

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ. С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **«Проектування автоматизованої системи вентиляції
виробничих приміщень»**

Виконав: студент 4 курсу групи Акт-41

Спеціальності 151 «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва)

Притула Ярослав Григорович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Падюка Р.І.
(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ-2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНЕОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри _____

д.т.н., проф. А. М. Тригуба
« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Притула Ярослав Григорович

1. Тема роботи: «Проектування автоматизованої системи вентиляції виробничих приміщень»

Керівник роботи Падюка Роман Іванович, доцент
затверджені наказом по університету від 25.02.2025 року № 123/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 10.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: технічне завдання на проектування, вимоги до проектування систем вентиляції; методика проектування систем вентиляції виробничих приміщень.

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

Вступ.

1. Аналіз стану питання та автоматизації системи управління вентиляцією та мікрокліматом у виробничому приміщенні.

2. Аналіз об'єкту керування та вибір засобів

3. Розробка автоматизованої системи вентиляції виробничих приміщень

4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки та пропозиції.

Список використаної літератури.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): актуальність теми, мета і завдання роботи, аналіз предметної області, методів очищення повітря, структура вентиляційної системи, вибір обладнання, програмне забезпечення, алгоритм роботи системи, моделювання та макетування, висновки.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3	<i>Падюка Р.І., доцент кафедри ІТ</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри інженерної механіки</i>		

7. Дата видачі завдання

26 лютого 2025 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу</i>	<i>26.02.25-20.03.25</i>	
2	<i>Виконання другого розділу та аркушів ілюстраційного матеріалу до нього</i>	<i>21.03-15.04.25</i>	
3.	<i>Виконання третього розділу та аркушів ілюстраційного матеріалу до нього</i>	<i>16.04-30.04.25</i>	
4.	<i>Написання розділу «Охорона праці»</i>	<i>01-15.05.25</i>	
5.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та аркушів ілюстраційного матеріалу</i>	<i>15-30.05.25</i>	
6.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	<i>01 - 10.06.25</i>	

Студент _____ Притула Я.Г.
(підпис)Керівник роботи _____ Падюка Р.І.
(підпис)

УДК 004.9 : 631.1

Проектування автоматизованої системи вентиляції виробничих приміщень. Притула Я.Г. Кафедра ІТ – Дубляни, Львівський НУВМБ ім. С.З. Гжицького, 2025.

Кваліфікаційна робота: 58 с. текст. част., 30 рис., 3 табл., 12 арк. ілюстраційного матеріалу, 24 джерел.

У кваліфікаційній роботі розглядається аналіз та автоматизація систем вентиляції та контролю мікроклімату в промислових приміщеннях, наголошується на важливості підтримки оптимальних і допустимих мікрокліматичних параметрів, таких як температура, вологість і потік повітря, для забезпечення комфорту та продуктивності людини. Підкреслюється складність систем промислової вентиляції, які включають різні типи природної та механічної вентиляції, включаючи припливні, витяжні та комбіновані системи, адаптовані до конкретних експлуатаційних потреб. Інтеграція систем кондиціонування повітря з технологіями автоматизації, такими як датчики та контролери, має вирішальне значення для підтримки стабільних умов навколишнього середовища, особливо в середовищах із високим рівнем забруднювачів. Розробка автоматизованої системи з використанням мікроконтролерів, датчиків, реле та дисплеїв Arduino Nano дозволяє точно контролювати параметри якості повітря, забезпечуючи ефективну фільтрацію, регулювання температури та моніторинг системи, що підвищує безпеку, ефективність та екологічність у виробничих умовах.

Ключові слова: автоматизація, система вентиляції, мікроклімат, контролер, Arduino, виробниче середовище.

Keywords: automation, ventilation system, microclimate, controller, Arduino, industrial environment

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ТА МІКРОКЛІМАТОМ У ВИРОБНИЧОМУ ПРИМІЩЕНІ	8
1.1 Особливості вентиляції виробничих приміщень	9
1.2 Особливості системи кондиціонування виробничого приміщення	11
1.3 Проблематика систем очищення повітря у виробничому приміщенні	12
1.4 Аналіз існуючих методів очищення повітря	13
1.5 Основні задачі автоматизованої системи вентиляції.....	17
2. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ ТА ВИБІР ЗАСОБІВ	19
2.1. Принцип роботи припливної вентиляції	20
2.2. Структурна схема контуру регулювання системи вентиляції	22
2.3. Аналіз параметрів технологічного процесу вентиляції повітря.....	23
2.4. Вибір платформи для керування Arduino.....	24
2.5. Вибір середовища програмування.....	27
2.6. Вибір перетворюючих та виконавчих елементів системи.....	28
3. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ	33
3.1 Розробка макету підключення компонентів системи.	33
3.2 Алгоритм роботи автоматизованої системи вентиляції та мікроклімату .	35
3.3 Розробка програмного забезпечення для системи автоматичного контролю параметрів повітряного середовища	39
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	45
4.1. Структурно-функціональний аналіз виробничого процесу та розроблення моделі травмонебезпечних ситуацій	45
4.2. Вимоги техніки безпеки під час роботи обладнання та протипожежні заходи.....	47

4.3.	Розрахунок штучного заземлення.....	48
4.4.	Захист цивільного населення.....	49
	ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	51
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	52
	ДОДАТКИ.....	55

ВСТУП

У сучасних умовах інтенсивного розвитку промисловості та зростання вимог до умов праці особливе значення набуває створення сприятливого мікроклімату у виробничих приміщеннях. Якість повітря, температура, вологість, швидкість повітрообміну та рівень забруднення мають безпосередній вплив на здоров'я працівників, їх продуктивність, а також на безпеку технологічних процесів. У зв'язку з цим виникає необхідність у впровадженні ефективних систем вентиляції, здатних не лише забезпечувати постійний повітрообмін, а й адаптувати свою роботу до змінних умов експлуатації.

Традиційні вентиляційні системи, що функціонують за принципом фіксованих параметрів, нерідко не відповідають сучасним вимогам гнучкості, енергоефективності та автоматизації. Це зумовлює актуальність переходу до автоматизованих систем вентиляції, які поєднують апаратні засоби з програмним управлінням, використовуючи датчики, контролери, приводи та програмне забезпечення для підтримки оптимальних умов у режимі реального часу.

Автоматизація вентиляційних систем дозволяє не лише підвищити ефективність їх роботи, а й мінімізувати участь людини в регулюванні параметрів, зменшити витрати на енергоресурси, покращити адаптивність системи до змін у виробничому середовищі, а також забезпечити збір, зберігання та аналіз даних для подальшої оптимізації.

Метою даної кваліфікаційної роботи є проектування автоматизованої системи вентиляції виробничих приміщень, яка забезпечуватиме контроль та підтримку необхідних параметрів повітряного середовища відповідно до встановлених норм і стандартів. У процесі реалізації проєкту передбачається розробка схеми системи, вибір необхідного обладнання, розробка алгоритмів управління, створення програмного забезпечення та моделювання роботи системи в заданих умовах.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ТА МІКРОКЛІМАТОМ У ВИРОБНИЧОМУ ПРИМІЩЕНІ

Мікроклімат промислових об'єктів визначається факторами, що діють на організм людини: вологістю, температурою і швидкістю повітряного потоку. Тому наведені вище характеристики зазвичай визначають як стандартизовані параметри мікроклімату. Допустимі і оптимальні значення температури, вологості і швидкості повітряного потоку на робочому місці залежать від виду діяльності на об'єкті, інтенсивності роботи, пори року і кількості надлишкового тепла в приміщенні.

Оптимальні мікрокліматичні умови - це сукупність мікрокліматичних параметрів, які при систематичній і тривалій дії цих умов забезпечують збереження теплового стану організму людини в нормі без активації механізмів терморегуляції. Вони забезпечують комфортні теплові відчуття та створюють передумови для високого рівня продуктивності.

Допустимі мікрокліматичні умови - це сукупність мікрокліматичних параметрів, які при систематичній і тривалій дії в цих умовах призводять до швидко стихаючих і нормалізованих змін теплового стану організму людини, що супроводжується напруженням механізмів терморегуляції в рамках фізіологічної адаптації, що хоч і не завдає шкоди чи погіршення здоров'я, але може призвести до дискомфортних теплових відчуттів, погіршення самопочуття та скорочення роботи. ефективність [1].

Розробка автоматизованих систем вентиляції та кондиціювання повітря повинна повністю відповідати всім необхідним умовам для нормальної роботи персоналу та обладнання. При розрахунку системи вентиляції виробничого приміщення необхідно враховувати оптимальні умови роботи, класифікацію приміщення та його характеристики. Тому при розрахунку враховуються такі фактори, як температура повітря, швидкість повітрообміну та ін.

1.1 Особливості вентиляції виробничих приміщень

Системи вентиляції та кондиціювання повітря у виробничих приміщеннях - це складний процес, заснований на роботі цілого комплексу спеціалізованого обладнання та пристроїв, призначених для створення якісного повітрообміну в приміщенні.

Вентиляційна система цеху є невід'ємною частиною конструкції будівлі та її технологічного обладнання, і її роль виходить далеко за рамки звичайного приміщення. Унікальність вентиляції промислових об'єктів полягає в тому, що вона являє собою цілий комплекс інженерних і технологічних досліджень і розробок систем, покликаних забезпечити безперебійну фільтрацію шкідливих і токсичних компонентів повітря і забезпечити якісну циркуляцію без порушення технологічного процесу.

Вентиляція промислових цехів - це складна система взаємопов'язаних процесів і обладнання, призначена для створення якісного повітрообміну в промислових приміщеннях.

Роль систем вентиляції виходить далеко за рамки аналогічних систем в будь-якому іншому приміщенні. Основним моментом промислової вентиляції є те, що вона являє собою цілий комплекс інженерних і технологічних досліджень і розробок систем, покликаних забезпечити безперебійну фільтрацію і своєчасне видалення з повітря шкідливих і токсичних домішок, забезпечити нормальну циркуляцію повітря без порушення технологічного процесу і створити комфортні умови для роботи.

Системи вентиляції промислових об'єктів за призначенням можна розділити на такі види:

1) За режимом повітряного потоку вентиляцію цеху можна розділити на:

- природна вентиляція;
- штучна вентиляція;

При природній вентиляції повітрообмін здійснюється за рахунок різниці температур і тиску повітряного потоку, без використання вентиляційного

обладнання. Природна вентиляція далі поділяється на організовану (провітрювання) і неорганізовану (витяжку). Для цього використовуються спеціальні конструкції (наприклад, заслінки для регулювання величини та інтенсивності повітряного потоку) [2].

Механічна вентиляція є найпоширенішою системою на промислових об'єктах. У цьому типі вентиляції використовуються спеціальне обладнання для попередньої обробки припливного повітря (охолодження, нагрівання, зволоження) і фільтрації забрудненого повітря перед надходженням у приміщення та при його виведенні з приміщення.

2) За режимом роботи системи вентиляції можна розділити на такі типи:

- припливна вентиляція;
- витяжна вентиляція;
- припливно-витяжна вентиляція;

Системи припливної вентиляції використовуються для подачі чистого повітря в приміщення. Після того, як повітря потрапляє в приміщення, воно проходить певні етапи обробки, такі як: видалення пилу, нагрівання або охолодження, зволоження тощо.

Витяжна вентиляція призначена для видалення забрудненого, вологого, загазованого, запиленого повітря та недоброякісного тепла.

Системи припливно-витяжної вентиляції поєднують в собі функції двох вищевказаних систем. При експлуатації такої системи необхідно враховувати кількість повітря, що надходить в приміщення. має дорівнювати кількості видаленого повітря. Коли ці дві функції не збалансовані, свіжого повітря буде недостатньо або забагато забрудненого.

3) Вентиляцію цеху, як інженерно-технічне завдання, за способом організації повітрообміну можна розділити на два види:

- Місцева вентиляція;
- Повнообмінна вентиляція;

Місцева вентиляція означає подачу повітря в певну зону, або подачу чистого холодного повітря (припливне повітря), або негайне видалення забрудненого повітря з місця його утворення (витяжне повітря).

Місцева витяжна вентиляція використовується для запобігання поширенню диму, тепла, газу та інших речовин безпосередньо від їх джерела (тобто технологічного обладнання). Такий вид вентиляції дуже ефективний в експлуатації, тому що запобігає поширенню шкідливих газів і високих температур по приміщенню. До місцевої витяжної вентиляції відносяться витяжні шафи, бокові витяжні вентилятори та місцеві укриття у вигляді шаф і кришки [3].

Місцева припливна вентиляція подає повітря з відповідною температурою, вологістю і певною швидкістю для створення комфортних умов праці працівників. Місцева припливна вентиляція включає повітряні душі, повітряні завіси або гарячі повітряні завіси.

На відміну від місцевої вентиляції, повнообмінна вентиляція спрямована на вентиляцію всього виробничого приміщення. Цей вид вентиляції підрозділяється на припливно-витяжну і припливно-витяжну. Загальнообмінна витяжна вентиляція рівномірно видаляє повітря в студії, а припливна подає в приміщення відфільтроване, нагріте або охолоджене повітря і рівномірно розподіляє його по кімнаті.

Взимку виробничі приміщення опалюють загальнообмінними системами припливної вентиляції.

1.2 Особливості системи кондиціонування виробничого приміщення

Іноді використання одних тільки систем вентиляції недостатньо для забезпечення нормального функціонування приміщення. Для нормальної роботи технологічного обладнання мікроклімат в приміщенні повинен відповідати встановленим нормам. У цьому випадку, крім системи вентиляції, необхідна експлуатація системи кондиціонування, оснащеної електронікою для точної роботи.

Система кондиціювання повітря складається з комплексу технічних засобів, які називаються системою кондиціонування повітря (СКП). Система розрахована на безперебійну роботу протягом тривалого часу, забезпечуючи параметри чистоти повітря у виробничому цеху та підтримуючи необхідну температуру та вологість.

Автоматизована СКП регулює і контролює температуру повітря, вологість і швидкість вітру, незалежно від того, наскільки сильно коливаються параметри мікроклімату в приміщенні. Основне обладнання для підготовки та подачі повітря в системі кондиціонування інтегровано (зібрано в одному корпусі) в пристрій, який називається кондиціонером. У багатьох випадках всі технічні засоби кондиціонування розташовуються в один або два модулі, завдяки чому поняття «СКП» і «кондиціонер» є зрозумілими і однозначними.

До складу СКП входять технічні засоби збору, підготовки (тобто забезпечення необхідним обладнанням (теплообмінники, зволожувачі, осушувачі та фільтри), переміщення (вентилятори і розподільники), а також засоби охолодження та обігріву, автоматизації, дистанційного керування та контролю.

1.3 Проблематика систем очищення повітря у виробничому приміщенні

Очищення повітря на текстильних фабриках є важливою проблемою, оскільки виробничий процес утворює велику кількість пилу, волокон та інших забруднюючих речовин, які можуть негативно вплинути на здоров'я працівників і якість продукції[5].

Однією з головних проблем є велика кількість пилу та волокон, які викидаються в атмосферу, що може бути шкідливим для здоров'я людини. Крім того, текстильні фабрики можуть використовувати різноманітні хімічні речовини, які також можуть бути шкідливими для здоров'я.

Для боротьби з цим можна використовувати системи примусової вентиляції з фільтрами для очищення повітря та видалення пилу та інших забруднюючих речовин. Для видалення хімічних речовин з повітря також можна використовувати спеціальні системи очищення повітря[6].

Також важливо переконатися, що системи вентиляції та очищення повітря належним чином обслуговуються та обслуговуються, щоб гарантувати їх належне функціонування та ефективне очищення повітря.

1.4 Аналіз існуючих методів очищення повітря

У виробничих процесах різних галузей промисловості викидається не тільки велика кількість пилу, а й інших газоподібних і пароподібних домішок, які зазвичай мають дуже високі температури при викиді в атмосферу [7]. В основному існує кілька методів видалення цих домішок: абсорбція, тобто промивання викидів розчинниками домішок. Суть цього методу полягає в розкладанні забрудненої повітряної суміші на складові й одночасному видаленні шкідливих речовин із суміші через абсорбер (званий абсорбентом) з утворенням розчину. Це робиться відповідно до мембранної теорії, яка стверджує, що коли рідкі та газоподібні речовини вступають у контакт, на межі розділу двох фаз утворюються два шари плівки. Завдяки дифузії захоплені з газоподібної суміші речовини спочатку проникають у газ, потім у плівку рідини і, нарешті, у внутрішній шар абсорбенту. Прикладами обладнання, що використовується в цьому випадку, є різні модифіковані скрубери.

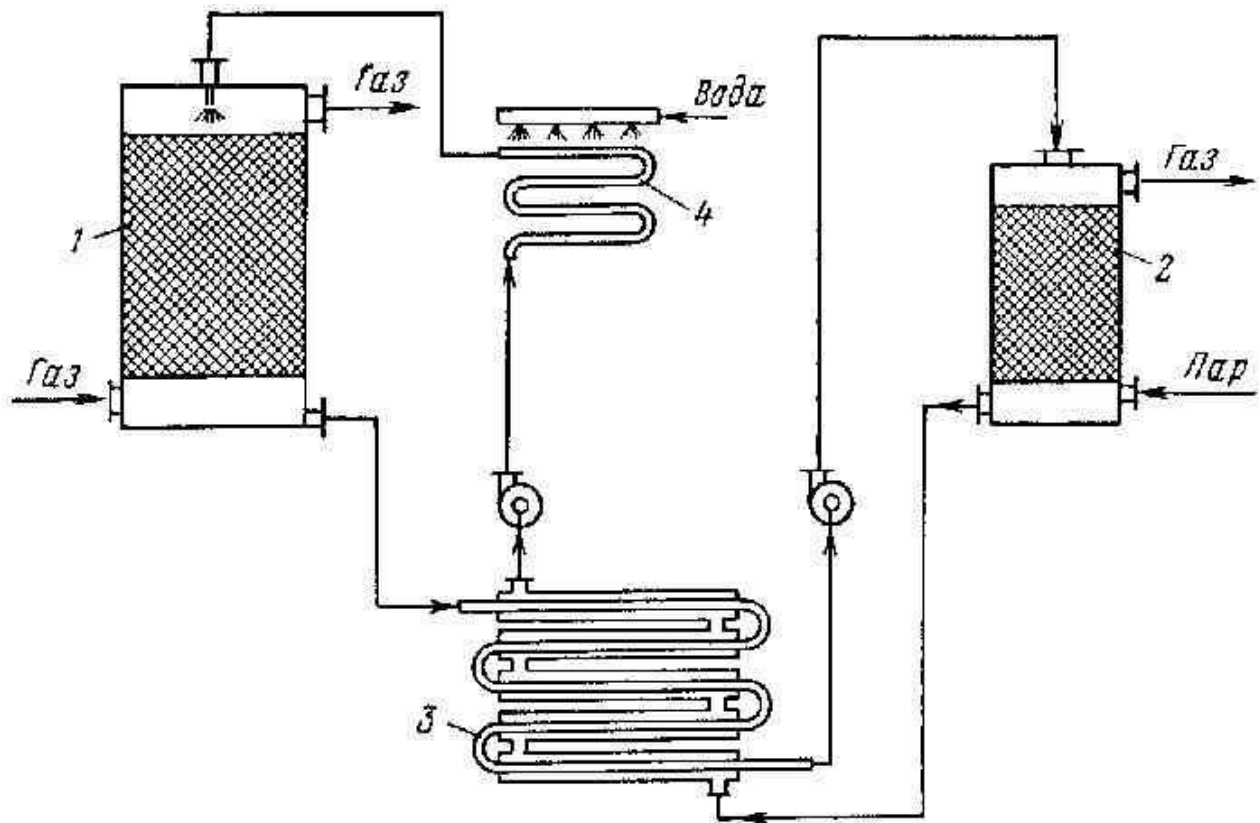


Рисунок 1.1 - Приклад абсорбційної установки для очищення повітря 1 – абсорбер; 2 – десорбер; 3 – теплообмінник; 4 – холодильник.

Адсорбційний метод - використання твердих діючих речовин для адсорбції газоподібних домішок. Суть цього методу полягає в адсорбції окремих компонентів газової суміші на її поверхні з урахуванням фізичних властивостей певних речовин. Найпоширенішим адсорбуючим матеріалом є активоване вугілля. Використовується для очищення органічних речовин, видалення запахів і газоподібних компонентів. Крім того, як адсорбенти можуть бути використані також різні оксиди, які відрізняються від вугілля більшою селективністю. Використовуваний розчин здатний шляхом хімічних реакцій перетворювати шкідливі домішки в повітрі в нешкідливі речовини [8].

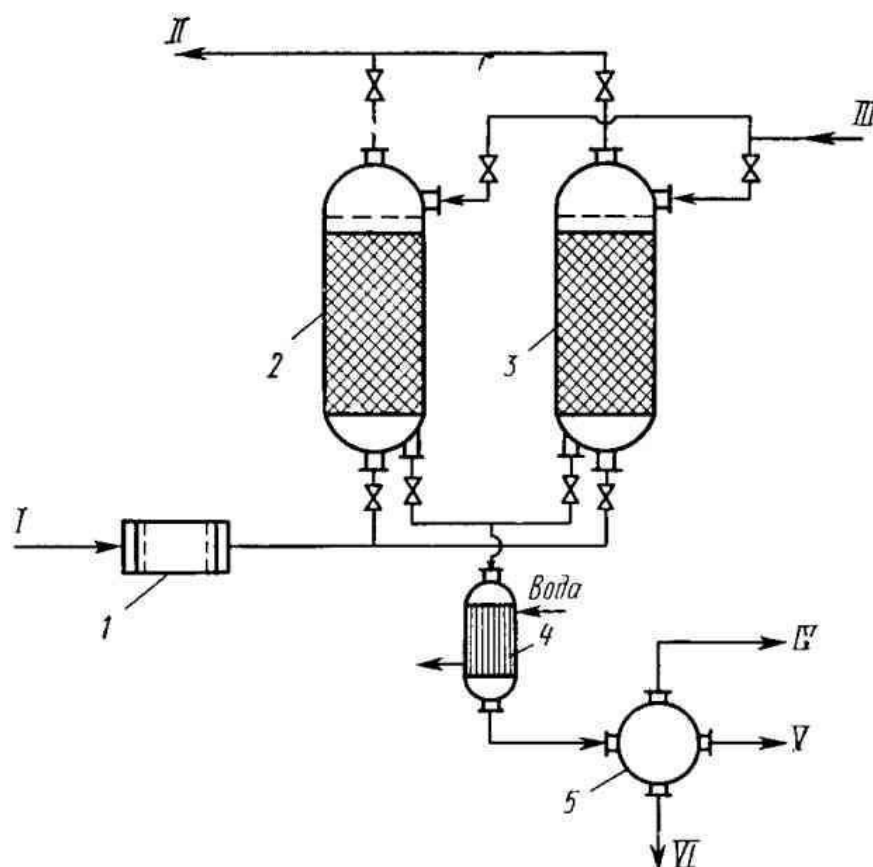


Рисунок 1.2 - Приклад адсорбційної установки 1 – фільтр; 2, 3 – адсорбери; 4 – конденсатор; 5 – сепаратор.

Хімічна адсорбція – очищення викидів за допомогою розчинів реагентів, які хімічно з'єднуються з домішками. Суть цього методу полягає в поглинанні твердими або рідкими абсорбентами шкідливих домішок, які з часом утворюють слаболеткі або малорозчинні сполуки. Більшість реакцій, що відбуваються при цьому, є екзотермічними. Це означає, що вони оборотні, і поглинені шкідливі речовини знову виділяються при підвищенні температури.

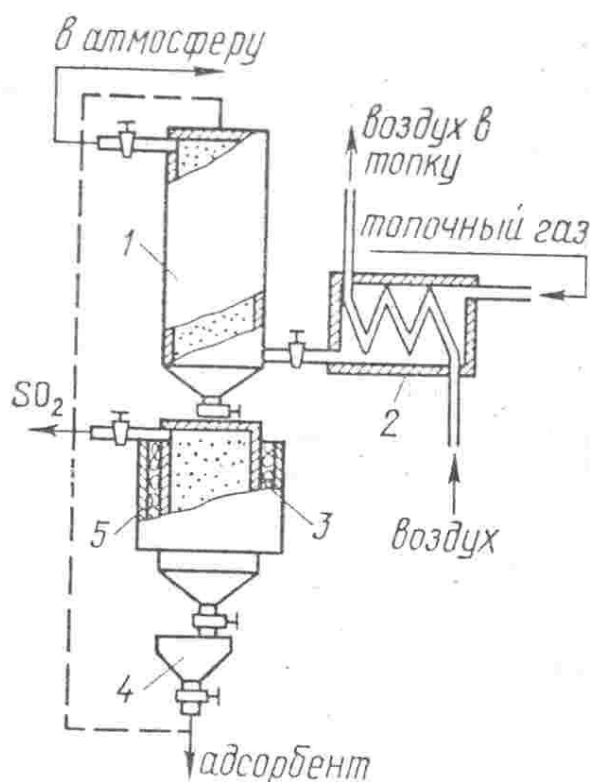


Рисунок 1.3 Приклад хемосорбційної установки фториду водню
вапняком

1 - адсорбер; 2 - теплообмінник; 3 - підігрівач; 4 - бункер; 5 – десорбер

Каталітичний метод використовується для перетворення токсичних речовин у вихлопних газах у речовини, менш шкідливі або нешкідливі для навколишнього середовища. Це досягається шляхом додавання в систему додаткових каталітичних речовин. Тобто він заснований на хімічній взаємодії між каталізатором і регенераційною сполукою, утворюючи проміжні продукти та регенеруючи каталізатор.

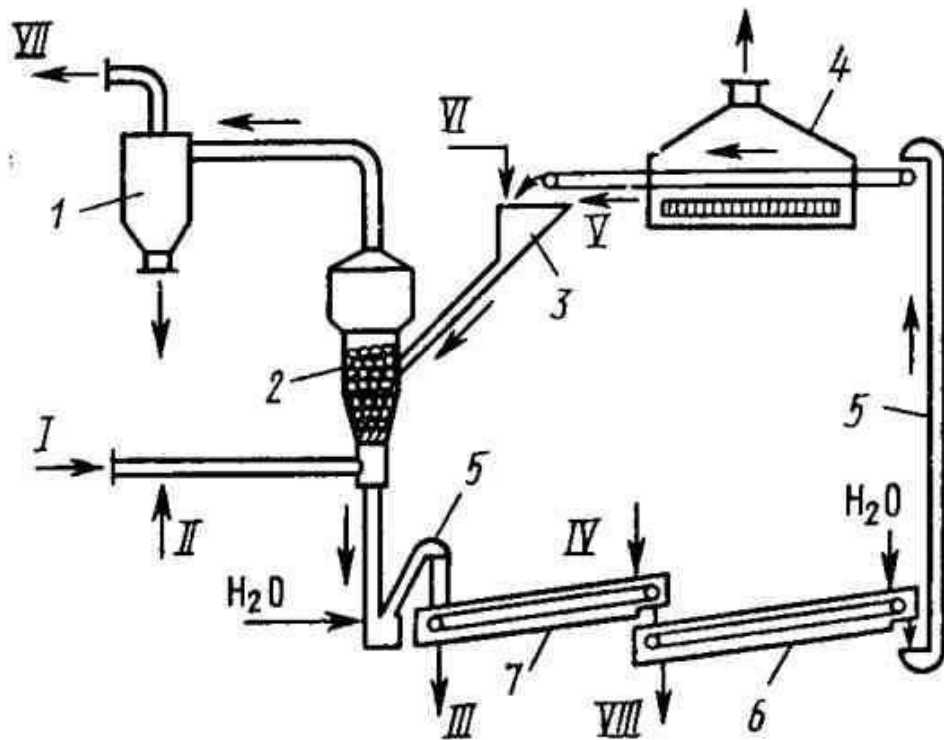


Рисунок 1.4 Приклад каталітичного очищення газу від сірководню у зваженому шарі активованого вугілля 1 – циклон; 2 – реактор з підвішеним шаром; 3 – бункер з живильником; 4 – сушильна камера; 5 – елеватор; 6 – реактор промивки каталізатора; 7 – реактор екстракції сірки.

1.5 Основні задачі автоматизованої системи вентиляції

Системи автоматичного керування вентиляцією вирішують наступні завдання [6]:

- Здійснює контроль і моніторинг параметрів системи: сигнали про помилки, небезпечні режими та можливі несподівані ситуації. Сучасні контролери працюють в режимі реального часу, дозволяючи оператору контролювати всю систему і задавати необхідні робочі параметри;

- Захищає клапани та водяні контури від замерзання. За допомогою системи термостата температура нагрівача не опускається нижче критичного значення;

- Керує робочим процесом шляхом перемикання режиму роботи системи.

Це необхідно для правильної роботи автоматичної системи відповідно до змін навантаження на сайт. Програма автоматичного управління вентиляцією використовує інформацію від датчиків, щоб автоматично використовувати необхідне обладнання, змінювати швидкість двигунів вентиляторів або вимикати двигуни вентиляторів, запускати або вимикати обладнання;

- За допомогою моніторингу робота конкретного механізму або процесу індивідуально аналізується відповідно до заданих параметрів. Блок управління отримує інформацію від датчиків і вивчає її за допомогою обчислювальної потужності. Загальна продуктивність регулюється сигналами від приводу або системою старт-стоп;

- Забезпечує механізми блокування в екстрених ситуаціях;

РОЗДІЛ 2.

АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ ТА ВИБІР ЗАСОБІВ

Перед тим, як повітря потрапляє в приміщення, воно проходить ряд обробок. Пройшовши через вентиляційні решітки, повітря проходить через фільтри різного ступеня, які видаляють забруднювачі та сторонні домішки. Ці фільтри видаляють з повітря пил, бруд, шкідливі гази та гази шкідливих виробничих процесів. Крім того, з повітря видаляються вихлопи автомобіля та інші запахи. Це означає, що система вентиляції видаляє з повітря шкідливі речовини та захищає ваше здоров'я від інфекцій, бактерій, шкідливого впливу технологічних відходів і газів. Як і звичайні системи кондиціонування повітря, припливна вентиляція може обробляти повітря практично будь-яким способом[9] і може регулювати кількість частинок і температуру повітря.

Для підігріву повітря в системах припливної вентиляції використовуються припливні повітрянагрівачі з регульованою потужністю. Потужність, необхідна для нагріву повітря, розраховується автоматично на основі зовнішніх умов навколишнього середовища та кількості повітря, що надходить[10].

Функціональна схема системи припливної вентиляції містить такі елементи:

1. Вентилятор - для створення повітряного потоку в приміщенні.
2. Фільтр - для видалення пилу, бруду та інших забруднюючих речовин з повітря.
3. Клапан - для регулювання потоку повітря.
4. Термодатчик - для вимірювання температури повітря в приміщенні.
5. Датчик пилу - використовується для вимірювання часток пилу в повітрі приміщень.
6. Мікроконтролер – використовується для керування роботою вентиляційної системи за даними, отриманими від датчика [11].

Ці компоненти взаємодіють один з одним, забезпечуючи ефективну та

економічну роботу вентиляційної системи.

2.1 Принцип роботи припливної вентиляції

Принцип роботи припливної вентиляції полягає у виведенні повітря з вулиці в приміщення за допомогою примусового повітря від опалювального приладу.

Зазвичай в системах припливної вентиляції використовується пристрій з вентилятором. Вентилятор створює тиск, необхідний для примусової подачі повітря, і подає оброблене повітря всередину будівлі.

При використанні примусової подачі повітря пристрій створює надлишковий тиск, який сприяє виведенню надлишкового, вже використаного повітря через двері та вікна.

У статті розглядається система очищення повітря за допомогою припливної вентиляції [12]. Принцип роботи системи автоматичного керування приміщенням припливного повітря (рисунок 2.1) полягає в наступному: вибирається спосіб керування перемикачем SA1 (положення «ручний» або «автоматичний»), а також вибирається режим роботи перемикача SA2 («зима», «літо»). Ручне місцеве керування двигуном припливного вентилятора M1 налаштовується наступним чином:

через кнопки SB1 («Стоп») і SB2 («Пуск») магнітного пускача KM;

через привод M2 впускного клапана зовнішнього повітря;

за допомогою кнопок SB5 «Відкрити» і SB5 «Закрити» проміжного реле і власного кінцевого вимикача;

через привід M3 клапана охолоджуючої рідини;

Управління кнопками SB7 «Відкрити» і SB3 «Закрити» здійснюється через проміжне реле K5 з власним кінцевим вимикачем, а також виконавчий механізм M4.

Кнопки переднього перепускного клапана SB9, SB10.

Про відкриття та закриття двигуна вентилятора M1 сигналізує світловий індикатор HL1 «Вентилятор включений» на панелі автоматики.

Ця система припливної вентиляції відрізняється від традиційних систем кондиціонування тим, що вона не тільки охолоджує або нагріває повітря, але й забирає чисте, насичене киснем повітря з вулиці, щоб принести більше повітря в приміщення, чого не може зробити традиційний кондиціонер. Система трохи дорожча та складніша в установці, ніж стандартна система, але не варто жертвувати якістю повітря заради якості. Вдихання неякісного повітря надзвичайно шкідливе для організму людини та робочого середовища.

2.2 Структурна схема контуру регулювання системи вентиляції

У даній кваліфікаційній роботі нами було розроблено структурну схему для таких параметрів системи вентиляції, як тиск::

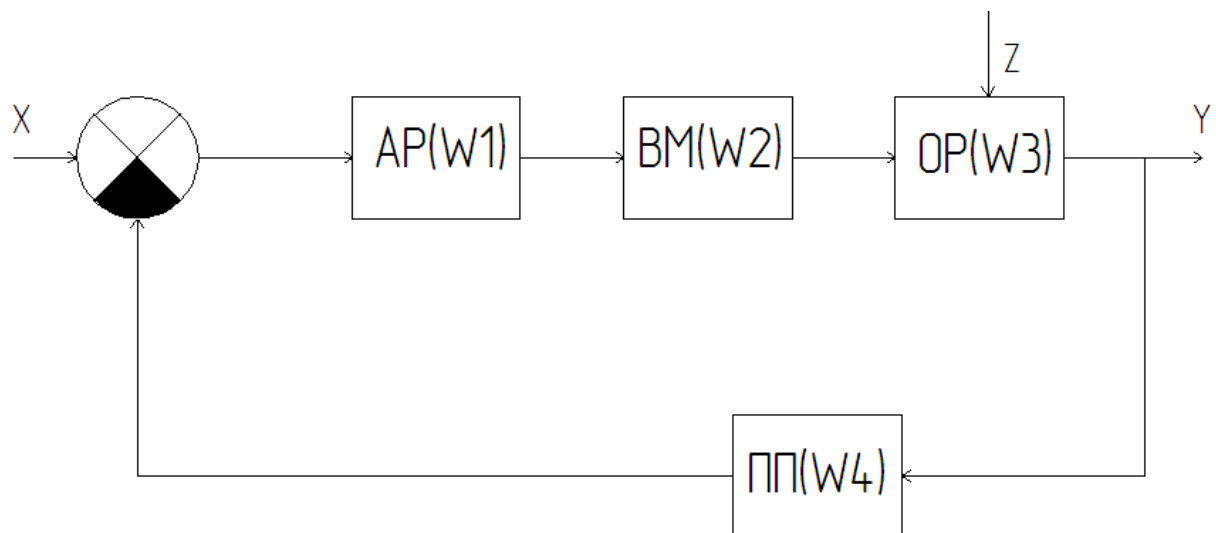


Рисунок 2.2 – Структурна схема тиску повітря після фільтру

АР – автоматичний регулятор; ВМ – виконавчий механізм; ОР – об’єкт регулювання; ПП – первинний перетворювач; X – завдання; Z – збурення; Y – вихідний керуючий сигнал.

Запиленість повітря в системі припливної автоматики регулюється одноконтурною системою регулювання. Система досягає контролю, змінюючи потік повітря, що надходить у фільтр. Контролер приймає закон ПІД-

регулювання.

Оскільки в більшості випадків статичні помилки неприпустимі. Принцип роботи АСР полягає в наступному: при зміні температури об'єкта контролю (фільтра) первинний перетворювач (датчик тиску) змінює значення сигналу на своєму виході (в межах 4-20 мА). Далі сигнал надходить на автоматичний контролер (заслінку), який обробляє отримані значення і на основі своєї обробки отриманих даних посиляє уніфікований стандартизований керуючий сигнал 4-20 мА на виконавчий механізм (електропривод), який безпосередньо впливає на об'єкт керування [13].

ПІД-регулятор здійснює стабільне статичне керування продуктивністю компресора та з високою точністю підтримує тиск на заданому рівні.

2.3 Аналіз параметрів технологічного процесу вентиляції повітря.

Відповідно до ДСТУ 2604-94 очищення повітря має підтримуватися на рівні, який забезпечує нормальні умови праці працівників без загрози здоров'ю [14]. У таблиці 2.1 наведені параметри припливної вентиляції.

Таблиця 2.1 – Технологічна карта процесу

Параметр фільтру	Одиниця вимірювання	Номінальне значення	Допустиме відхилення
1	2	3	4
Продуктивність по очищенню газу	м3/год	138000	3-3,8%
Гідравлічний опір фільтра	Па	1800	1-1,5%
Температура газу, що очищається: 1. на вході в фільтр 2. на виході з фільтру	°C	1. Не більше 200 °C 2. °C Вище температури кислотної точки роси на 15-20 °C	±5°C

Продовження табл. 2.1

1	2	3	4
Тиск стиснутого повітря на регенерацію і управління вимикаючимися заслінками	мПа	0,5-0,6	0,0001%

2.4 Вибір платформи для керування Arduino

З Arduino можна реалізувати практично будь-яку ідею. Це може бути система автоматичного керування поливом, веб-сервер або навіть автопілот для багатороторного літака.

Arduino — це платформа розробки на основі мікроконтролерів, яка використовує просту та зрозумілу мову програмування в інтегрованому середовищі Arduino IDE.

Додавши датчики, виконавчі механізми, динаміки, модулі (плати розширення) та інші мікросхеми, можна використовувати Arduino як «мозок» будь-якої системи управління. Важко перелічити всі можливості платформи Arduino, оскільки можливості обмежені лише вашою уявою[15].

Для створення свого проекту керування системою очищення повітря я вибрав конструкторську плату Arduino Nano.

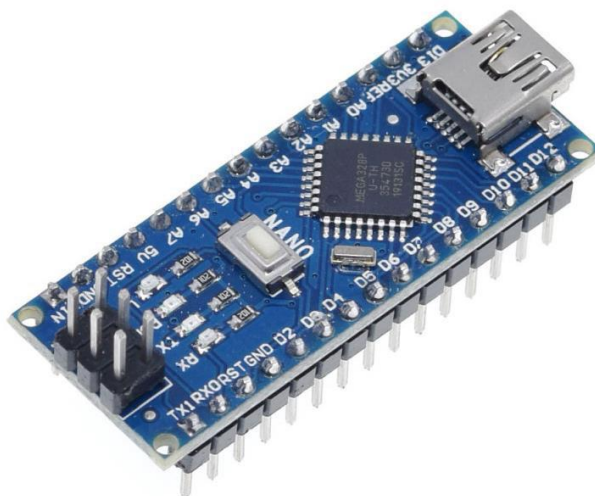


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд Arduino Nano

Arduino Nano — це повнофункціональний мікропристрій на основі мікроконтролера ATmega328, який можна використовувати з макетною платою. За функціональністю пристрій схожий на Arduino Duemilanove, за винятком розміру, відсутності роз'єму живлення та іншого типу (Mini-B) кабелю USB. Arduino Nano розроблено та виготовлено Gravitech [16].

Arduino Nano використовує мікроконтролер ATmega328, розроблений Atmel (нині Microchip Technology). Мікроконтролер ATmega328 є одним з найпопулярніших мікроконтролерів на платформі Arduino і має широкий спектр застосування в галузі розробки електроніки.



Рисунок 3.2 - Контролер ATmega328

Архітектура: ATmega328 використовує 8-розрядну архітектуру RISC (Комп'ютер зі скороченим набором інструкцій). Він має швидкість 1 MIPS за

такт при 16 МГц.

Пам'ять: мікроконтролер має 32 Кб вбудованої флеш-пам'яті, частина якої використовується для зберігання програмного коду. Він також має 2 КБ статичної оперативної пам'яті (SRAM) для зберігання змінних і даних під час виконання програми.

Порти введення/виведення: ATmega328 має 23 порти цифрового введення/виведення, які можна налаштувати як вхід або вихід за допомогою програмного коду. Шість із цих портів підтримують генерацію сигналу ШІМ, який можна використовувати для керування інтенсивністю світла, швидкістю двигуна та іншими параметрами.

Аналогові вхідні порти: на ATmega328P є 6 аналогових вхідних портів, які можна використовувати для читання аналогових значень із датчиків або інших аналогових джерел. Вхідний діапазон від 0 до 5 вольт.

Інтерфейси: мікроконтролер має такі вбудовані інтерфейси, як USART (універсальний синхронний/асинхронний приймач/передавач), I2C (інтегральна схема) і SPI (послідовний периферійний інтерфейс). Ці інтерфейси дозволяють підключати мікроконтролер до різних зовнішніх пристроїв, таких як датчики, дисплеї, пам'ять та інші периферійні пристрої.

ШІМ-генератор: ATmega328 має вбудований шестиканальний ШІМ-генератор сигналу. Це дозволяє регулювати швидкість двигунів, яскравість світлодіодів і контролювати інші параметри, які потребують широтно-імпульсної модуляції.

Таймери та лічильники: ATmega328 має вбудовані таймери та лічильники, які можна використовувати для реалізації різних функцій, таких як вимірювання часу, створення переривань, обробка звуку тощо.

Джерело живлення: мікроконтролер ATmega328 може працювати при напрузі живлення від 7 до 12 вольт.

Таким чином, ATmega328 — це потужний мікроконтролер із багатьма функціями, який можна використовувати для створення різноманітних електронних пристроїв і систем. Його можна поєднувати з різноманітними

пристроями та модулями для досягнення різноманітних функцій. Наприклад:

- Кварцові резонатори або кристали для забезпечення точної генерації сигналу;
- Різні види датчиків, таких як температура, вологість, освітленість, рух і т.д.;
- Різні типи інтерфейсів зв'язку, такі як UART, SPI, I2C, USB;
- Різні типи контактів, такі як світлодіодні індикатори, дисплеї, реле, двигуни тощо.

Залежно від поставленого завдання мікроконтролер ATmega328 можна поєднувати з різними пристроями та модулями для досягнення необхідної функціональності. У моєму випадку це поєднується з платформою Arduino Nano, що дозволяє швидко розпочати роботу над прототипуванням і реалізувати свої ідеї в реальному світі. ATmega328 це високопродуктивний, енергозберігаючий і простий у використанні мікроконтролер, тому він користується широкою популярністю серед розробників електроніки в усьому світі.

2.5 Вибір середовища програмування

Arduino IDE (Integrated Development Environment) — це офіційне програмне забезпечення для розробки для платформи Arduino. Arduino IDE забезпечує зручне середовище для написання коду, завантаження коду на плату розробки Arduino та взаємодії з платою розробки для керування різними периферійними пристроями. Він побудований на мові програмування C/C++ і використовує спеціальну бібліотеку для спрощення взаємодії з апаратними компонентами плати розробки Arduino [17].



Рисунок 3.3 – Інтерфейс програми Arduino IDE V 1.8.16

2.7 Вибір перетворюючих та виконавчих елементів системи

Вибираючи компонент для перетворення та виконання для Arduino, слід враховувати багато факторів, таких як функціональність, сумісність з Arduino, інтерфейси введення та виведення, напруга живлення, енергоспоживання, розмір та інші технічні характеристики. Тому вибір конкретного компонента залежить від мого проекту та потреб.

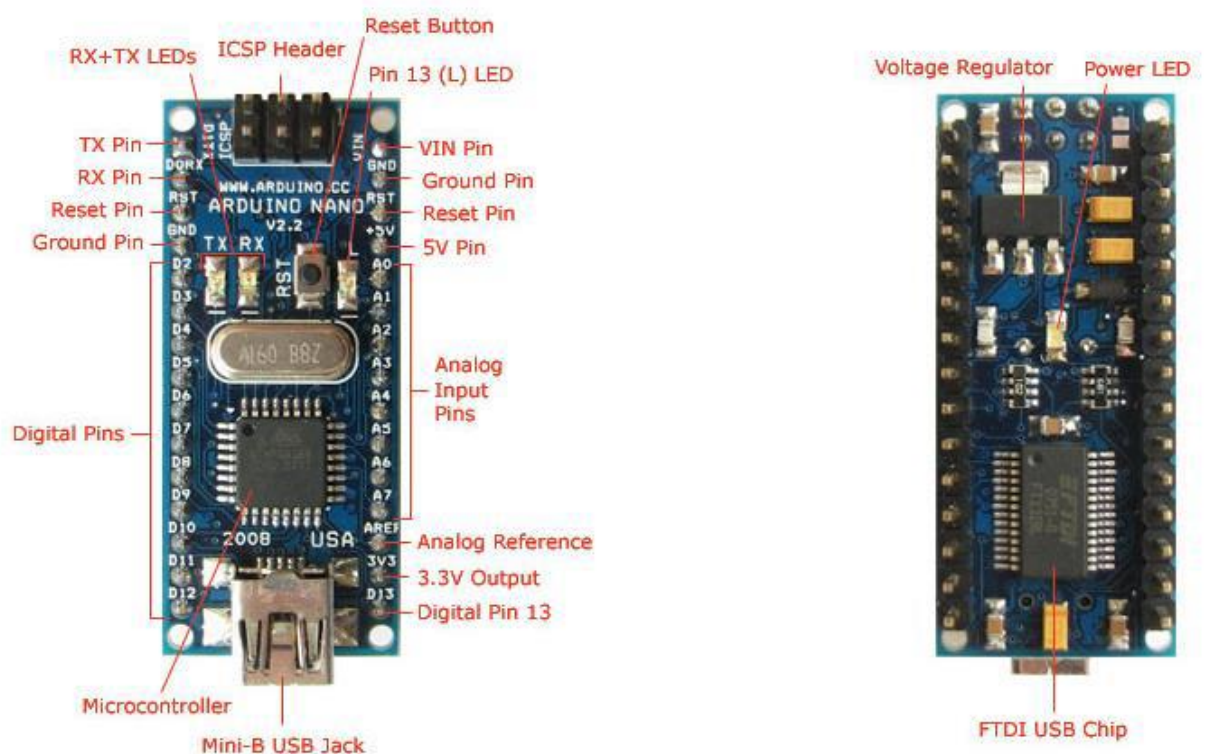


Рисунок 3.4 - Входи/виходи контролера Arduino Nano.

Arduino Nano схожий на Arduino Uno і має однакові цифрові входи та

виходи. Плата невелика і компактна, має низьке енергоспоживання. Давайте розглянемо його основні особливості:

Табл. 2.2 Основні характеристики Arduino uno

Мікроконтролер	Atmel ATmega328
Робоча напруга (логічний рівень)	5В
Напруга живлення (рекомендована)	7-12В
Напруга живлення (гранична)	6-20В
Цифрові входи/виходи	14 (з яких 6 можуть використовуватися як ШИМ-виходи)
Аналогові входи	8
Максимальний струм одного висновку	0 мА
Flash-пам'ять	32 КБ з яких 2 КБ використовуються завантажувачем
SRAM	2 КБ
EEPROM	1 КБ
Тактова частота	16 МГц
Розміри плати	1.85 см х 4.3 см

Вибір дисплею. OLED-дисплеї є хорошим вибором для будь-якого дизайну, де важливі розмір і зовнішній вигляд. Висококонтрастний дисплей добре читається навіть при дуже яскравому освітленні. Прості підключення та загальний інтерфейс I2C дозволяють підключати кілька дисплеїв до будь-якого мікроконтролера чи мікрокомп'ютера. Адресу можна вибрати, припаявши перемичку [18].

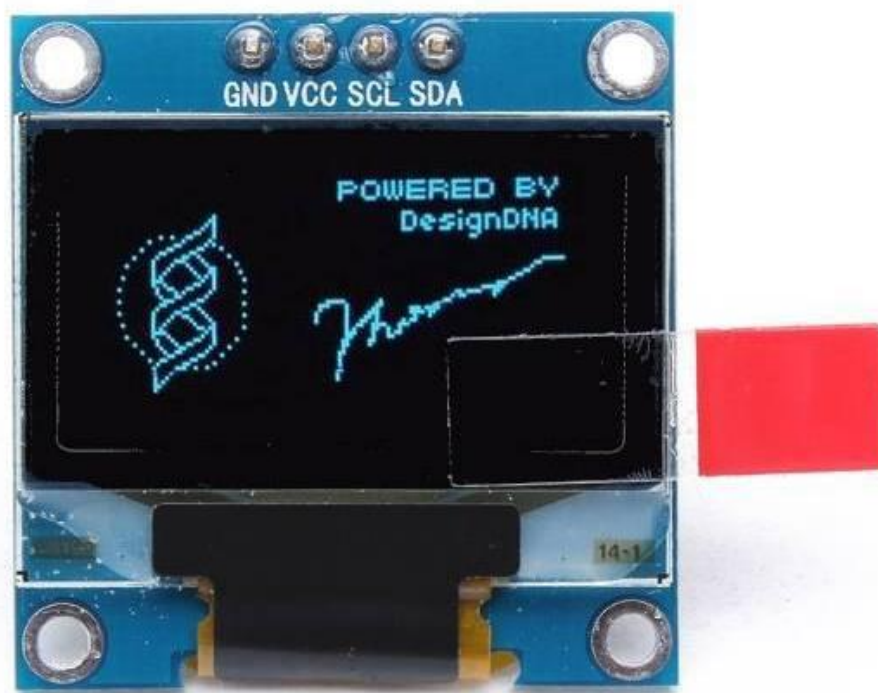


Рисунок 3.5 - OLED дисплей 0.96" I2C

Вибір датчика температури. Клон датчика з абсолютно такими ж параметрами: Діапазон температур від -55 до $+125$ °C. Цифровий код, який зчитується з приладу, є прямим кодом виміряного значення температури без додаткового перетворення. Програмована користувачем роздільна здатність вбудованого АЦП може бути змінена між 9 і 12 бітами вихідного коду. Абсолютна похибка перерахунку становить менше $0,5$ °C в контрольованому діапазоні температур від -10 до $+85$ °C. Максимальний час для повного 12-бітного перетворення становить ~ 750 мс (12-бітна роздільна здатність). Для підключення потрібен резистор $4,7$ кОм (див. друге зображення).

Внутрішня енергонезалежна пам'ять уставки температури дозволяє записувати довільні значення верхньої та нижньої меж уставки. Крім того, мікросхема містить вбудований логічний механізм для переважної сигналізації в лінії про перевищення температури одного з обраних порогів. Однопровідний вузол інтерфейсу пристрою розроблений таким чином, що теоретично необмежена кількість таких пристроїв може бути адресована по однопровідній лінії.

Термометр має власний 64-розрядний реєстраційний номер (код групи 028N) і працює без зовнішнього джерела живлення, покладаючись виключно на паразитне живлення від однопровідної лінії. Пристрій живиться через незалежний зовнішній вихід з діапазоном напруги від 3,0 В до 5,5 В.[19]

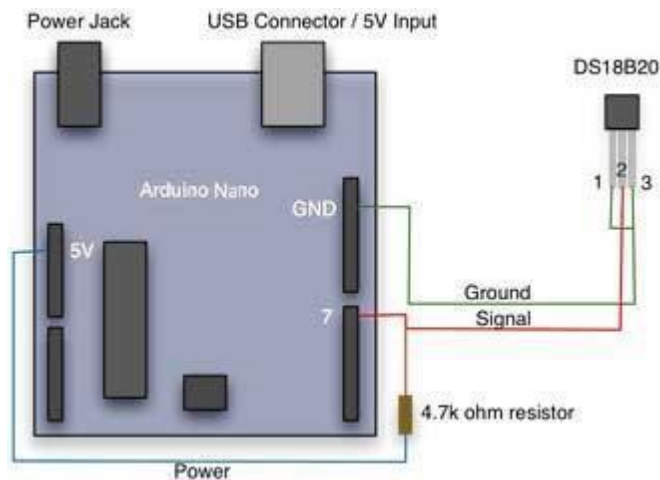


Рисунок 3.6 – Принципова схема модуля датчика температури DS18B20 і приклад його підключення.

Вибір датчика пилу. Модуль датчика якості повітря Sharp GP2Y1010AU0F був обраний тому, що він може виявляти дрібні частки розміром більше 0,8 мікрон у повітрі, включаючи сигаретний дим. Модуль має низьке енергоспоживання, яке можна знизити, вимкнувши підсвічування зчитувача; його аналогова лінійна вихідна напруга пропорційна щільності пилу. Вбудований регулятор підтримує широкий діапазон живлення. Датчик можна використовувати в системах очищення, контролю забруднення та кондиціонування повітря[20].

Технічні особливості:

- ✓ Чутливість: 0,5 В / (100 мкг / м³)
- ✓ Діапазон вимірювання: 500 мкг / м³
- ✓ Напруга живлення: 2,5 В ~ 5,5 В
- ✓ Робочий струм: 20 мА (макс.)
- ✓ Робоча температура: -10°C ~ 65°C

- ✓ Температура зберігання: $-20^{\circ}\text{C} \sim 80^{\circ}\text{C}$
- ✓ Термін служби: 5 років
- ✓ Розміри: $63,2 \text{ мм} \times 41,3 \text{ мм} \times 21,1 \text{ мм}$
- ✓ Розмір монтажного отвору: 2,0 мм
- ✓ Розмір вентиляційного отвору: 9,0 мм



Рисунок 3.7 – Загальний вигляд модуля датчика пилу GP2Y1010AU0F

Вибір реле і диммера. У новому пристрої використовується одноканальний електромагнітний релейний модуль 5 В з робочим струмом 5-20 мА, що означає, що ним можна керувати безпосередньо з висновку мікроконтролера Arduino (рис. 3.8). Логічна 1 означає увімкнено, а логічний 0 означає вимкнено [21].

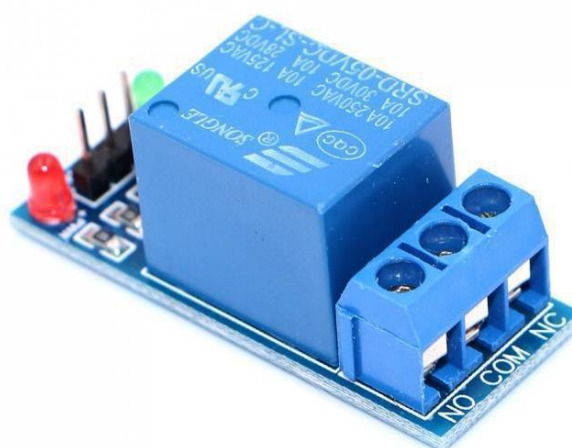


Рисунок 3.8 – Загальний вигляд модуля реле 5В.

РОЗДІЛ 3.

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕНЬ

3.1 Розробка макету підключення компонентів системи

У процесі проєктування системи автоматизованого контролю та очищення повітря важливим етапом стала розробка макета підключення всіх компонентів. Цей макет дозволив перевірити коректність взаємодії елементів системи, оцінити логіку побудови схеми, протестувати сумісність модулів, а також виявити потенційні недоліки на початковій стадії розробки. Саме завдяки створенню макета вдалося уникнути типових помилок, пов'язаних із неправильним з'єднанням або конфліктами між компонентами.

Для створення візуального макета (рис. 3.1) використовувалося спеціалізоване програмне забезпечення Fritzing, яке надає широкі можливості для моделювання електронних схем і має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. За допомогою цього інструменту були візуалізовані всі підключення елементів до мікроконтролера Arduino Nano, що став основною апаратною платформою майбутнього пристрою. Вибір саме цього контролера обумовлений його компактністю, енергоефективністю, достатньою кількістю цифрових і аналогових портів, а також широкою підтримкою з боку спільноти розробників.

Процес макетування передбачав підключення таких основних компонентів, як датчик температури, датчик запиленості, модулі реле, кнопка для ручного керування, а також дисплей на базі OLED-технології, призначений для виведення поточних параметрів системи. Усі ці модулі було логічно розподілено між портами Arduino Nano, з урахуванням їхніх технічних характеристик та електричних вимог. Аналогові сигнали зчитувалися з відповідних портів, тоді як цифрові пін-контакти використовувалися для передачі керуючих імпульсів до виконавчих пристроїв. Особливу увагу було приділено підключенню датчика пилу, для якого критично важливим є

дотримання правильного з'єднання, з урахуванням потреби у додатковому резисторі та відповідному фільтруванні сигналу.

Усі дроти, якими здійснювалось з'єднання, були промарковані у Fritzing для кращої читаємості та орієнтації в схемі. Напруга живлення для різних компонентів також була чітко розмежована: логічні елементи отримували живлення від джерела 5 Вольт, тоді як силові пристрої, зокрема ті, які керуються через реле, могли працювати від зовнішнього джерела напругою 12 Вольт. Це дозволило уникнути перевантаження контролера і забезпечити стабільну роботу системи. Також була передбачена ізоляція між силовою та логічною частинами з метою підвищення надійності та безпеки.

Результатом цієї роботи стало створення повного макета, який демонструє фізичне розташування та електричні з'єднання усіх компонентів. Віртуальна схема у Fritzing стала основою для подальшого фізичного складання пристрою, адже вона дала змогу заздалегідь перевірити кожен елемент і забезпечити точне повторення під час монтажу на макетній платі. Крім того, на основі цієї моделі була створена принципова схема з урахуванням усіх специфікацій, що значно спростило подальше програмування мікроконтролера.

Завдяки макету вдалося не лише сформулювати технічно вивірену архітектуру системи, а й реалізувати її у вигляді логічно узгодженого прототипу. Це дозволило провести початкові випробування та адаптацію системи до реальних умов експлуатації. У підсумку, розроблений макет відіграв ключову роль у створенні повноцінного пристрою, забезпечивши технічну цілісність конструкції та готовність до подальшої інтеграції з програмним забезпеченням.

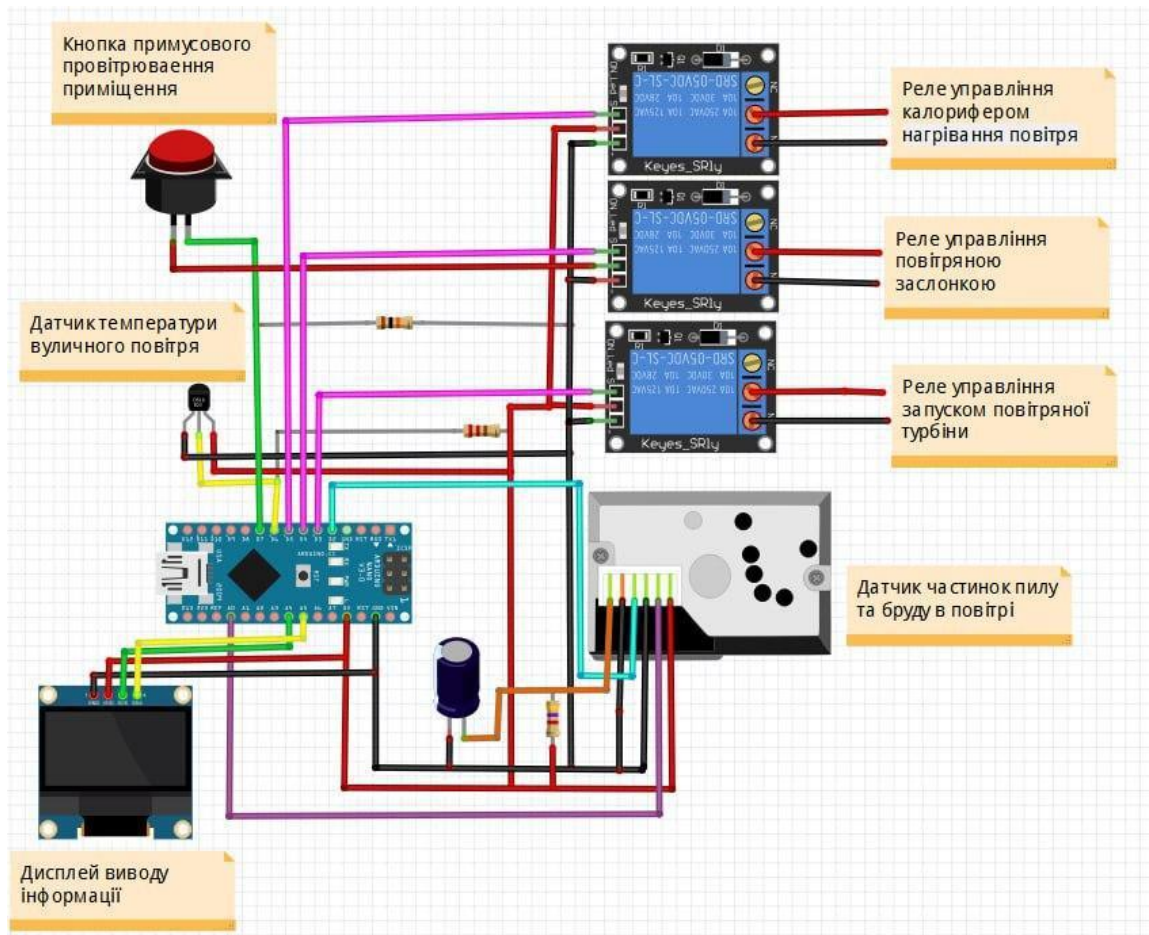


Рисунок 3.1- Макетування підключення перетворюючих та виконавчих пристроїв до Arduino Nano

3.2 Алгоритм роботи автоматизованої системи вентиляції та мікроклімату

Алгоритм роботи розробленої автоматизованої системи контролю температури та очищення повітря представлений у вигляді блок-схеми (рис. 3.2), яка дозволяє чітко відстежити логіку взаємодії між користувачем, сенсорною частиною та виконавчими механізмами. Такий підхід дає змогу не лише візуалізувати послідовність операцій, а й оптимізувати подальше програмування системи, ґрунтуючись на послідовних умовах та діях.

Робота системи розпочинається з початкової ініціалізації, після чого вона переходить до основного циклу, який умовно позначений як цикл 1А. Цей цикл виконується безперервно до моменту, поки користувач не введе символ “S”, що

сигналізує про необхідність виходу з циклу. Таким чином реалізується механізм ручного переривання роботи системи, який особливо корисний під час тестування, налаштування або технічного обслуговування.

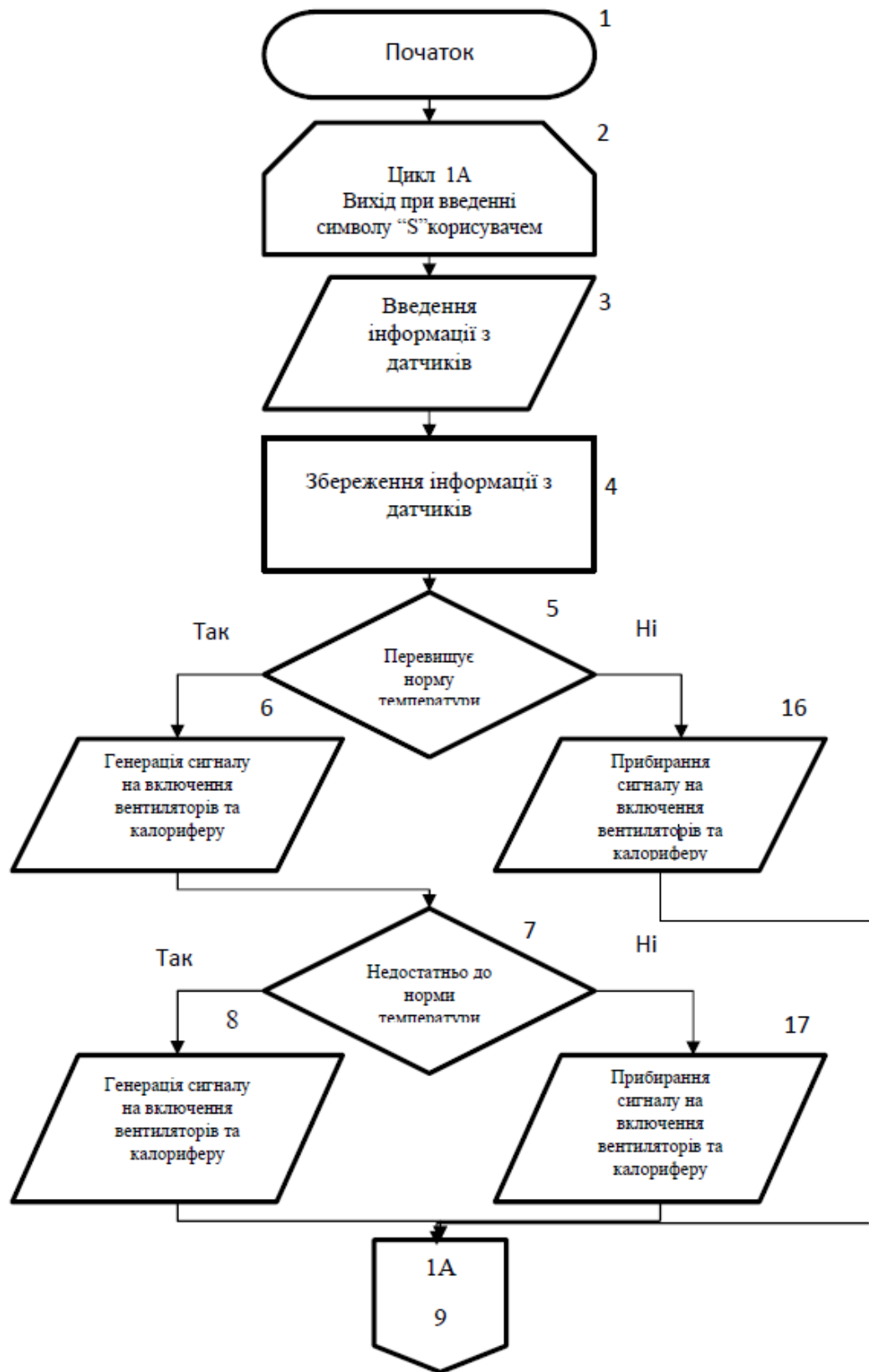


Рисунок 3.2- Блок-схема алгоритму налаштування датчика температури

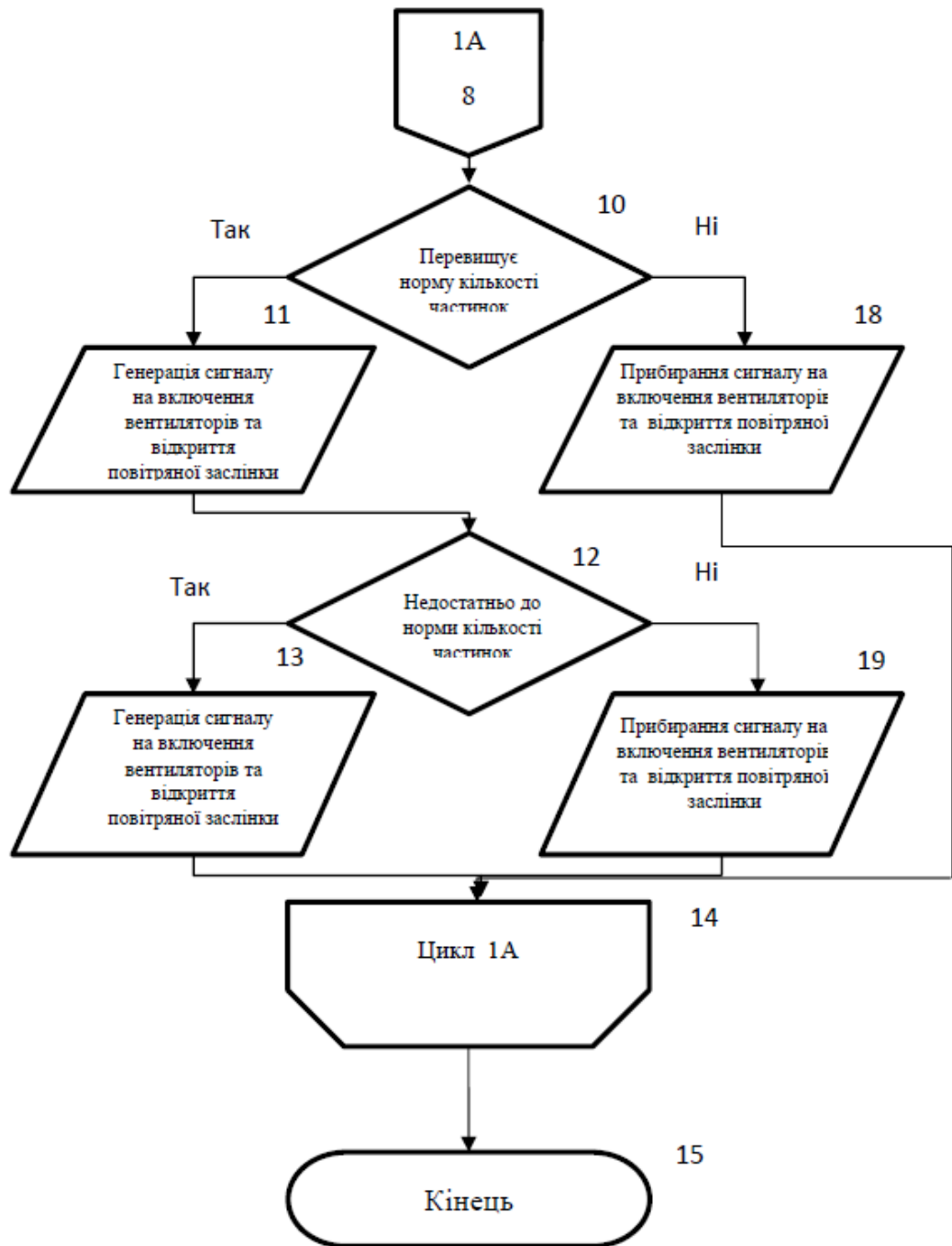


Рисунок 3.3- Продовження блок-схеми 3.2

У межах кожної ітерації циклу відбувається зчитування інформації з датчиків. Зокрема, фіксуються поточні значення температури та, у разі необхідності, інші параметри, як-от рівень запиленості або вологість. Зібрані дані не лише аналізуються в реальному часі, а й за потреби зберігаються у внутрішній пам'яті контролера або передаються на зовнішній носій, якщо

конструкція передбачає модуль пам'яті. Такий підхід дозволяє формувати базу історичних показників для подальшого аналізу та контролю стабільності параметрів навколишнього середовища.

Після збереження інформації система переходить до блоку аналізу температурного режиму. Якщо зафіксоване значення температури перевищує встановлену граничну норму, система формує сигнал для активації виконавчих пристроїв – зокрема, вентиляторів та калорифера. У цьому режимі система працює на зниження температури або забезпечення повітрообміну, залежно від характеру виявленого відхилення. Якщо ж температура не перевищує норму, система, відповідно, деактивує виконавчі механізми, формуючи команду на припинення подачі керуючих сигналів. Таким чином досягається енергоефективність системи, яка вмикає пристрої лише за реальної потреби.

Далі система перевіряє другий важливий температурний поріг – чи є температура нижчою за допустиме значення. Якщо так, це означає, що приміщення потребує обігріву, і система знову генерує сигнал на активацію вентиляторів та калорифера. Таким чином забезпечується підтримка комфортного температурного режиму в умовах знижених показників. У протилежному випадку, тобто якщо температура перебуває в межах допустимих норм, подача сигналу не виконується або припиняється, що знову ж таки сприяє мінімізації енергоспоживання.

Завершення однієї ітерації циклу автоматично ініціює його повторення – система повертається до початку циклу 1А. Це забезпечує безперервний моніторинг та контроль параметрів у режимі реального часу, що є ключовою характеристикою автоматизованих систем екологічного моніторингу та керування мікрокліматом.

Алгоритм дозволяє досягти динамічного регулювання температури в межах заданого діапазону, що критично важливо для підтримки оптимальних умов у закритих приміщеннях, де розміщено чутливе обладнання або перебувають люди. Крім того, реалізація такої логіки забезпечує адаптивність системи – вона здатна реагувати як на перегрів, так і на переохолодження,

автоматично змінюючи режими роботи виконавчих елементів. Це підвищує ефективність системи, скорочує тривалість коливань температури та забезпечує стабільність внутрішнього мікроклімату.

Таким чином, подана блок-схема відображає повний цикл прийняття рішень у межах роботи мікроконтролерної системи, починаючи від зчитування даних і закінчуючи генерацією керуючих сигналів. Візуальне представлення алгоритму стало основою для написання програмного коду, що реалізує ці дії у середовищі Arduino IDE. Це, своєю чергою, дозволило побудувати систему, яка здатна в режимі реального часу підтримувати задані параметри повітряного середовища з мінімальним залученням користувача.

3.3 Розробка програмного забезпечення для системи автоматичного контролю параметрів повітряного середовища

Розробка програмного забезпечення для системи автоматичного контролю параметрів повітряного середовища здійснювалася з використанням платформи Arduino IDE. Цей середовище розробки є відкритим та зручним інструментом для програмування мікроконтролерів Arduino, що дозволяє ефективно створювати програмний код для керування підключеними апаратними модулями.

Першим етапом у процесі створення програмного забезпечення стало проектування принципової схеми підключення апаратних елементів до плати Arduino та визначення переліку необхідних модулів, зокрема: модуля реле, датчиків температури та запиленості, кнопки ручного керування, OLED-дисплею для виведення інформації та допоміжних елементів.

Після складання схеми та визначення технічних характеристик обраних модулів було здійснено підключення необхідних бібліотек у середовищі Arduino IDE. Ці бібліотеки забезпечують взаємодію контролера з датчиками та модулями, зокрема, для зчитування значень, керування пристроями, виведення інформації на дисплей тощо.



Рисунок 3.3- Візуалізація процесу підключення бібліотек

Наступним кроком стало оголошення та ініціалізація змінних, які відповідають за підключення пінів Arduino до відповідних апаратних модулів. Це включало призначення цифрових пінів для керування реле, підключення датчиків, обробки натискання кнопки та зчитування даних з них.

Цей етап дозволяє точно вказати, які виводи плати Arduino використовуються для конкретного компонента, що в подальшому забезпечує правильну роботу пристрою.

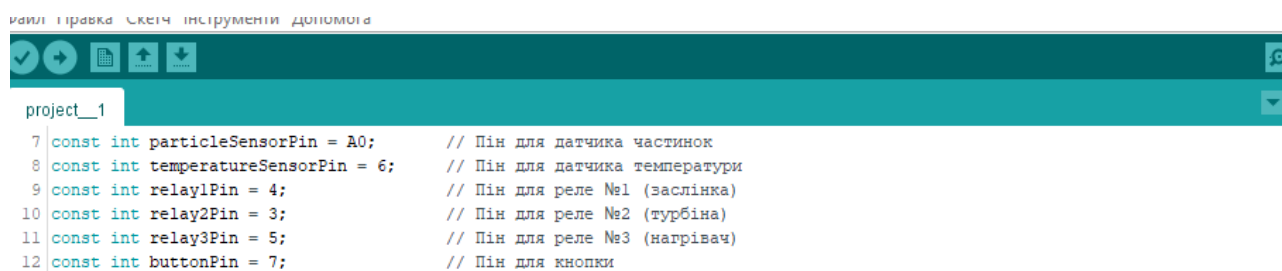


Рисунок 3.4- Процес ініціалізації пінів модулів реле, датчиків та кнопок

Далі виконано налаштування логіки ввімкнення та вимкнення виконавчих механізмів. Зокрема, встановлено режими роботи пінів як OUTPUT або INPUT в залежності від функції — для реле або сенсорів відповідно. Це налаштування виконується у функції `setup()`, яка запускається один раз при включенні живлення або перезавантаженні пристрою.

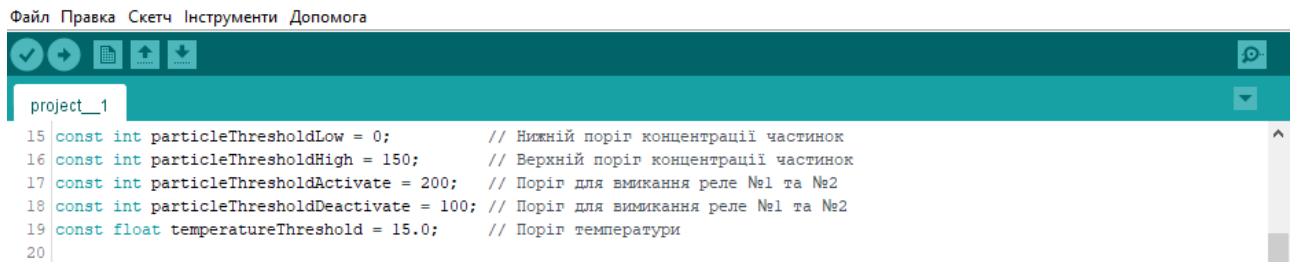


Рисунок 3.5 - Ініціалізація пінів модулів реле, датчиків та кнопки

Окрім оголошення пінів, важливою частиною стало визначення змінних, які відповідають за поточні стани виконавчих пристроїв. Це дозволяє програмно керувати системою в залежності від вхідних значень з датчиків, фіксуючи критичні стани або необхідність в активації тих чи інших механізмів.

```

22 int particleConcentration = 0; // Значення концентрації частинок
23 float temperature = 0.0;      // Значення температури
24 bool relay1State = false;     // Стан реле №1
25 bool relay2State = false;     // Стан реле №2
26 bool relay3State = false;     // Стан реле №3
27 bool buttonState = false;     // Стан кнопки
28 bool prevButtonState = false; // Попередній стан кнопки
29

```

Рисунок 3.6 – Процес налаштування змінних

Також було оголошено об'єкти для взаємодії з OLED-дисплеєм, цифровим датчиком температури та кнопкою, яка дозволяє виконувати ручне керування системою очищення повітря. Ці об'єкти забезпечують інтерфейс між програмним кодом та фізичними пристроями.

```

31 Adafruit_SSD1306 display(128, 64, &Wire, -1); // Об'єкт для OLED дисплея
32 OneWire oneWire(temperatureSensorPin);        // Об'єкт для датчика температури
33 DallasTemperature temperatureSensor(&oneWire);

```

Рисунок 3.7 - Оголошення об'єктів для взаємодії з OLED-дисплеєм, цифровим датчиком температури та кнопкою.

Наступним кроком є реалізація початкової ініціалізації пристроїв. Виконується запуск OLED-дисплею, перевірка працездатності датчиків, а також встановлення початкових параметрів для реле та змінних.

```

35 void setup() {
36   // Ініціалізація пінів
37   pinMode(relay1Pin, OUTPUT);
38   pinMode(relay2Pin, OUTPUT);
39   pinMode(relay3Pin, OUTPUT);
40   pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP);
41
42   // Ініціалізація OLED дисплея
43   display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
44   display.clearDisplay();
45   display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
46   display.setTextSize(1);
47   display.setCursor(0, 0);
48   display.println("Particle Monitor");
49   display.display();
50
51   // Ініціалізація датчика температури
52   temperatureSensor.begin();
53 }

```

Рисунок 3.8 – Процес ініціалізації пінів

Після цього реалізовано функції для зчитування значень із сенсорів. Наприклад, за допомогою методу `analogRead()` отримується поточне значення температури, а через аналогове зчитування з відповідного порту – рівень запиленості повітря. Також враховується логіка обробки натискання кнопки для ручного запуску очищення.

```

55 void loop() {
56   // Отримання значень частинок і температури
57   particleConcentration = analogRead(particleSensorPin);
58   temperatureSensor.requestTemperatures();
59   temperature = temperatureSensor.getTempCByIndex(0);
60
61   // Отримання стану кнопки
62   buttonState = digitalRead(buttonPin);
63 }

```

Рисунок 3.9 - Отримання значень кнопки і датчиків

На основі отриманих даних було реалізовано алгоритм керування реле повітряної заслінки та турбіни. Якщо рівень запиленості перевищує заданий поріг, система автоматично активує механізми для очищення повітря – відкриває заслінку та вмикає турбіну. При нормалізації параметрів механізми вимикаються.

```

64 // Вмикаємо або вимикаємо реле №1 та №2 залежно від концентрації частинок
65 if (particleConcentration >= particleThresholdActivate && particleConcentration <= particleThresholdHigh) {
66   relay1State = true;
67   relay2State = true;
68 } else if (particleConcentration >= particleThresholdLow && particleConcentration <= particleThresholdDeactivate) {
69   relay1State = false;
70   relay2State = false;
71 }

```

Рисунок 3.10 - Налаштування реле управління повітряною заслінкою та повітряною турбіною

Аналогічним чином реалізовано керування калорифером нагрівання повітря. У випадку, якщо температура в приміщенні опускається нижче за встановлену межу, реле активується, і калорифер починає обігрів. Після досягнення температурного порогу пристрій автоматично вимикається.

```

73 // Вмикаємо або вимикаємо реле №3 залежно від температури
74 if (temperature <= temperatureThreshold && relay1State && relay2State) {
75     relay3State = true;
76 } else {
77     relay3State = false;
78 }

```

Рисунок 3.11 - Налаштування реле управління калориферу нагрівання повітря

Ще одним важливим етапом є виведення поточних параметрів системи на OLED-дисплей. Це забезпечує візуальний контроль над функціонуванням системи — користувач бачить температуру, рівень пилу, статус реле, а також сповіщення про ручне втручання.

```

85 // Вивід інформації на OLED дисплей
86 display.clearDisplay();
87 display.setCursor(0, 0);
88 display.print("Particles: ");
89 display.println(particleConcentration);
90 display.print("Temperature: ");
91 display.println(temperature);
92 display.print("Relay 1: ");
93 display.println(relay1State ? "ON" : "OFF");
94 display.print("Relay 2: ");
95 display.println(relay2State ? "ON" : "OFF");
96 display.print("Relay 3: ");
97 display.println(relay3State ? "ON" : "OFF");
98 display.display();

```

Рисунок 3.12 – Вивід даних на дисплей

Для зручності користування системою та у випадку екстреної необхідності було реалізовано кнопку примусового запуску очищення повітря. При її натисканні запускається обхід основної логіки перевірки стану повітря і виконується примусова активація відповідних реле.

```

101 | if (buttonState != prevButtonState) {
102 |     if (buttonState == LOW) {
103 |         // Кнопка натиснута
104 |         relay1State = !relay1State;
105 |         relay2State = !relay2State;

```

Рисунок 3.13 – Основний принцип роботи при натисканні кнопки

Для підвищення надійності роботи системи було реалізовано додаткову перевірку перед активацією калорифера. Така перевірка дозволяє уникнути частого вмикання/вимикання пристрою при незначних коливаннях температури, використовуючи гістерезис.

```

108 |     if (temperature <= temperatureThreshold && relay1State && relay2State) {
109 |         relay3State = true;
110 |     } else {}
111 |         relay3State = false;
112 |     }

```

Рисунок 3.14 – Візуалізація функції для керування реле управління калорифером

Підсумовуючи, у цьому розділі було детально описано процес створення програмного забезпечення системи керування якістю повітря. Було забезпечено повну інтеграцію апаратних компонентів з контролером Arduino, розроблено ефективні програмні алгоритми керування, а також реалізовано можливості автоматичного та ручного режимів роботи. Завдяки розробленому коду система забезпечує надійне зчитування даних з датчиків, їх обробку, прийняття керуючих рішень та інформування користувача через дисплей. Це створює передумови для використання розробленого пристрою в умовах побуту або промислових приміщень з підвищеним рівнем забруднення повітря.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Структурно-функціональний аналіз виробничого процесу та розроблення моделі травмонебезпечних ситуацій

У зображеннях процесів формування, виникнення аварій та виробничих травм усі випадкові події, що утворюють конкретну аварійну ситуацію, пов'язані між собою причинно-наслідковими зв'язками.

Метод логічного моделювання потенційних аварій, травм та катастроф відкриває можливість розробити досконалу систему управління ОП виробництва, яка базується на оперативному пошуку виробничих небезпек, їх глибокому аналізі й терміновому прийнятті заходів для усунення потенційних небезпек ще до виникнення травмонебезпечних та катастрофічних ситуацій. Деякі небезпечні ситуації в табл. 4.1.

Працівники, що обслуговують електрообладнання вентильної системи, зобов'язані знати Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів відповідно до займаної посади або роботи, як вони виконують, і мати відповідну групу з електробезпеки [23,24].

Працівники, що порушили вимоги Правил безпечної експлуатації електроустановок, усуваються від роботи і несуть відповідальність (дисциплінарну, адміністративну, кримінальну) згідно з чинним законодавством. Такі працівники не допускаються до робіт в електроустановках без позачергової перевірки знань вимог правил безпечної експлуатації електроустановок.

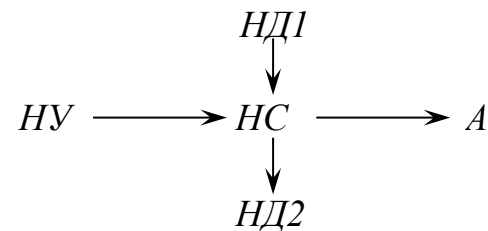
Забороняється допускати до роботи в електроустановках осіб, які не пройшли навчання і перевірку знань Правил безпечної експлуатації електроустановок.

Працівнику, який пройшов перевірку знань Правил безпечної експлуатації електроустановок, видається посвідчення встановленої форми.

Таблиця 4.1. Моделювання процесів формування та виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій

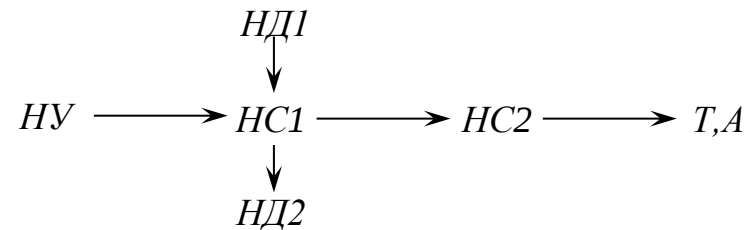
Вид робіт	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечним ситуаціям
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
Використання механічної вентиляції	Оператор не перевіряв обладнання НУ	Пошкоджений трубопровід мережі НД1 Закупорений трубопровід шланга НД2	Відмова вентиляційної системи (двигуна) НС	Аварія	Розвісити плакати, провести інструктажі із експлуатації обладнання системи

Модель процесу:



Використання електронних пристроїв регулювання	Пошкоджена ізоляція провідників з'єднання НУ	Пробій на корпус НД1 Коротке замикання НД2	Ураження людини електричним струмом НС1 Виведення обладнання із ладу НС2	Травма Аварія	Заміна провідників, установлення захисного обладнання (запобіжників, захист від ураження людини струмом) тощо
--	--	---	---	---------------	---

Модель процесу:



Посвідчення про перевірку знань працівника є документом, який засвідчує право на самостійну роботу в електроустановках на зазначеній посаді за фахом.

4.2. Вимоги техніки безпеки під час роботи обладнання та протипожежні заходи

Вимоги правил техніки безпеки перед початком роботи. Для початку роботи пов'язаної з вентиляцією вимикають рубильники або автоматичні вимикачі щита низької напруги, запирають шафу і вивішують попереджувальні плакати. Також повинні бути основні захисні засоби до яких належать такі, ізоляція яких надійно захищає від робочої напруги мережі і за допомогою яких можна дотикатися до струмопровідних частин, що перебувають під напругою, без небезпеки ураження електричним струмом (інструмент з ізольованими ручками, ізолюючі струмовимірювальні кліщі, діелектричні рукавиці).

Вимоги правил техніки безпеки під час роботи. Виконавши ці операції, надівають діелектричні рукавиці і за допомогою покажчика напруги перевіряють відсутність напруги на всіх фазах. Потім, приєднавши один кінець переносного заземлення до заземлюючого пристрою, накладають його на струмоведучі частини. Після цього остаточно приступають до роботи.

Вимоги правил техніки після закінчення роботи. Після закінчення роботи системи перед її вимиканням необхідно виконати такі технічні операції: перевірити надійність кріплення, зняти переносні тимчасові заземлення, відімкнути щит низької напруги і зняти плакати з техніки безпеки; якщо тимчасове переносне заземлення встановлене на лінії, його також треба зняти тощо [23].

Протипожежні заходи на об'єкті. Для запобігання пожеж на об'єкті розроблено організаційні, експлуатаційні, технічні режимного характеру, пожежно-евакуаційні, профілактичні заходи. До організаційних заходів

відносяться правила розміщення машин, що обслуговують приміщення, обладнання, матеріалів з дотримання певних проходів, не допускається захаращення приміщень, проходів і т.д.

4.3. Розрахунок штучного заземлення

Вибір штучного заземлення проводиться в залежності від характеру ґрунту і способу забивання стержнів [23]. Розраховуємо заземлюючий контур підстанції напругою 10/0,4 кВ з глухозаземленою нейтраллю. Характер ґрунту – чорнозем з $\rho = 2 \cdot 10^4$ Ом·см. Кліматична зона – IV ($K_c = 1,2$, $K_n = 1,5$). Струм замикання на землю в мережі становить 50 А.

В відповідності з діючими правилами, опір заземлюючого пристрою повинен становити

$$R = \frac{125}{I_z} = \frac{125}{50} = 2,5 \text{ Ом}, \quad (4.1)$$

де I_z – струм замикання на землю, А.

Приймаємо 3 Ом. Контур заземлення розміщуємо в ряд з $a = 5$ м, $l = 2,5$ м. В якості стержневого заземлювача приймаємо кутникові сталь 50х50х5 мм, а протяжного – пластинчасту сталь 40х4 мм.

Опір одиночного стержня становить:

$$R_o = 0.00318 \rho \cdot K_c, \text{ Ом} \quad (4.2)$$

де K_c – коефіцієнт сезонності для стержневого заземлювача ($K_c = 1,2$).

$$R_o = 0.00318 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 1.2 = 76.32 \text{ Ом}.$$

Число стержнів приймаємо 15. При цьому коефіцієнт використання стержневих заземлювачів становить $\eta_c = 0,7$. Опір всіх стержнів розтікання струму становить:

$$R_c = \frac{R_o}{n \cdot \eta_c}, \text{ Ом}, \quad (4.3)$$

де n – число стержнів, шт.

$$R_c = \frac{76.32}{15 \cdot 0.7} = 7.30 \text{ Ом}.$$

Довжина протяжного заземлювача становить $l = 35 \text{ м}$ (3500 см);
приймаємо $t = 50 \text{ см}$, $b = 0,4 \text{ см}$. Опір протяжного заземлювача становить:

$$R_{np} = \frac{0,366}{l} \cdot \rho \cdot 2 \cdot \lg \frac{2 \cdot l^2}{t \cdot b}, \text{ Ом} \quad (4.4)$$

$$R_{np} = \frac{0,366}{3500} \cdot 1,2 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot \lg \frac{2 \cdot 3500^2}{0,4 \cdot 50} = 3,20 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт використання протяжного заземлювача $\eta_n = 0,71$. Дійсний опір протяжного заземлення становить:

$$R_n = \frac{R_{np}}{\eta_n} = \frac{3,2}{0,71} = 4,50 \text{ Ом} \quad (4.5)$$

Опір всього заземлюючого пристрою становить:

$$R_u = \frac{R_c \cdot R_n}{R_c + R_n} = \frac{4.5 \cdot 7.3}{4.5 + 7.3} = 2.78 < 3.0 \text{ Ом} \quad (4.6)$$

Отже, число стержнів вибрано вірно.

4.4. Захист цивільного населення

Забезпечення захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань не лише підприємства, але й цілої держави. Актуальність проблеми забезпечення природо-техногенної безпеки населення і території зумовлена тенденціями зростання втрат людей і шкоди територіям, що спричиняються небезпечними природними явищами, промисловими аваріями і катастрофами.

Інженерний захист проводиться з метою виконання вимог ІТЗ із питань забудови міст, розміщення ПНО, будівлі будинків, інженерних споруд та інше.

Медичний захист проводиться для зменшення ступеня ураження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим та їх лікування, забезпечення епідеміологічного благополуччя в районах надзвичайних ситуацій.

Біологічний захист включає своєчасне виявлення чинників біологічного зараження, їх характеру і масштабів, проведення комплексу адміністративно-господарських, режимно-обмежувальних і спеціальних протиепідемічних та медичних заходів.

Радіаційний і хімічний захист включає заходи щодо виявлення і оцінки радіаційної та хімічної обстановки, організацію і здійснення дозиметричного та хімічного контролю, розроблення типових режимів радіаційного захисту, забезпечення засобами індивідуального захисту, організацію і проведення спеціальної обробки.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У рамках роботи над даною кваліфікаційною роботою здвйснено комплексний аналіз управління мікрокліматом у промислових приміщеннях, наголошуючи на важливості підтримки оптимальних і допустимих мікрокліматичних параметрів, таких як температура, вологість і потік повітря, для забезпечення комфорту та продуктивності людини.

Розглянуто особливості систем вентиляції, висвітлюється їхня роль у створенні якісного повітрообміну, видаленні шкідливих забруднювачів і забезпеченні безперебійної фільтрації, особливо в складних промислових умовах. Виділено особливості природної та механічної вентиляції, а також проаналізовано місцеві та повнообмінні системи, пояснюючи їх конкретні функції та застосування. Це підкреслює необхідність інтеграції систем кондиціонування повітря з вентиляцією для точного регулювання температури та вологості за допомогою автоматизованих механізмів контролю.

Обґрунтовано важливість різних методів очищення повітря, включаючи абсорбцію, адсорбцію, хемосорбцію та каталітичні процеси, особливо в таких галузях, як текстильна промисловість, де пил і хімічні забруднювачі становлять ризик для здоров'я.

Розроблено автоматизовану систем управління вентиляцією з використанням мікроконтролерів на базі Arduino Nano, детально описано, налаштування апаратного забезпечення, інтеграцію датчиків і програмне забезпечення для забезпечення регулювання в реальному часі, що забезпечує надійність автоматизованих систем, які контролюють і регулюють параметри мікроклімату для підтримки безпечних і ефективних умов праці в промислових умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Хмельницький Д. О. Системи кондиціювання повітря офісних приміщень з нечітким управлінням / Д. О. Хмельницький, В. Б. Дроменко. // Технології та дизайн. – 2017. – №1. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2017_1_9.
2. Колобанов С.С., Єршов А.В., Кигель М.Е. Проектування споруд для очищення повітря / С.С. Колобанов, А.В. Єршов, М.Е. Кигель // Київ : Будівельник, – 2018. – 222-224 с.
3. Апостолук С.О., Джигирей В.С., Апостолук А.С. Промислова екологія: Навчальний посібник / С.О. Апостолук, В.С. Джигирей, А.С. Апостолук та ін. // К.: Знання, – 2018. – 474 с.
4. Ярщук О.В. Структурний підхід до оптимізації показників якості текстильних матеріалів та виробів з них / О.В. Ярщук, О.П. Бохонько, О.Ю. Лепікаш // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2011. – № 1. – 209–213 с.
5. Галик І. С., Семак Б.Д. Вплив технологій текстильного виробництва на екологічну безпечність текстилю, людини та довкілля./ І. С. Галик, Б.Д. Семак // Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. – 2019. – № 1. – 38-46 с.
6. Білявський Г.О. Фурдуй Р.С., Костіков І.Ю. Основи екологічних знань. / Г.О. Білявський Р.С. Фурдуй, І.Ю. Костіков // Київ : Либідь, – 2000. – 336 с.
7. Сторожук В.М., Батлук В.А., Назарук М.М. Промислова екологія. / В.М. Сторожук, В.А. Батлук, М.М. Назарук// Львів: Українська академія друкарства, – 2014. – 574 с.
8. Нікітченко О. Ю. Промислова екологія / О. Ю. Нікітченко. // Харківська національна академія міського господарства. – 2018. – 37 с. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/11336906.pdf>.
9. Рудавка А. А. Моделювання системи управління параметрами мікроклімату з нечітким регулюванням / А. А. Рудавка, В. Б. Дроменко. // Технології та дизайн. – 2019. – №2. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2017_2_16.

10. Левченко Ю. М. Розробка системи контролю та моніторингу вологості і температури приміщення / Ю. М. Левченко, Л. П. Голубєв, Ю. М. Пилипенко, В. Б. Дроменко // Технології та дизайн. - 2017. - № 4. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2017_4_16.

11. ДБН А.2.2-1-2003 Проектування. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд

12. Еко-Простір [Електронний ресурс]: Вентиляція Повітря Робочих Приміщень // 15.03.2020 - Режим доступу: <https://eko-prostir.com.ua/ventyliatsiia-i-kondytsionuvannia-povitria-ofisnykh-prymishchen/>

13. Батлук В.А., Проскуріна І.В., Ляшеник А.В. Математична модель процесу очищення запиленого потоку у відцентрово-інерційних пиловловлювачах / В.А. Батлук, І.В. Проскуріна, А.В. Ляшеник // Київ. – 2018. – № 1. – 31-36 с

14. ДСТУ 2604-94 “Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції. Номенклатура показників”.

15. Пилипенко Ю.М. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації. Мікропроцесорна платформа Arduino / Ю. М. Пилипенко. // Технології та дизайн. – 2023. – 99 с. – Режим доступу: https://msnp.knutd.edu.ua/pluginfile.php/415777/mod_resource/content/4/%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97_%D0%9C%D0%9F%D0%97%D0%90_23_1.pdf.

16. Arduino.ua [Електронний ресурс]: Arduino Nano V3.0 AVR ATmega328P з розпаяними роз'ємами // 10.04.2023 - Режим доступу: <https://arduino.ua/prod166-arduino-nano-v3-0-avr-atmega328p-s-raspayannimi-razemami>.

17. Arduino IDE [Електронний ресурс]: Arduino IDE // 08.04.2023 - Режим доступу: <https://arduino-ide.com/>.

18. Arduino.ua [Електронний ресурс]: OLED RGB дисплей 0.95" SPI 96x64 від Waveshare // 10.04.2025 - Режим доступу: <https://arduino.ua/prod2122-rgb-oled-displei-modyl-0-95-spi-96x64>

19. Arduino.ua [Електронний ресурс]: Датчик температури DS18B20 цифровий // 08.04.2025 - Режим доступу: <https://arduino.ua/prod190-datchik-temperatyri-ds18b20-cifrovoi>

20. Arduino.ua [Електронний ресурс]: Модуль датчика пилу GP2Y1010AU0F від Waveshare // 08.04.2025 - Режим доступу: <https://arduino.ua/prod2620-modyl-datchika-pili-gp2y1010au0f-ot-waveshare>

21. Arduino.ua [Електронний ресурс]: 2-о канальний модуль реле 12В 10А з опторозв'язкою (low level) // 10.04.2025 - Режим доступу: <https://arduino.ua/prod2223-2-h-kanalnii-modyl-rele-12v-10a-s-optorazvyazkoj>.

22. Fritzing [Електронний ресурс]: Fritzing // 12.04.2025 - Режим доступу: <https://fritzing.org/>.

23. Пістун І. П., Тимочко В.О., Городецький І. М., Березовецький А. П. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навч. посібн. / за ред. І.П. Пістуна. Ч. II. Львів: Тріада плюс, 2011. 224 с.

24. Пістун І. П., Тимочко В.О., Городецький І. М., Березовецький А. П. Охорона праці (гігієна праці та виробнича санітарія): навч. посібн. / за ред. І.П. Пістуна. Ч. II. Львів: Тріада плюс, 2011. 224 с.

ДОДАТОК

Підключення та налаштування датчиків, реле та засобів виводу інформації до Arduino Nano для автоматизованої системи очищення повітря на підприємстві

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Піни
const int particleSensorPin = A0; // Пін для датчика частинок
const int temperatureSensorPin = 6; // Пін для датчика температури
const int relay1Pin = 4; // Пін для реле №1 (заслінка)
const int relay2Pin = 3; // Пін для реле №2 (турбіна)
const int relay3Pin = 5; // Пін для реле №3 (нагрівач)
const int buttonPin = 7; // Пін для кнопки

// Константи для порогових значень
const int particleThresholdLow = 0; // Нижній поріг концентрації частинок
const int particleThresholdHigh = 150; // Верхній поріг концентрації
частинки
const int particleThresholdActivate = 200; // Поріг для вмикання реле №1 та
№2
const int particleThresholdDeactivate = 100; // Поріг для вимикання реле №1
та №2
const float temperatureThreshold = 15.0; // Поріг температури

// Змінні
int particleConcentration = 0; // Значення концентрації частинок
float temperature = 0.0; // Значення температури
bool relay1State = false; // Стан реле №1
bool relay2State = false; // Стан реле №2
```

```

bool relay3State = false; // Стан реле №3
bool buttonState = false; // Стан кнопки
bool prevButtonState = false; // Попередній стан кнопки
// Об'єкти для OLED дисплею, датчика температури та кнопки
Adafruit_SSD1306 display(128, 64, &Wire, -1); // Об'єкт для OLED дисплею
OneWire oneWire(temperatureSensorPin); // Об'єкт для датчика
температури
DallasTemperature temperatureSensor(&oneWire);
void setup() {
// Ініціалізація пінів
pinMode(relay1Pin, OUTPUT);
pinMode(relay2Pin, OUTPUT);
pinMode(relay3Pin, OUTPUT);
pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP);
// Ініціалізація OLED дисплею
display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C);
display.clearDisplay();
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
display.setTextSize(1);
display.setCursor(0, 0);
display.println("Particle Monitor");
display.display();
// Ініціалізація датчика температури
temperatureSensor.begin();
}
void loop() {
// Отримання значень частинок і температури
particleConcentration = analogRead(particleSensorPin);
temperatureSensor.requestTemperatures();
temperature = temperatureSensor.getTempCByIndex(0);

```

```

// Отримання стану кнопки
buttonState = digitalRead(buttonPin);

// Вмикаємо або вимикаємо реле №1 та №2 залежно від концентрації
частинок
    if (particleConcentration >= particleThresholdActivate &&
particleConcentration <= particleThresholdHigh) {
        relay1State = true;
        relay2State = true;
    } else if (particleConcentration >= particleThresholdLow &&
particleConcentration <= particleThresholdDeactivate) {
        relay1State = false;
        relay2State = false;
    }

// Вмикаємо або вимикаємо реле №3 залежно від температури
if (temperature <= temperatureThreshold && relay1State && relay2State) {
    relay3State = true;
} else {
    relay3State = false;
}

// Керування реле №1, №2 та №3
digitalWrite(relay1Pin, relay1State);
digitalWrite(relay2Pin, relay2State);
digitalWrite(relay3Pin, relay3State);

// Вивід інформації на OLED дисплей
display.clearDisplay();
display.setCursor(0, 0);
display.print("Particles: ");
display.println(particleConcentration);
display.print("Temperature: ");
display.println(temperature);

```

```

display.print("Relay 1: ");
display.println(relay1State ? "ON" : "OFF");
display.print("Relay 2: ");
display.println(relay2State ? "ON" : "OFF");
display.print("Relay 3: ");
display.println(relay3State ? "ON" : "OFF");
display.display();

// Перевірка натиснення кнопки
if (buttonState != prevButtonState) {
    if (buttonState == LOW) {
        // Кнопка натиснута
        relay1State = !relay1State;
        relay2State = !relay2State;

        // Додаткова перевірка температури для керування реле №3
        if (temperature <= temperatureThreshold && relay1State && relay2State) {
            relay3State = true;
        } else {
            relay3State = false;
        }

        // Керування реле №1, №2 та №3
        digitalWrite(relay1Pin, relay1State);
        digitalWrite(relay2Pin, relay2State);
        digitalWrite(relay3Pin, relay3State);
    }

    prevButtonState = buttonState;
}

delay(500);
}

```