

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

Розробка системи автоматизації для контролю технічних умов для
зберігання товарів на складі підприємства
(тема)

Виконав:
студент 4 курсу, групи АКТАКІТ-20-1
Федьо Д. М.
(прізвище, ініціали)

Спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Артюх Р. В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАР

Невлюдов І. Ш.
(прізвище, ініціали)

2024р.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КІТАР _____
(підпис)

«___» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Федьо Дмитру Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи автоматизації для контролю технічних умов для зберігання товарів на складі підприємства

затверджена наказом по університету від “ 03 ” червня 2024р. № 544 Ст.

2. Термін подання студентом роботи “ 27 ” червня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Складське приміщення підприємства;

3.1 Пристрій керування – платформа Arduino Uno;

3.3 Середовище програмування – Arduino IDE;

3.4 Мова програмування C++;

3.5 Оформлення текстової документації згідно ДСТУ 3008 – 2015.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі 4.1 Вступ;

4.2 Аналіз умов збереження та вимірювання складу речовин і матеріалів товарів;

4.3 Класифікація систем вентиляції складських приміщень;

4.4 Розробка алгоритма роботи та програмного забезпечення для системи контролю та підтримки мікроклімату складського приміщення;

4.5 Охорона праці;

4.6 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Демонстраційний матеріал представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 12 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз умов збереження та вимірювання складу речовин і матеріалів товарів</i>	<i>13.05 – 20.05.24</i>	<i>виконано</i>
2	<i>Класифікація систем вентиляції складських приміщень</i>	<i>21.05 – 27.05.24</i>	<i>виконано</i>
3	<i>Розробка алгоритма роботи та програмного забезпечення для системи контролю та підтримки мікроклімату складського приміщення</i>	<i>28.05 – 09.06.24</i>	<i>виконано</i>
4	<i>Охорона праці</i>	<i>10.06 – 12.06.24</i>	<i>виконано</i>
5	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>13.06 – 15.06.24</i>	<i>виконано</i>
6	<i>Подання роботи на перевірку Інтернет-системою StrikePlagiarism</i>	<i>16.06 – 19.06.24</i>	<i>виконано</i>
7	<i>Подання роботи на рецензію</i>	<i>20.06 – 22.06.24</i>	<i>виконано</i>
8	<i>Подання роботи на підпис зав. кафедри</i>	<i>23.06 – 25.06.24</i>	<i>виконано</i>
9	<i>Подання кваліфікаційної роботи в ЕК</i>	<i>26.06.24</i>	<i>виконано</i>

Дата видачі завдання 13.05.2024р.

Студент _____ Федько Д. М.
(підпис)

Керівник роботи _____ доц. Артюх Р. В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

«20» червня 2024 р.



Федько Д. В.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 67 с., 2 табл., 17 рис., 1 дод., 14 джерел.

ТОВАР, СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА ПІДТРИМКИ, МІКРОКЛІМАТ, ВЕНТИЛЯЦІЯ, АЛГОРИТМ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, СКЛАДСЬКІ ПРИМІЩЕННЯ, ПІДПРИЄМСТВО.

Об'єктом розробки – контроль та підтримки мікроклімату у складському приміщенні підприємства.

Предметом розробки – програмне забезпечення.

Мета роботи – розробка програмного забезпечення для системи контролю та підтримки мікроклімату у складському приміщенні підприємства.

У роботі виконано огляд науково-технічної літератури та статей з теми кваліфікаційної роботи. Показано системи, котрі наразі застосовуються та їхні недоліки для якісного виконання поставленої мети. Крім того опрацьовано технічні умови для якісного збереження товарів у складських приміщеннях підприємства.

Ґрунтуючись на вимогах щодо особливостей зберігання товарів, було створено алгоритм роботи та програмне забезпечення для оптимального управління системою контролю та підтримки мікроклімату в складських приміщеннях підприємства.

Реалізовано заходи та розрахунки для забезпечення безпечних умов праці в лабораторії, де проводилась кваліфікаційна робота.

ABSTRACT

Explanatory note: 67 pp., 2 tab., 17 figs., 1 appendices, 14 sources.

PRODUCT, CONTROL AND SUPPORT SYSTEM, MICROCLIMATE, VENTILATION, ALGORITHM, SOFTWARE, WAREHOUSE, ENTERPRISE.

The object of the development is the control and maintenance of the microclimate in the warehouse of the enterprise.

The subject of development is software.

The purpose of the work is to develop software for the microclimate control and support system in the enterprise's warehouse.

The work analyzes the review of scientific and technical literature and articles on the subject of qualification work. The systems used today and their shortcomings for the high-quality performance of the set goal are shown. The technical conditions for high-quality storage of goods in the warehouses of the enterprise were also analyzed.

Based on the requirements of the characteristics of the storage of goods, an algorithm of work and software for optimal management of the control system and maintenance of the microclimate in the warehouses of the enterprise have been developed.

Measures and calculations were carried out to ensure safe working conditions in the laboratory where qualification work was performed.

ЗМІСТ

Перелік скорочень	9
Вступ... ..	10
1 Аналіз умов збереження та вимірювання складу речовин і матеріалів товарів	12
1.1 Умови для збереження якості та кількості товарів	12
1.2 Особливості вимірювання складу речовин і матеріалів	15
1.3 Поняття вологості речовин і матеріалів	16
1.4 Методи вимірювання вологості речовин і матеріалів	19
1.5 Вимірювання вологості рідин і твердих матеріалів	29
1.6 Вибір способу вимірювання вологості	30
2 Класифікація систем вентиляції складських приміщень	33
2.1 Вентиляційна система складського приміщення	33
2.2 Припливно-витяжна система вентиляції	35
2.3 Основні задачі, які виконуються системою контролю та підтримки мікроклімату	37
2.4 Вимоги до системи контролю та підтримки мікроклімату	38
3 Розробка алгоритму роботи та програмного забезпечення для системи контролю та підтримки мікроклімату складського приміщення	40
3.1 Алгоритм функціонування системи контролю та підтримки мікроклімату	40
3.2 Структурна схема системи контролю та підтримки мікроклімату	42
3.3 Пристрій управління системи контролю та підтримки мікроклімату ..	44
3.4 Середовище програмування Arduino IDE	48
3.5 Розрахунок надійності програмного забезпечення	53
4 Охорона праці	58
4.1 Аналіз умов праці на робочому місці	58

4.2 Промислова безпека на робочому місці	58
4.3 Виробнича санітарія у приміщенні	59
4.4 Пожежна безпека виробничого приміщення	61
Висновки	63
Перелік джерел посилання	65
Додаток А Демонстраційний матеріал	67

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЕОМ – електронна обчислювальна машина;

ІЧ – інфрачервоне;

КДЧ – кварцовий частотний датчик;

КЕД – кварцовий енергетичний датчик;

КМП – коридор мінімального потенціалу;

КПО – коефіцієнт природної освітленості;

УФ – ультрафіолет;

ШІМ – широтно-імпульсна модуляція.

ВСТУП

З метою забезпечення збереження товарів на підприємствах втілюються організаційні, технічні та санітарно-гігієнічні заходи, котрі спрямовані на запобігання головних причин псування і втрати товарів.

Найбільший вплив на якість товарів, які зберігаються, чинять температура та відносна вологість повітря; для окремих товарів важливу роль відіграють такі чинники, як хімічний склад повітря, освітленість тощо.

Ключовими причинами погіршення якості, псування та втрати товарів на складі підприємства назовемо:

- фізичні та хімічні процеси, що виникають під впливом чинників зовнішнього середовища під час зберігання;
- біологічні процеси, котрі пов'язані з розвитком мікрофлори;
- псування товарів комахами, гризунами та іншими шкідниками;
- механічні пошкодження товарів, які з'являються під час неправильного їхнього розміщення та укладання, до того ж при внутрішньо-складському транспортуванні (розбиття, надломи, розкришування, усихання, розриви, тріщини, вм'ятини, витікання тощо).

Необхідними технічними умовами, котрі попереджують погіршення якості та псування товарів і фактично виконуються під час проведення відповідних заходів, щодо створення оптимального режиму зберігання, іншими словами, підтримання на складі необхідного режиму температури, а також відносної вологості повітря, режиму освітлення для окремих видів товарів, тобто оптимального мікроклімату.

Об'єктом розробки – контроль та підтримки мікроклімату у складському приміщенні підприємства.

Предметом розробки – програмне забезпечення.

Мета роботи – розробка програмного забезпечення для системи контролю та підтримки мікроклімату у складському приміщенні підприємства.

Для досягнення окресленої мети необхідно розв’язати такі завдання:

- розглянути існуючі розробки;
- проаналізувати технічні умови зберігання товарів на складах підприємства;
- визначити необхідні критерії повітряного середовища у складських приміщеннях;
- дослідити особливості та методи вимірювання вологості речовин і матеріалів;
- аргументувати вибір способу вимірювання вологості товарів на складі підприємства;
- створити алгоритм роботи системи контролю та підтримки мікроклімату;
- спроектувати структурну схему системи контролю та підтримки мікроклімату;
- обрати пристрій управління системи контролю та підтримки мікроклімату;
- розробити програмне забезпечення для пристрою управління;
- розрахувати надійності програмного забезпечення для пристрою управління;
- втілити заходи і розрахунки для забезпечення умов безпечної праці.

Пояснювальну записку оформлено згідно з ДСТУ 3008:2015 [1], а також з рекомендаціями з підготовки й оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти [2-3].

1 АНАЛІЗ УМОВ ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ВИМІРЮВАННЯ СКЛАДУ РЕЧОВИН І МАТЕРІАЛІВ ТОВАРІВ

1.1 Умови для збереження якості та кількості товарів

З метою забезпечення збереження товарів в складських приміщеннях підприємства втілюються організаційні, технічні та санітарно-гігієнічні заходи, спрямовані на ліквідацію головних причин псування і втрат товарів.

Найбільше на якість товарів, які зберігаються, впливають температура та відносна вологість повітря; для окремих товарів важливу роль спричиняють такі чинники, як хімічний склад повітря, освітленість тощо.

Головними причинами погіршення якості, псування чи втрати товарів полягають у:

- фізичних та хімічних процесах, які з'являються під впливом чинників зовнішнього середовища під час зберігання;
- біологічних процесах, пов'язаних із розвитком мікрофлори;
- пошкодженні товарів комахами, гризунами й іншими шкідниками;
- механічних пошкодженнях товарів, які з'являються у разі неправильного їхнього укладання, а також внутрішньо-складському транспортуванні (на кшталт бою, лому, розкришування, усихання, розривів, тріщин, вм'ятин, витікання тощо).

Ключовими умовами, що запобігають зниженню якості та псуванню товарів і які фактично втілюються під час проведення відповідних заходів назвемо:

- застосування оптимального режиму зберігання, іншими словами, дотримання на складі необхідного режиму температури і відносної вологості повітря, режиму освітлення тощо для окремих видів товарів;
- дотримання чистоти складських приміщень;

- проведення контролю та управління щодо збереження товарів (поточний огляд товарів під час зберігання);
- дотримання відповідних протипожежних заходів.

Окрім встановлення оптимальної температурних та вологісних режими зберігання, як було зазначено вище, для окремих товарів обумовлюються ще й спеціальні режими зберігання (продтовари з обмеженими термінами зберігання, кіно- і фототовари, шкіряні вироби тощо). До того ж, вимоги щодо оптимальних режимів зберігання окремих груп товарів викладені у чинних правилах продажу продовольчих та непродовольчих товарів тощо.

Під час зберігання товарів на складі має проводитись контроль їхньої кількості та якості шляхом систематичного огляду (не рідше 1-2 разів на місяць) кожного місця зберігання з метою виявлення псування із подальшим усуненням його причини там, де це можливо, та відновити нормальні умови зберігання. Контроль за температурою та вологістю під час зберігання товарів здійснюється за допомогою різноманітних датчиків фізико-хімічного контролю та управління тощо.

Регулювання умов зберігання на складах полягає, перш за все, у регулюванні температури і відносної вологості повітря за допомогою опалювання, а також застосування у приміщеннях систем природної і штучної вентиляції, використання речовин, які вбирають вологу, тощо.

З метою підтримання належного санітарно-гігієнічного режиму доцільно регулярно виконувати прибирання, дезодорацію, дератизацію, дезінсекцію та дезінфекцію приміщень.

Дотримання встановленого режиму зберігання та чинників, які впливають на збереження, тісно пов'язане зі зменшенням товарних втрат, які виникають як за умови зберігання, так і під час проведення інших технологічних операцій.

Товарні втрати розуміємо як зменшення кількості та погіршення якості товарів унаслідок впливу негативних і шкідливих умов зовнішнього середовища, фізико-хімічних і біологічних властивостей товарів, а також у

разі неправильного транспортування чи зберігання, крім того, необережного, безгосподарського поводження з ними чи крадіжок товарно-матеріальних цінностей. Виокремлюють два види втрат, зокрема:

- нормовані (природні);
- ненормовані (актовані).

До нормованих товарних втрат належать природні втрати, а також норми бою деяких товарів і завищення маси тари.

Природні товарні втрати трактують як втрати товарів у процесі їхнього транспортування чи зберігання, підготовки до продажу та реалізації, що спричинені природними або технологічними чинниками (усихання, зачищення, розтрясання, розливання тощо). Так, на підприємствах торгівлі природні товарні втрати окремих товарів нормуються як у процесі транспортування вантажів, так і під час зберігання товарів на складах.

Норми природних втрат називають визначені на науковому підґрунті та затверджені в установленому порядку граничні величини значень маси, чи обсягів вантажів (які транспортуються), чи товарно-матеріальних цінностей (які зберігаються на складах), котрі виникають унаслідок природних втрат, однак перевізник, торгове підприємство або склад відповідальності не несе. Норми природних втрат залежать від відстані транспортування, кількості перевалок вантажу, періодів року, різновиду використаної тари, видів приміщень для зберігання, тривалості періоду зберігання та низки інших чинників. Норми природних втрат використовують щодо товарів, які відпущені зі складу за період між двома інвентаризаціями з урахуванням терміну зберігання товарів на складі. До того ж, природні втрати товарів списуються з матеріально відповідальних осіб за фактичними розмірами, проте не більше за установлені норми.

1.2 Особливості вимірювання складу речовин і матеріалів

За фізичними властивостями досліджуваного середовища фізико-хімічні вимірювання розподіляються на аналіз складу газів, рідин, а також аналіз складу твердих тіл. Особливе місце в окресленому підході займають гігрометри, що позначають визначення вмісту води в газах у вигляді пари, в рідинах – крапельної вологи, а в твердих тілах – кристалізаційної води. Ключові методи, котрими послуговуються в фізико-хімічних вимірах можна зобразити у вигляді схеми, продемонстрованої на рисунку 1.1.

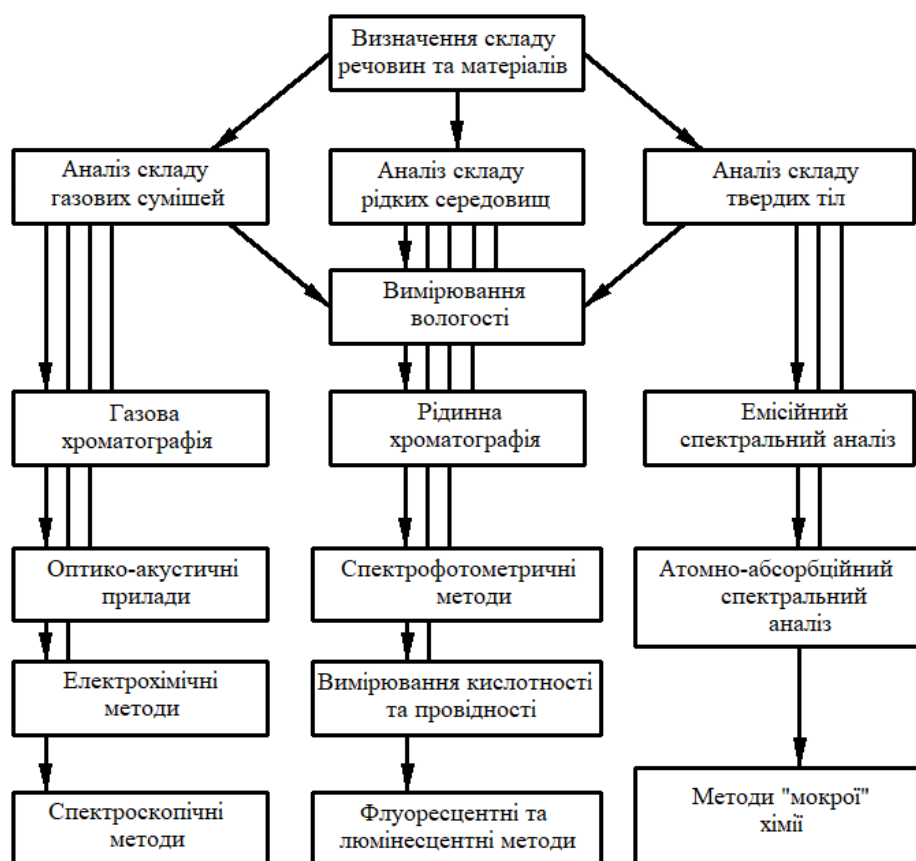


Рисунок 1.1 – Ключові методи фізико-хімічних вимірювань

Ще однією відмінною характеристикою фізико-хімічних вимірювань назвемо різноманітність методів і приладів для визначення мікро- та макроконцентрацій одного і того ж компонента в певному середовищі. Даний термін позначає, що зважаючи на відносний вміст компонента в суміші у

низці випадків слід застосовувати зовсім різні підходи. Так, за грубими оцінками в газі в 1 см^3 міститься приблизно $2,6 \times 10^{19}$ частинок. У рідині та твердому тілі таке значення на кілька порядків більше. Таким чином, для розв'язання різноманітних задач вимірювання вмісту певної речовини у всіляких сумішах необхідно застосовувати прилад для вимірювання величин, які змінюються в 10^{-19} .. 10^{-23} рази. Для більшості компонентів цю задачу важко розв'язати. Дійсно, для реалізації такого аналізатора з одного боку необхідно мати лічильник окремих частинок, а з іншого – засіб вимірювання надчистої речовини з рівнем домішок 10^{-19} .. 10^{-23} . Певна річ, що подібні вимірювання є абсолютно різними завдання, тому розв'язувати їх, якщо і можливо, то із застосуванням абсолютно різних підходів. Однак, практична необхідність створення надчистих матеріалів призвела до того, що подібні методи і прилади були створені для низки конкретних завдань.

1.3 Поняття вологості речовин і матеріалів

Вологість і зміст молекул води в речовинах і матеріалах вважаються одними з найважливіших характеристик складу. Як було зазначено вище, вологу доцільно вимірювати в газах (концентрація парів води), в сумішах рідин (власне утримання молекул води) і в твердих тілах як кристалізаційну вологу, що належить до структури кристалів. З огляду на це, набір методів і пристроїв вимірювання вмісту молекул води в матеріалах є доволі різноманітним.

Традиції вимірювальної техніки, що спираються на повсякденний досвід, призвели до того, що в вимірах вологості склалася специфічна ситуація. З огляду на вплив кількості вологи на ті чи інші процеси, необхідно знати чи абсолютне значення кількості вологи в речовині, чи відносне значення, що вираховується як процентне відношення реальної вологості речовини до максимально можливої в даних умовах. Якщо, наприклад, необхідно знати зміну електричних або механічних властивостей речовини,

то в даному разі визначальним є абсолютне значення вмісту вологи. Це ж стосується і змісту вологи в нафті, в продуктах харчування тощо. У разі, коли слід вирахувати швидкість висихання вологих об'єктів або комфортність середовища проживання людини чи метеорологічну обстановку, на перше місце виступає відношення реальної вологості, наприклад, у повітрі, до максимально можливої при даній температурі.

З огляду на це, характеристики вологості, а також її величини й одиниці поділяють на характеристики стану вологи та вмісту.

Вологовміст позначає величини й одиниці, що виражають реальну кількість вологи в речовині. Головною характеристикою вологовмісту вважається абсолютна вологість, обумовлена кількістю вологи в одиниці об'єму:

$$A = \frac{M_{H_2O}}{V}, \quad (1.1)$$

До такого класу характеристик належать парціальний тиск водяної пари в газах, абсолютна концентрація молекул води для газу, близького до ідеального, що вираховується як:

$$n_{H_2O} = n_0 \frac{p_{H_2O}}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T} \left(\frac{1}{\text{см}^3} \right), \quad (1.2)$$

де T – абсолютна температура;

n_0 – постійна Лошмідта, котра дорівнює кількості молекул ідеального газу в 1 см^3 за нормальних умов, тобто при $p_0 = 760 \text{ Па}$ і $T_0 = 273,16 \text{ К}$.

Здебільшого така характеристика абсолютної вологості застосовується, як точка роси, тобто температура, при якій дана абсолютна вологість газу стає 100 %. Цю характеристику додано до гігрометрів метеорологам і, тому

вона є найбільш типовою під час визначення моменту випадання роси та її кількості.

Станом вологості називають процентне співвідношення, що дорівнює відношенню абсолютної вологості до максимально можливої при даній температурі:

$$\varphi = (A/A_{\text{вс}}) \cdot 100 (\%). \quad (1.3)$$

Відносна вологість може вирізнятися так званим дефіцитом парціального тиску, котрий дорівнює відношенню парціального тиску вологи до максимально можливого при даній температурі. Зрідка в гігromетричних вимірах можна зустріти дефіцит точки роси.

Зв'язок між температурою і максимально можливою абсолютною вологістю задається рівнянням пружності насичених парів води та має вигляд:

$$\log \rho_{\text{мл}} = A + B \log 1/T + C \log T. \quad (1.4)$$

На практиці переважно послуговуються таблицею тиску насичених парів над плоскою поверхнею води чи льоду при різних температурах.

На стандартних довідкових даних ґрунтуються практично всі обчислення характеристик вологості. На їхній основі можна, зокрема, знайти відносну вологість, крапку роси за відомою абсолютної вологості та температури, визначити практично будь-яку характеристику вологості газів.

Серед приладів для вимірювання вологості найбільш масово застосовуються прилади для визначення вмісту води в газах, тобто гігromетри. Для вимірювання вологості твердих і сипучих тіл здебільшого послуговуються тими ж гігromетрами, проте процес підготовки проби до аналізу застосовує переклад вологи в газову фазу, котра потім і аналізується. Крім того, є методи безпосереднього вимірювання вмісту вологи в рідинах та

твердих тілах, як-от метод ядерного магнітного резонансу. Прилади, що ґрунтуються на такому принципі, дуже складні та дорогі, до того ж вимагають високої кваліфікації оператора.

Гігрометри як самостійні прилади – одні з найбільш застосовуваних вимірювальних приладів. Спостерігаючи за зміною вологості, а також тиску та температури, можна прогнозувати погоду чи контролю та управляти мікроклімат, комфортність життєзабезпечення в приміщеннях, крім того, контролю та управління різного роду технологічних процесів. Так, контроль вологості на електростанціях, у банківському грошовому сховищі, в приміщеннях, де зберігають різного роду документацію (архіви), на телефонних станціях або поліграфічному виробництві є визначальним для забезпечення нормального режиму функціонування.

Затребуваність гігрозметрів сприяє розробкам і виготовленню великої кількості різноманітних типів приладів. Більшість пристроїв для вимірювання вологості – це датчики вологості з індикатором, аналоговим або цифровим сигналом. Зважаючи на те, що переважна більшість індикаторів є механічними пристроями чи електровимірювальними приладами. Розглянемо датчики вологості, що характеризують майже всі функціональні можливості гігрозметрів.

1.4 Методи вимірювання вологості речовин і матеріалів

Область використання датчиків вологості доволі поширена. Подібні вимірювачі застосовуються на виробництві для регулювання вологості в кліматичних камерах, як-от при виготовленні накопичувачів на жорстких магнітних дисках, модулів пам'яті тощо, під час виготовлення будівельних матеріалів, харчової чи хімічної промисловості. Крім того, датчики вологості активно використовуються в гідрометеорології, сільському господарстві, медицині та побуті. Так, датчики вологості є обов'язковим компонентом у

таких пристроях, як кліматизатори, кондиціонери, сучасні холодильні камери, солярії.

Датчики гігрометрів можна розподілити за принципом дії на такі типи:

- волосяні;
- ємнісні;
- інтегральні сорбційно-ємнісні;
- кварцові;
- резистивні;
- оптичні абсорбційні;
- психрометричні датчики вологості.

Волосяні датчики. Найперші, найпростіші та найдешевші датчики вологості, що мають вид звичайного волосся, натягнутого між двома пружинами. Власне вимірювання вологості ґрунтується на властивості волосся змінювати довжину у разі зміни вологості. Незважаючи на реальну примітивність такого датчика, до того ж, процес, який лежить в основі вимірювання, не відповідає законам фізики, отже, не піддається обчисленню, гігрометри з волосяними датчиками виготовляються у великій кількості як побутові прилади з надто низькою точністю вимірювання $\pm 5-10\%$.

Ємнісні датчики вологості на сьогодні, зважаючи на масовість застосування, конкурують і навіть перевершують волосяні, оскільки теж прості та дешеві як й останні. Вимірюваною фізичною величиною вважається ємність конденсатора, тобто індикатором або вихідним пристроєм може стати будь-який вимірник ємності. На рисунку 1.2 наведено структуру ємнісного датчика вологості.

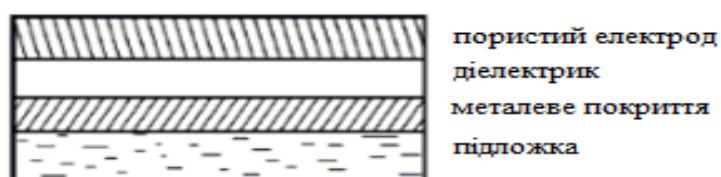


Рисунок 1.2 – Структура ємнісного датчика вологості

На підкладку з кварцу наноситься тонкий шар алюмінію. Він є однією з обкладок конденсатора. На поверхні алюмінієвого покриття утворюється тонка плівка окису Al_2O_3 . На окислену поверхню шляхом напилення наноситься другий електрод з металу, що вільно пропускає пари води. Такими матеріалами можуть бути тонкі плівки паладію, родію чи платини. Зовнішній пористий електрод – друга обкладка конденсатора.

Сорбційно-ємнісні датчики. Принцип функціонування сорбційно-ємнісних датчиків вологості ґрунтується на залежності діелектричної проникності сорбенту, що застосовується як вологочутливий шар, від кількості сорбованої вологи. Вологочутливий шар розташовується між двома електродами, один з яких є вологопроникним, утворюючи конденсатор. Його ємність залежить від вологості навколишнього середовища. У датчиках відносної вологості найчастіше використовують полярні полімерні сорбенти з лінійними ізотермами сорбції. Типову градувальну характеристику датчика (пряму гілку) наведено на рисунку 1.3.

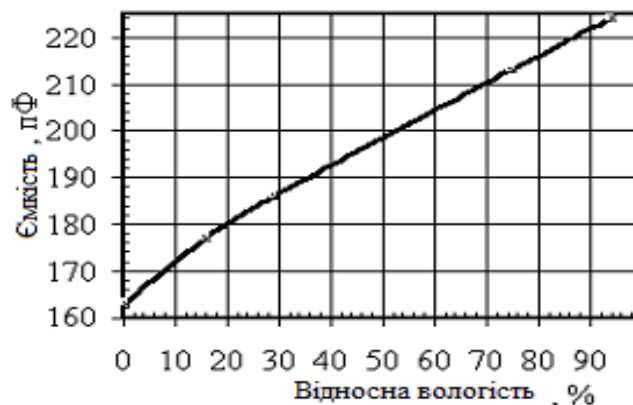


Рисунок 1.3 – Типова градувальна характеристика емнісного датчика

Максимальне значення ширини петлі гістерезису градувальної характеристики датчика при його вологоциклуванні становить від 0-98 %, і навпаки, що має місце при 75 % не перевищує 3 %. За умови експлуатації датчика в діапазоні 30-70 % величина гістерезису не перевищує 1,5 %.

Релаксація гістерезису в часі не простежується. Це дозволяє вводити відповідні поправки.

Величина основної абсолютної похибки датчика визначається перш за все наявністю гістерезису.

Датчик вирізняється високою стабільністю градуовальної характеристики, витримує перевантаження по вологості (у тому числі випадання конденсату) та температурі. За результатами досліджень підтверджено, що датчик надійно функціонує при температурі до 150°C, при цьому зберігаються значення температурних коефіцієнтів.

Кварцові датчики. Першу конструкцію вологоміра з кварцовим датчиком було запропоновано в 1960 році. Прилади, спроектовані на базі згаданого винаходу, впроваджені на виробництві. За їхньою допомогою, приміром, не лише вимірюють, але й автоматично регулюють вологість повітря в виробничих приміщеннях текстильних фабрик. Кварцовим датчиком називають спеціалізований кварцовий резонатор, відмінність якого від звичайних кварцових резонаторів полягає не лише в призначенні, але і конструкції. Під час конструювання кварцових датчиків вологості прагнуть до того, щоб у залежності від вологості значно змінювалися параметри резонаторів. Дослідження причин вологочутливості кварцових резонаторів виявило, що вони пов'язані з адсорбцією водяної пари на поверхні кварцу та його металізованому покритті. До того ж змінюються механічні характеристики кварцового резонатора, збільшується втрата енергії механічних коливань, що призводить до зростання еквівалентного опору резонатора. Водночас змінюються маса і пружні властивості пластини; а також від цього залежить і частота її коливань. Зміна еквівалентних характеристик у вологому середовищі окреслюються не лише адсорбційними властивостями поверхні кварцу, але і його конструкцією.

Один із методів вимірювання вологості газів, який ґрунтується на застосуванні кварцових резонаторів, називається частотним. Вихідним критерієм кварцових частотних датчиків (КДЧ) обрано частоту. Їх

виготовляють за допомогою високочастотних кварців зрізу АТ або ОТ. З метою підвищення вологочутливості пластину покривають сорбційними покриттям, найчастіше «жорстким», на кшталт, фтористого магнію, кремнезему, скла. Нанесення таких покриттів реалізується шляхом вакуумного напилення. Вологочутливість КДЧ оцінюється зміною частоти Δf . Отже, залежить від обсягу та властивостей покриття. Відсоткова зміна частоти КДЧ – десяті частки відсотка. Спроба підвищити вологочутливість за допомогою збільшення обсягу сорбційного покриття призводить до значного зниження добротності та сприяє погіршенню стабілізуючих властивостей кварцових резонаторів. Останнє викликає значний відхід частоти генератора за умови постійної вологості. Кращими критеріями наділені кварцові датчики, в яких адсорбція водяної пари викликає ефективно розсіювання енергії (енергетичні датчики). У зазначених датчиків за умови перебування у вологому середовищі різко змінюється еквівалентний опір, збільшуючись на 100 і більше відсотків, разом з тим частота змінюється всього лише на десяті частки відсотка. Вологочутливість кварцових енергетичних датчиків (КЕД) вирізняються зміною еквівалентного опору дельта, що визначається залежністю

$$Rqa = K_0 \cdot a_0, \quad (1.5)$$

де K_0 – коефіцієнт електромеханічного перетворення пластини, котрий залежить від типу зрізу, виду колювання та розмірів кварцу;

a_0 – коефіцієнт, який залежить від адсорбційних властивостей кварцу.

Для вимірювання вологості вище 60 % при температурі газу більше 20°C достатньо використати адсорбційні властивості металізованих окислених електродів зі срібла. Для визначення вологості газу в ширшому діапазоні стану вологості і температур використовується спеціальне захисно-в'язке покриття. Іншими словами, це розчин полімерів, як-от тривідсотковий

розчин капрону в мурашиній кислоті. Разом з цим забезпечується не лише висока вологочутливість, але й підвищується стійкість датчика в агресивному середовищі. Втім будь-яке додаткове адсорбційне покриття збільшує інерційність датчика. Зважаючи на це, у разі потреби датчика з малою інерцією, краще застосовувати його з металізованими електродами без жодного покриття. Проте, якщо захисно-в'язке покриття наносити не на всю пластину, а лише на ділянки, де, вона піддається максимальній деформації, можна значно зменшити інерцію КЕД. У цих місцях просвердлюють отвори, котрі заповнюють розчином полімерів. Розглянутий датчик наділений високою вологочутливістю і довго зберігає свої характеристики в часі (деякі датчики стабільно функціонували більше 5 років). На рисунку 1.4 наведено залежності еквівалентного опору датчика від відносної вологості повітря для різних температур.

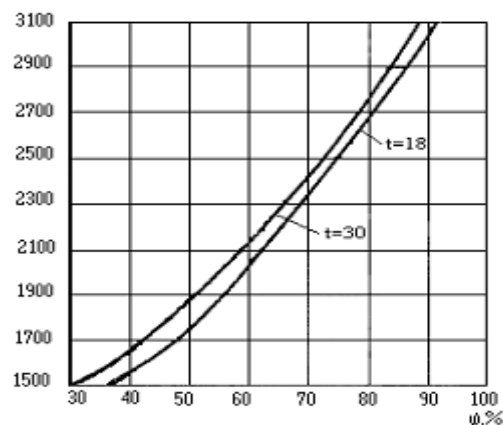


Рисунок 1.4 – Залежність еквівалентного опору кварцового датчика від відносної вологості повітря для різних температур

З графіків підкреслюємо, що похибка датчика не є значною, отже, можна обійтися без температурної компенсації. Кварцові енергетичні датчики є простими у виготовленні та зручними, оскільки не вимагають частотно-вимірювальної апаратури.

Підтвердженням нормальної роботи перетворювача вважається відсутність генерації без кварцового датчика. В даному випадку стрілка

приладу розташована на кінцевій позначці шкали. Під час установлення кварцового датчика перетворювач збуджується на частоті кварцу. До того ж стрілка приладу зупиниться проти поділу шкали, що відповідатиме відносній вологості газу.

Градуювання шкали реалізують у камері штучного клімату, залучаючи, при цьому, аспіраційний психрометр.

Резистивні датчики створюються у вигляді структури, схему якої зображено на рисунку 1.5.

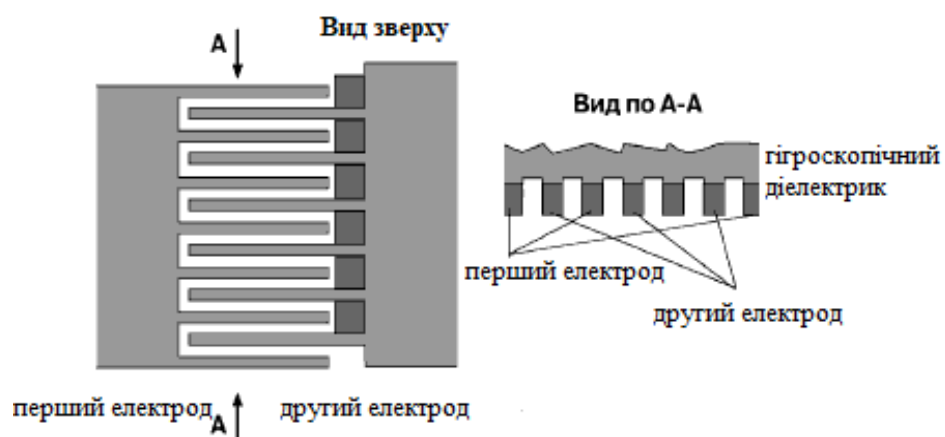


Рисунок 1.5 – Структура резистивного датчика вологості

Гігістори (резистивні датчики вологості) можуть реалізовуватись як діелектричні пластини з нанесеними на їхню поверхню провідниками та покриті вологопоглинаючим шаром (на кшталт солей стронцію), опір якого змінюється, відповідно до зміни вологості. Залежно від складу покривного шару, гігістори можуть збільшувати чи зменшувати свій опір у разі збільшення вологості.

Конструкція резистивного датчика вологості виглядає як меандр з двох електродів, які не стикаються, на поверхню котрого нанесено тонкий шар гігроскопічного діелектрика. Останній, сорбуючи вологу з навколишнього середовища, змінює опір проміжків між електродами меандру. Про вологості говорять зважаючи на зміну опору чи провідність такого елемента.

Оптичні датчики. Останнім часом з'явилися гігрометри, що ґрунтуються на фундаментальному фізичному законі поглинання електромагнітного випромінювання, тобто законі Ламберта-Бугера-Бера. Відповідно до цього закону через шари поглинання чи розсіювання речовини проходить електромагнітне випромінювання інтенсивністю I_λ , що дорівнює:

$$I_\lambda = I_{0,\lambda} e^{-\delta_\lambda N l}, \quad (1.6)$$

де I_λ – інтенсивність випромінювання, що падає на поглинаючий стовп;

N – концентрація поглинаючих атомів (число молекул в одиниці об'єму);

l – довжина поглинаючого стовпа;

δ_λ – молекулярна константа, що дорівнює площі «тіні», створеної одним атомом і вираженої у відповідних одиницях.

Пари води містять інтенсивні смуги поглинання в інфрачервоній області спектра і в області довжин хвиль від 185 нм до 110 нм, що трактується як вакуумна ультрафіолетова область. Існують окремі розробки зі створення інфрачервоних та ультрафіолетових оптичних вологомірів. Усі вони мають одну спільну позитивну рису – вологоміри миттєвої дії. Мова йде про рекордно швидке встановлення аналітичного сигналу для проби, розташованої між джерелом світла та фотоприймачем. Інші властивості оптичних датчиків окреслюються тим, що в інфрачервоній області поглинання молекулами води відповідає обертально-коливальним ступеням свободи. Іншими словами, вірогідність переходів, а також перетину поглинання в законі Ламберта-Бугера-Бера, відповідно, залежать від температури об'єкта. Проте у вакуумній ультрафіолетовій області перетин поглинання не залежить від температури. Зважаючи на це, ультрафіолетові датчики вологості – кращі, втім інфрачервона (ІЧ) техніка, що застосовується в ІЧ-датчиках вологості, є набагато довговічнішою та простішою в експлуатації, ніж УФ-техніка.

В оптичних датчиках існує один загальний недолік, який полягає у впливі на показання компонентів, які заважають. В інфрачервоній області це можуть бути різні молекулярні гази, на кшталт окису вуглецю, сірки, азоту, вуглеводу тощо. У вакуумному ультрафіолеті (УФ) головним заважаючим компонентом є кисень. Утім можна вибрати довжини хвиль в УФ, де поглинання кисню буде мінімальним, а парів води – максимальним. Так, зручною областю стають випромінювання резонансної лінії водню з довжиною хвилі $\lambda=121,6$ нм. На такій довжині хвилі у кисню спостерігається «вікно» прозорості, водночас пари води помітно поглинають випромінювання. Інша можливість полягає у використанні випромінювання ртуті з довжиною хвилі 184,9 нм. У даній області кисень не поглинає випромінювання, отже, весь сигнал поглинання визначається парами води.

Одну з можливих конструкцій оптичного датчика вологості продемонстровано на рисунку 1.6. Резонансну водневу лампу з вікном із фтористого магнію розміщують на відстані декількох міліметрів від фотоелемента з катодом із нікелю. Нікелевий фотоелемент наділений довгохвильовою межею чутливості – 190 нм. Вікна з фтористого магнію містять короткохвильову межу прозорості 110 нм. У цьому діапазоні довжин хвиль (від 190 до 110 нм) у спектрі водневої лампи наявне лише резонансне випромінювання 121,6 нм, яким і послуговуються для вимірювання абсолютної вологості без будь-якої монохроматизації [6].

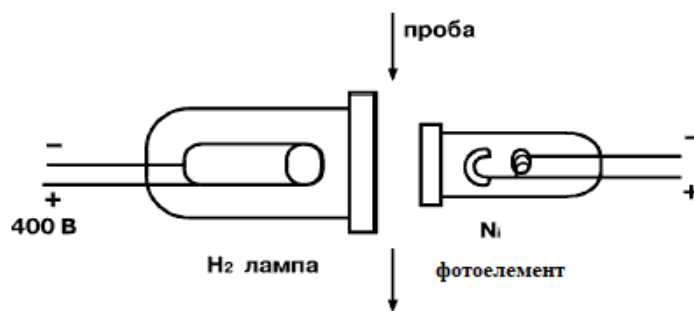


Рисунок 1.6 – Структура оптичного датчика вологості

В оптичного датчика, схема якого представлена на рисунку 1.6, існує ще одна властивість – можливість змінювати чутливість зміною відстані від лампи до фотоприймача. Дійсно, зі збільшенням відстані нахил характеристики dU/dN вихідного сигналу від концентрації є прямо пропорційним величині зазору між лампою та фотодіодом.

Вагомою якістю оптичного датчика назвемо наслідок із закону Ламберта-Бугера-Бера, котрий полягає в тому, що калібрування такого датчика слід виконувати тільки в одній точці. У разі визначення сигналу з приладу при будь-якій одній певній концентрації парів води, відградувати шкалу приладу можна за допомогою обчислення на тій підставі, що зміна логарифма сигналів при різних концентраціях одна:

$$\Delta \lg I = (\lg I_0 - \lg I_\lambda) = \delta_\lambda N l, \quad (1.7)$$

де N – концентрація (число) молекул на одиницю об'єма;

δ_λ – перетин поглинання;

l – довжина поглинаючого проміжку.

Психрометричні датчики. Для визначення відносної й абсолютної вологості на практиці здебільшого застосовують прилади, що називають психрометрами. Психрометри – це два однакових термометра, один з яких обгорнутий гнітом і змочується водою. Мокрий термометр показує температуру нижче за сухий у тому разі, коли відносна вологість не дорівнює 100 %. Чим нижчою буде відносна вологість, тим більшою стане різниця показників сухого та мокрого термометрів. Для психрометрів різних конструкцій складають так звані психрометричні таблиці, за якими визначають характеристики вологості. Електричні психрометри можуть з'єднуватись за допомогою відповідних вхідних схем з індикаторними з приладами, що регулюють або реєструють. Отже, відносна вологість повітря може бути безпосередньо показана в % чи можлива подальша обробка вимірювального сигналу. Схему психрометра наведено на рисунку 1.7.

Психрометр є не дуже зручним в експлуатації, оскільки його показання автоматизувати не легко, тому вимагається постійне зволоження ґніту. Втім власне психрометр - це найпростіший і водночас досить точний та надійний засіб виміру вологості. Саме за психрометрами найчастіше градууються гігрометри з волосяними, ємнісними чи резистивними датчиками [6].

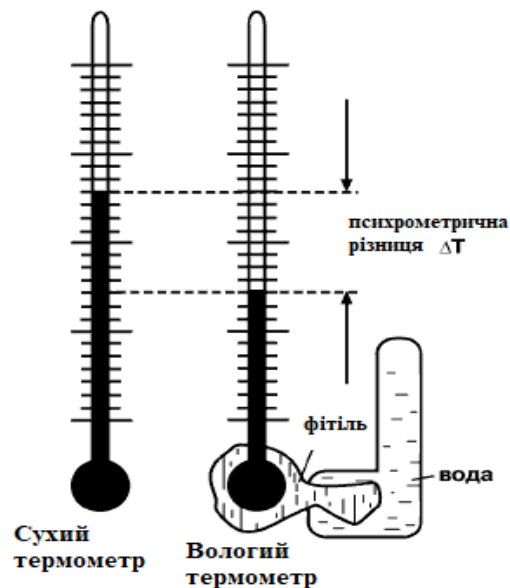


Рисунок 1.7 – Структура психрометричного датчика вологості

1.5 Вимірювання вологості рідин і твердих матеріалів

На останок коротко розглянемо методи вимірювання вологості рідин і твердих матеріалів. Найпоширенішим з них є метод висушування чи випарювання вологи з речовини з наступним зважуванням. Як правило, пробу висушують до тих пір, поки її вага не перестане змінюватись. З огляду на це, природно, робиться два припущення. Перше: вся сортована і хімічно зв'язана волога при обраному режимі випаровується. Друге: разом із вологою жоден інший компонент не випарюється. Як видно, в багатьох випадках дуже складно гарантувати коректність виконання процедур випарювання.

Іншим універсальним методом вимірювання вологості рідких і твердих тіл вважається метод, у якому волога з них переходить у газову фазу в будь-

якому замкнутому просторі. В даному випадку стандартизують методику підготовки проби, а вимірювання виконують одним зі згаданих типів гігрометрів, призначених для вимірювання вологи в газовій фазі. Для отримання надійних результатів такі пристрої калібрують зі стандартних зразків вологості [6, 8].

1.6 Вибір способу вимірювання вологості

Проаналізувавши описи різних методів вимірювання вологості газів, складемо таблицю ключових характеристик кожного з розглянутих способів (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Ключові характеристики методів вимірювання вологості газів

метод вимірювання	точність	надійність	простота виготовл.	простота експлуат.	вартість	сума
1	2	3	4	5	6	7
волосяні датчики	**	**	***	***	***	13
ємнісні датчики	**	***	***	***	***	14
сорбційні-ємнісні датчики вологості	***	***	*	***	*	11
кварцові датчики вологості	***	**	***	***	***	14

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7
резистивні датчики	**	**	**	**	**	10
оптичні абсорбційні датчики	***	*	*	**	*	8
психрометричні датчики вологості	***	***	**	*	***	12

Виконавши порівняння точності різних способів вимірювання вологості газів, можна підкреслити, що майже всі сучасні датчики наділені високою точністю, тому у виборі методу вимірювання розроблювального пристрою зазначений вище критерій не був визначальним.

З точки зору надійності вони явно поступаються іншим оптичним датчикам. Зважаючи на те, що вони практично миттєво вимірюють вологість, проте на їхню роботу істотно може вплинути присутність різних сторонніх газів. Перше ж місце щодо надійності можна віддати психрометричним датчикам, однак через складність виготовлення й експлуатацію даний метод поступається методам вимірювання вологості ємнісними, сорбційно-ємнісними, резистивними та кварцовими датчиками. Крім того, виникають певні складнощі з виготовлення й експлуатації вимірників, створених на основі датчиків вимірювання напруги пробою. Це пов'язано з тим, що для роботи таких датчиків слід подавати високу напругу.

Кварцові й ємнісні датчики вологості, до того ж, вигідно відрізняються від інших вартістю. За умови рівності інших чинників сорбційно-ємнісні та резистивні вимірювачі коштують значно дорожче за датчики вологості, що базуються на вимірі ємності чи частоти кварцового резонатора.

У разі вибору первинного датчика вологості між кварцовим та ємнісним, основною характеристикою стала точність вимірювання величини вологості середовища. Отже, під час вибору методу вимірювання розроблювального пристрою, було вирішено зупинитися на вимірнику, заснованому на кварцовому датчику вологості.

Деякі пристрої, що гуртуються на методах вимірів, розглянутих вище, доцільно реалізовувати за допомогою цифрової електроніки. З огляду на це, виникла необхідність у розробленні цифрового вимірювача вологості.

2 КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ СКЛАДСЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

2.1 Вентиляційна система складського приміщення

Система вентиляції складського приміщення сприяє належному мікроклімату, завдяки якому правильно зберігаються матеріали та товари, до того ж створюються комфортні умови для роботи людей. Підбір відповідної вентиляційної системи й устаткування реалізується з урахуванням типу складу, обсягу, властивостей та умов зберігання товару, наявності допоміжних механізмів, а також кількості постійних або тимчасових робочих місць. Незважаючи на перелічені умови вентиляція на складах, здебільшого, функціонує за спрощеною схемою, тобто свіже повітря надходить через отвори і нещільності [8].

Повноцінна система, котра складається з обігріву, охолодження повітря, фільтрації повітря, систем видалення диму застосовується на складах, в яких зберігається продукція, на яку легко впливає мікроклімат, отже, для неї необхідно створити певні умови. До такої категорії товарів належать продукти харчування, лакофарбова продукція, медпрепарати тощо. Розроблюючи вентиляційну систему для зазначених складських приміщень, слід зважати на оптимальні умови зберігання, а також роботу людей. З огляду на це, розрахунки проводяться за всіма критеріями по кратності, з урахуванням кількості людей та додаткових вимог. За отриманими результатами перевага надається найбільшому значенню, котре визначатиме продуктивність системи вентиляції.

Для системи управління критеріями вентиляції висуваються такі завдання:

– створення та підтримання у визначених межах показників вентиляції у складі відповідно до вимог зі зберігання певного виду плодоовочевої

продукції;

– заощадження енергоресурсів, які витрачаються для створення та підтримання вентиляції складського приміщення.

Згідно зі змінами критеріїв вентиляції в сховищі, можна окреслити такі завдання аналізу й управління:

- забір повітря ззовні;
- теплообмін повітряних потоків;
- попереднє нагрівання повітря;
- охолодження;
- нагрівання повітря;
- фільтрація повітря;
- подання повітря до приміщення;
- витягування відпрацьованого повітря;
- циркуляція повітряних потоків.

З огляду на поширене різноманіття систем вентиляції, їх, як правило, класифікують за такими ключовими ознаками, зокрема:

- призначенням (витяжні та припливні);
- конструктивними властивостями (канальні та безканальні);
- сферою дії (місцеві та загальнообмінні);
- способом створення перепадів тиску для циркуляції повітря (з природним та механічним впливом).

Витяжні системи сприяють виведенню із приміщень забрудненого повітря, на відміну від припливних, які призначені для подачі до приміщення очищеного повітря замість виведеного. Повітря, що надходить до приміщення, у разі необхідності підлягає спеціальному обробленню (нагріванню/охолодженню, зволоженню/осушенню, очищенню). В іншому випадку приміщення облаштовують витяжними та припливними системами одночасно, до того ж, слід враховувати, що їхню продуктивність потрібно підтримувати приблизно на одному рівні.

Канальні системи володіють розгалуженою мережею повітропроводів

для циркуляції повітря. У свою чергу в безканалних повітроводи (канали) попросту відсутні, їх застосовують у разі аерації, облаштування вентиляторів в стіні, перекриттях тощо. Місцеві системи вентиляції мають таку назву, оскільки застосовуються на певних ділянках (місцях) приміщення. Проте вони також бувають витяжними (застосовуються місцеві відсоси) чи припливними (повітряні завіси, душ або повітряний оазис). Загальнообмінні системи вентиляції (як витяжні, так і припливні) використовують для вентиляції усього приміщення або значної його частини. На відміну від місцевої дана система спроможна подавати повітря для всього приміщення, до того ж, рівномірно виводити з нього забруднене повітря.

У системах природної вентиляції рух повітря здійснюється не шляхом примусових приладів, а за рахунок природного впливу, зокрема, перепадів тиску. У механічних системах використовують спеціальні пристрої та обладнання (вентилятори, електродвигуни, фільтри, нагрівачі тощо). Це сприяє циркуляції повітря на необхідну відстань та площу, а також зміні його температури, рівеня вологості, газового вмісту, що не спроможна зробити природна вентиляція.

2.2 Припливно-витяжна система вентиляції

Припливно-витяжна вентиляція реалізує надходження чистого та свіжого повітря до приміщення, а також прибирає шкідливе відпрацьоване повітря з нього, що того ж, обидві функції діють одночасно. Зазначена система активно використовується для підтримки вентиляції в складських приміщеннях. У ній існує два потоки повітря: приплив і відтік.

Припливом називають процес надходження свіжого повітря із зовні. Спочатку апарат забирає свіже повітря, далі пропускає його через фільтр, очищає та нагріває і в результаті подає його до приміщення.

Відтоком називають процес збору та виведення відпрацьованого повітря з приміщення. Першопочатково апарат збирає забруднене повітря,

потім воно проходить через систему рекуперації, де забирає тепло для підігріву вхідного повітря, а наприкінці виводить охолоджене відпрацьоване повітря в атмосферу.

Зауважимо, що обидва ці потоки одночасно функціонують у системі, до того ж ніде не змішуються. Тільки системі установки вони підходять настільки близько один до одного, що між ними здійснюється теплообмін (уже відпрацьоване повітря, перед тим, як система спрямує його назовні, охолоджується від вхідного потоку, віддаючи йому приблизно 90% від свого тепла). Таким чином, практично повністю відпадає необхідність щодо стандартного підігріву холодного повітря за допомогою батарей чи інших нагрівачів. Схему припливно-витяжної вентиляції продемонстровано на рисунку 2.1.

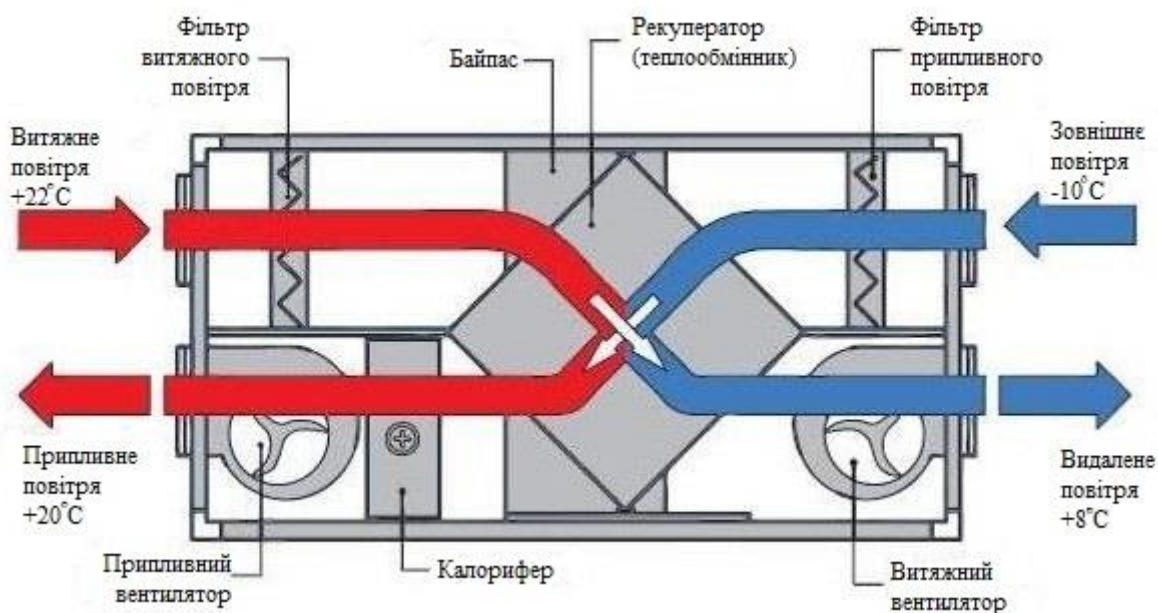


Рисунок 2.1 – Схема припливно-витяжної вентиляції

Як правило, системи припливно-витяжної вентиляції складаються з:

- повітряного клапана, котрий запобігає потраплянню зовнішнього повітря до приміщення, у разі вимкнення системи;
- повітрязабірної решітки, через яку повітря надходить до системи, водночас, запобігаючи потраплянню сторонніх предметів до установки;

- фільтра, що реалізує фільтрацію повітря;
- калорифера (повітронагрівача), котрий нагріває припливне повітря в холодну пору;
- вентилятора, що забезпечує надходження повітря до приміщення, а також підтримує необхідний тиск у повітроводах;
- повітроводи, котрі розподіляють повітря по приміщеннях;
- розподільвачі повітря, завдяки яким повітря потрапляє до приміщення безпосередньо;
- шумопоглинача, що зменшує рівень шуму, котрий продукує установка;
- звуко- та теплоізоляційних панелей, які зменшують рівень шуму та підвищують ККД;
- системи автоматики та регулювання, що застосовується для управління системою.

Переваги припливно-витяжної вентиляції полягають у забезпеченні:

- безперебійної циркуляції повітря у вентилязованому приміщенні;
- фільтрації повітря;
- нагріву повітря за необхідністю;
- можливості змінювати рівень вологості повітря;
- рекуперації тепла.

До недоліків припливно-витяжної вентиляції належать:

- утворення надлишкового шуму від вентиляторів;
- відсутність охолодження повітря, котре є необхідним у жарку пору;
- необхідності постійно відводити конденсат, який утворюється.

2.3 Основні задачі, що реалізуються системою контролю та підтримки мікроклімату

За допомогою системи автоматичного управління вентиляцією можна розв'язати такі завдання щодо:

- постійного моніторингу кліматичних показників та нагляду за працездатністю вентиляційного устаткування;
- необхідності зберігання даних про зміну критеріїв вентиляції під час робочого процесу;
- автоматичного виконання процесу введення/виведення повітря в/із приміщення;
- вмикання/вимикання обладнання для врегулювання параметрів вентиляції відповідно до встановлених значень, зважаючи на зміни мікрокліматичних умов;
- відслідковування рівня забрудненості повітряних фільтрів, рекуператорів, калориферів та інших пристроїв;
- забезпечення зупинки системи у разі непередбачуваних ситуацій (пожежі, коротких замикань тощо);
- можливості переходу до ручного управління системою.

2.4 Вимоги до системи контролю та підтримки мікроклімату

Основними вимогами, що висуває перед собою система контролю та управління критеріїв вентиляції складського приміщення, назвемо:

- наявність пристроїв, що можуть здійснювати моніторинг системи в реальному часі та надсилати дані про стан критеріїв вентиляції до модуля управління;
- пристрої моніторингу повинні бути спроможними надсилати дані, використовуючи бездротову мережу, а також працювати належним чином навіть на великих відстанях (якщо це обумовлено розмірами складського приміщення);
- пристрої моніторингу мають бути енергоефективними, до того ж, у разі необхідності, залучати додаткове живлення від акумуляторних батарей (за умови надзвичайної ситуації);
- габаритні розміри та конструкція модулю управління повинні

реалізувати безперешкодне його монтування, безпосередньо, до вентиляційної камери, чи доволі близько до неї;

– модуль управління повинен мати можливість отримувати дані від пристроїв моніторингу за допомогою бездротової мережі (якщо це обумовлено розмірами складського приміщення);

– модуль управління повинен мати можливість передавати дані про роботу системи, застосовуючи бездротову мережу, на ПК або сервер для того, щоб оператор міг віддалено вносити корективи щодо роботи системи.

Окресливши вимоги до системи автоматизації контролю та управління критеріїв вентиляції, можемо підготувати перелік критеріїв, які слід врахувати під час розроблення механізму для її коректної роботи:

- межі вимірювання для датчиків температури повітря;
- межі вимірювання для датчиків вологості повітря;
- межі вимірювання для датчиків газу;
- дальність передавання даних бездротовою мережею.

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМА РОБОТИ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА ПІДТРИМКИ МІКРОКЛІМАТУ СКЛАДСЬКОГО ПРИМІЩЕННЯ

3.1 Алгоритм функціонування системи контролю та підтримки мікроклімату

Алгоритм функціонування трактується як сукупність правил, що забезпечують правильне функціонування технічного процесу у пристрої чи системі.

Для того, щоб професійно спроектувати та розробити систему автоматизації контролю та управління вентиляції доцільно знати, в яких ситуаціях система повинна виконувати ту чи іншу дію. Зважаючи на те, що система розподілена на два базових модулі, для кожного з них необхідно розробити алгоритм, за яким вони будуть працювати.

Алгоритм роботи системи контролю та підтримки мікроклімату продемонстровано на рисунку 3.1.

Етапи алгоритму роботи для модуля управління:

- ініціалізація змінних;
- перевірка під'єднання функціональних вузлів;
- перевірка та під'єднання до модулів моніторингу;
- запит щодо отримання інформації від під'єднаних модулів моніторингу;
- надходження інформації від модулів моніторингу;
- перевірка режимів роботи;
- налагодження режиму роботи вентиляційної камери;
- під'єднання до мережі Інтернет та зв'язок із сервером;
- запит до серверу щодо оновлення чинних режимів роботи;
- налаштування пристроїв регулювання відповідно до встановленого

режиму роботи.

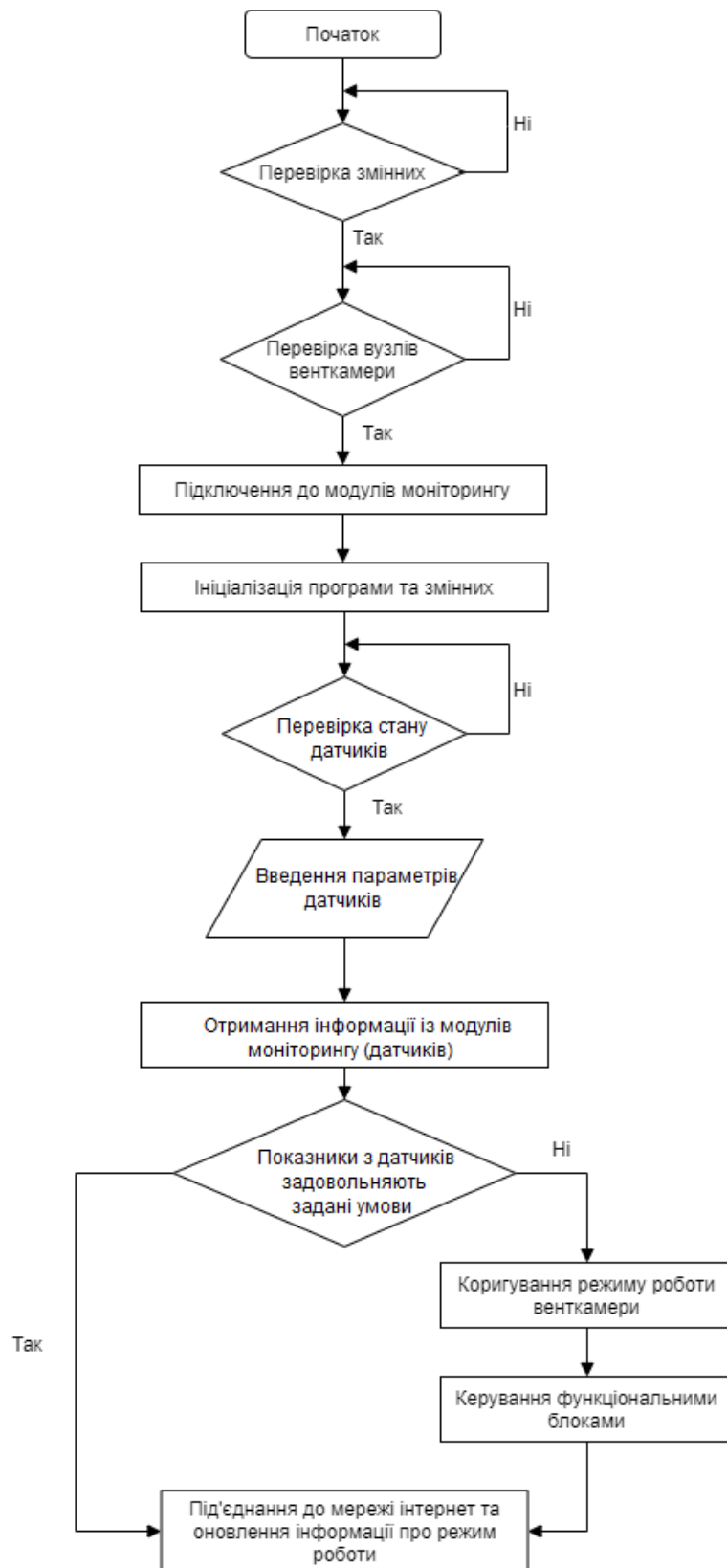


Рисунок 3.1 – Алгоритм роботи системи контролю та підтримки мікроклімату

Етапи алгоритму для функціонування датчиків:

- ініціалізація програмного забезпечення та змінних;
- перевірка стану датчиків;
- запит щодо отримання даних про стан критеріїв вентиляції;
- під'єднання за допомогою бездротової мережі до пристрою управління та оброблення інформації;
- під'єднання за допомогою бездротової мережі до пристрою управління та оброблення інформації;
- надсилання даних про стан вентиляції на модуль управління.

Ураховуючи задані режими роботи, потрібно організувати управління елементами системи вентиляції, що виконуватиме блок управління, зокрема:

- електричними клапанами;
- вентиляторами;
- регулювальним клапаном;
- електричним нагрівачем.

3.2 Структурна схема системи контролю та підтримки мікроклімату

Згідно з вимогами, опрацьованими раніше, створимо структурну схему системи контролю та підтримки мікроклімату складського приміщення (рисунок 3.2).

Автоматизована система контролю та управління вентиляції містить у собі модулі моніторингу (датчики температури, вологості, газу) та управління (виконавчі пристрої: клапани, вентилятори, нагрівач).

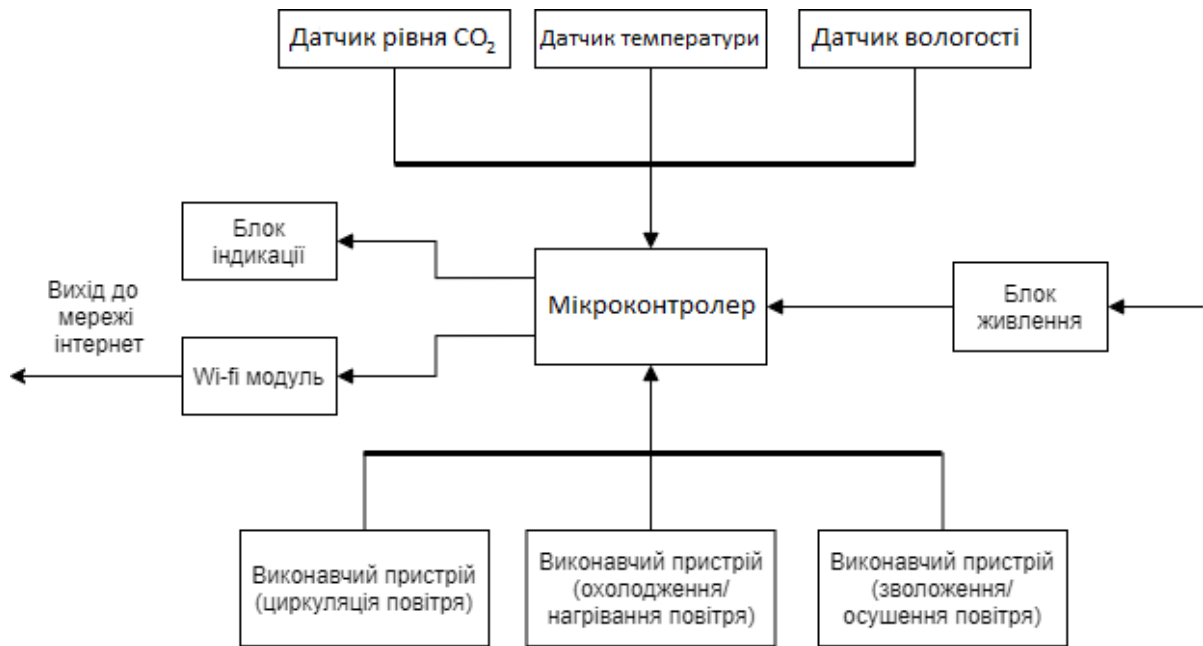


Рисунок 3.2 – Структурна схема системи контролю та підтримки мікроклімату складського приміщення

Опис блоків структурної схеми:

- мікропроцесорний блок вважається ключовим елементом системи, який виконує збір та оброблення даних з інших елементів системи, до того ж, управляє їхньою роботою для дотримання висунутих перед системою вимог;
- Wi-Fi модуль застосовується з метою передавання даних безпроводною мережею;
- блок живлення, в свою чергу, забезпечує всі структурні блоки енергією, необхідною для роботи;
- блок індикації виконує аналіз функціонального стану всіх інших блоків;
- датчик температури виконує моніторинг поточної температури приміщення;
- датчик вологості здійснює моніторинг вологості повітря у приміщенні;
- датчик рівня CO₂ виконує моніторинг поточного рівня вуглекислого газу на складському приміщенні;
- виконавчі пристрої є елементами вентиляційної установки, що

забезпечують підтримку критеріїв вентиляції відповідно до заданих умов.

За допомогою вебінтерфейсу оператор може віддалено моніторити критерії вентиляції складу. Його робота реалізується за таким алгоритмом:

- визначити функціональний вузол, в роботу якого слід додати корективи;
- завантажити на сервер документ із поточними корективами;
- надіслати документ до мікроконтролера, застосовуючи безпроводну мережу;
- мікроконтролер здійснює запит до датчиків на отримання даних стосовно мікрокліматичних показників;
- мікроконтролер проводить розрахунки для зміни роботи виконавчих пристроїв;
- корективи надсилаються до виконавчих пристроїв, які змінюють свій режим роботи згідно з отриманими даними.

3.3 Пристрій управління системи контролю та підтримки мікроклімату

З метою забезпечення безперебійної роботи системи контролю та підтримки мікроклімату, необхідно вибрати такий пристрій управління, який виконуватиме задачі, що були згадані в попередніх розділах, проводитиме необхідні розрахунки. Крім того, оброблятиме вхідну інформацію, а також управлятиме системою.

За пристрій управління було вибрано платформу Arduino Uno (рисунок 3.3).

Arduino – це платформа з відкритим вихідним кодом, яка застосовується для побудови проектів електроніки. Складниками Arduino є як фізично програмована друкована плата (мікроконтролер), так і частина програмного забезпечення, функціонуючого на комп'ютері, що застосовується для запису та завантаження комп'ютерного коду на фізичній платі.

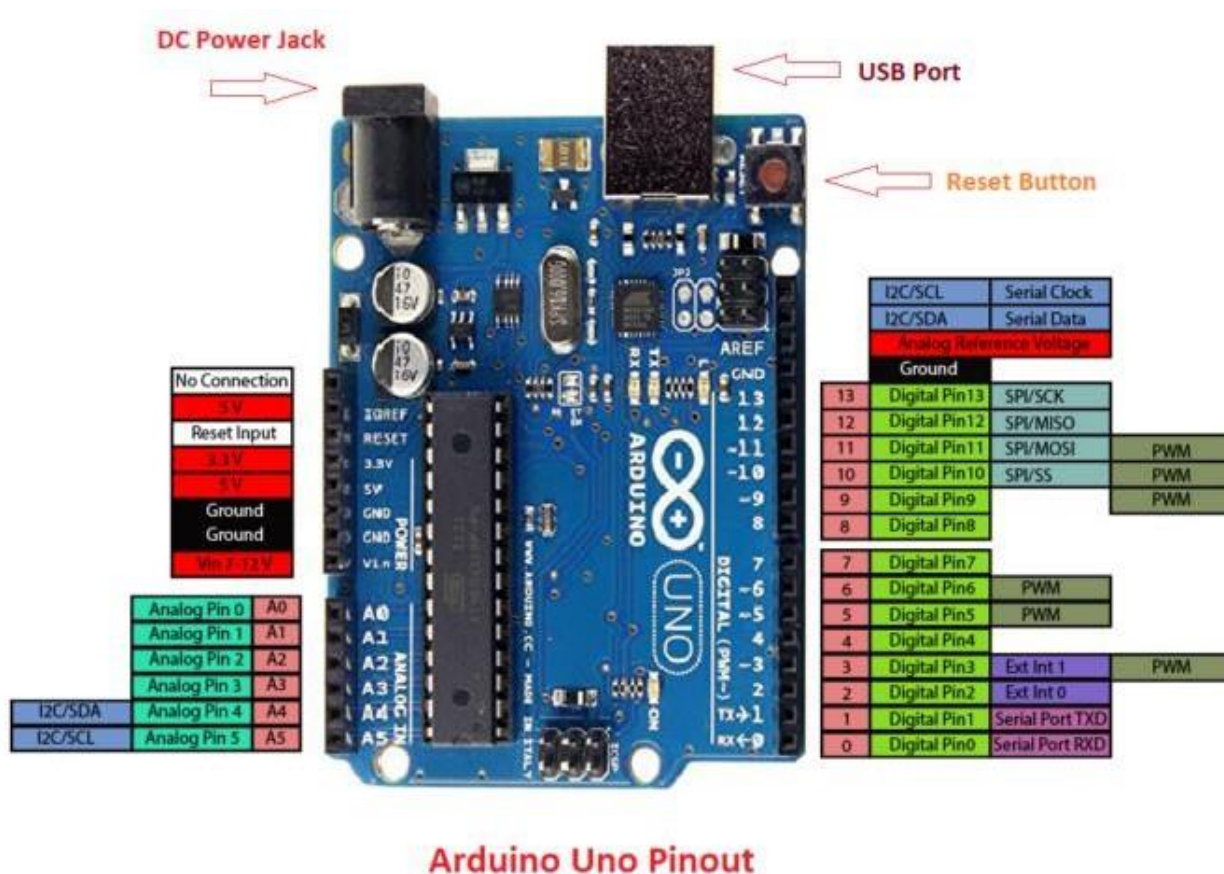


Рисунок 3.3 – Розпіновка Arduino Uno

Платформа Arduino користується великим попитом у людей, які тільки-но починають опановувати електроніку, і не дарма. На відміну від значної кількості інших плат, Arduino не вимагає окремих апаратних засобів з метою завантаження нового коду на плату – необхідно просто застосувати кабель USB. До того ж, Arduino ґрунтується на спрощеній версії C++, що робить таку платформу простішою для навчання програмування.

Uno – це одна з найпопулярніших плат з сім'ї Arduino та бездоганний вибір для початківців. Arduino – чудовий інструмент для людей будь-якого фаху та рівня. Проте, якщо користувач вже знає деякі основи електроніки заздалегідь, знадобиться менше часу для навчання на Arduino.

Апаратне та програмне забезпечення Arduino створено для художників, дизайнерів, аматорів, хакерів, новачків та зацікавлених у розробленні інтерактивних об'єктів. Arduino може поєднуватись з кнопками, двигунами, світлодіодами, динаміками, GPS-камерами, інтернетом, а також смарт-

телефоном або телевізором. Така гнучкість у взаємодії з тим, що програмне забезпечення Arduino є безкоштовним, до того ж, апаратні плати доволі дешеві, а апаратне та програмне забезпечення легко опанувати, призвело до появи великої кількості користувачів, які зробили свій внесок, а також випуску інструкції для широкої різноманітності Arduino на базі власних проєктів.

Кожній платі Arduino потрібен засіб з метою підключення до джерела живлення. Arduino UNO може житися від USB-кабелю, що під'єднаний до комп'ютера чи звичайної розетки. За допомогою USB також можна завантажувати код до системної плати Arduino.

Рекомендована напруга для переважної більшості моделей Arduino повинна варіюватися від 6 В до 12 В. У Arduino є кнопки скидання. Після натискання кнопки тимчасово підключатиметься штифт скидання і будь-який код, який завантажується на Arduino, перезавантажуватиметься. Це може бути дуже корисним у разі відсутності повторення коду, проте його потрібно перевірити кілька разів.

Arduino виготовляє кілька різних плат, кожна з яких спроектована з різними можливостями. До того ж, деякі з них мають відкритий вихідний код. Це позначає, що користувачі можуть модифікувати та створювати похідні плати Arduino, що можуть реалізувати ще більше функціональних можливостей.

Arduino Uno є пристроєм, що створений на базі мікроконтролера ATmega328. Іншими словами, це вже готова плата з усіма необхідними елементами для роботи з мікроконтролером, складовими елементами якої є:

- 14 цифрових входів/виходів;
- 6 аналогових входів;
- кварцовий резонатор на 16 MHz;
- USB-роз'єм (роз'єм живлення);
- роз'єм для внутрішньо-схемного програмування (ICSP);
- кнопку скидання.

Головними критеріями є:

- мікроконтролер – АТmega328;
- робоча напруга – 5 В;
- вхідна напруга (рекомендована) – 7-12 В;
- вхідна напруга (гранична) – 6-20 В;
- цифрові входи/виходи – 14 (6 з яких можуть функціонувати як виходи ШІМ);
- аналогові входи – 6;
- постійний струм через вхід/вихід – 40 мА;
- постійний струм для виведення 3.3 V – 50 мА;
- флеш-пам'ять – 32 кБ (АТmega328), з яких 0,5 кБ застосовуються для завантажувача;
- ОЗП – 2 кБ (АТmega328);
- EEPROM – 1 кБ (АТmega328);
- тактова частота – 16 МГц.

АТmega328 – мікроконтролер сімейства AVR, як і всі інші устаткований 8-бітним процесором і дозволяє виконувати більшість команд за один такт.

Головні критерії АТmega328:

- робоча напруга – 5 В;
- вхідна напруга (рекомендована) – 7-12 В;
- 14 цифрових входів/виходів (з яких 6 можуть функціонувати як ШІМ);
- 6 аналогових входів;
- сила струму на входах/виходах – 40 мА;
- сила струму для 3,3 В виходу – 50 мА;
- пам'ять – 32 кБ, з яких 2 кБ застосовує бутлоадер;
- SRAM – 2048 Б;
- EEPROM – 1024 Б;
- частота – 16 МГц.

3.4 Середовище програмування Arduino IDE

Arduino IDE трактується як програмне середовище розробки, що ґрунтується на C++ і придатне для програмування всіх плат Arduino. Послугуючись програмним середовищем Arduino IDE, можна, спираючись тільки на знання C++, розв'язувати найрізноманітніші творчі завдання, що стосуються програмування та моделювання.

На сьогодні за допомогою Arduino розробляють всілякі інтерактивні, навчальні, експериментальні, розважальні моделі та пристрої.

Інтерфейс для опанування є порівняно простим, оскільки за його основу покладено мову C++. Зважаючи на це, засвоїти інструментарій можуть навіть програмісти-початківці.

Підкреслимо, що у всіх Сі-подібних мовах програмування діє низка правил для написання коду, зокрема:

- після кожної інструкції потрібно ставити символ крапки з комою (;);
- перед називанням функції доцільно вказати тип даних, який повертається функцією або void за умови, що функція не повертає значення;
- також необхідно вказувати тип даних перед оголошенням змінної;
- коментарі позначаються: // Рядковий і / * блоковий */.

Усі прошивки для Arduino повинні налічувати мінімум 2 функції, зокрема, setup () і loop ().

Функція setup () реалізується на самому початку і тільки 1 раз відразу після запуску чи перезавантаження пристрою користувача. Як правило, в зазначеній функції декларують режими пінов, відкривають необхідні протоколи зв'язку, налаштовують з'єднання з додатковими модулями, а також реалізують підключення бібліотеки.

Функція loop () активується після функції setup (). Loop у перекладі з англійської позначає «петля». Мається на увазі, що функція є циклічною, тобто буде повторюватись знову і знову. Так, мікроконтролер ATmega328, яким обладнано більшість плат Arduino, виконуватиме функцію loop

приблизно 10 000 разів за секунду (якщо не з'являються затримки та складні обчислення).

3.4.1 Програма для роботи датчика температури

Для функціонування датчика температури DS18B20 доцільно завантажити бібліотеку OneWire, щоб не виконувати всі функції вручну.

Ключовими командами бібліотеки OneWire є:

- search (addressArray) – шукає температурний датчик, у разі виявлення в масиві addressArray записується його код, в протилежному випадку – false;
- reset_search () – виконується пошук на першому приладі;
- reset () – здійснюється скидання шини перед тим, як зв'язатися з пристроєм;
- select (addressArray) – вибирається пристрій після операції скидання, записується його ROM-код;
- write (byte) – виконується запис байта інформації на пристрій;
- write (byte, 1) – аналогічно до write (byte), однак у режимі паразитного живлення;
- read () – зчитування байта інформації з пристрою;
- crc8 (dataArray, length) – обчислення CRC-коду;
- dataArray – обраний масив;
- length – довжина коду.

Алгоритм щодо отримання інформації про температуру в скетчі містить такі етапів:

- визначення адреси датчика, перевірка його під'єднання;
- на датчик надходить команда з вимогою прочитати температуру і додати вимірне значення до регістра;
- активізується команда щодо зчитування інформації з регістра, а також команда про надсилання отриманого значення до «монітора порту».

Скетч для отримання даних температури з датчика DS18B20 продемонстровано на рисунку 3.4.

```

#include <OneWire.h>
/*
 * Опис взаємодії з датчиком DS18B20
 * Підключення DS18B20 до Arduino
 */
OneWire ds(8); // Створюємо об'єкт OneWire для шини 1-Wire
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  // Дізнаємося температуру від датчика DS18B20
  byte data[2]; // Місце для значення температури
  ds.reset(); //
  ds.write(0x44); // Задаємо команду датчику DS18B20 виміряти температуру
  delay(1000); // Мікросхема виміряє температуру
  ds.reset(); //
  ds.write(0xBE); // Передаємо значення регістрів зі значенням температури
  data[0] = ds.read(); // Зчитуємо молодший байт значення температури
  data[1] = ds.read(); // Зчитуємо старший байт значення температури
  float temperature = ((data[1] << 8) | data[0]) * 0.0625; // Формуємо кінцеве значення
  // Виводимо отримане значення температури в монітор порта
  Serial.println(temperature);
}

```

Рисунок 3.4 – Скетч для роботи датчика DS18B20

3.4.2 Програма для роботи датчика температури і вологості

Щоб розпочати написання програми, спершу потрібно завантажити всі необхідні бібліотеки, зокрема, U8glib – для роботи з дисплеєм та DHT – для роботи з датчиком температури та вологості.

Скетч для отримання даних про стан температури та вологості повітря з подальшою проекцією їхніх значень на екран дисплея продемонстровано на рисунках 3.5-3.6.

```

#include <Arduino.h>
#include <U8g2lib.h>
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2 // до якого пина ми підключаємо
#define DHTTYPE DHT22
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
#ifdef U8X8_HAVE_HW_SPI
#include <SPI.h>
#endif
#ifdef U8X8_HAVE_HW_I2C
#include <Wire.h>
#endif
U8G2_SSD1306_128X64_NONAME_1_HW_I2C u8g2(U8G2_R0, /* reset=*/ U8X8_PIN_NONE);
void draw(void) {
  // розміщуємо графічні команди
  float h = dht.readHumidity();
  // зчитуємо температуру в градусах Цельсія
  float t = dht.readTemperature();
  // зчитуємо температуру в Фаренгейтах
  float f = dht.readTemperature(true);
  u8g2.setFont(u8g2_font_helvb10_tf);
  u8g2.setCursor(0, 16);
  u8g2.print("Temp & Humidity");
  u8g2.setFont(u8g2_font_helvb18_tf);
  u8g2.setCursor(0, 42);
  u8g2.print("T= "); u8g2.print(t); u8g2.print(" *C");
  u8g2.setCursor(0, 64);
  u8g2.print("F= "); u8g2.print(f); u8g2.print(" *F");
}

```

Рисунок 3.5 – Скетч для роботи з датчиком температури і вологості та дисплеєм (частина 1)

```

void setup(void) {
  dht.begin();
  u8g2.begin();
}
void loop(void) {
  // чекаємо кілька секунд між вимірюваннями
  delay(2000);
  // Reading temperature or humidity takes about 250 milliseconds!
  // Sensor readings may also be up to 2 seconds 'old' (its a very slow sensor)
  float h = dht.readHumidity();
  // Read temperature as Celsius
  float t = dht.readTemperature();
  u8g2.firstPage();
  do {
    draw();
  } while ( u8g2.nextPage() );
  delay(1000);
}

```

Рисунок 3.6 – Скетч для роботи з датчиком температури та вологості й дисплеєм (частина 2)

3.4.3 Програма для роботи датчика газу

Реалізуємо скетч для визначення рівня CO₂ у приміщенні, застосовуючи датчик газу (рисунок 3.7).

```

const int analogSignal = A0; // підключення аналогового сигнального піна
const int digitalSignal = 8; // підключення цифрового сигнального піна
boolean hasGas; // змінна для зберігання значення про наявність газу
int gas = 0; // змінна для зберігання кількості газу
void setup () {
  pinMode (digitalSignal, INPUT); // установка режиму піна
  Serial.begin (9600); // ініціалізація Serial порту
}
void loop () {
  hasGas = digitalRead (digitalSignal); // зчитуємо значення про наявність газу
  gas = analogRead (analogSignal); // і про його кількість
  // виведення повідомлення
  Serial.print ( "Межа");
  if (hasGas) Serial.print ( "не досягнута");
  else Serial.print ( "досягнута");
  Serial.print ( ", рівень газу:");
  Serial.println (gas);
  delay (1000); // затримка 1 с
}

```

Рисунок 3.7 – Скетч для роботи датчика газу

3.1.4 Створення Web-сервера за допомогою Wi-Fi модуля

Для роботи з Wi-fi модулем, по-перше, необхідно завантажити бібліотеку UnoWiFiDevEd, а по-друге, розробити скетч (рисунки 3.8-3.9).

```
#include <Wire.h>
#include <UnoWiFiDevEd.h>
void setup () {
  Wifi.begin ();
  Wifi.println ( "Web Server is up"); // Виводимо повідомлення про старт сервера у Wi-fi-консоль
}
void loop () {
  while (Wifi.available ()) {
    process (Wifi);
  }
  delay (50);
}
void process (WifiData client) {
  String command = client.readStringUntil ( '/');
  if (command == "webserver") {
    WebServer (client);
  }
}
```

Рисунок 3.8 – Скетч для Web-сервера (частина 1)

```
void WebServer (WifiData client) {
  client.println ( "HTTP / 1.1 200 OK");
  client.println ( "Content-Type: text / html");
  client.println ( "Connection: close");
  client.println ( "Refresh: 2"); // Заголовок, який задає період оновлення сторінки в секундах
  client.println ();
  client.println ( "<html>"); // Формуємо сторінку
  client.println ( "<head> <title> UNO WIFI Web-server </ title> </ head>");
  client.print ( "<body> <h2> Приклад виведення значень з аналогових пинов </ h2>");
  client.print ( "<ul>");
  for (int analogChannel = 0; analogChannel <4; analogChannel ++ ) {
    int sensorReading = analogRead (analogChannel);
    client.print ( "<li> на аналоговому вході");
    client.print (analogChannel);
    client.print ( ": <em>");
    client.print (sensorReading);
    client.print ( "</ em> </ li>");
  }
  client.println ( "</ ul> </ body> </ html>");
  client.print (DELIMITER);
}
```

Рисунок 3.9 – Скетч для Web-сервера (частина 2)

3.5 Розрахунок надійності програмного забезпечення

Надійність трактують як ймовірність того, що у разі функціонування системи автоматизації контролю та управління вентиляції протягом деякого періоду часу жодної помилки не буде виявлено. За своїми наслідками такі помилки далеко не однакові, тому надійність повинна визначатися як функція не тільки щодо частоти помилок, але й відповідно до їхньої серйозності. Іншими словами, надійність програмного забезпечення – це функція впливу помилок на користувача системи. Найкоротше трактування терміна надійності програмного забезпечення згідно з останнім підходом полягає в наступному: надійність програмного забезпечення – це ймовірність безвідмовної реалізації прогонів програм.

Відмова програмного забезпечення провокує появу в ньому помилки. Іншими словами, програмне забезпечення не виконує того, чого очікує користувач. У загальному випадку під помилкою розуміється дефект, похибка чи ненавмисне перекручення об'єкта або процесу.

До завдань теорії й аналізу надійності програмного забезпечення можуть стосуватися:

- формулювання основних понять, якими послуговуються під час дослідження, а також у разі застосування показників надійності;
- виявлення та дослідження головних чинників, які визначають характеристики надійності складних програмних комплексів;
- вибір та обґрунтування критеріїв надійності для комплексів програм різного типу і призначення;
- дослідження дефектів і помилок, динаміки їхніх змін під час налаштування та супроводу, а також вплив на показники надійності програмного забезпечення;
- дослідження та розроблення методів структурного контролю та управління, а також захист від спотворень програм, обчислювального

процесу і даних за допомогою залучення різних видів надмірності і перешкодозахищеності;

- розроблення методів і засобів визначення та прогнозування характеристик надійності в життєвому циклі комплексів програм, зважаючи на їхнє функціональне призначення, складності, структурну побудову, технології розроблення.

Під час тестової діагностики застосовуються вихідні дані й еталонні результати, що надають можливість оцінити працездатність певних компонент системи. Ключові завдання функціональної діагностики складаються з:

- контролю справності системи програмного забезпечення та повної відповідності її стану та функцій технічної документації;
- перевірки працездатності системи, а також можливості виконання всіх функцій у заданому режимі роботи в будь-який момент часу;
- пошуку, виявлення та локалізації джерел і результатів збоїв, відмов і несправностей у системі.

Відповідно до таких припущень ймовірність безвідмовної роботи програми як функції часу – t_i^o дорівнюватиме:

$$P(t_i) = e^{-\lambda_i t_i}, \quad (3.1)$$

де інтенсивність відмов:

$$\lambda_i = C_D (N - (i - 1)), \quad (3.2)$$

де C_D – коефіцієнт пропорційності;

N – попередня кількість помилок.

За методом максимуму правдоподібності з урахуванням виразу (3.1), позначаючи через k номер прогнозованої відмови, отримуємо функцію правдоподібності у вигляді:

$$F = \prod_{i=1}^{k-1} C_D (N - i + 1) e^{-C_D (N - i + 1) t_i}. \quad (3.3)$$

Логарифмічна функція правдоподібності набуває вигляду:

$$L = \ln F = \sum_{i=1}^{k-1} [\ln(C_D (N - i + 1)) - C_D (N - i + 1) t_i]. \quad (3.4)$$

Звідси умови для знаходження екстремуму:

$$C_D = \frac{\sum_{i=1}^{k-1} 1}{\sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{N - i + 1} t_i}. \quad (3.5)$$

Враховуючи всі перераховані формули, отримуємо:

$$(k - 1) \cdot \frac{\sum_{i=1}^{k-1} t_i}{\sum_{i=1}^{k-1} \frac{1}{N - i + 1}} = \sum_{i=1}^{k-1} (N - i + 1) t_i. \quad (3.6)$$

У разі відомих значеннях k ; t_1 , t_2 , ..., t_k з (3.5) та (3.6) можна обчислити значення параметрів моделі C_D і N , а також інтенсивність відмов, час від останньої до наступної відмови $t_k + 1$, ймовірність безвідмовної роботи через час $t_k + 1$ після останньої відмови.

Головна перевага моделі полягає у простоті розрахунків. Недолік цієї моделі ґрунтується на тому, що у разі неточного визначення величини

інтенсивність відмов програми може стати негативною, що призведе до безглузлого результату. До того ж, передбачається, що за умови виправлення виявлених помилок нові помилки не вносяться, це теж не завжди виконується.

У процесі налагодження зафіксовані інтервали часу $t_1 = 1$, $t_2 = 4$ годин між відмовами програми. Необхідно визначити ймовірність $P(t_i) = e^{-\lambda_i t_i}$, відсутності наступної (четвертої) відмови.

Первісну кількість помилок N знаходимо методом підбору. Якщо $N = 3$, тобто всі помилки виявлено, то в лівій частині виразу (3.6) отримуємо:

$$4 \cdot \frac{10 + 20 + 25}{1/3 + 1/2 + 1} = 122.$$

Відповідно в правій частині:

$$4 \cdot 10 + 2 \cdot 20 + 1 \cdot 25 = 105.$$

Якщо $N = 4$, то ліва і права частини дорівнюють 152 і 150 відповідно. Якщо $N = 5$, відповідно 210 і 205.

Таким чином, найменшу помилку під час розв'язання виразу (3.6) забезпечить, тобто можна зробити висновок:

$$C_D = \frac{1/4 + 1/1 + 1/2}{10 + 20 + 25} = \frac{1,8}{55} = 0,03.$$

З (3.2) отримуємо:

$$\lambda_4 = C_D (N - (4 - 1)) = 0,03 \cdot (4 - (4 - 1)) = 0,02 \cdot 1 = 0,03.$$

Таким чином, середній час до наступної відмови становитиме:

$$t_4 = \frac{1}{\lambda_4} = \frac{1}{0,03} = 100.$$

У такому разі, підставляючи знайдені значення l_4 і t_4 в (3.1), отримаємо ймовірність відсутності четвертої відмови:

$$P(t_4) = e^{-0,03 \cdot 100} = e^{-3}.$$

Отже, ймовірність відсутності четвертої відмови $P(t_4) = e^{-3}$, тоді як час до четвертої відмови становитиме $t_4 = 100$ год.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз умов праці на робочому місці

На робочому місці оператора ЕОМ з'являються небезпечні та шкідливі чинники: підвищення рівню шуму, несприятливі мікрокліматичні умови, недостатній рівень освітленості, шкідливі речовини, підвищення рівню електромагнітних випромінювань радіочастот, висока напруга електричної мережі, статична електрика тощо. Робота з ЕОМ також супроводжується підвищеним ступенем напруженості під час трудового процесу. За умов систематичного впливу виробничих чинників, які не відповідають нормативним показникам, збільшується рівень професійно зумовленої захворюваності працюючих та можуть з'явитися професійні захворювання органів зору, руху, нервової системи. Таким чином, опрацювання умов праці на робочому місці програміста є необхідною умовою для запобігання негативних наслідків впливу небезпечних та шкідливих чинників.

Організація робочого місця. Приміщення, в якому розташоване робоче місце програміста, загальною площею 48 м², і висотою стелі 3,5 м. У приміщенні створено 6 робочих місць з ЕОМ. Кожне робоче місце обладнане робочим столом, стільцем та персональним комп'ютером, тобто з монітора, системного блоку, клавіатури та миші.

4.2 Промислова безпека на робочому місці

Живлення ЕОМ забезпечується від трифазної чотирьохелектричної мережі змінного струму з глухо-заземленою нейтраллю і напругою 220 В, частотою 50 Гц. Згідно НПАОП 40.1-1.21-98 приміщення можна розподілити до категорії без підвищеної небезпеки, оскільки в ньому відсутні чинники, що спричиняють підвищену чи особливу небезпеку.

Для реалізації безпечних умов праці необхідно провести низку організаційних і технічних заходів. Відповідно до НПАОП 40.1-1.32-01 з метою запобігання ураження людини електричним струмом у приміщенні використовується система занулення.

4.3 Виробнича санітарія у приміщенні

Робота оператора ЕОМ за енерговитратами належить до категорії легких робіт. У таблиці 4.1 подано оптимальні критерії вентиляції в приміщеннях, де проводяться роботи операторського типу [14].

Таблиця 4.1 – Критерії вентиляції для приміщень з ЕОМ

Період року	Критерії вентиляції	Величина
Холодний	Температура повітря в приміщенні; відносна вологість; швидкість руху повітря	22 – 24 °С; 40 – 60 %; до 0,1 м/с
Теплий	Температура повітря в приміщенні; відносна вологість; швидкість руху повітря	23 – 25 °С; 40 – 60 %; 0,1 – 0,2 м/с

Виміряні за допомогою приладів температура та вологість у лабораторії відповідають зазначеним у таблиці критеріям для теплого періоду року. Зауважимо, що для нормалізації параметрів вентиляції у приміщеннях доцільно застосовувати кондиціонування повітря чи забезпечити подачу свіжого повітря системами вентиляції.

Лабораторія, в якій реалізується розроблення конструкції модуля, має такі характеристики:

- площа приміщення 48 м² (8 м × 6 м);
- висота 3,5 м;
- кількість робочих місць – 6 шт.;

– обладнання – стіл з ЕОМ і периферією – 6 шт.

Приміщення, згідно з ДНАОП 0.00-1.31-99, повинно забезпечувати 6 м² площі та 20 м³ об'єму на одне окреме робоче місце з ЕОМ [14]. Площа приміщення 48 м² та об'єм 168 м³, на кожне робоче місце відповідає 8 м² площі й об'єму 28 м³, тобто вимога виконана.

Приміщення з ЕОМ повинні бути обладнані природним і штучним освітленням відповідно до ДБН В.25-28-2006 «Природне і штучне освітлення». Природне світло повинно проникати через бічні світлові прорізи, зорієнтовані, здебільшого, на північ або північний схід, і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5 %.

Рівень загального штучного освітлення приміщення можна перевірити, застосувавши метод питомої потужності, викладеної в [14].

Формула для обчислення методу:

$$W = \frac{W_{\Sigma}}{S}, \quad (4.1)$$

де W – питома потужність, Вт/м²;

S – площа приміщення, м²;

W_{Σ} – загальна потужність освітлювальної установки Вт, яка вираховується за формулою:

$$W_{\Sigma} = W_{ce} \cdot n_{ce}, \quad (4.2)$$

де W_{ce} – потужність одного світильника, Вт;

n_{ce} – кількість світильників в приміщенні.

$$W_{\Sigma} = 100 \cdot 4 = 400 \text{ Вт},$$

$$W = \frac{400}{48} = 8,33 \text{ Вт/м}^2.$$

Питомої потужності 8,33 Вт/м² за таблицею Б.3 із [14] відповідає освітленість у 250 лк за умови мінімальної допустимої освітленості 300 лк.

Таким чином, для створення сприятливих зорових умов у лабораторії доцільно збільшити кількість світильників або замінити лампи в світильниках на більш потужні.

4.4 Пожежна безпека виробничого приміщення

Пожежна безпека – стан об'єкта, в якому виключається можливість пожежі, а у разі її виникнення запобігає впливу на людей небезпечних чинників пожежі, до того ж, забезпечується захист матеріальних цінностей.

Пожежна безпека втілюється системою запобігання пожежі та системою пожежного захисту. У всіх службових приміщеннях обов'язково повинен бути «План евакуації людей при пожежі», що регламентує дії персоналу у разі появи вогнища загоряння, що й указує місця розташування пожежної техніки.

Горючими компонентами у виробничому приміщенні є: перегородки, двері, підлоги, ізоляція кабелів тощо.

Протипожежним захистом називають комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки людей з метою запобігання пожежі, обмеження її розповсюдження, а також на створення умов для успішного гасіння пожежі.

Джерелами запалювання у виробничому приміщенні можуть бути електронні схеми від ЕОМ, пристрої, придатні для технічного обслуговування, прилади електроживлення, кондиціонування повітря, в яких за результатами різних порушень утворюються перегріті елементи, електричні іскри й дуги, здатні викликати загоряння горючих матеріалів.

На сучасних ЕОМ дуже високою є щільність розміщення елементів електронних схем. У безпосередній близькості одного від одного розташовуються сполучні проведення, кабелі. Під час протікання по них електричного струму виділяється значна кількість теплоти. При цьому реальне оплавлення ізоляції. Для відводу надлишкової теплоти від ЕОМ застосовують системи вентиляції й кондиціонування повітря. При постійному функціонуванні такі системи спричиняють додаткову пожежну небезпеку.

Енергопостачання виробничого приміщення подається за допомогою трансформаторної станції, а також двигун-генераторних агрегатів. На трансформаторних підстанціях особливу небезпеку спричиняють трансформатори з масляним охолодженням. Зважаючи на це, перевагу слід надавати сухим трансформаторам.

ВИСНОВКИ

У процесі написання кваліфікаційної роботи було опрацьовано технічні умови для збереження якості та кількості товарів на складських приміщеннях підприємства.

До того ж, було досліджено наявні системи вентиляції складських приміщень та розширено уявлення про структуру та склад системи, визначено їхні переваги та недоліки.

Було схарактеризовано необхідні критерії повітряного середовища на складських приміщеннях, що сприяє забезпеченню зберігання товарів у належному стані протягом усього строку зберігання:

- постійний моніторинг кліматичних показників та спостереження за працездатністю вентиляційних приладів;
- необхідність зберігання даних про зміну критеріїв вентиляції;
- автоматичне виконання введення/виведення повітря в/із приміщення складського приміщення;
- вмикання/вимикання обладнання для врегулювання критеріїв вентиляції згідно зі встановлених значень, у залежності від зміни мікрокліматичних умов;
- відстеження рівня забрудненості повітряних фільтрів, рекуператорів, калориферів та іншого устаткування;
- забезпечення зупинення системи у разі непередбачуваних ситуацій (пожежі, коротких замикань тощо);
- можливість реалізації ручного управління системою.

Створено алгоритм роботи системи контролю та підтримки мікроклімату на складському приміщенні підприємства.

Відповідно до задач, які повинні реалізовуватись пристроєм, було спроектовано структурну схему системи контролю та підтримки мікроклімату на складському приміщенні підприємства.

Вибрано пристрій управління для системи контролю та підтримки мікроклімату на складському приміщенні підприємства. Серед актуальних мікропроцесорних пристроїв було обрано Arduino Uno, що розроблений на основі контролера ATmega328.

Створено програмне забезпечення для пристрою управління з метою оптимізації роботи елементів системи контролю та підтримки мікроклімату на складському приміщенні підприємства.

Виконано розрахунок надійності програмного забезпечення, в якому було отримано ймовірність відсутності відмови $P(t_4) = e^{-3}$, та час до відмови програмного забезпечення, що становить $t_4=100$ год.

Під час втілення розділу «Охорона праці» було визначено небезпечні та шкідливі виробничі чинники. Зважаючи на це, було розроблено заходи та технічні засоби щодо впровадження безпеки праці працюючого персоналу. Дотримання цих заходів дозволить максимально знизити ймовірність отримання травм під час роботи, а також поліпшити умови праці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація «Звіти у сфері науки і техніки». Структура та правила оформлювання. / В. Земцева; Ю. Поліщук, канд. фіз.-мат. наук; Р. Санченко, канд. техн. наук; Л. Шрамко; А. Ямчук (науковий керівник) ДП «УкрНДНЦ» від 22 червня 2015р. № 61 з 2017- 07-01.

2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів усіх форм навчання спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.В. Токарева, С.П. Новоселов, О.В Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2022. – 55 с.

3. Положення про організацію проведення практики здобувачів вищої освіти Харківського національного університету радіоелектроніки [Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 03 травня 2019 р. № 222. – Режим доступу: <https://nure.ua/wp-content/uploads/222-vid-03.05.2019-provvedennjavidju-rishennja-vchenoi-radi-universite-tu.pdf>

4. Невлюдов І.Ш. Людино-машинний інтерфейс в технічних засобах автоматизації: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, О.І. Филипенко, Б.О. Шостак. – Харків : «ХТМТ», 2019. – 244 с.

5. Платов І. М. Використання лазерного датчика відстані VL53L0X для систем зору мобільних роботів / І. М. Платов, О. М. Павловський // XIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування», 13-14 травня 2020 р., м. Київ, Україна: збірник праць конференції. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 59-62.

6. Костюк В. І. Робототехніка і мехатроніка / В. І. Костюк, Г. О. Спину. – К.: Вища школа, 1994. – 446 с.

7. Субботін С.О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник / С.О. Субботін. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 341 с.
8. Невлюдов І.Ш. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – Кривий Ріг : Криворізький коледж НАУ, 2019. – 366 с.
9. Савченко, А. С. Синельников О.О. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посібник– Київ : НАУ, 2017. – 176 с.
10. Лубко Д.В., Шаров С.В. Методи та системи штучного інтелекту: навч. посібник – Мелітополь: ФОП Однорог Т.В., 2019. – 264с
11. Діагностика та контроль робочих процесів: навч. посіб. для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної та дистанційної форм навчання / В. М. Доля – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – 129 с.
12. Craig J.J. Introduction to Robotics: Mechanics and Control / 2nd edition. – Addison-Wesley, 2019. – 450 p.— ISBN 0-201-09528-9.
13. Mouna Fradi, Faïda Mhenni, Raoudha Gaha, Abdelfattah Mlika, Jean-Yves Choley, Category theory-based collaborative design methodology for mechatronic systems, Advanced Engineering Informatics, Volume 55, 2023, 101865, ISSN 1474-0346.
14. Організація керування умовами праці» підготовки освітнього рівня бакалавр усіх спеціальностей та усіх напрямів університету [Електронний ресурс] / ХНУРЕ; розроб.: Т.Є. Стиценко, Г.В. Пронюк, Н.М. Сердюк. – Харків, 2017. – 108 с.