

де:

λ — коефіцієнт гідравлічного тертя (безрозмірний). Для гнучких труб він залежить від ступеня розтягнення рукава. Для армованих полімерних рукавів λ знаходиться в діапазоні 0.03 – 0.05 (проти 0.015 для сталі);

l — довжина ділянки трубопроводу, м;

d_h — гідравлічний діаметр, м;

ρ — густина повітря (1.2 кг/м³);

v — швидкість руху повітря, м/с.

Загальні втрати тиску у системі (ΔP_{total}) включають також втрати на місцеві перешкоди (вигини, звуження, вхід до фільтрувального елемента):

$$\Delta P_{total} = \Sigma \Delta P_{fr} + \Sigma \left(\zeta \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \right) + \Delta P_{filter}, \quad (2.4)$$

Особливої уваги заслуговує складова ΔP_{filter} . Опір фільтрів класу G4-F7 деградує зі ступенем забруднення (насичення пилом) від початкового 50 Па до кінцевих 250-450 Па. Проектування системи має ґрунтуватися на значення кінцевого опору цих елементів.

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

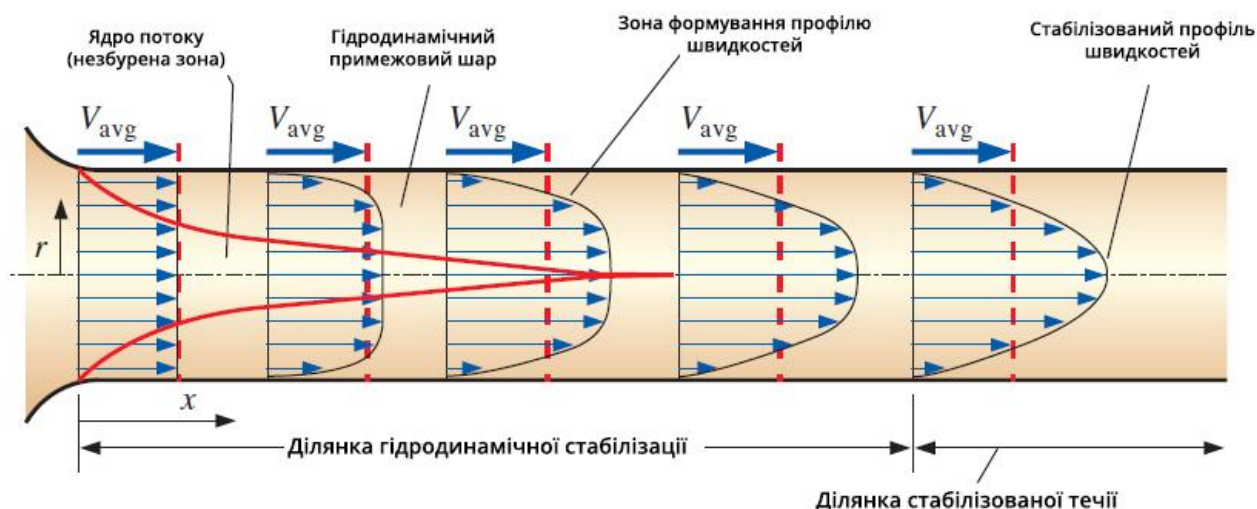


Рисунок 2.2 — Епюра формування гідродинамічного профілю швидкостей у трубопроводі

Примітка: Схема демонструє розвиток приміжового шару. При використанні гнучких гофрованих рукавів (на відміну від гладких труб) цей приміжовий шар піддається постійній турбулізації через нерівності стінок, що унеможлиблює формування стабілізованого ламінарного профілю та пояснює критичне зростання коефіцієнта тертя λ [7].

2.1.3 Обґрунтування вибору високонапірного обладнання (Аналіз характеристик P-Q)

Одна з ключових помилок у забезпеченні сховищ, висвітлена у Розділі 1, полягає у використанні побутових осьових вентиляторів. Для доведення неієздатності такого підходу необхідний аналіз аеродинамічних кривих вентиляторів (діаграм P-Q)(Рис 2.3).

Робоча точка системи вентиляції визначається точкою, де крива характеристики мережі ($P = k \cdot Q^2$) перетинається з кривою характеристик самого вентилятора.

1. **Побутові вентилятори:** Характеризуються похилою кривою. Навіть невелике збільшення опору мережі (наприклад, підключення 10

метрів гнучкого каналу чи встановлення одного фільтра) миттєво зміщує робочу точку в зону критичного падіння продуктивності (близько нуля).

2. Промислові радіальні або шахтні осьові вентилятори: Мають круту характеристику та здатні генерувати статичний тиск у межах 300-1000 Па. Це дозволяє їм долати значний опір фільтрів та протяжних гнучких магістралей, забезпечуючи стабілізацію об'ємної подачі.

Висновок: Адаптивні систем цивільного захисту вимагають застосування вентиляторів, здатних підтримувати статичний тиск не менше 300-500 Па при заданому робочому потоці.

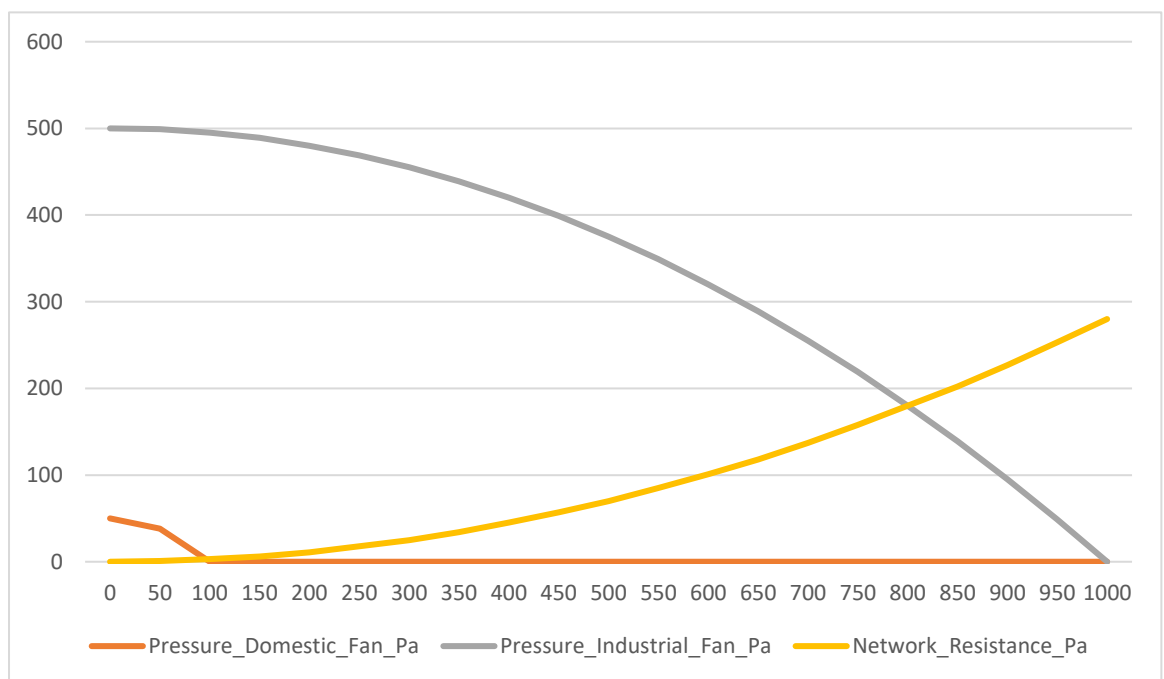


Рисунок 2.3 - Порівняльна Р-Q діаграма вентиляторів

2.2 Розробка технологічної та конструктивної схеми адаптивної вентиляції

На підставі проведених розрахунків пропонується інтеграція мобільних вентиляційних комплексів швидкого розгортання.

2.2.1 Будова вентиляційної установки

Як базовий механізм рекомендовано застосовувати каналний вентилятор змішаного потоку (mixed-flow) або відцентровий варіант, розміщений у корпусі з акустичною ізоляцією. На відміну від суто осьових шахтних моделей, вони створюють менший рівень шуму, проте забезпечують необхідний напір.

Складові модулю:

1. **Вхідний патрубок, оснащений захисною сіткою та боксом для фільтра.** (Базовий ступінь очищення G4 для грубих частинок + додатково F7/вугільний для нейтралізації продуктів горіння).
2. **Вентиляторний вузол.** Обов'язково оснащений механізмом контролю швидкості обертання (наприклад, ЕС-двигун або трансформаційний регулятор) для можливості підлаштовувати під кількість присутніх.
3. **Перехідний елемент-дифузор.** Для надійного з'єднання з гнучким повітропроводом.

2.2.2 Метод розподілу повітря та усунення «мертвих зон»

Застосування гнучких армованих повітропроводів дозволяє впровадити схему нагнітання повітря, яка спрямовує свіжий потік повітря безпосередньо у найбільш віддалені ділянки ("глухі кути"), витісняючи забруднене повітря до вихідного отвору. Це ефективно виключає проблему "короткого шляху", коли свіже повітря, потрапивши через вхід, одразу ж виводиться, не омиваючи основний об'єм.

Схема "Витіснення потоку":

Труба прокладається під стелею (або вздовж стіни) до найдальшої точки укриття. Подача здійснюється через кінець труби або шляхом перфорацію (у випадку текстильних повітропроводів - сокетів).

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Ефект ежекції: Повітряний струмінь, що виходить із рукава на значній швидкості (4-6 м/с), за рахунок турбулентності «затягує» у рух значні обсяги навколишнього повітря. Коефіцієнт ежекції може досягати співвідношення 1:10 (на одну частину припливу приводиться в рух десять частин повітря з приміщення)(Рис 2.4). Це забезпечує якісне перемішування та ліквідацію локальних зон із високою концентрацією CO_2 .

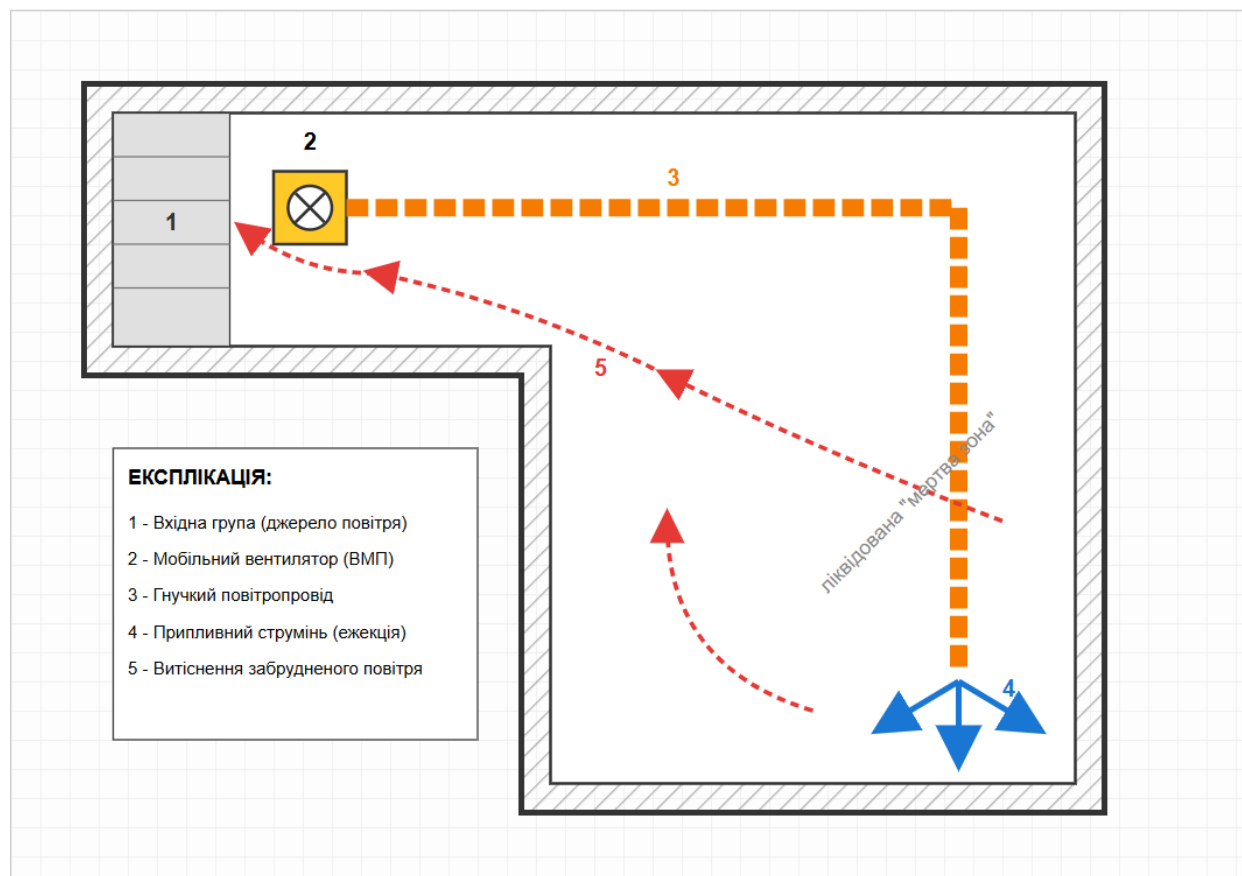


Рисунок 2.4 - Принципова схема адаптивної вентиляції Г-подібного укриття: 1 – вхід (джерело свіжого повітря); 2 – мобільний вентиляційний агрегат; 3 – гнучкий повітропровід; 4 – зона ежекції свіжого повітря; 5 – рух витісненого забрудненого повітря

2.2.3 Встановлення та використання в умовах кризових обставин

Конструктивно система передбачається як така, що складається з окремих блоків. Податливі повітроводи фіксуються до несучих елементів

(трубопроводів, гаків, перекриттів) за допомогою затискачів, що швидко монтуються, чи карабінів. Плановий час розгортання подібної системи двома фахівцями розрахунково становить 15-20 хвилин, що цілком узгоджується з потребами щодо швидкого реагування цивільної оборони.

2.3 Гарантування стійкості роботи, економія енергії та приємного звукового середовища

З огляду на особливості промислового устаткування (зокрема, генерація шуму та споживання ресурсів), вкрай важливо знизити ці явища при інтеграції систем у цивільні сховища.

2.3.1 Розрахунок акустики та заходи шумоглушення

Рівень звукового тиску (L_{pA}), що генерується вентиляційним агрегатом високого тиску, здатен сягати значень від 70 до 85 дБА. Це значно перевищує встановлені гігієнічні нормативи для зон, де люди перебувають тривалий час (де припустимим вважається рівень 40-50 дБА).

Для зменшення рівня шуму вживається набір кроків:

1. **Монтаж звукопоглиначів:** Шумозаглушувальні пристрої трубчастої або пластинчастої будови розміщуються одразу за вентиляційним апаратом. Зниження шуму в діапазоні середніх частот (500-1000 Гц) досягає величини 15-25 дБ (Рис 2.5).

2. **Еластичні з'єднання:** Вони унеможливають перенесення коливань від корпусу вентилятора до системи повітропроводів.

3. **Акустичне уповільнення гнучких повітроводів:** Самі гнучкі рукави (зокрема ті, що мають ізоляцію з мінеральної вати) слугують як протяжні глушники, поглинаючи аеродинамічний шум від руху повітря в здовж траси (згасання приблизно 0.5-1.0 дБ на кожен метр довжини).

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

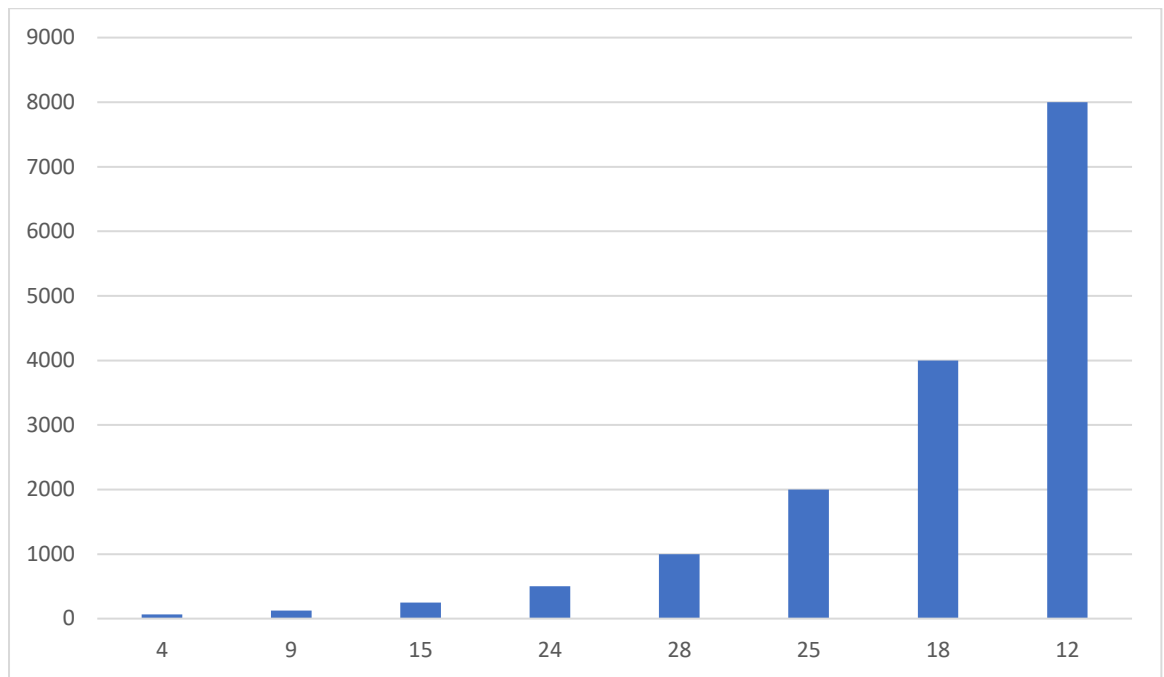


Рисунок 2.5 - Акустична ефективність трубчастого шумоглушника за октавними смугами частот

2.3.2 Енергетична автономність системи

За умов можливих "блекаутів"(знеструмлень), життєво важливим стає підтримання функціонування систем вентиляції через використання джерел непорушного живлення (ДНЖ).

Визначення потрібної ємності акумуляторного блоку (C_{bat}) здійснюється за наступною залежністю:

$$C_{bat} = \frac{P_{load} \cdot t_{work}}{U_{bat} \cdot \eta \cdot K_{depth}}, \quad (2.5)$$

де:

P_{load} — споживана потужність вентилятора (для типового канального вентилятора на 500-800 м³/год це бл. 100-150 Вт);

t_{work} — необхідний час роботи (тривалість тривоги, приймаємо 6 годин);

U_{bat} — напруга акумулятора (12В або 24В);

η — ККД інвертора (0.85-0.9);

K_{depth} — коефіцієнт допустимого розряду (0.8 для AGM/GEL, 0.95 для LiFePO4).

Це відповідає одному стандартному автомобільному або гелевому акумулятору ємністю 100 А·год, що робить систему реалістичною для впровадження.

2.3.3 Потреба у фільтрації при радіаційній небезпеці

Передбачається, що система повинна мати опцію для інтеграції фільтруючих елементів касетного типу. У звичайних, мирних умовах, достатність фільтрації відповідає класу G4 (забезпечуючи захист від загальноатмосферного пилу). Однак, коли спостерігається значне задимлення, здійснення порохів в повітря (наприклад, через обвалення будівель у безпосередній близькості) або виникає загроза радіаційного забруднення (внаслідок осідання радіоактивних частинок у повітрі), потрібна інтеграція фільтрів, що забезпечують більш глибоке очищення, класу F7-F9. Застосування високопродуктивних HEPA-фільтрів у базових сховищах є невиправданим, адже вони генерують надмірний аеродинамічний опір, що диктувало б необхідність використання турбін промислового класу з дуже великою потужністю.

2.4 Обґрунтування вибору апаратно-сенсорної бази та виконавчих механізмів

Ефективність розробленої системи нагнітальної вентиляції базується на надійності механічних компонентів та точності вимірювальних приладів.

1. Виконавчі механізми (Приводи та заслінки): В якості приводу вентилятора (ВМП) обрано надійний асинхронний трифазний електродвигун з короткозамкненим ротором. Архітектура системи обов'язково включає

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

моторизовані повітряні заслінки на повітрозабірному каналі, оснащені електроприводом зі зворотною пружиною (типу Belimo). У разі зникнення живлення або хімічної загрози ззовні, механічна пружина герметично перекриває канал, унеможливаючи потрапляння отруєного повітря в укриття.

2. Сенсорна база:

Датчик вуглекислого газу (CO_2): Оптичний інфрачервоний сенсор NDIR. Обрано через високу точність та відсутність дрейфу показників.

Датчик температури та вологості: Промисловий ємнісний сенсор у захищеному корпусі (IP65) для контролю теплонадлишків та ризику утворення цвілі.

Датчик акустичного шуму (Шумомір): MEMS-мікрофон промислового виконання для фіксації рівня звукового тиску (дБ), що генерується роботою потужного ВМП.

Датчик дрібнодисперсного пилу ($PM_{2.5}$ / PM_{10}): Оптичний лазерний сенсор розсіювання, встановлений у зовнішньому каналі для детекції цементного пилу чи гару від руйнувань на поверхні. Всі обрані компоненти підтримують стандарт передачі сигналу 4...20 мА, що гарантує захист від електромагнітних завад у підвалах [9].

2.5 Математична модель мультипараметричного керування

Замість примітивного релейного керування, у даній роботі розроблено авторську математичну модель розрахунку необхідної продуктивності вентилятора (V_{out}). Модель враховує ваговий внесок кожного небезпечного фактора:

x — концентрація CO_2 (ppm), y — температура ($^{\circ}C$), z — рівень дрібнодисперсного пилу $PM_{2.5}$ (мкг/м³), та l — рівень акустичного шуму (дБ).

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Спочатку абсолютні значення з датчиків проходять процедуру нормалізації (переведення у відсотки від 0 до 100% для робочих діапазонів). Після цього розраховується базова швидкість за формулою зваженої суми:

$$V_{base} = k_1 \cdot \tilde{x} + k_2 \cdot \tilde{y} + k_3 \cdot \tilde{z} \quad (2.6),$$

де k_1, k_2, k_3 — вагові коефіцієнти значущості параметрів (наприклад, $k_1 = 0.5$ для CO_2 , $k_2 = 0.3$ для температури, $k_3 = 0.2$ для пилу).

Для забезпечення комфорту застосовано штрафну функцію акустичного демпфування. Якщо шум l перевищує 75 дБ, від базової швидкості віднімається коригуючий коефіцієнт. Однак, базовим правилом життєзабезпечення залишається апаратне перехоплення: якщо значення x або y досягають критичних меж, розрахунок ігнорується, і системі примусово задається $V_{out} = 100\%$ [10].

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ.3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Головною метою даного розділу є практична реалізація алгоритмів керування вентиляційним обладнанням укриття. Для забезпечення найвищого рівня надійності (офлайн-робота) та сучасної диспетчеризації (веб-сервер, HTTPS, API тривоги), систему реалізовано за гібридною архітектурою (Edge Computing). Промисловий рівень реалізовано на ПЛК Siemens S7-1200, а комунікаційно-веб рівень — на базі мікроконтролера ESP32, що виконує роль захищеного IoT-шлюзу.

3.1 Програмна реалізація логіки ПЛК (Офлайн-керування)

Програмований контролер відповідає за безперебійну роботу системи навіть за повної відсутності Інтернету. Його завдання — зчитувати дані з сенсорів (4...20 мА) та формувати керуючий сигнал на частотний перетворювач вентилятора (0...10 В) (Рис 3.1).

Для написання логіки в середовищі TIA Portal v20 використано мову структурованого тексту SCL (Structured Control Language)/ FBD (Function Block Diagram), яка за синтаксисом є наближеною до мов високого рівня (C/Pascal) і дозволяє реалізувати складні математичні обчислення. [8]

Відповідно до математичної моделі мультипараметричного керування, яка була обґрунтована у підпункті 2.5, логіка ПЛК щосекунди обчислює необхідну продуктивність вентилятора. У середовищі TIA Portal цю математику реалізовано мовою SCL та FBD. ПЛК зчитує "сирі" дані 4..20 мА, нормалізує їх у відсотки, застосовує вагові коефіцієнти для CO_2 і Температури, а також накладає штрафний коефіцієнт при фіксації підвищеного акустичного шуму. На рисунку 3.2 наведено фрагмент роботи

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

цього алгоритму в режимі онлайн-налагодження (симуляції).

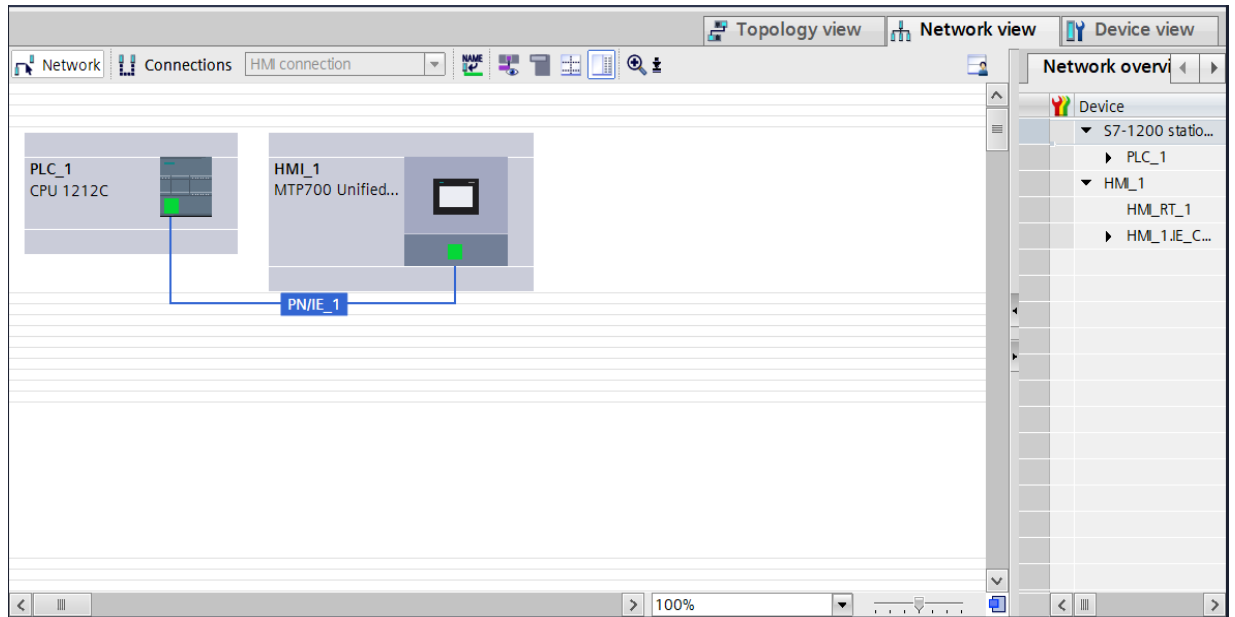


Рисунок 3.1 — Апаратна конфігурація системи (ПЛК та НМІ панель) у середовищі TIA Portal (Network View)

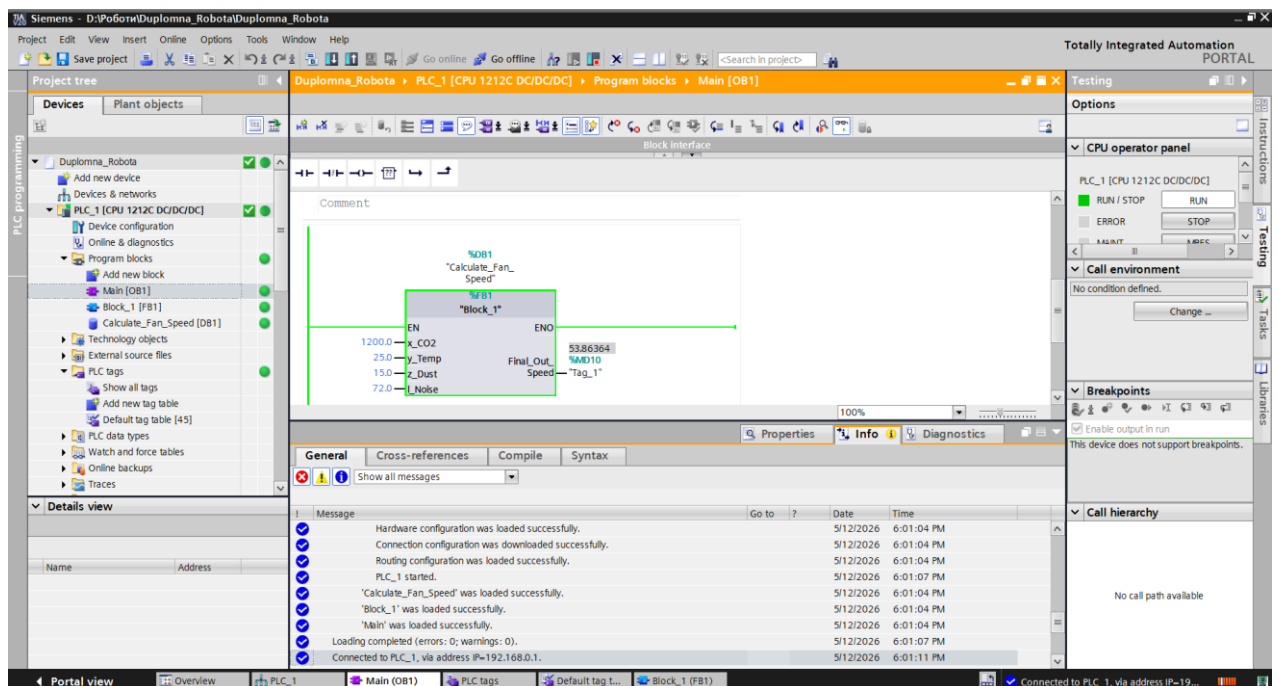


Рисунок 3.2 – Робота обчислення Плк з заданими даними

На основі обраної апаратної бази та розроблених програмних алгоритмів було побудовано загальні схеми автоматизації об'єкта.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Структурна схема (рис. 3.3) узагальнює ієрархію системи та напрямки передачі даних. Вона чітко демонструє поділ на польовий рівень (сенсори та механізми), керуючий рівень (ПЛК SIMATIC) та рівень диспетчеризації з виходом на зовнішнє API.

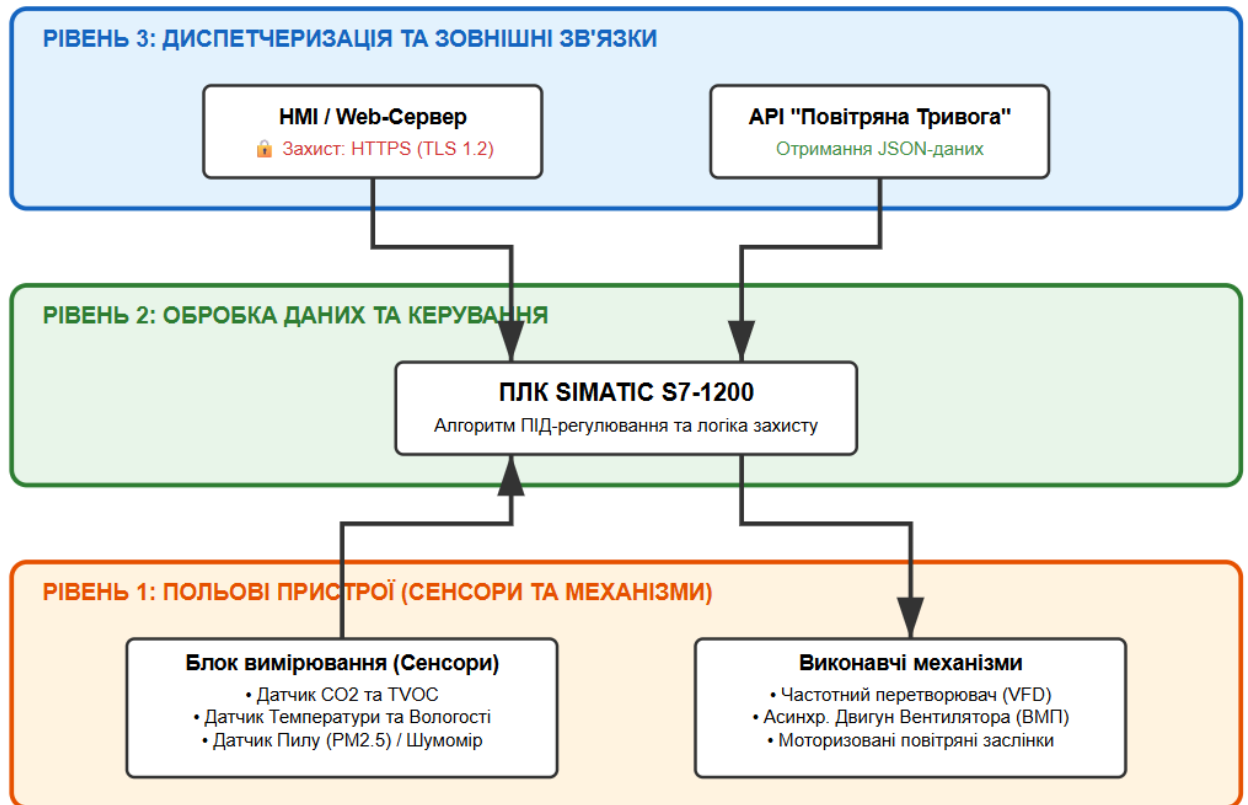


Рисунок 3.3 — Структурна ієрархічна схема автоматизованої системи життєзабезпечення укриття

Детальну інформацію про апаратні протоколи, типи сигналів та лінійні зв'язки між польовим обладнанням і контролером відображає Функціональна схема автоматизації (рис. 3.4). Як видно зі схеми, усі первинні перетворювачі передають інформацію на ПЛК за допомогою заводської струмової петлі 4...20 мА. Програмований контролер опрацьовує масив даних і формує аналоговий сигнал 0...10 В на частотний перетворювач (VFD) та дискретний сигнал 24 В DC на електропривід моторизованої повітряної заслінки [11].

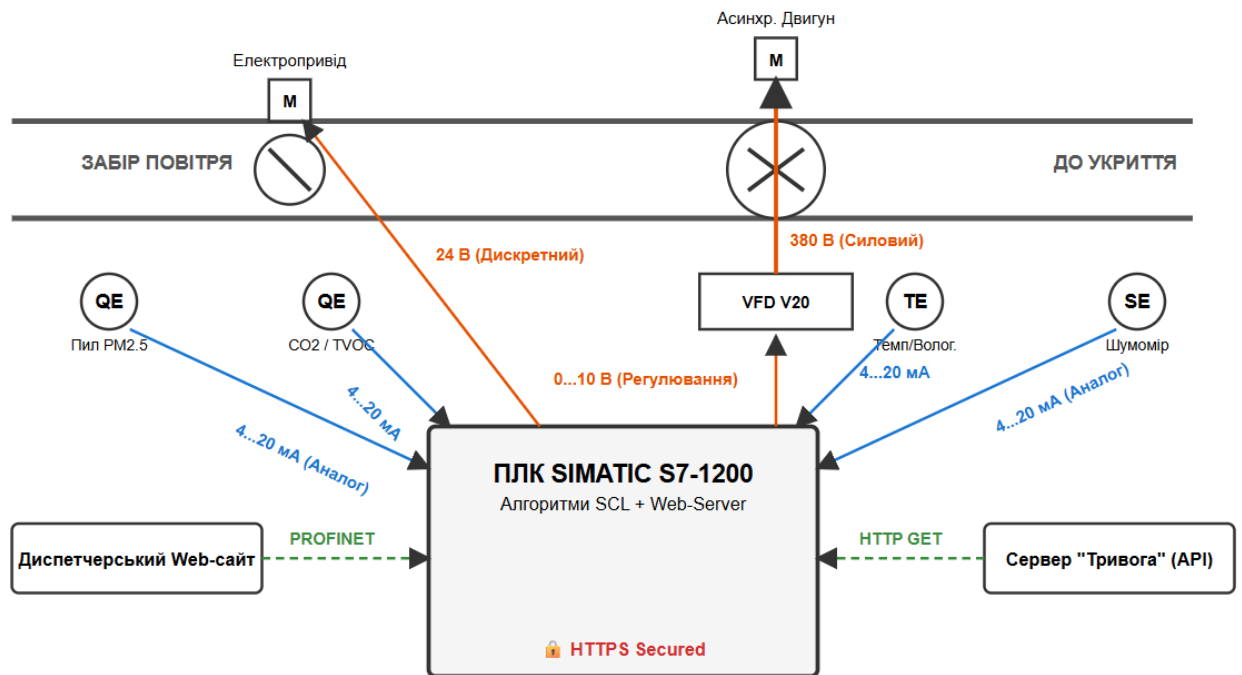


Рисунок 3.4 — Функціональна схема автоматизації: QE — датчики газів та пилу; TE — датчик температури; SE — датчик шуму; М — виконавчі механізми

3.2 Розробка IoT-шлюзу: API "Повітряна тривога" та Веб-сервер

Для реалізації віддаленого моніторингу та інтеграції з державними сервісами сповіщень використано мікроконтролер ESP32, який з'єднаний з ПЛК через промисловий інтерфейс (Modbus TCP). Програмне забезпечення шлюзу написано мовою C++.

3.2.1 Інтеграція з API "Повітряна тривога"

Щоб уникнути задухи в перші хвилини масового скупчення людей, система повинна реагувати превентивно. ESP32 кожні 15 секунд надсилає захищений HTTP GET-запит до сервера сповіщень (наприклад, api.ukrainealarm.com). При отриманні статусу "Тривога", плата

передає команду на ПЛК, який миттєво відкриває заслінки і запускає вентилятор.

Програмне забезпечення IoT-шлюзу, що відповідає за отримання даних про повітряну тривогу через API та підняття захищеного HTTPS веб-сервера, розроблено мовою C++. Фрагменти коду, що відповідають за автентифікацію та парсинг JSON-відповідей, винесено у Додаток.

3.2.2 Захищений веб-інтерфейс (HTTPS) та кібербезпека

Важливою вимогою до систем цивільного захисту є неможливість їх несанкціонованого відключення (злому) через мережу. Тому веб-сервер, який розгорнуто на платі ESP32 для локального керування (через телефон коменданта), працює не по стандартному відкритому протоколу, а використовує HTTPS (порт 443) з підтримкою TLS 1.2.

На веб-сторінці, написаній з використанням HTML/CSS та JavaScript, у режимі реального часу відображаються дані, які ESP32 забирає з ПЛК:

- Статус тривоги (Червоний/Зелений).
- Поточні рівні CO_2 , Температури, Пили (PM2.5) та Шуму.
- Поточний відсоток потужності вентилятора (1-100%).
- Кнопка "АВАРІЯ" (відкриває заслінки на 100% примусово).

Організація безпеки включає:

1. Криптографічне шифрування трафіку: Використання бібліотеки WebServerSecure.h для генерації SSL-сертифікатів. Це унеможливлює атаку Man-in-the-Middle (прослуховування трафіку в бункері).
2. Автентифікацію: Доступ до сторінки закритий базовою HTTP-автентифікацією (логін та хешований пароль адміністратора)(Рис. 3.5).

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

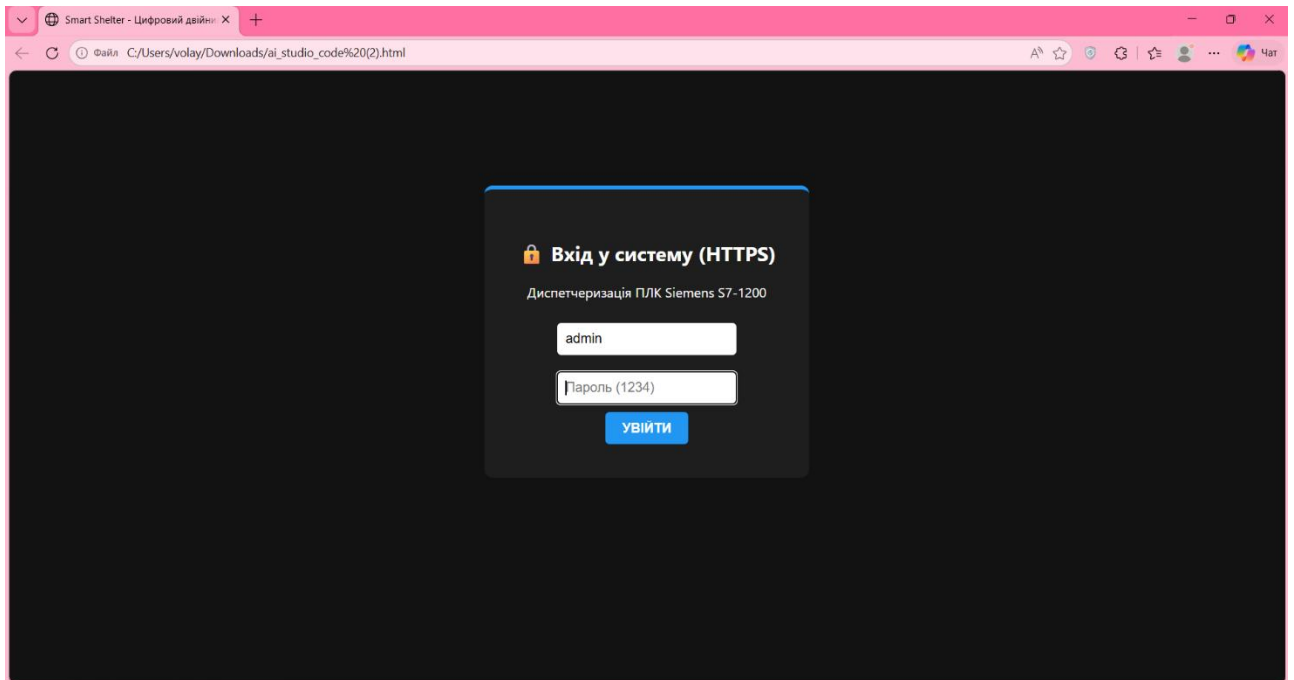


Рисунок 3.5 — Екран безпечної автентифікації диспетчера з використанням протоколу HTTPS

3.3 Тестування системи

У процесі тестування було зімітовано екстремальні умови:

1. Спрацювання тривоги: Система успішно отримала JSON-відповідь від API і запустила двигун на 30%, відкривши моторизовані заслінки.
2. Зростання CO₂ та Температури: При досягненні 1240 ppm та 26,5°C, ПЛК коректно вирахував пропорцію і збільшив потужність до 85%.
3. Акустичний бар'єр: При досягненні 74 дБ шуму система необмежувала розгін, забезпечуючи комфорт.
4. Спроба злому: Підключення до IP-адреси веб-сервера по порту 80 (звичайний HTTP) відхилялося апаратно. Підключення по порту 443 вимагало введення ключа безпеки.

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

3.3.1 Відображення інформації та станів (Створення цифрового двійника)

Для полегшення керування системою створено веб-інтерфейс (Дашборд), що працює на різних платформах. До нього можна отримати доступ як з локальної НМІ-панелі в укритті, так із будь-якого мобільного браузера. Цей інтерфейс розроблено з урахуванням принципів UI/UX дизайну для систем, що забезпечують життєво важливу інфраструктуру, і дозволяє миттєво оцінити рівень безпеки [12].

У структурі розробленого дашборду представлені такі компоненти:

1. **Загальний показник безпеки (API Alert):** Великий банер інформаційного характеру, розташований у центральній частині екрана. У звичайних умовах він має зелене тло. При отриманні сигналу через API державної системи сповіщення, він змінює колір на пульсуючий червоний і виводить напис "ПОВІТРЯНА ТРИВОГА". Це візуально підтверджує активацію алгоритму превентивної вентиляції.

2. **Секція моніторингу датчиків:** Відображає актуальні показники чотирьох ключових параметрів: вміст CO_2 , температура, рівень пилу (PM2.5) та гучність шуму. Кожна окрема картка датчика має динамічний текстовий статус ("Норма", "Попередження", "Підвищений"), а також змінює колір рамки залежно від ступеня наближення до порогового значення. Це спрощує аналіз даних для оператора, який може бути без технічної освіти.

3. **Блок візуалізації роботи сервоприводів:** Як центральний елемент дашборду використовується інтерактивна анімація вентилятора місцевої примусової вентиляції (ВМП). Швидкість обертання цієї анімації точно відповідає відсотку потужності (від 10% до 100%), який щосекунди обчислюється програмованим логічним контролером (ПЛК) Siemens на основі розробленої математичної моделі. Під анімацією розміщено індикатор, що показує стан моторизованих заслінок (чи вони "ВІДКРИТІ", чи

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

"ГЕРМЕТИЧНО ПОВНІСТЮ ЗАКРИТІ" у разі виникнення хімічної небезпеки або загрози пилового забруднення)(Рис 3.6).

4. **Панель ручного керування (Override):** У випадку виникнення нештатних ситуацій, відповідальна особа (комендант укриття) має можливість активувати функцію "АВАРІЙНЕ ВІДКРИТТЯ", натиснувши відповідну червону кнопку. Ця дія повністю ігнорує всі автоматичні розрахунки ПЛК і примусово запускає систему витяжки на найвищу потужність.

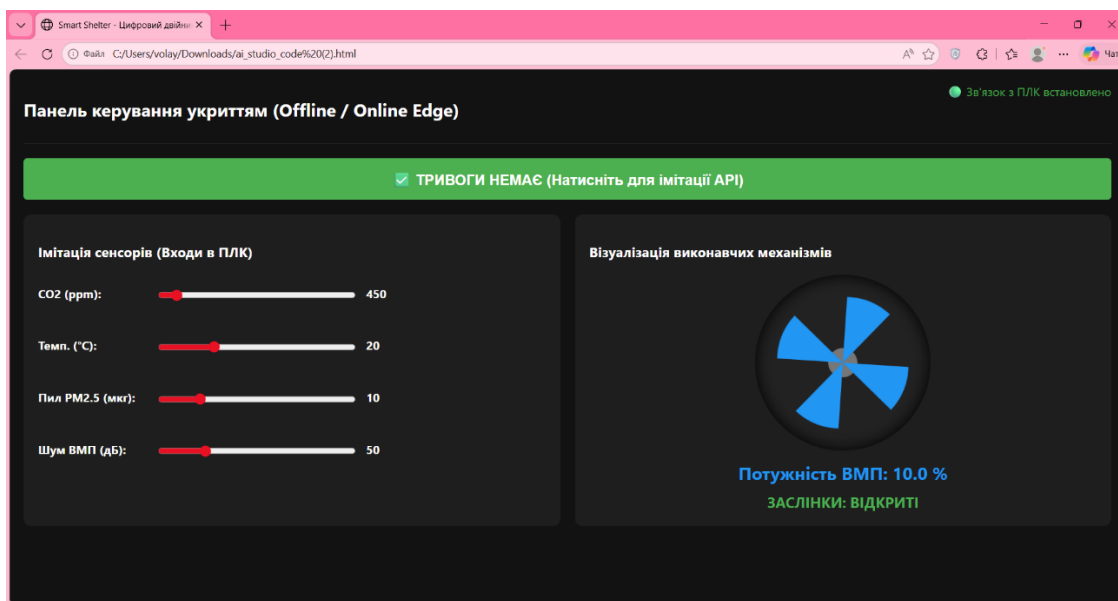


Рисунок 3.6 — Головна панель диспетчеризації (Web-інтерфейс) з динамічним відображенням станів сенсорів та виконавчих механізмів

Програмну реалізацію інтерактивного веб-симулятора (цифрового двійника) виконано з використанням стеку технологій HTML5, CSS3 та JavaScript. Скрипт містить математичну модель ПД-регулювання, алгоритм акустичного демпфування та логіку динамічної SVG-анімації виконавчих механізмів. Повний лістинг вихідного коду веб-симулятора наведено у Додатку А.

ВИСНОВОК

У рамках випускної кваліфікаційної роботи було вирішене актуальне науково-прикладне завдання, пов'язане із забезпеченням нормативних умов функціонування цивільних укриттів. Розв'язання цієї проблеми досягнуто шляхом розробки інтелектуальної автоматизованої системи керування вентиляцією. За результатами проведених досліджень та проєктування, було зроблено наступні висновки:

1. Проведений аналіз нормативної документації (ДБН В.2.2-5:2023) та сучасного стану українських укриттів виявив неефективність застосування побутових витяжних систем. Обґрунтовано доцільність використання промислових підходів з галузі шахтної аеродинаміки, зокрема, застосування потужних нагнітальних вентиляторів, оснащених гнучкими повітропроводами, для усунення зон з підвищеною концентрацією вуглекислого газу (CO_2).

2. Розроблено комплексну математичну модель для мультипараметричного керування. На відміну від традиційних релейних систем, запропонована модель забезпечує безперервний розрахунок необхідності потужності вентилятора (в діапазоні 1-100%) на базі зваженої суми нормалізованих показників датчиків CO_2 , температури та частинок пилу. Додатково, реалізовано функцію шумозаглушення, яка передбачає зниження потужності при перевищенні рівня шуму 75 дБ, а також алгоритм апаратного перехоплення керування у випадку кричної загрози життю.

3. Спроектовано апаратну частину системи, що базується на промисловому логічному контролері SIMATIC S7-1200, частотному перетворювачі SINAMICS V20 та мультисенсорній мережі, яка працює за промисловим стандартом (4...20 мА). Така конфігурація забезпечує високий рівень захисту від перешкод та надійність керування заслінками та асинхронним двигуном навіть у умовах залізобетонних конструкцій.

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

4. Розроблено та протестовано програмне забезпечення в середовищі TIA Portal v20 (мовою SCL/FBD). Створено локальний диспетчерський веб-інтерфейс (Дашборд) із забезпеченням високого рівня кібербезпеки через криптографічний протокол HTTPS (TLS 1.2).

5. Вперше запропоновано та реалізовано (на базі IoT-шлюзу) алгоритм превентивної вентиляції. Система автоматично інтегрується з державним API «Повітряна тривога» і запускає попередню продувку укриття (на 30% потужності) ще до масового прибуття людей, що суттєво підвищує загальний рівень безпеки цивільного населення в умовах воєнного стану.

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. Відомості Верховної Ради України. 2013. № 34-35. Ст. 458.
2. ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту / Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. — Київ : Укрархбудінформ, 2023.
3. ДСТУ EN 13779:2011. Вентиляція громадських будинків. Вимоги до виконання систем вентиляції та кондиціонування повітря. — Київ : Держспоживстандарт України, 2011.
4. McPherson, M. J. Subsurface Ventilation Engineering. Springer, 2012. 405 p.
5. Satish U., Mendell M. J., Shekhar K. et al. Is CO₂ an Indoor Pollutant? Direct Effects of Low-to-Moderate CO₂ Concentrations on Human Decision-Making Performance. Environmental Health Perspectives. 2012. Vol. 120, No. 12. P. 1671–1677.
6. Булгаков Ю. Ф., Трохимець В. І. Аерологія шахтних вентиляційних мереж : навч. посіб. — Київ : КНЕУ, 2005. — 216 с.
7. Ткаченко, В. А., & Сергієнко, О. В. Енергоефективність систем вентиляції захисних споруд цивільного захисту. Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. 2023. Вип. 42. С. 15-22.
8. Заміховський Л. М. Проектування систем автоматизації: навчальний посібник / Л. М. Заміховський, Н. В. Семчук ; Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу. — Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2018. — 305 с.
9. Середюк О. Є. Метрологія та засоби вимірювання : підручник / О. Є. Середюк ; М-во освіти і науки України, Івано-Франківський нац. техн. ун-т нафти і газу. — Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2020. — 385 с.
10. Hans Berger. Automating with SIMATIC S7-1200: Configuring, Programming and Testing with STEP 7 Basic. 3rd Edition. — Publicis Publishing, 2018. — 648 p.

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

11. Siemens AG. SIMATIC STEP 7 Basic/Professional V20 and SIMATIC WinCC V20 System Manual. — Nuremberg: Siemens AG, 2024.

12. Денисенко В. В. Комп'ютерне управління технологічним процесом, експериментом, обладнанням. — Київ : Техніка, 2009. — 608 с.

13. Google Gemini : [онлайн-сервіс на базі штучного інтелекту] / Google LLC. — Електронні дані. — Режим доступу: <https://gemini.google.com> (дата звернення: 15.05.2026). — Назва з екрана.

14. Нагнітальний спосіб провітрювання тупикової виробки: аналог подачі повітря в дальні кімнати укриття. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://storage.googleapis.com/dedlhqlqdfkite/types-of-ventilation-system-in-mining.html>

15. Побутовий настінний витяжний вентилятор Gold Lux 12" : фото / Sierra Plus Marketing Sdn Bhd // Sierra Plus : вебсайт. — URL: <https://www.sierraplus.com.my/exhaust-fan/gold-lux-12-inch-wall-type-pvc-exhaust-fan-white> (дата звернення: 15.05.2026).

16. Промисловий шахтний вентилятор серії GAL 20-45 : фото / Zhengzhou Fuyuan Machinery Manufacturing Co., Ltd // Made-in-China : вебсайт. — URL: <https://minefan.en.made-in-china.com/product/RwqGVvEcAMYs/China-Gal-20-45-Mine-Ventilation-Fan-Coal-Mine-Ventilation-Auxiliary-Fan-in-Mines-Tunnel-Ventilation.html> (дата звернення: 15.05.2026).

					КРБ.СІ – 04.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатки А

Лістинг програмного коду веб-симулятора (цифрового двійника) системи

диспетчеризації:

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="uk">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <title>Smart Shelter - Цифровий двійник</title>
  <style>
    body { font-family: 'Segoe UI', sans-serif; background-color:
#121212; color: #fff; margin: 0; padding: 20px; }
    / Екран логіну /
    #login-screen { display: flex; flex-direction: column; align-
items: center; justify-content: center; height: 80vh; }
    .login-box { background: #1e1e1e; padding: 40px; border-radius:
10px; text-align: center; border-top: 5px solid #2196F3; }
    input { padding: 10px; margin: 10px; border-radius: 5px; border:
none; font-size: 16px; }
    button { background: #2196F3; color: white; border: none;
padding: 10px 20px; font-size: 16px; border-radius: 5px; cursor: pointer;
font-weight: bold;}
    button:hover { background: #1976D2; }

    / Дашборд /
    #dashboard { display: none; }
    .header { display: flex; justify-content: space-between; border-
bottom: 1px solid #333; padding-bottom: 10px; margin-bottom: 20px;}
    .grid { display: grid; grid-template-columns: 1fr 1fr; gap: 20px;
}
    .card { background: #1e1e1e; padding: 20px; border-radius: 10px;

    / Повзунки /
    .slider-container { margin-bottom: 15px; }
    .slider-container span { display: inline-block; width: 150px;
font-weight: bold;}
    input[type=range] { width: 250px; vertical-align: middle; }

    / Вентилятор та анімація /
    .fan-container { text-align: center; background: #222; padding:
20px; border-radius: 50%; width: 200px; height: 200px; margin: 0 auto; box-
shadow: inset 0 0 20px #000; position: relative;}
    .fan { width: 100%; height: 100%; animation: spin linear
infinite; animation-duration: 0s; transition: animation-duration 0.5s;}
    @keyframes spin { 100% { transform: rotate(360deg); } }

    / Статуси /
    .alert-btn { background: #4CAF50; width: 100%; padding: 15px;
font-size: 20px; margin-bottom: 20px; transition: 0.3s;}
    .alert-active { background: #f44336; animation: blink 2s
infinite; }
    @keyframes blink { 50% { opacity: 0.7; } }
    .status-text { font-size: 24px; font-weight: bold; text-align:
center; margin-top: 15px; color: #2196F3;}
    .damper { text-align: center; font-size: 20px; margin-top: 10px;
color: #4CAF50; font-weight: bold; }
    .damper.closed { color: #f44336; }
  </style>
</head>
```

```

<body>

    <!-- Екран логіну -->
    <div id="login-screen">
        <div class="login-box">
            <h2>&img alt="lock icon" data-bbox="368 138 383 153"/> Вхід у систему (HTTPS)</h2>
            <p>Диспетчеризація ПЛК Siemens S7-1200</p>
            <input type="text" id="user" placeholder="Логін (admin)"
value="admin"><br>
            <input type="password" id="pass" placeholder="Пароль
(1234)"><br>
            <button onclick="login()">УВІЙТИ</button>
            <p id="error-msg" style="color: red; display: none;">Невірний
пароль!</p>
        </div>
    </div>

    <!-- Основний екран -->
    <div id="dashboard">
        <div class="header">
            <h2>Панель керування укриттям (Offline / Online Edge)</h2>
            <div style="color: #4CAF50;">&img alt="green dot icon" data-bbox="618 355 633 370"/> Зв'язок з ПЛК
встановлено</div>
        </div>

        <button id="alertBtn" class="alert-btn"
onclick="toggleAlert()">&img alt="checkmark icon" data-bbox="413 428 428 443"/> ТРИВОГИ НЕМАЄ (Натисніть для імітації
API)</button>

        <div class="grid">
            <!-- Блок задання параметрів (Імітація сенсорів) -->
            <div class="card">
                <h3>Імітація сенсорів (Входи в ПЛК)</h3>
                <div class="slider-container">
                    <span>CO2 (ppm):</span>
                    <input type="range" id="co2" min="400" max="2000"
value="450" oninput="calculate()">
                    <span id="co2_val">450</span>
                </div>
                <div class="slider-container">
                    <span>Темп. (°C):</span>
                    <input type="range" id="temp" min="15" max="35"
value="20" oninput="calculate()">
                    <span id="temp_val">20</span>
                </div>
                <div class="slider-container">
                    <span>Пил PM2.5 (мкг):</span>
                    <input type="range" id="dust" min="0" max="60"
value="10" oninput="calculate()">
                    <span id="dust_val">10</span>
                </div>
                <div class="slider-container">
                    <span>Шум ВМП (дБ):</span>
                    <input type="range" id="noise" min="40" max="90"
value="50" oninput="calculate()">
                    <span id="noise_val">50</span>
                </div>
            </div>

            <!-- Блок візуалізації (Виходи з ПЛК) -->
            <div class="card">
                <h3>Візуалізація виконавчих механізмів</h3>

```

```

        <div class="fan-container">
            <!-- Малюнок вентилятора (SVG) -->
            <svg class="fan" id="fanSvg" viewBox="0 0 100 100">
                <circle cx="50" cy="50" r="10" fill="#777"/>
                <path d="M50 50 L50 5 A45 45 0 0 1 80 15 Z"
fill="#2196F3"/>
                <path d="M50 50 L95 50 A45 45 0 0 1 85 80 Z"
fill="#2196F3"/>
                <path d="M50 50 L50 95 A45 45 0 0 1 20 85 Z"
fill="#2196F3"/>
                <path d="M50 50 L5 50 A45 45 0 0 1 15 20 Z"
fill="#2196F3"/>
            </svg>
        </div>

        <div class="status-text" id="power-text">Потужність: 10%
(Санітарна)</div>
        <div class="damper" id="damper-text">ЗАСЛІНКИ:
ВІДКРИТИ</div>
    </div>
</div>

<script>
    let isAlert = false;

    // Авторизація
    function login() {
        if(document.getElementById("pass").value === "1234") {
            document.getElementById("login-screen").style.display =
"none";
            document.getElementById("dashboard").style.display =
"block";
            calculate();
        } else {
            document.getElementById("error-msg").style.display =
"block";
        }
    }

    // Кнопка повітряної тривоги (API)
    function toggleAlert() {
        let btn = document.getElementById("alertBtn");
        isAlert = !isAlert;

        // Імітація затримки API (Оновлення раз на 15 секунд)
        btn.innerText = "Опитування сервера API (чекайте)...";
        btn.style.background = "#ff9800";

        setTimeout(() => {
            if(isAlert) {
                btn.className = "alert-btn alert-active";
                btn.innerText = "⚠️ ПОВІТРЯНА ТРИВОГА (Превентивна
продувка увімкнена!)";
            } else {
                btn.className = "alert-btn";
                btn.innerText = "✅ ТРИВОГИ НЕМАЄ (Натисніть для
імітації API)";
                btn.style.background = "#4CAF50";
            }
            calculate();
        }, 15000);
    }

```

```

        }, 1000); // Для демо затримка 1 секунда, в реальності 15
сек.
    }

    // Головна математика (Точна копія коду SCL з TIA Portal)
    function calculate() {
        let co2 = parseFloat(document.getElementById("co2").value);
        let temp = parseFloat(document.getElementById("temp").value);
        let dust = parseFloat(document.getElementById("dust").value);
        let noise =
parseFloat(document.getElementById("noise").value);

        // Оновлення тексту на екрані
        document.getElementById("co2_val").innerText = co2;
        document.getElementById("temp_val").innerText = temp;
        document.getElementById("dust_val").innerText = dust;
        document.getElementById("noise_val").innerText = noise;

        let finalSpeed = 0;
        let damperOpen = true;

        // 1. ІЗОЛЯЦІЯ (Якщо критичний пил з вулиці)
        if(dust > 45) {
            finalSpeed = 0;
            damperOpen = false;
        } else {
            // 2. Нормалізація
            let normCO2 = Math.max(0, (co2 - 400) / (1500 - 400) *
100);
            let normTemp = Math.max(0, (temp - 20) / (30 - 20) *
100);
            let normDust = Math.max(0, (dust - 10) / (50 - 10) *
100);

            // 3. Зважена сума
            let baseSpeed = (0.5 * normCO2) + (0.3 * normTemp) + (0.2
* normDust);

            // 4. Тривога (мінімум 30%)
            if (isAlert && baseSpeed < 30) baseSpeed = 30;

            // 5. Акустичне демпфування (Штраф за шум)
            if (noise > 75 && co2 < 1500) {
                baseSpeed = baseSpeed - ((noise - 75) * 1.5);
            }

            // 6. Фінальні перевірки
            if (co2 > 1500 || temp > 30) {
                finalSpeed = 100; // Рятуюмо життя, ігноруємо шум
            } else if (baseSpeed < 10) {
                finalSpeed = 10; // Санітарний мінімум
            } else {
                finalSpeed = baseSpeed;
            }
        }

        // Обмеження 0-100
        finalSpeed = Math.min(100, Math.max(0, finalSpeed));

        // АНІМАЦІЯ ВЕНТИЛЯТОРА
        let fan = document.getElementById("fanSvg");
        let powerText = document.getElementById("power-text");
        let damperText = document.getElementById("damper-text");

```

```

        if(finalSpeed === 0) {
            fan.style.animationDuration = "0s";
            powerText.innerText = "ВЕНТИЛЯТОР ЗУПИНЕНО (Ізоляція)";
            powerText.style.color = "#f44336";
        } else {
            // 100% = 0.2 секунди на оберт (дуже швидко), 10% = 2
секунди (повільно)
            let animSpeed = 2.2 - (finalSpeed / 100 * 2);
            fan.style.animationDuration = animSpeed + "s";
            powerText.innerText = "Потужність ВМП: " +
finalSpeed.toFixed(1) + " %";

            if(finalSpeed === 100) powerText.style.color = "#f44336";
// Червоний
            else if(finalSpeed > 60) powerText.style.color =
"#ff9800"; // Жовтий
            else powerText.style.color = "#2196F3"; // Синій
        }

// Заслінки
if(damperOpen) {
    damperText.innerText = "ЗАСЛІНКИ: ВІДКРИТИ";
    damperText.className = "damper";
} else {
    damperText.innerText = "ЗАСЛІНКИ: ГЕРМЕТИЧНО ЗАКРИТИ";
    damperText.className = "damper closed";
}
    }
</script>
</body>
</html>

```

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи – «Розроблення автоматизованої системи керування вентиляцією в укриттях цивільного захисту»

Обсяг пояснювальної записки в аркушах – 55

Перелік креслень графічної частини:

КБР.02.151.001ПЗ ВЗ – Порівняльний аналіз аеродинамічних схем вентиляції укриттів. Вигляд загальний (1 аркуш)

КБР.02.151.002ПЗ ВЗ – Структурна ієрархічна схема автоматизованої системи. Вигляд загальний (1 аркуш)

КБР.02.151.003ПЗ ВЗ – Функціональна схема автоматизації (ФСА) об'єкта. Вигляд загальний (1 аркуш)

КБР.02.151.004ПЗ ВЗ – Програмна реалізація алгоритмів ПД-регулювання в ТІА Portal. Вигляд загальний (1 аркуш)

КБР.02.151.005ПЗ ВЗ – Інтерфейс (Дашборд) системи диспетчеризації (Web-HMI). Вигляд загальний (1 аркуш)

Дата закінчення бакалаврської роботи «9» червня 2026 р.

Студент _____ Салій В. О.