

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 636.5252/58:62 503.51

**ПОГОДЖЕНО**

Директор ННІ енергетики,  
автоматики і енергозбереження  
(назва ННІ)

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

В.о. завідувача кафедри автоматики  
та робототехнічних систем  
ім. акад. І.І. Мартиненка  
(назва кафедри)

\_\_\_\_\_ В.В. Каплун  
(підпис) (ПІБ)

\_\_\_\_\_ О.О. Опришко  
(підпис) (ПІБ)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

**02.06.-КМР.1664"С".2024.09.26.009.ПЗ**

на тему **«ДОСЛІДЖЕННЯ І ВДОСКОНАЛЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КЛІМАТОМ В ПРИМІЩЕННІ ФІРМИ НА БАЗІ КТЗ ARDUINO»**

Спеціальність:

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»  
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка  
(назва)

Гарант освітньої програми

\_\_\_\_\_ (підпис)

І.М. Болбот, д.т.н., професор  
(П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

Виконав

\_\_\_\_\_ (підпис)

Г.О. Мананков  
(П.І.Б студента)

Керівник магістерської роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

С.А. Шворов, д.т.н., професор  
(П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

**КИЇВ-2024**

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри  
автоматики та робототехнічних  
систем ім. акад. І.І. Мартиненка

О.О. Опришко

«    » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ  
(бакалаврської, дипломної)

**Мананкову Глібу Олеговичу**

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність:

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Тема магістерської роботи **«ДОСЛІДЖЕННЯ І ВДОСКОНАЛЕННЯ  
КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ  
КЛІМАТОМ В ПРИМІЩЕННІ ФІРМИ НА БАЗІ КТЗ ARDUINO»**,

затверджена наказом ректора НУБіП України від 26.09.2024 року № 1664«С»

Термін подання студентом магістерської роботи 05.12.2024 року

**Вихідні дані до магістерської роботи:** завдання кафедри на виконання магістерської роботи; нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації; матеріали дослідження та аналізу; наукова література з тематики магістерської роботи.

**Перелік питань, що підлягають дослідженню:**

1. Особливості автоматизації процесів керування параметрами мікроклімату на фармацевтичному складі.
2. Розробка та дослідження математичної моделі керування температурою та вологістю у приміщенні фармацевтичного складу.
3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань.
4. Розробка цифрової системи керування.
5. Схеми системи автоматизації.
6. Система контролю та управління кліматом з віддаленим моніторингом фармацевтичного складу.
7. Техніко-економічне обґрунтування.

**Дата видачі завдання «27» вересня 2024 року**

**Керівник магістерської роботи**

\_\_\_\_\_ (Підпис)

Шворов С.А.  
(Прізвище та ініціали)

**Завдання прийняв до виконання**

\_\_\_\_\_ (Підпис)

Мананков Г.О.  
(Прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| Перелік умовних позначень і скорочень .....  | 5  |
| Вступ .....  | 6  |
| РОЗДІЛ 1. Особливості автоматизації процесів керування параметрами<br>мікроклімату на фармацевтичному складі .....                     | 10 |
| 1.1. Основні особливості складів фармацевтичних компаній .....   | 10 |
| 1.2. Фактори, що впливають на якість фармацевтичних товарів .....  | 12 |
| 1.3. Огляд і аналіз існуючих вентиляційних систем фармацевтичних<br>складів зберігання ГЛЗ .....                                       | 14 |
| 1.4. Функціональна схема автоматизації припливно-витяжної<br>вентиляційної установки із рекуператором для фармацевтичного складу       | 20 |
| РОЗДІЛ 2. Розробка та дослідження математичної моделі керування<br>температурою та вологістю у приміщенні фармацевтичного складу ..... | 23 |
| 2.1. Загальна характеристика об'єкта автоматизації .....   | 23 |
| 2.2. Теплотехнічний розрахунок огорожуючих конструкцій будівлі<br>фармацевтичного складу .....   | 25 |
| 2.2.1. Будова і розрахунок зовнішньої стіни .....  | 26 |
| 2.2.2. Будова і розрахунок підлоги .....   | 28 |
| 2.2.3. Будова і розрахунок горищного перекриття .....  | 29 |
| 2.2.4. Розрахунок вікон .....  | 31 |
| 2.3. Розрахунок теплових втрат по поверхах та будівлі в цілому .....   | 32 |
| 2.4. Розробка математичної моделі температурного стану повітря в<br>будівлі фармацевтичного складу .....                               | 34 |
| РОЗДІЛ 3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його<br>налаштувань .....   | 43 |
| 3.1. Вибір алгоритму керування та засобів його реалізації .....  | 43 |
| 3.2. Вибір технічних засобів для реалізації вимірювального модуля .....  | 49 |
| 3.2.1. Мікроконтролер Arduino Nano .....   | 50 |
| 3.2.2. Датчик вимірювання вологості DHT11 .....  | 52 |
| 3.2.3. Датчик вимірювання тиску і температури BMP280 .....   | 53 |
| 3.2.4. Датчик інтенсивності світла LDR .....   | 54 |
| 3.2.5. Датчик якісного складу повітря MQ135 .....  | 55 |
| 3.2.6. Wi-Fi модуль ESP8266 .....  | 56 |
| 3.2.7. Понижуючий конвертер LM2596 .....   | 58 |
| 3.3. Вибір програмованого логічного контролера .....   | 59 |
| 3.4. Вибір регулюючих органів і виконавчих механізмів .....  | 63 |
| 3.5. Вибір частотних перетворювачів керування припливним і витяжним<br>вентиляторами .....   | 69 |
| РОЗДІЛ 4. Розробка цифрової системи керування .....  | 70 |
| 4.1. Визначення періоду квантування сигналів ЦСК .....   | 70 |
| 4.2. Дослідження цифрового ПІ-регулятора .....   | 72 |
| 4.3. Дослідження цифрової системи на стійкість та якість .....   | 76 |
| РОЗДІЛ 5. Схеми системи автоматизації .....  | 78 |

|  |     |
|--|-----|
| 5.1. Розробка схеми електричної принципової САК температурним режимом на фармацевтичному складі та засобів візуалізації технологічного процесу ..... | 78  |
| 5.2. Вибір апаратури захисту і керування .....   | 83  |
| 5.3. Вибір проводів та кабелів .....   | 88  |
| 5.4. Вибір щита керування .....  | 89  |
| РОЗДІЛ 6. Система контролю та управління кліматом з віддаленим моніторингом фармацевтичного складу .....   | 91  |
| РОЗДІЛ 7. Техніко-економічне обґрунтування .....   | 100 |
| Висновки .....   | 105 |
| Література .....   | 106 |
| Додатки .....  | 109 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

- ГЛЗ – готовий лікарський засіб
- ЛПУ – лікувально-профілактична установа
- МОЗ – Міністерство охорони здоров'я
- ПВСВР – припливно-витяжна система вентиляції з рекуператором
- ПЛК – програмований логічний контролер
- САК – система автоматичного керування
- ФС – фармацевтичний склад
- AQI - Air quality index – індекс якості повітря
- GDP – Good Distribution Practice – Належна практика дистрибуції - сукупність правил і вимог до дистрибуції, дотримання яких забезпечує якість *лікарських препаратів* у процесі їх оптової реалізації
- GMP – Good Manufacturing Practice – Належна виробнича практика – частина системи забезпечення якості, котра гарантує, що лікарські препарати виробляються і контролюються за стандартами якості, згідно з торговельною ліцензією, та відповідає її призначенню.
- IoT - Internet of Things – інтернет речей
- SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерське управління і збір даних
- ThingSpeak - платформи для аналітики IoT, яка дозволяє користувачам агрегувати, візуалізувати та аналізувати потоки даних у реальному часі у хмарних сервісах.

## ВСТУП

*Актуальність теми.* На фармацевтичному ринку аптечний склад вважається закладом охорони здоров'я. Тому дистриб'ютори, які займаються зберіганням та гуртовою торгівлею лікарськими препаратами, зобов'язані оформлювати ліцензію Держлікслужби України. Цей документ свідчить про те, що клієнти фармскладу-постачальника (аптеки, лікарні) отримують медпрепарати, які зберігались та транспортувались за належних температурних умов, а їх якість перевірено вхідним контролем та повністю збережено. Ліцензію можуть анулювати за порушення при зберіганні або транспортуванні. Причому ліцензію дистриб'ютор ніколи не отримає, якщо не матиме належної матеріально-технічної бази, яка забезпечує складську діяльність, та кваліфікованого персоналу.

В Україні кількість аптечних складів коливалась від 3000 у 1990-х роках до 700 у 2010-х. Наразі не більше 50 складів працюють ефективно та мають великий обсяг зберігання фармацевтичної продукції. З них три найбільші дистриб'ютори ("БадМ" та "Вента", м. Дніпро, "Оптима-Фарм", м. Київ) постачають ліки до 85,4% аптечних закладів [22].



Рис. В1. Обсяг продажу медпрепаратів в Україні

У 2020 році в Україні продали фармакологічних товарів на 92,9 млрд. грн. (+7,9% у гривнях порівняно з 2019 р. і +3% у доларах). При цьому упаковок ліків було реалізовано 1,1 млрд., що на 4% менше, ніж попереднього року. Зростання відбулося за рахунок збільшення продажів засобів індивідуального захисту, а також антибактеріальних і дезінфікуючих засобів.

У першому кварталі 2021 року медпрепаратів продали на суму 26,7 млн. грн. (-10% у доларовому еквіваленті через інфляцію) – таку саму, як в аналогічний період минулого року. У роздріб реалізували 266,9 млн. упаковок ліків (-19%). Експерти пов'язують це з різними періодами початку епідсезону.

Початок війни із РФ у лютому 2022 року докорінно змінив кон'юнктуру ринку медичних препаратів, значно збільшивши потік ліків в нашу державу, і, відповідно, обумовив необхідність зростання кількості оснащених фармацевтичних складів для зберігання лікарської продукції.

Від якості медичних препаратів залежить те, наскільки лікування буде ефективним і корисним для здоров'я людей. Умови зберігання готових лікарських засобів (ГЛЗ) багато в чому впливають на збереження лікувальних властивостей таблеток, ін'єкцій і мікстур, а також на цілісність та якість упаковок і структури фармацевтичної продукції. Неправильні умови зберігання, а особливо підвищена вологість повітря, загрожують не тільки псуванням ліків і втратою їх лікувальних властивостей, а й можуть призвести до виникнення загрози здоров'ю і навіть життю людей.

Моніторинг мікроклімату не тільки забезпечує правильний перебіг технологічних процесів, безперебійне функціонування обладнання, збереження сировини та готової продукції, але й впливає на комфорт і безпеку працюючих у приміщенні людей. За умов епідеміологічної обстановки, що склалася у світі за останні роки, мікроклімат займає особливе місце. За результатами останніх досліджень, контроль та регуляція показників температури та вологості повітря здатні значно скоротити масштаби поширення таких захворювань, як COVID-19 та грип. Оптимізація якості повітря в офісних приміщеннях (Air quality index, AQI) необхідна для

забезпечення самопочуття та продуктивності персоналу. Офісний робітник працює в середньому 40 годин на тиждень, і тепер COVID-19 нагадав наскільки важливим є впровадження якісної системи вентиляції та систем контролю мікрокліматом, щоб забезпечували здорове та продуктивне робоче середовище.

Фармацевти і аптекарі, а також виробники фармацевтичної продукції, перш за все зацікавлені в створенні нормативних температурно-вологісних умов мікроклімату для приміщень аптечних складів, аптек або логістичних центрів. Тому дослідження, спрямовані на створення нових та удосконалення існуючих систем керування параметрами мікроклімату на складах зберігання фармацевтичної продукції, удосконалення алгоритмів їх роботи, із використанням засобів візуалізації технологічного процесу є актуальним і своєчасними.

***Мета і задачі досліджень.*** Метою магістерської кваліфікаційної роботи є удосконалення системи автоматичного керування параметрами мікроклімату на фармацевтичному складі для забезпечення оптимального температурно-вологісного режиму зберігання готових лікарських засобів із операторським інтерфейсом системи контролю та керування.

Для досягнення цієї мети сформульовані такі задачі:

- дослідження особливостей формування мікрокліматичного режиму на сучасних складах зберігання готових лікарських засобів, принципів побудови припливно-витяжних систем вентиляції із рекуперацією тепла в таких приміщеннях;
- розробка функціональної схеми системи керування припливно-витяжною вентиляційною системою фармацевтичного складу і алгоритму її роботи;
- розробка і дослідження імітаційної моделі об'єкта автоматизації із використанням пакету імітаційного моделювання MatLAB;

– обґрунтування вибору алгоритму керування, комплексу технічних засобів автоматизації, визначення показників якості роботи системи керування;

– розробка схем системи автоматизації та системи дистанційного керування та контролю із операторським інтерфейсом.

**Об'єктом дослідження** є процес керування параметрами мікроклімату в приміщеннях для зберігання готових лікарських засобів.

**Предметом дослідження** є взаємозв'язки і закономірності процесів і режимів керування обладнанням для створення мікроклімату на фармацевтичному складі на якість зберігання лікарських препаратів.

**Методи дослідження.** Дослідження ґрунтуються на основних положеннях тепломасообміну, математичного моделювання, теорії автоматичного керування з використанням комп'ютерних технологій.

## РОЗДІЛ 1

### ОСОБЛИВОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ МІКРОКЛІМАТУ НА ФАРМАЦЕВТИЧНОМУ СКЛАДІ

#### 1.1. Основні особливості складів фармацевтичних компаній

Кожен лікарський препарат потрібно зберігати в жорстко регламентованих умовах, дотримуючись певної температури та відносної вологості повітря, оскільки ці чинники не повинні негативно впливати на діючі речовини та готові лікарські засоби. Від цього залежить життя та здоров'я пацієнтів, які їх вживатимуть.

Саме тому сучасний фармацевтичний склад європейського зразка має відповідати міжнародним вимогам GDP (Good Distribution Practice) та GMP (Good Manufacturing Practice). В них прописано низку спеціальних параметрів, яких потрібно дотримуватися під час зберігання та транспортування медпрепаратів [22].

Щоб складський центр відповідав міжнародним вимогам, здійснюється його валідація (кваліфікаційна оцінка для отримання дозволу на роботу). Спочатку на етапі проекту, а потім двічі під час експлуатації – у холодний та теплий періоди року (це дає змогу перевірити роботу систем охолодження та опалення). Причому кожен фармацевтичний склад (ФС) має розташовуватися в окремій капітальній будівлі з окремим входом або в допоміжних приміщеннях на фармакологічному виробництві.

Сучасний ФС дистриб'ютора повинен складатися з таких зон:

- зручний вантажно-розвантажувальний майданчик для машин (рампа з навісом);
- виробничі приміщення приймання/зберігання/комплектації та відпуску товару кожен площею від 250 м<sup>2</sup>;

- приміщення для вхідного контролю товару та відбору проб;
- карантинний майданчик;
- допоміжні приміщення для підготування дезрозчинів, розміщення серверної, зберігання інвентарю тощо;
- адміністративні приміщення з кабінетом завідувача, гардеробною, кімнатою для персоналу, душовою та вбиральною.

Причому прохід до побутових зон, де перевдягається персонал, не повинен проходити через виробничі зони. Висота стелі на складі зазвичай складає не менше 10 м, оскільки вона забезпечує складування продукції на 4 рівнях. Таким чином вдається оптимально використовувати об'єм будівлі. Мінімальна загальна площа ФС починається від 750 – 1000 м<sup>2</sup>. У великих дистриб'юторів лікарських препаратів вона може сягати понад 15 000 м<sup>2</sup>.

На фармскладі європейського зразка повинні бути:

- ефективна система вентиляції та кондиціонування;
- наливна підлога з безпилловим покриттям;
- стійкі до дезінфікуючих засобів поверхні стін, стелі та підлоги;
- гігієнічні панельні радіатори опалення;
- холодильні камери для ліків, які зберігаються при температурі в діапазоні +2...+8°C;
- сучасна система пожежогасіння;
- система електронного доступу на дверях усіх приміщень;
- система керування складом WMS, що контролює усі дії працівників і мінімізує помилки під час формування замовлень;
- автоматизовані конвеєри для швидкої обробки товарів, формування та видачі замовлень.

Крім того, холодильні камери повинні оснащатися приладами цілодобового моніторингу, які стежать за дотриманням температурного режиму. Існують технічні новинки, коли при найменшому відхиленні система повідомляє про нього за допомогою SMS.

Параметри мікроклімату повинні контролюватися і забезпечуватися системами припливно-витяжної вентиляції з автоматичним керуванням. Система вентиляції повинна передбачати фільтрацію і дезінфекцію повітря. Стежити за мікрокліматичними даними в приміщенні допомагають сенсори температури, відносної вологості повітря та ін. Від їх показників залежить те, яке обладнання ввімкне користувач. Найчастіше найбільш затребуваним на фармскладах і в аптеках є осушувачі повітря.

У спеціальних холодних складах/камерах використовуються індивідуальні системи вентиляції і кондиціонування з автоматичним контролем вмісту вологи в повітрі і його температури. Для кожної фармакологічної групи ліків існують різні терміни зберігання, а також повинні дотримуватися певні межі по температурі та рівню вологості, які зазначені виробником.

Бажано також, щоб склад географічно розташовувався так, щоб витратити мінімум часу на транспортування ліків до аптек і лікарень. Адже під час перевезення медпрепаратів також потрібно дотримуватися жорстких вимог температурного режиму та вологості.

## **1.2. Фактори, що впливають на якість фармацевтичних товарів**

Для зберігання різних видів лікарських препаратів відповідно до їх фізико-хімічного складу, властивостей і впливу на навколишнє середовище, а також для підтримки високої якості фармацевтичної продукції, у фармацевтичних складах та в аптеках повинні підтримуватися контрольовані умови мікроклімату, визначені нормативами МОЗ.

На всіх етапах, від початку виготовлення ГЛЗ до моменту реалізації ліків, висока якість фармацевтичної продукції залежить від декількох факторів:

- від підтримки необхідних температур;
- контролю і регулювання рівня вмісту вологи в повітрі;
- від очищення і фільтрації повітря в приміщеннях, де зберігаються

та реалізуються ГЛЗ.

Крім цього, у фармацевтичних складах і в аптечних закладах не допускаються перепади температур повітря і надмірна дія сонячного випромінювання, проникнення із зовнішнього середовища пилу, шкідливих газів та випарів. Правила зберігання лікарських засобів в аптеках при лікувально-профілактичних установах (ЛПУ), в які тільки реалізуються ГЛЗ, передбачають також захист персоналу аптек від підвищеної концентрації вірусів і бактерій в торговому залі аптек. З цією метою необхідно проводити дезінфекцію повітря та приміщення аптеки, не допускається зворотне перетікання повітря в зони, де зберігаються ГЛЗ.

Температура повітря у приміщеннях фармацевтичного складу, де зберігаються лікарські форми, повинна складати близько  $+18^{\circ}\text{C}$ , в спеціальних холодних зонах – до  $+4^{\circ}\text{C}$ , в зоні видачі препаратів (у аптеках в торговому залі) – від  $+16^{\circ}\text{C}$ .

Процеси виготовлення ліків (гранулювання, змішування, подрібнення, таблетування, виготовлення капсул, супозиторіїв, шипучих таблеток) не допускають надмірну вологість повітря і відсутність контролю за її рівнем.

Система вентиляції, і в окремих приміщеннях – система вентиляції і кондиціонування, повинні перешкоджати розвитку та поширенню мікробів і вірусів через надмірну вологість, змішуванню і проникненню повітряних мас з торгового залу (або зони вивантаження) в зони розфасовки або виготовлення, а також зберігання лікарських форм. Санітарні норми та медичні стандарти регламентують граничні рівні вологості повітря і показники гігрометра в аптеці.

Відомо, що при рівні вологості в 45-50% RH гігроскопічні матеріали починають вбирати вологу з повітря, при зберіганні і розфасовці лікарських форм в аптеках або складах особливо важливо дотримуватися нормативних температурно-вологісних умов мікроклімату.

Нормативні дані по рівню вологості для зберігання окремих видів ГЛЗ:

- для готових, але не упакованих ЛЗ – 20-35% RH;
- для ЛЗ в капсулах 30-45% RH;
- для порошкових ЛЗ – 30-45% RH;
- для сиропів – 30-40% RH.

При зберіганні імунобіологічних препаратів необхідно підтримувати регламентовані виробником точні умови за рівнем температури та вологості в спеціальних холодильних камерах.

У фармацевтиці при виробництві – пресуванні таблеток допустимий рівень вологості повітря -20% RH, при створенні лікарських сумішей – до 30% RH. Норма вологості повітря в аптеці в зоні видачі ліків для України – до 50-60% RH [25].

### **1.3. Огляд і аналіз існуючих вентиляційних систем фармацевтичних складів зберігання ГЛЗ**

На даний час використовуються різноманітні рішення для забезпечення параметрів мікроклімату промислових приміщень, до складу яких входять і фармацевтичні склади, але найбільшої ефективності набули припливно-витяжні системи вентиляції з рекуперацією тепла ПВСВР (рис. 1.1) [9].

Найбільш поширеними серед названих систем є системи повітрообміну із *роторними* та *пластинчастими* рекуператорами, а також із *проміжними* рекуператорами (run-around coil system).

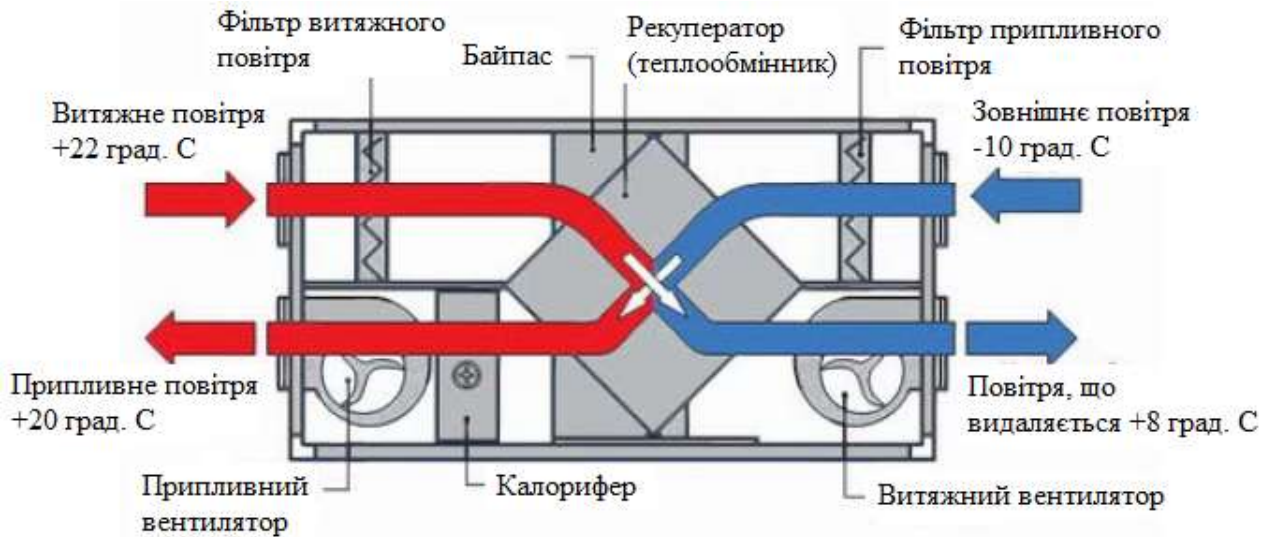


Рис. 1.1. Узагальнена схема припливно-витяжної системи вентиляції з рекуперацією тепла

### 1. Система повітрообміну з роторним рекуператором.

У таких системах повітряні потоки розділені, теплообмін здійснюється за рахунок лопатей ротора між припливною та витяжною лініями, при цьому відбувається змішування повітря близько 5%. Цей тип є одним з найбільш енергоефективних типів рекуператорів. Він дозволяє утилізувати не тільки тепло, але і вологість (при спеціальному виконанні ротора), що дуже важливо у зимовий період. Енергозбереження найвище, після "складних" і більш коштовних фреонових, у роторних рекуператорів – до 75%, на відміну від пластинчастих – до 60% (величини % є усередненими).

Серед систем із роторними рекуператорами розрізняють два типи роторів: сорбційні (стандартні роторні рекуператори) та адсорбційні (рис. 1.2).

У наведеній системі із адсорбційним роторним теплообмінником принцип роботи полягає у застосуванні спеціального вологопоглинаючого ротора, який має високий ступінь поглинання вологи. Тіло ротора являє собою великий "пучок" дрібних трубок, які не створюють високого опору потоку повітря. Через велику частину поверхні ротора проходить осушене повітря, а через інші 15% його поверхні проходить потік повітря регенерації,

який, продуваючи ротор теплим повітрям, висушує його, - цей цикл повторюється нескінченно, оскільки ротор обертається [23].

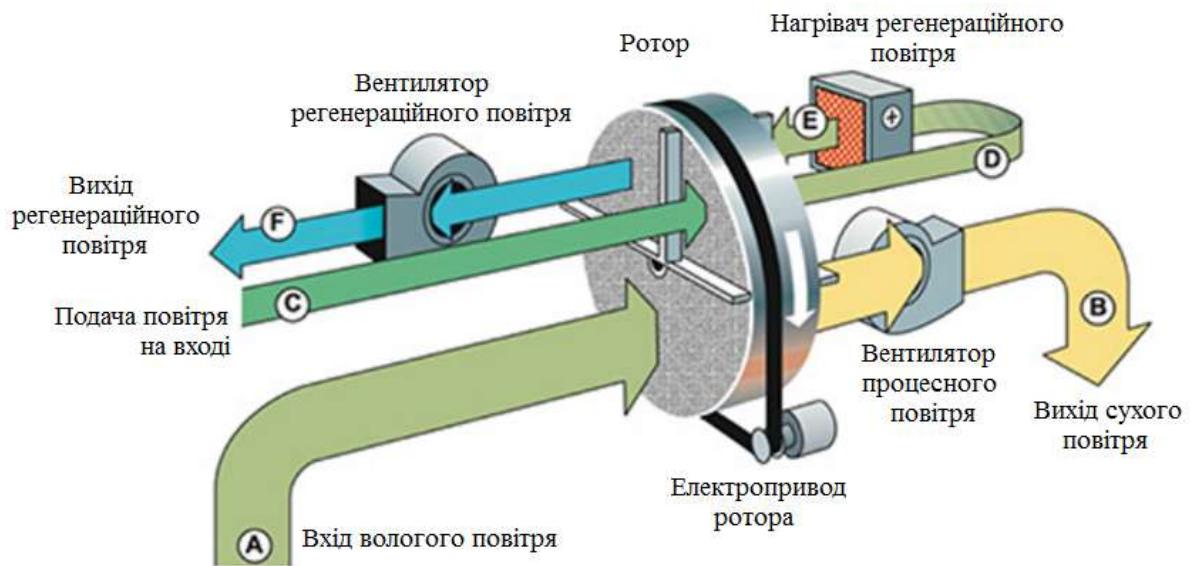


Рис. 1.2. Схема роботи припливно-витяжної системи вентиляції із адсорбційним роторним теплообмінником

Осушуване повітря і повітря регенерації рухаються у протилежних напрямках – це робиться для очищення ротора від можливого забруднення зустрічним потоком. Температура повітря регенерації регулюється так, щоб підтримувати задану вологість, а інтенсивність осушення регулюється швидкістю обертання ротора. Відсутність конденсату дозволяє використовувати установки таких типів без прив'язки до каналізаційної системи.

Поряд із високою енергоефективністю системам із роторним рекуператором притаманні деякі недоліки. По-перше, можливість обмерзання ротора може призвести до зменшення швидкості його обертання, що істотно позначається на ефективності роботи рекуператора [23]. Крім того, наявність обертових вузлів (опори, ремені, двигун з редуктором) ускладнює обслуговування системи і суттєво підвищує її вартість. Основним же недоліком використання таких систем для фармацевтичних складів є потрапляння повітря з витяжного каналу у вхідний канал, що виключає її застосування у так званих "чистих" приміщеннях.

## 2. Системи повітрообміну з проміжними рекуператорами (run-around coils system)

Типова схема роботи циркуляційної системи проміжного рекуператора, або так званого *гліколевого* рекуператора, наведена на рис. 1.3.

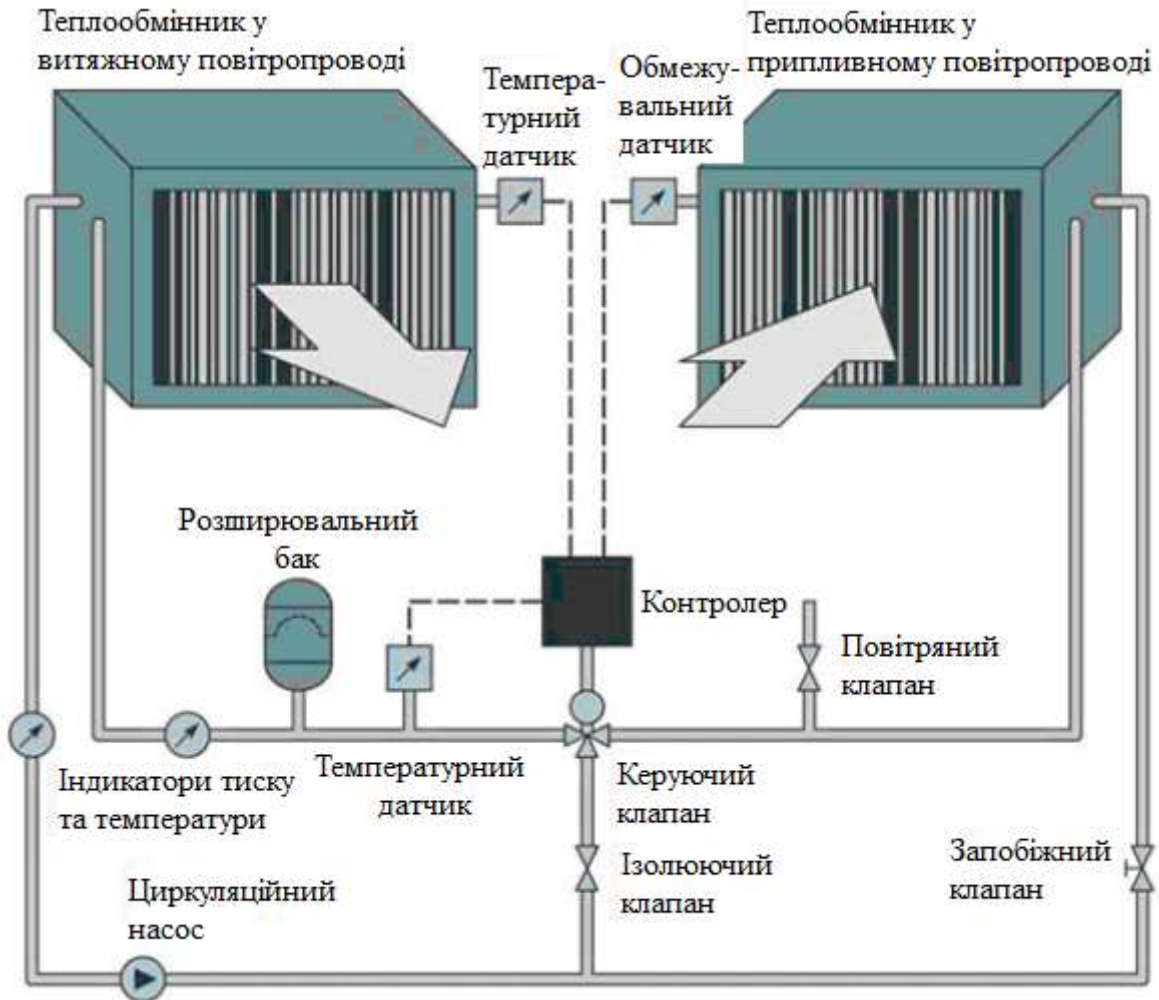


Рис. 1.3. Схема роботи гліколевого рекуператора

Схема рекуперації з проміжним теплоносієм дозволяє не тільки рознести лінії витяжки та припливу, але і забезпечити стабільну роботу без обмерзання теплообмінників при використанні води у якості теплоносія. Мінімально допустима температура зовнішнього повітря визначається тільки концентрацією і типом використовуваної в контурі незамерзаючої рідини [22]. Відсутність перетікання повітря між припливом і витяжкою дозволяє використовувати цю схему і для "чистих" приміщень. У таких рекуператорах водно-гліколевий розчин або вода циркулює між теплообмінниками. Перший

теплообмінник знаходиться у витяжному каналі, другий – в припливному. Водно-гліколевий розчин або вода нагрівається повітрям, що виходить з приміщення, і віддає тепло припливному повітрю. Водно-гліколевий розчин або вода циркулюють в замкнутій системі. Це виключає можливість перенесення забруднень або запаху від вихідного повітря до припливного. Регулювання теплопередачі відбувається шляхом зміни швидкості руху теплоносія. На жаль, наявність у схемі двох проміжних теплообмінників знижує ефективність передачі тепла до 30-60%, при тому, що рідинний контур теплообмінника повинен включати усі традиційні елементи гідравлічного контуру: насоси, розширювальні баки, вузли заправки і контролю параметрів, запобіжний клапан і т.д. Наявність етиленгліколю так само знижує теплопередачу і не в кращий бік впливає на прокладки та ущільнювачі.

### *3. Системи повітрообміну з пластинчастими рекуператорами.*

Процес рекуперації в установках із пластинчастими рекуператорами відбувається таким чином: чисте холодне повітря з вулиці по повітроводу заходить в установку (рис. 1.1, 1.4, 1.5), у фільтрі відбувається фільтрація повітря, далі воно проходить через теплообмінник і за допомогою припливного вентилятора по повітроводам подається у приміщення фармацевтичного складу [24]. Повітря, що видаляється з приміщення, по повітроводам поступає в установку, у фільтрі здійснюється фільтрація, далі воно проходить через теплообмінник і за допомогою витяжного вентилятора по повітроводам видаляється у зовнішнє середовище. У теплообміннику відбувається обмін тепловою енергією теплого забрудненого повітря, що видаляється з приміщення, з чистим холодним повітрям, що поступає з вулиці. Окрім рекуператора додатково в системи додаються необхідні теплообмінники для підігріву або охолодження повітря. Наприклад, на рис. 1.4 зображена система з електричним калорифером нагрівання повітря, та рис. 1.5 – система з водяним калорифером. Крім того, до таких систем останнім часом додають фреонові охолоджувачі (кондиціонери) повітря для

охолодження повітря на фармацевтичному складі з метою зменшення кількості локальних холодильників у приміщенні.

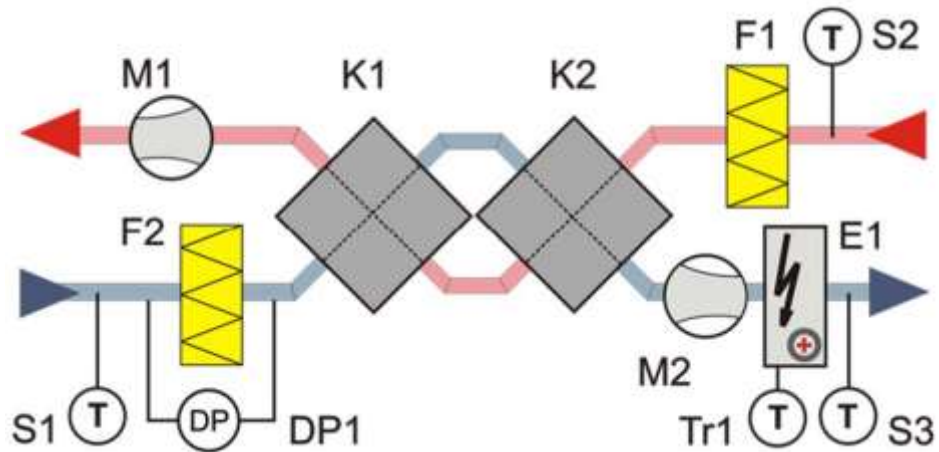


Рис. 1.4. Схема роботи припливно-витяжної системи вентиляції з електричним калорифером нагріву повітря

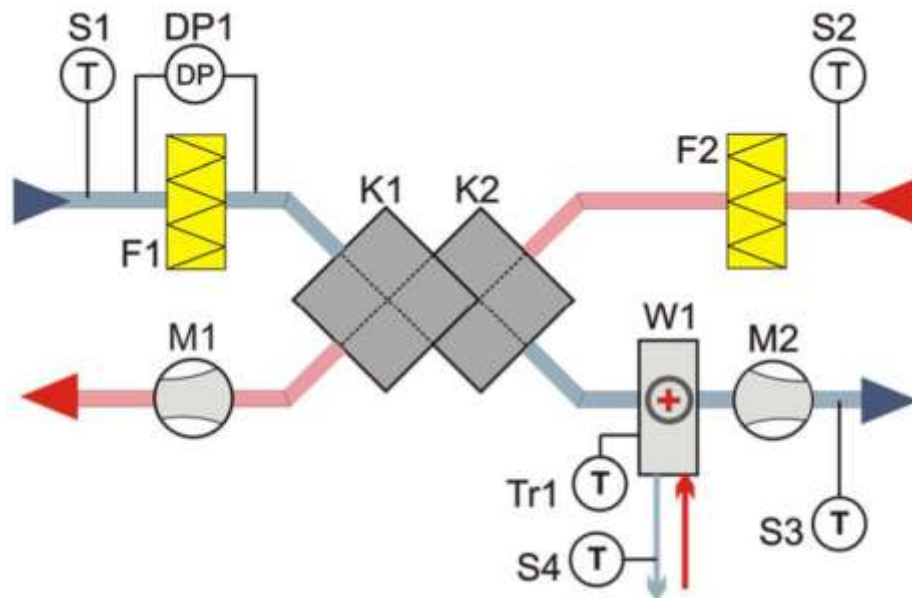


Рис. 1.5. Схема роботи припливно-витяжної системи вентиляції з водяним калорифером

Оскільки на фармацевтичних складах висуваються підвищені вимоги не тільки температурно-вологісного режиму, але і чистоти повітря (часто наявні "чисті кімнати"), враховуючи недоліки роторних та глікогелевих рекуператорів, робимо висновок про доцільність використання рекуператора пластинчастого типу.

#### **1.4. Функціональна схема автоматизації припливно-витяжної вентиляційної установки із рекуператором для фармацевтичного складу**

Функціональна схема автоматизації припливно-витяжної вентиляційної установки із рекуператором для фармацевтичного складу зберігання ГЛЗ наведена на рис. 1.6.

Основний контроль температури здійснюється в трьох місцях:

- температура зовнішнього припливного повітря вимірюється датчиком температури **TE (1-1)**; окрім власне температури навколишнього середовища покази цього датчика відображають можливе намерзання льоду на фільтрі припливного повітря;

- температура вентиляційного повітря, що після підготовки подається у приміщення складу, вимірюється датчиком температури **TE (1-2)**;

- температура повітря у приміщенні фармацевтичного складу вимірюється датчиком температури **TE (1-3)**.

Для отримання додаткової інформації встановлені датчики:

- **TE (1-5)** температури теплоносія в системі нагрівання повітря (температура гарячої води у водяному калорифері);

- **TE (1-6)** температури у системі додаткового нагрівання повітря (резервний калорифер для пікових низьких зимових температур);

- **QE (1-4)** концентрації вуглекислого газу в приміщенні.

За контроль засмічення фільтрів припливного та відпрацьованого повітря відповідають дискретні датчики тиску відповідно **PE (1-7)** та **PE (1-8)**, замикання контактів яких сигналізує про те, що фільтр треба замінити або прочистити.

Для керування електродвигунами приводу відцентрових вентиляторів подачі припливного повітря **M1** та видалення відпрацьованого повітря **M2** використовуються частотні перетворювачі **SIC (1-13)** та **SIC (1-15)** відповідно.

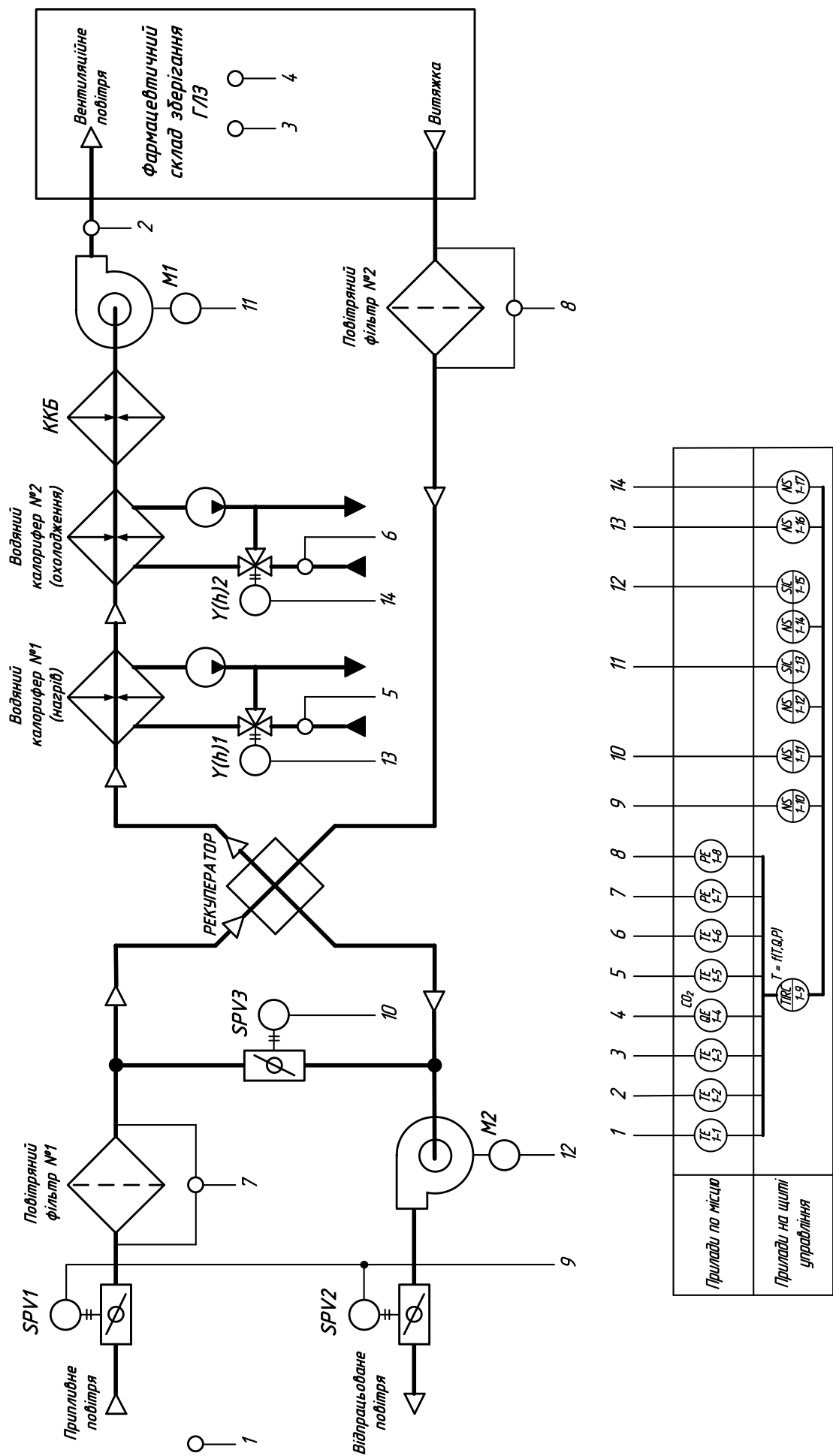


Рис. 1.6. Функціональна схема автоматизації припливно-витяжної вентиляційної установки із рекуператором

**SPV1, SPV2, SPV3** – сервоприводи заслінок, відповідно 1 – заслінка припливу, 2 – витяжки, 3 – рециркуляції.

Керування водяними нагрівачем та охолоджувачем повітря здійснюється за допомогою змішувальних вузлів, до складу яких входять:

1. Водяний калорифер №1 (нагрівання повітря) – трьохходовий регулюючий клапан із сервоприводом **Y(h)1** із циркуляційним насосом, а також датчиком температури **TE (1-5)**.

2. Водяний калорифер №2 (додатковий нагрів повітря) – трьохходовий регулюючий клапан із сервоприводом **Y(h)2** із циркуляційним насосом, а також датчиком температури **TE (1-6)**. Оскільки цей калорифер є додатковим, для особливо низьких зимових температур, він працює у режимі ON/OFF, без можливості плавного регулювання за ПІ- або ПІД-алгоритмом.

**ККБ** – компресорно-конденсаторний блок, який працює у парі з випарником. Для його управління використовується власна плата керування, яка отримує сигнали СТАРТ-СТОП від контролера з відповідним часом дискретизації для охолодження повітря в літній час.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ ТА ВОЛОГІСТЮ У ПРИМІЩЕННІ ФАРМАЦЕВТИЧНОГО СКЛАДУ

#### 2.1. Загальна характеристика об'єкта автоматизації

У магістерській кваліфікаційній роботі проводиться удосконалення системи автоматичного керування параметрами мікроклімату будівлі, де розташовується дистриб'ютерський фармацевтичний склад (таблиця 2.2) для кліматичних умов центральної України (таблиця 2.1). Як розрахункові параметри зовнішнього повітря для холодного періоду року для систем опалення будівель приймається позиція "Б" згідно з [3]. При цьому при розрахунку втрат теплоти через зовнішні огороження приймаються значення, що дорівнюють середній температурі найбільш холодних 5 діб для даної місцевості. Згідно з діючими в Україні будівельними нормами і правилами, тривалість опалювального періоду визначається кількістю днів зі стійкою середньодобовою температурою  $+8^{\circ}\text{C}$  і нижче [4].

Таблиця 2.1.

Кліматичні умови району розташування спортивного комплексу

| Найменування параметра                          | Одиниці вимірювання | Значення |
|---|---------------------|----------|
| Сейсмічність району                             | бал                 | $< 6$    |
| Середня температура найбільш холодних п'яти діб | $^{\circ}\text{C}$  | -21      |
| Середня температура холодної доби               | $^{\circ}\text{C}$  | -26      |
| Швидкість вітру                                 | м/с                 | 3,6      |
| Відносна вологість повітря                      | %                   | 77       |
| Тривалість опалювального сезону                 | діб                 | 189      |

Параметри внутрішнього повітря приміщень приймають згідно [5,8] та експлуатації приміщень в залежності від їх призначення (таблиця 2.2).

## Параметри внутрішнього повітря приміщень

| № п/п                            | Назва приміщень             | Відносна вологість, % | Температура, °С |
|----------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------|
| 1-й поверх                       |                             |                       |                 |
| 1                                | Вхідний тамбур              | 50-60                 | -               |
| 2                                | Сходова клітина             |                       | 16              |
| 3                                | Зала реєстрації             |                       | 15              |
| 4                                | Приміщення персоналу        |                       | 18              |
| 5                                | Коридор                     |                       | 16              |
| 6                                | Вхідний тамбур              |                       | -               |
| 7                                | Санвузол                    |                       | 20              |
| 8                                | Електрощитова               |                       | 10              |
| 9                                | Вантажопасажирський ліфт    |                       | -               |
| 10                               | Коридор                     |                       | 16              |
| 11                               | Сходова клітина             |                       | 16              |
| 2-й та 3-й поверх (є однаковими) |                             |                       |                 |
| 1                                | Сходова клітина             | 50-60                 | 16              |
| 2                                | Приміщення персоналу        |                       | 18              |
| 3                                | Санвузол                    |                       | 20              |
| 4                                | Гардероб                    |                       | 25              |
| 5                                | Коридор                     |                       | 16              |
| 6                                | Сходова клітина             |                       | 18              |
| 7                                | Вантажопасажирський ліфт    |                       | -               |
| 8                                | Склад зберігання ГЛЗ        | 30-45                 | 18              |
| 4 поверх                         |                             |                       |                 |
| 1                                | Сходова клітина             | 50-60                 | 16              |
| 2                                | Даховий тепловий пункт      |                       | 5               |
| 3                                | Вантажопасажирський ліфт    |                       | -               |
| 4                                | Коридор                     |                       | 16              |
| 5                                | Сходова клітина             |                       | 16              |
| 6                                | Склад ГЛЗ (додаткове прим.) | 30-45                 | 16              |

Система опалення будівля фармацевтичного складу передбачається комбінована: водяна система опалення для допоміжних приміщень і припливно-витяжна система вентиляції із рекуператором для приміщень зберігання готових лікарських засобів. Її складовими елементами є:

1. Нагрівальні прилади – сталеві радіатори із нижньою розводкою Kermi FTV із терморегулюючими вентилями  $d_v = 15$  мм фірми Danfoss.

2. Мережа трубопроводів.

3. Тепловий пункт із відповідним обладнанням: циркуляційні насоси, виконавчі механізми, теплообмінники, датчики температури та тиску, вентиляційні повітропроводи, шафа керування.

Теплоносієм системи опалення є гаряча вода від котельні з температурою 90-70°C.

Відвід повітря із труб системи опалення здійснюється через крани Маєвського, які встановлені на опалювальних приладах. Опорожнення системи опалення здійснюється спускними кульовими кранами у найнижчих точках системи.

## 2.2. Теплотехнічний розрахунок огорожуючих конструкцій будівлі фармацевтичного складу

Теплозахисні якості огорожень характеризуються величиною опору теплопередачі  $R_0$  (чисельно дорівнює температурі при охолодженні теплового потоку в 1 Вт через 1 м<sup>2</sup> огороження). Для вищевказаних кліматичних умов для огорожуючих конструкцій (зовнішні стіни, вікна, перекриття) використовують певні нормативні опори теплопередачі (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3.

Нормативні значення опору теплопередачі захисних конструкцій, м<sup>2</sup>·°C/Вт

| Найменування   | Значення опору теплопередачі $R_0$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт |
|----------------|--|
| Зовнішня стіна | 3,3  |
| Підлога        | 3,75   |
| Перекриття     | 4,95   |
| Вікно          | 0,5  |

Кінцевою метою теплотехнічного розрахунку є визначення коефіцієнту теплопередачі окремих огорожуючих конструкцій будівлі (зовнішні стіни, стеля верхнього поверху, перекриття над підвалом, вікна). Виходячи із  $R_0^n$  підбирають конструкцію (товщину шарів ізоляційних матеріалів) кожного окремо.

### 2.2.1. Будова і розрахунок зовнішньої стіни

Штукатурка (розчин цементно-піщаний):

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 0,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С}); \\ S_1 &= 8,69 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{С}); \\ \mu_1 &= 0,12 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па}); \\ \delta_1 &= 0,02 \text{ м}. \end{aligned}$$

1 шар:

Цегла глиняна звичайна на цементно-піщаному розчині

$$\begin{aligned} \lambda_2 &= 0,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С}); \\ S_2 &= 9,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{С}); \\ \mu_2 &= 0,15 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па}); \\ \delta_2 &= 0,380 \text{ м}. \end{aligned}$$

2 шар:

Утеплювач (плита з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому)

$$\begin{aligned} \lambda_3 &= 0,05 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С}); \\ S_3 &= 0,46 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{С}); \\ \mu_3 &= 0,05 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{год}\cdot\text{Па}); \\ \delta_3 &= 0,15 \text{ м}. \end{aligned}$$

3 шар:

4 шар: Штукатурка (розчин цементно-піщаний)

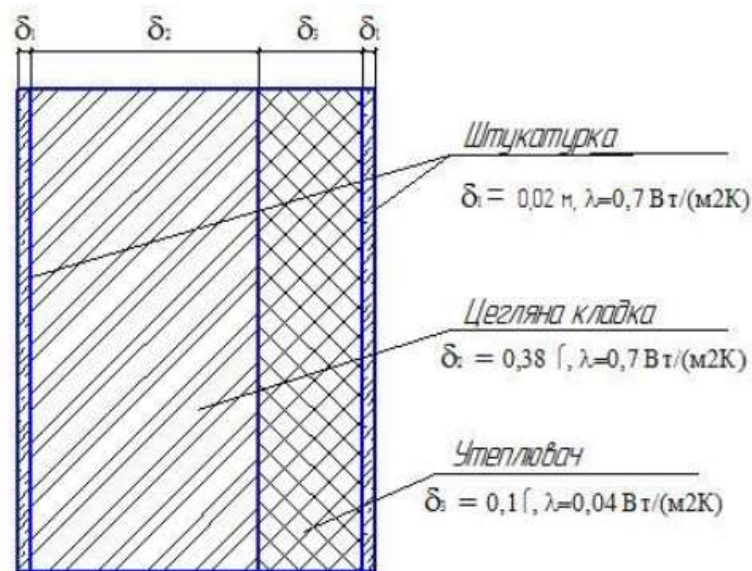


Рис. 2.1. Конструкція зовнішньої стіни

Визначаємо термічний опір штукатурки

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,2}{0,7} = 0,029 \left( \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right) \quad (2.1)$$

Термічний опір цегляної кладки

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,380}{0,70} = 0,543 \left( \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right) \quad (2.2)$$

Далі визначаємо необхідний опір теплопередачі утеплювача.

Нормативний термічний опір теплопередачі стін для першої температурної зони становить  $R_{\text{ст}}^{\text{норм}} = 3,3 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ , коефіцієнти тепловіддачі від внутрішнього повітря до стіни  $\alpha_{\text{вн}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  і від стіни до зовнішнього повітря  $\alpha_{\text{вн}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  [3].

Визначаємо термічний опір стіни без утеплювача, необхідний опір і товщину утеплювача.

$$\Sigma R = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + 2R_1 + R_2 + R_3 + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}} \quad (2.3)$$

$$\Sigma R = \frac{1}{8,7} + 2 \times 0,029 + 0,543 + \frac{1}{23} = 0,795$$

$$R_{\text{ут}} = R_{\text{ст}}^{\text{норм}} - \Sigma R = 3,3 - 0,759 = 2,541 \left( \frac{\text{м}^2\text{К}}{\text{Вт}} \right) \quad (2.4)$$

$$\delta_{\text{ут}} = R_{\text{ут}} \times \lambda_{\text{ут}} = 2,541 \times 0,05 = 0,13 \text{ (м)} \quad (2.5)$$

Приймаємо товщину утеплювача 15 см перераховуємо, і отримуємо приведений термічний опір стіни

$$R_{\text{ст}} = \Sigma R + \frac{\delta'_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} = 0,759 + \frac{0,13}{0,05} = 3,759 \left( \frac{\text{м}^2\text{К}}{\text{Вт}} \right) \quad (2.6)$$

Отже, розрахунковий термічний опір стіни становить

$$R_{\text{прив}} = 3,3759 > R_{\text{ст}}^{\text{норм}} = 3,3 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт},$$

тому конструкція стіни задовольняє вимогам по теплопровідності.

### 2.2.2. Будова і розрахунок підлоги

Нормативний термічний опір теплопередачі неопалюваних підвалів, розташованих нижче рівня землі, для першої температурної зони становить  $R_{\text{пер}}^{\text{норм}} = 3,75 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$ , коефіцієнти тепловіддачі від внутрішнього повітря до перекриття  $\alpha_{\text{вн}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  і від перекриття до повітря підвалу  $\alpha_{\text{зн}} = 6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  [3].

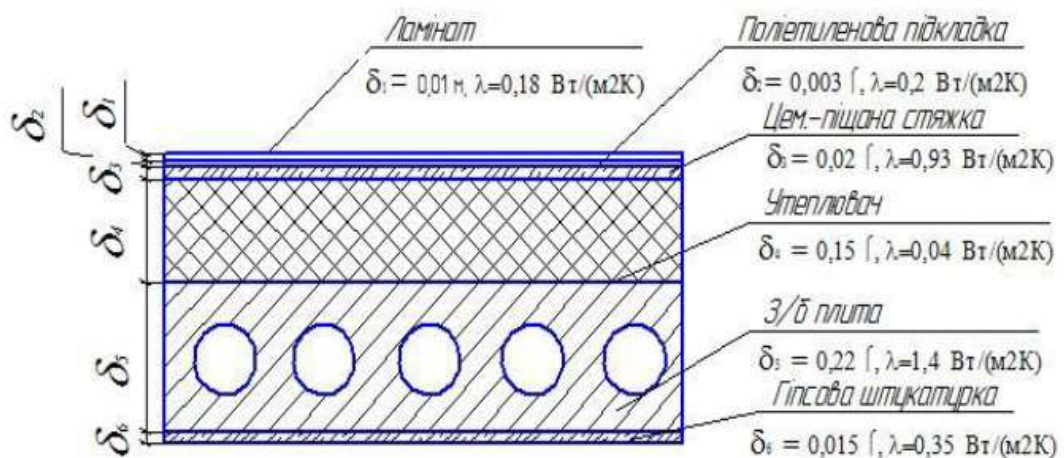


Рис. 2.2. Конструкція перекриття над підвалом

Розрахунок проводиться аналогічно розрахунку горищного перекриття. Теплотехнічні характеристики будівельних матеріалів згідно з [8]:

|  |   |
|--|---|
| Ламінат:   | $\delta_1=0,02\text{ м}, \lambda_1=0,41 \text{ Вт}/(\text{м К}).$   |
| Поліетиленова підкладка:                               | $\delta_2=0,003 \text{ м}, \lambda_2=0,2 \text{ Вт}/(\text{м К}).$  |
| Цементно-піщана стяжка:                                | $\delta_3=0,02 \text{ м}, \lambda_3=0,93 \text{ Вт}/(\text{м К}).$  |
| Термічний опір з/б плити при потоці тепла зверху вниз: | $R_4=0,177 \text{ (м}^2\cdot\text{К)}/\text{Вт}.$                   |
| Утеплювач з пінополіуретану:                           | $\lambda_5=0,041\text{Вт}/(\text{м К}).$                            |
| Гіпсова штукатурка                                     | $\delta_6=0,015 \text{ м}, \lambda_6=0,35 \text{ Вт}/(\text{м К}).$ |

Визначаємо термічний опір всієї конструкції без утеплювача

$$\Sigma R = \frac{1}{\alpha_B} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + \frac{1}{\alpha_3} \quad (2.7)$$

$$\Sigma R = \frac{1}{8,7} + 0,049 + 0,015 + 0,022 + 0,177 + 0,043 + \frac{1}{6} = 0,589 \left( \frac{\text{м}^2\text{К}}{\text{Вт}} \right)$$

$$R_{\text{ут}} = R_{\text{ут}}^{\text{норм}} - \Sigma R = 3,75 - 0,589 = 3,111 \left( \frac{\text{м}^2\text{К}}{\text{Вт}} \right) \quad (2.8)$$

$$\delta_{\text{ут}} = R_{\text{ут}} \times \lambda_{\text{ут}} = 3,111 \times 0,04 = 0,124 \text{ (м)} \quad (2.9)$$

Приймаємо товщину утеплювача 15 см і перераховуємо

$$R_0 = \frac{\delta'_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} + \Sigma R = 3,75 + 0,589 = 4,339 \left( \frac{\text{м}^2\text{К}}{\text{Вт}} \right) \quad (2.10)$$

### 2.2.3. Будова і розрахунок горищного перекриття

Нормативний термічний опір теплопередачі перекриття для першої температурної зони становить  $R_{\text{пер}}^{\text{норм}}=4,95(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ , коефіцієнти тепловіддачі від внутрішнього повітря до перекриття  $\alpha_{\text{вн}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  і від перекриття до повітря горища  $\alpha_{\text{зн}} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  [3].

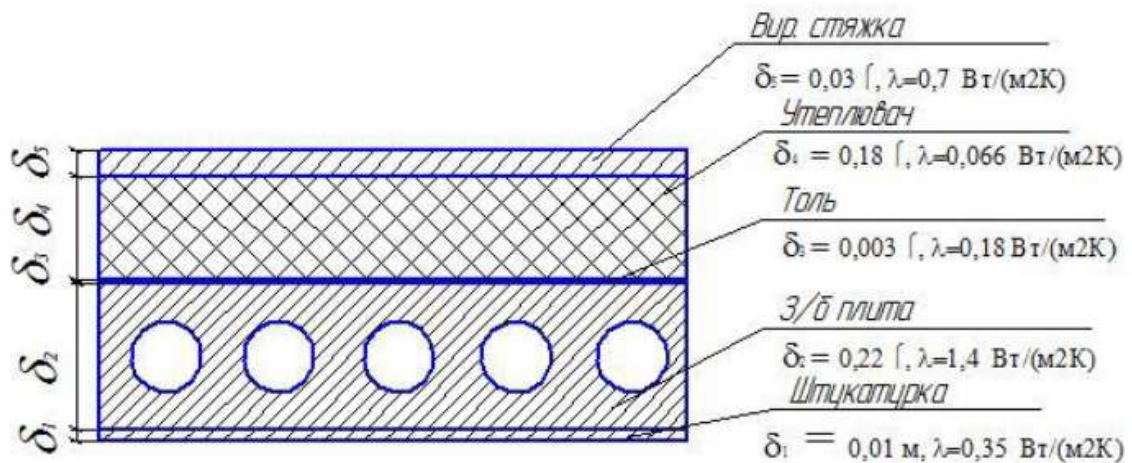


Рис. 2.3. Конструкція горіщного перекрыття

Термічний опір штукатурки гіпсової

$$\delta_1 = 0,01 \text{ м, } \lambda_1 = 0,35 \text{ Вт/(м К)}$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,01}{0,35} = 0,028 \left( \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Втм}} \right)$$

Термічний опір залізобетонної плити при потоці тепла знизу вгору

$$R_{зб} = 0,164 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Втм}}$$

Термічний опір пароізоляції (толь)

$$\delta_3 = 0,003 \text{ м, } \lambda_3 = 0,18 \text{ Вт/(м К)}$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,003}{0,18} = 0,017 \left( \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Втм}} \right)$$

Термічний опір цементно-піщаної стяжки

$$\delta_5 = 0,03 \text{ м, } \lambda_5 = 0,70 \text{ Вт/(м К)}$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\lambda_5} = \frac{0,03}{0,70} = 0,043 \left( \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Втм}} \right)$$

Визначаємо термічний опір без утеплювача

$$\sum R = \frac{1}{\alpha_{вн}} + R_1 + R_{зб} + R_3 + R_5 + \frac{1}{\alpha_{зн}} \quad (2.11)$$

$$\sum R = \frac{1}{8,7} + 0,028 + 0,164 + 0,017 + 0,043 + \frac{1}{12} = 0,450 \left( \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Втм}} \right)$$

Визначаємо необхідну товщину утеплювача (мін. Вата)

$$\lambda_{\text{ут}} = 0,066 \text{ Вт/(м К)}$$

$$R_{\text{ут}} = R_{\text{норм}} - \sum R = 4,95 - 0,450 = 4,5 \left( \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}} \right) \quad (2.12)$$

$$\delta_{\text{ут}} = R_{\text{ут}} \times \lambda_{\text{ут}} = 4,5 \times 0,066 = 0,29 \text{ (м)} \quad (2.13)$$

Вибираємо плити мінеральної вати товщиною 30 см і перераховуємо

$$R_0 = \frac{\delta'_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} + \sum R = \frac{0,2}{0,040} + 0,450 = 5,45 \left( \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} \right) \quad (2.14)$$

#### 2.2.4. Розрахунок вікон

Для першої температурної зони термічний опір вікон повинен бути не меншим за нормативне значення  $R_{\text{вік}}^{\text{норм}} = 0,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$  [3].

Внутрішня розрахункова температура становить:

- для залу  $t_{\text{вн}} = 19^\circ\text{C}$ ;
- для робочих приміщень  $t_{\text{вн}} = 18^\circ\text{C}$ ;
- для сходової клітини  $t_{\text{вн}} = 16^\circ\text{C}$ .

Як було зазначено, розрахункова температура зовнішнього повітря (найбільш холодних 5 діб) становить  $t_3 = -21^\circ\text{C}$ .

Визначаємо різниці температур внутрішніх і зовнішньої температур для визначення необхідного опору теплопередачі вікон:

2. для зали

$$\Delta t = t_{\text{вн}} - t_3 = 19 - (-21) = 40 \text{ (}^\circ\text{C)};$$

2. для робочих приміщень

$$\Delta t = 18 - (-21) = 39 \text{ (}^\circ\text{C)};$$

3. для сходової клітини

$$\Delta t = 16 - (-20) = 36 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Усім отриманим значенням відповідає одне значення опору теплопередачі вікон із трійним заскленням, яке складає  $R_0 = 0,52 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$ .

Знаходимо коефіцієнт теплопередачі вікна

$$k = \frac{1}{R_0^\phi} = \frac{1}{0,52} = 1,9 \left( \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}} \right) \quad (2.15)$$

### 2.3. Розрахунок теплових втрат по поверххах та будівлі в цілому

Система опалення повинна компенсувати теплові втрати через огороження будівлі, втрати тепла на нагрівання зовнішнього повітря, яке поступає через відчинені двері, прорізи, щілини притворів і на відчинені зимою двері.

Теплові втрати приміщення обчислюються як сума тепловтрат зовнішніх огорожуючих конструкцій.

Тепловтрати конструкцій обчислюються за виразом

$$Q_K = \frac{l}{R} \cdot F \cdot (t_6 - t_3) \cdot n \cdot \Sigma_m, \quad (2.16)$$

де  $l/R$  – коефіцієнт теплопередачі конструкції,  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{°C})$ ;

$t_6$  – розрахункова температура внутрішнього повітря,  $\text{°C}$ ;

$t_3$  – розрахункова температура зовнішнього повітря,  $\text{°C}$ ;

$n$  – коефіцієнт, що враховує додатковий захист конструкцій від зовнішніх температур;

$\Sigma_m$  – загальні тепловтрати (сума додаткових тепловтрат на орієнтацію конструкції, вітер, що діє на неї, двері, зовнішні стіни);

$F$  – площа огорожуючої поверхні,  $\text{м}^2$ .

Згідно з орієнтацією будівлі за завданням, тепловтрати на орієнтацію будуть однакові в обох під'їздах будинку.

Тепловтрати на вентиляцію знаходимо за виразом [3]

$$Q_{\text{вент}} = 0,337 \cdot A \cdot h \cdot \Delta t_{\text{підл}}, \quad (2.17)$$

де  $A$  – площа підлоги,  $\text{м}^2$ ;

$h$  – висота приміщення,  $\text{м}$ ;

$$\Delta t_{\text{підл}} = t_{\text{в}} - 5^\circ\text{C};$$

$t_{\text{в}}$  – розрахункова температура внутрішнього повітря,  $^\circ\text{C}$ .

Розрахунок тепловтрат для приміщень наведені в додатку А.

Загальні тепловтрати  $Q_3$  складаються із головних  $Q_{\text{Г}}$  та додаткових

$Q_{\text{Д}}$

$$Q_3 = Q_{\text{Г}} + Q_{\text{Д}} \quad (2.18)$$

Головні тепловтрати  $Q_{\text{Г}}$ ,  $\text{Вт}$ , визначають за виразом

$$Q_{\text{Г}} = k \cdot F \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \cdot n, \quad (2.19)$$

де  $F$  – площа поверхні конструкції,  $\text{м}^2$ ;

$k$  – коефіцієнт теплопередачі через стінку,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

$t_{\text{в}}$  – розрахункова температура внутрішнього повітря,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{з}}$  – розрахункова температура зовнішнього повітря,  $^\circ\text{C}$ ; як було зазначено, приймається середня температура найбільш холодних 5 діб;

$n$  – коефіцієнт, що враховує додатковий захист огорожуючої конструкції від зовнішньої температури.

Додаткові тепловтрати  $Q_{\text{Д}}$ ,  $\text{Вт}$  визначаються як % від головних.

Загальні тепловтрати на першому поверсі становлять

$$Q_{3\text{I}} = 22360 \text{ Вт} \approx 22 \text{ кВт.}$$

Загальні тепловтрати на другому та третьому поверхах разом становлять

$$Q_{3\text{II+III}} = Q_{3\text{I}} \cdot 2 = 28158 \cdot 2 = 56316 \text{ Вт} \approx 56 \text{ кВт.}$$

Загальні тепловтрати на четвертому поверсі становлять

$$Q_{3\text{IV}} = 26919 \text{ Вт} \approx 26 \text{ кВт.}$$

Загальні тепловтрати по усій будівлі становлять

$$\Sigma Q_3 = Q_{3\text{I}} + Q_{3\text{II}} \cdot 2 + Q_{3\text{IV}} = 105596 \text{ Вт} \approx 106 \text{ кВт.}$$

## 2.4. Розробка математичної моделі температурного стану повітря в будівлі фармацевтичного складу

Для подальших розрахунків приймаємо, що, незважаючи на різні нормативні значення температури повітря у різних приміщеннях будівлі, температура повітря в будівлі  $t_p$  однакова для всього об'єму, а температура води в радіаторах системи та трубах  $t_v$  допоміжних приміщень має середньоарифметичне значення між вхідною температурою гарячої води  $t_g$  і температурою води на виході з будівлі  $t_y$ .

Складемо статичну модель технологічного об'єкту по каналу керування температурним режимом. Для цього представимо об'єкт у вигляді двох ланок, які акумулюють енергію – це ланка підігрівачої води і ланка повітря в опалюваних приміщеннях (рис. 2.4) [26].

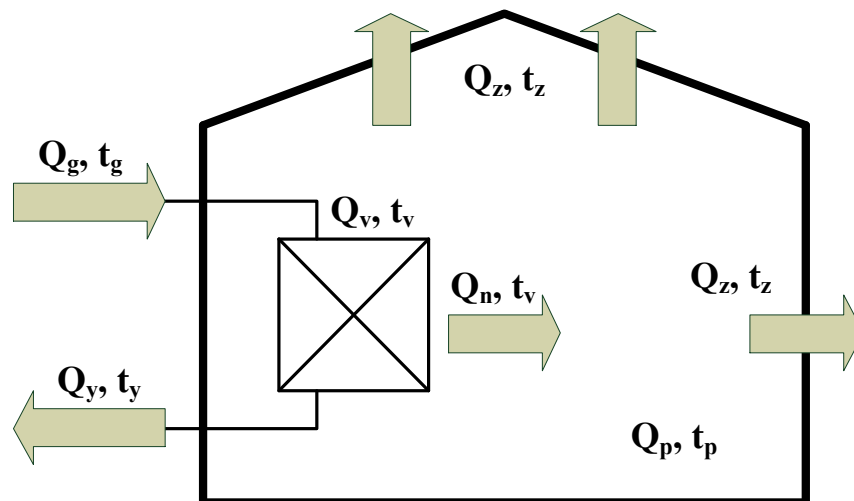


Рис. 2.4. Схема теплових потоків у будівлі фармацевтичного складу

В статичному режимі кількість тепла, що знаходиться у воді  $Q_v$  і тепла, що знаходиться у повітрі будівлі  $Q_p$  лишається незмінним і тому можемо записати два рівняння теплових балансів

$$\text{для води: } Q_g - Q_y - Q_n = 0, \quad (2.20)$$

$$\text{для повітря будівлі: } Q_n - Q_z = 0,$$

де  $Q_g$  – кількість тепла, що надійшло з водою;  $Q_y$  – тепло, виведене з водою;  $Q_n$  – тепло, що перейшло до повітря;  $Q_z$  – тепло, втрачене в навколишній простір.

Значення кількості тепла, що надійшло в систему опалення будівлі за секунду і вийшло з нею, залежить від теплоємності води  $C_v$ , продуктивності насоса  $G_n$ , густини води  $\rho_v$  і відповідної температури води, а значення кількості тепла, що знаходиться в системі опалення також залежить від об'єму води в системі  $V_v$ .

Відповідно до цього

$$\begin{aligned} Q_g &= C_v \cdot G_n \cdot \rho_v \cdot t_g \\ Q_y &= C_v \cdot G_n \cdot \rho_v \cdot t_y \\ Q_v &= C_v \cdot V_v \cdot \rho_v \cdot t_v \end{aligned} \quad (2.21)$$

Кількість тепла, яка знаходиться в будівлі, залежить від теплоємності повітря  $C_p$ , густини повітря  $\rho_p$ , відповідної температури повітря  $t_p$  і об'єму будівлі  $V_p$

$$Q_p = C_p \cdot V_p \cdot \rho_p \cdot t_p \quad (2.22)$$

Тепло, яке передається від води через стінку труби до повітря і від повітря до навколишнього повітря, визначається за законом Фур'є

$$Q_n = k_1 \cdot F_{mp} \cdot (t_v - t_p) \quad (2.23)$$

де  $k_1$  – коефіцієнти теплопередачі через стінку труби системи;

$F_{mp}$  – площа поверхні радіаторів системи опалення будівлі.

Коефіцієнти теплопередачі визначаються за формулою

$$k_1 = Nu_p \frac{\lambda_p}{D_{mp}} \quad (2.24)$$

Густина повітря, кг/м<sup>3</sup>

$$\rho_p = 1,2934 - 4,8735 \cdot 10^{-3} \cdot t_p + 1,7287 \cdot 10^{-5} \cdot t_p^2 \quad (2.25)$$

Кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря, м<sup>2</sup>/с

$$\nu_p = (13,3154 + 0,08647 \cdot t_p + 1,1144 \cdot 10^{-4} \cdot t_p^2) \cdot 10^{-6} \quad (2.26)$$

Коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт/(м · °С)

$$\lambda_p = (2,4373 + 7,8736 \cdot 10^{-3} \cdot t_p - 1,3487 \cdot 10^{-6} \cdot t_p^2) \cdot 10^{-2} \quad (2.27)$$

Критерій Прандтля для повітря

$$\text{Pr}_p = 0,70876 - 3,3487 \cdot 10^{-4} \cdot t_p - 2,1179 \cdot 10^{-6} \cdot t_p^2 \quad (2.28)$$

Коефіцієнт об'ємного розширення повітря, 1/°К

$$\beta_p = \frac{1}{t_p + 273} \quad (2.29)$$

Для знаходження критерію Нуссельта для тепловіддачі від горизонтальної труби до повітря використовуємо вираз

$$\text{Nu}_p = C \cdot (\text{Gr}_p \cdot \text{Pr}_p)^n, \quad (2.30)$$

де для комплексу  $1000 < \text{Gr}_p \cdot \text{Pr}_p < 10^9$  значення  $C = 0,5$  та  $n = 0,25$ .

Значення комплексу  $\text{Gr}_p \cdot \text{Pr}_p$  визначаємо за виразом

$$\text{Gr}_p \cdot \text{Pr}_p = 9,81 \cdot \beta_p \cdot \frac{(t_v - t_p) \cdot D_{mp}^3}{\nu_p^2} \cdot \text{Pr}_p \quad (2.31)$$

Тепло, яке втрачається через стіни у навколишнє середовище, отримуємо з використанням виразу

$$Q_z = k_z \cdot F_{OG} \cdot (t_p - t_z) \cdot \eta_0, \quad (2.32)$$

де  $k_z$  – коефіцієнти теплопередачі через огорожуючі поверхні будівлі;  $F_{OG}$  – площа огорожуючих конструкцій;  $\eta_0$  – коефіцієнт огороження будівлі, який дорівнює відношенню

$$\eta_0 = \frac{F_{OG}}{F_{IHВ}}, \quad (2.33)$$

де  $F_{IHВ}$  – інвентарна площа (площа підлоги будівлі).

Коефіцієнт теплопередачі визначається за виразом

$$k_z = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_p} + \frac{\delta_c}{\lambda_c} + \frac{1}{\alpha_c}}, \quad (2.34)$$

де  $\alpha_p$ ,  $\alpha_c$  – відповідно, коефіцієнти тепловіддачі від повітря будівлі до огорожуючих конструкцій та від них до зовнішнього повітря;  $\lambda_c$  – коефіцієнт теплопровідності огорожуючих конструкцій;  $\delta_c$  – товщина огороження.

Коефіцієнт тепловіддачі від повітря будівлі до огорожувальної поверхні прийmemo постійним  $\alpha_1 = 6,4 \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$  [3].

Значення коефіцієнта теплопровідності від огорожувальної поверхні залежить від температури навколишнього середовища і приймається у значеннях п.п. 2.2.1-2.2.3.

Коефіцієнт тепловіддачі від огорожуючої поверхні до зовнішнього повітря визначається на основі [6]

$$\alpha_2 = Nu_z \cdot \frac{\lambda_z}{L_0}, \quad (2.35)$$

де  $L_0$  – лінійний розмір будівлі.

Значення критерію Нуссельта для зовнішнього повітря отримуємо з урахуванням швидкості зовнішнього повітря (кліматичні умови)

$$Nu_z = 0,67 \cdot Re_z^{1/2} \cdot Pr_p^{1/3}, \quad (2.36)$$

де критерій Рейнольдса знаходимо з рівняння

$$Re_z = \frac{V_z \cdot L_0}{\nu_z}, \quad (2.37)$$

де  $V_z$  – швидкість руху повітря (вітру) на вулиці, м/с.

Теплофізичні характеристики води знаходимо з отриманих за методом найменших квадратів рівняннях в залежності від температури води.

Густина води, кг/м<sup>3</sup>

$$\rho_v = 1000,6 - 0,0719 \cdot t_v - 3,5501 \cdot 10^{-3} \cdot t_v^2 \quad (2.38)$$

Теплоємність води, Дж/кг · °С

$$C_v = (4,2074 - 1,4878 \cdot 10^{-3} \cdot t_v + 1,64695 \cdot 10^{-5} \cdot t_v^2) \cdot 1000 \quad (2.39)$$

Від статичної моделі перейдемо до динамічної. Враховуючи рівняння статики і наведені вище рівняння, отримаємо систему диференціальних рівнянь зміни кількості тепла в часі у воді і повітрі будівлі. З урахуванням параметрів, які ми вважаємо незмінними, а саме: об'ємів середовищ, густини і теплоємності повітря та води, похідні будуть знаходитись за температурою (середньою) води  $t_v$  і температурою повітря  $t_p$  будівлі

$$\begin{aligned} C_v \cdot V_v \cdot \rho_v \cdot \frac{dt_v}{d\tau} &= C_g \cdot G_g \cdot \rho_g \cdot t_g - C_y \cdot G_y \cdot \rho_y \cdot t_y - \alpha_p \cdot F_t \cdot (t_v - t_p) \\ C_p \cdot V_p \cdot \rho_p \cdot \frac{dt_p}{d\tau} &= \alpha_p \cdot F_t \cdot (t_v - t_p) - k_z \cdot F_c \cdot (t_p - t_z) \cdot \eta_0 \end{aligned} \quad (2.40)$$

Вважаючи, що  $t_v = \frac{t_g + t_y}{2}$ , з наведеного рівняння знайдемо значення

температури охолодженої води і підставимо в рівняння (2.40).

Після спрощення приведемо рівняння (2.40) до вигляду Коші:

$$\begin{aligned} \frac{dt_v}{d\tau} &= \frac{C_g \cdot G_g \cdot \rho_g \cdot t_g - C_y \cdot G_y \cdot \rho_y \cdot (2 \cdot t_v - t_g) - \alpha_p \cdot F_t \cdot (t_v - t_p)}{C_v \cdot V_v \cdot \rho_v} \\ \frac{dt_p}{d\tau} &= \frac{\alpha_p \cdot F_t \cdot (t_v - t_p) - k_z \cdot F_c \cdot (t_p - t_z) \cdot \eta_0}{C_p \cdot V_p \cdot \rho_p} \end{aligned} \quad (2.41)$$

Як було зазначено, у системі опалення будівлі теплоносієм є вода температурою 90-70°C, що надходить до теплового пункту від котельні.

У пакеті імітаційного моделювання MATLAB Simulink синтезована імітаційна математична модель динаміки зміни температури повітря в будівлі та температури теплоносія. Чисельні значення матеріалів та

розмірів огорожуючих конструкцій визначаються з п.п. 2.2 та додатку А1-А5.

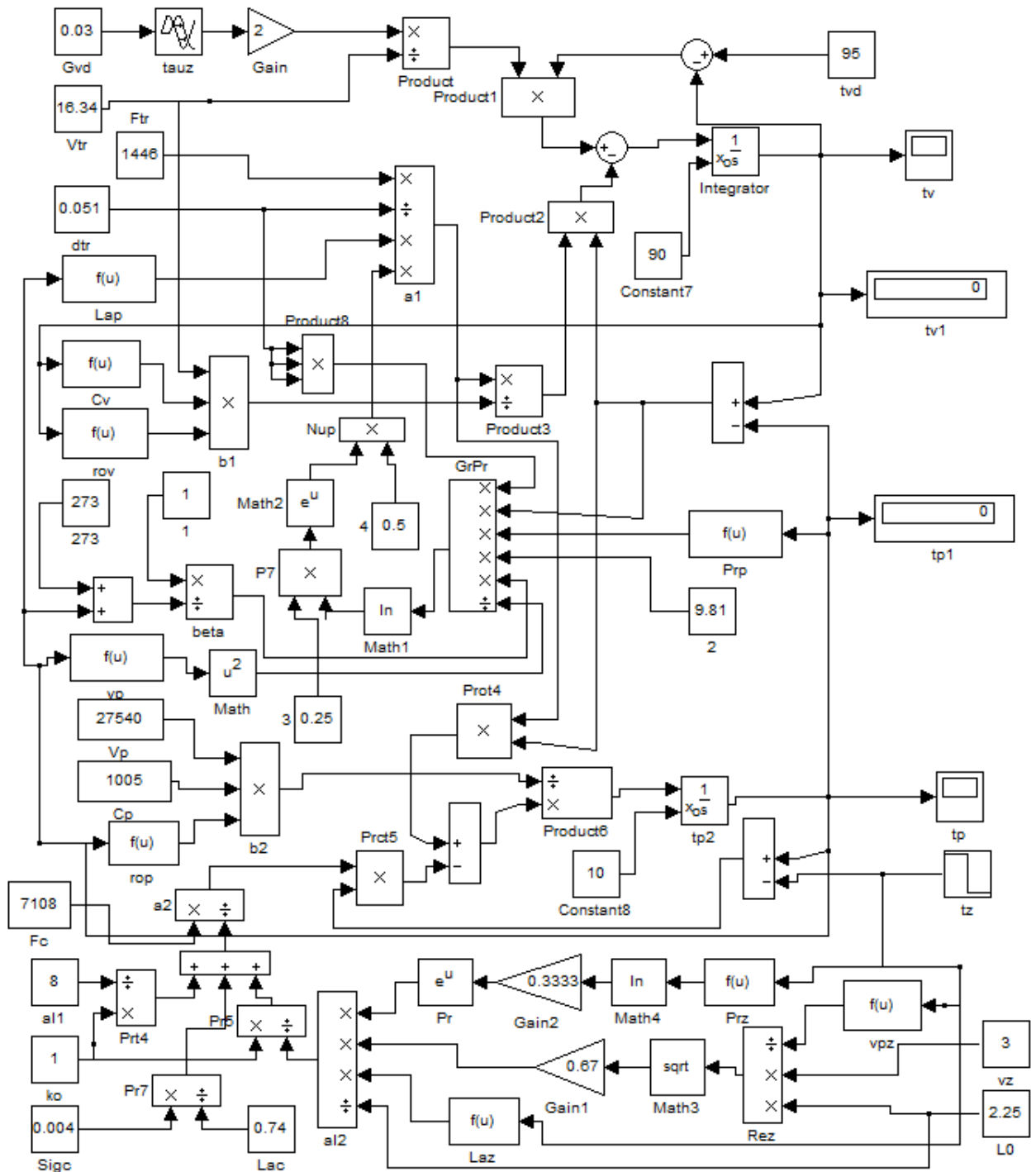


Рис. 2.5. Блок-схема імітаційної моделі енерговитрат у системи опалення будівлі з використанням пакету MATLAB Simulink

В результаті дослідження динаміки процесу на розробленій імітаційній моделі була отримана розгінна характеристика будівлі по каналу регулювання температури повітря (рис. 2.6).

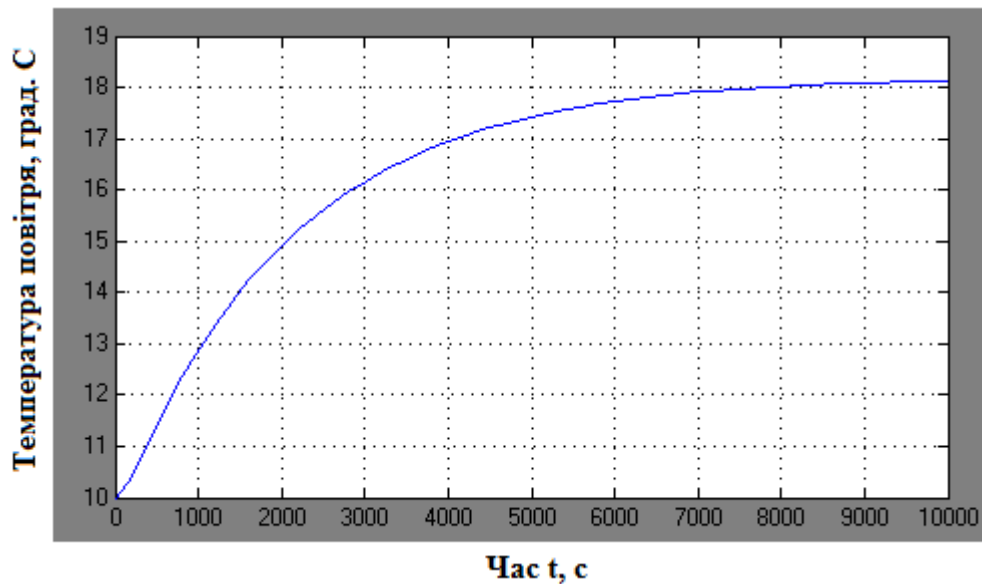


Рис. 2.6. Розгінна характеристика будівлі для каналу регулювання температури повітря

Властивості об'єктів можуть бути відображені в їх динамічних характеристиках, які, в свою чергу, виражені в їх передатних функціях.

Для визначення передатної функції будівлі для каналу "потужність нагрівача  $\rightarrow$  температура повітря" був використаний графічний метод [12]. Для цього розгінна характеристика будівлі, отримана з використанням побудованої математичної моделі при зміні температури повітря від  $10^{\circ}\text{C}$  до  $18^{\circ}\text{C}$ , була пронормована за виразом

$${}^0y(t_i) = \frac{y(t_i) - y(t_0)}{y(\infty) - y(t_0)} = \frac{y(t_i) - 10}{18 - 10}. \quad (2.42)$$

Результати розрахунку занесені в таблицю (додаток Б1), нормована крива розгону теплиці зображена на рис. 2.7.

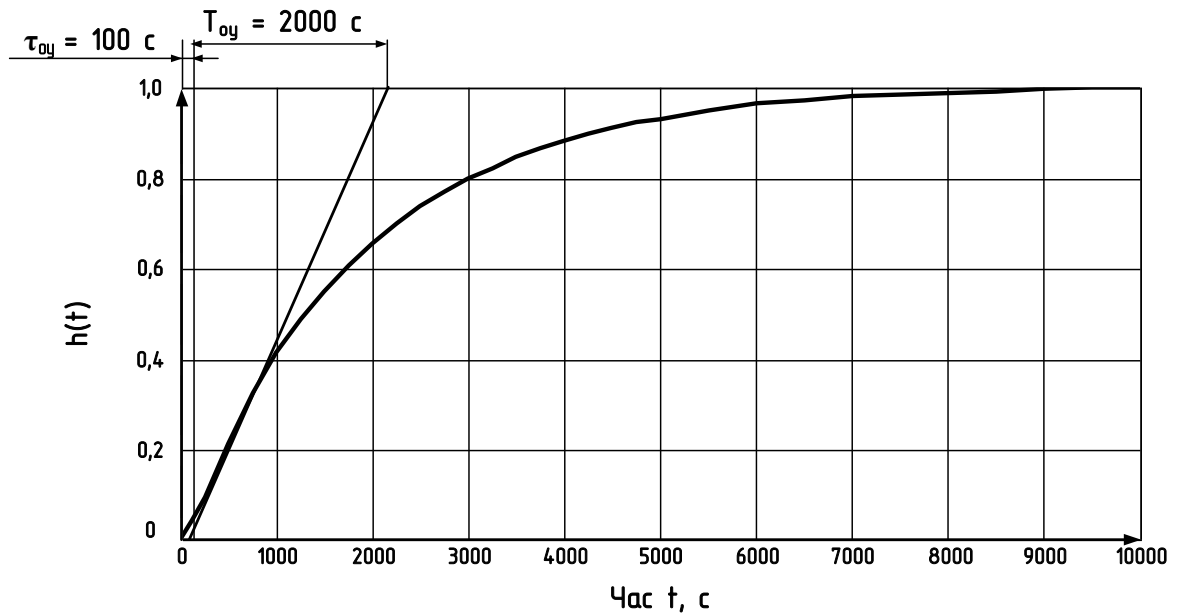


Рис. 2.7. Нормована розгінна характеристика будівлі для каналу регулювання температури повітря

Для статичних об'єктів передатна функція, отримана за кривою розгону, представляється у вигляді інерційної ланки із запізненням

$$W(s) = \frac{k_{oy} \cdot e^{-\tau_{oy} \cdot s}}{T_{oy} \cdot s + 1}, \quad (2.43)$$

де  $k_{oy}$  - коефіцієнт передачі об'єкта;  $T_{oy}$  - постійна часу об'єкта, що характеризує його інерційність, с;  $\tau_{oy}$  - час чистого запізнення, с.

Чисельне значення постійної часу  $T_{oy}$  та часу запізнення  $\tau_{oy}$  об'єкта знаходять за допомогою дотичної, яку проводять до точки перегину розгінної характеристики (рис. 2.7). Точка перегину відповідає середині відрізка часу, на якому спостерігається максимальний приріст ординати кривої розгону.

Коефіцієнт передачі об'єкта управління визначаємо за формулою

$$k_{oy} = \frac{T_K - T_{II}}{\Delta x}, \quad (2.44)$$

де  $T_K$  та  $T_{II}$  – відповідно кінцеве та початкове значення температури повітря в будівлі, °С;

$\Delta x$  – зміна вхідного впливу, %.

$\Delta x$   $T_k = 18^\circ\text{C}$ ,  $T_n = 10^\circ\text{C}$ ;  $\Delta x = 30\%$ .

$$k_{oy} = \frac{18-10}{30} = 0,27 \left[ \frac{^\circ\text{C}}{\% \text{ ходу рег. орг.}} \right].$$

Значення постійної часу та часу чистого запізнення, визначені з нормованої розгінної характеристики будівлі, складають

$$T_{oy} = 2000 \text{ c}, \tau_{oy} = 100 \text{ c}.$$

Передатна функція будівлі для каналу "потужність нагрівача  $\rightarrow$  температура повітря" визначається виразом

$$W_{oy}(s) = \frac{0,27 \cdot e^{-100 \cdot s}}{2000 \cdot s + 1}.$$

## РОЗДІЛ 3

### ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ

#### 3.1. Вибір алгоритму керування та засобів його реалізації

Для визначення алгоритму керування визначимо динамічні властивості об'єкта та показники якості, які повинні бути забезпечені по технологічним вимогам.

Регулятор обирають за величиною відношення часу запізнення до постійної часу об'єкта керування:

$0,2 \leq \tau/T \leq 1$  – лінійний алгоритм керування;

$\tau/T > 1$  – імпульсний алгоритм керування;

$\tau/T < 0,2$  – позиційний алгоритм керування.

$$\frac{\tau}{T} = \frac{100}{2000} = 0,05$$

За розрахунками підходить позиційний алгоритм керування, але для забезпечення відсутності стрибкоподібних змін тиску в трубопроводах системи опалення та плавності регулювання використаємо лінійний алгоритм.

Методика вибору найкращого алгоритму керування полягає у визначенні динамічного коефіцієнта регулювання. Динамічний коефіцієнт регулювання дає змогу обрати найкращий алгоритм для об'єкта керування.

Для статичних об'єктів:

$$R_d = y_1 / (K_0 y_{max}) \tag{3.1}$$

де  $y_1$  – максимальне динамічне відхилення

$K_0$  – коефіцієнт передачі об'єкта керування

$y_{max}$  – максимально можливе значення збурення по навантаженням.

За даними нашого об'єкта визначаємо динамічний коефіцієнт регулювання:

$$R_d = 1.5 / (0.117595) = 0.02$$

Далі за графічними залежностями (Додаток Б) визначаємо алгоритм керування.

Обираємо для даного об'єкта аперіодичний перехідний процес.

За рис. Додаток Б (а) обираємо пропорційний алгоритм керування.

Перевіримо, чи забезпечується при цьому потрібний час регулювання: за таблицею 3.1 визначаємо  $\Psi = 4.5$ , тоді  $t_{p\Pi} = 4.5 \cdot 0.5 = 2.25$ . Оскільки  $t_{p\Pi} < t_p$ , тобто  $2.25 < 95$ , перевіримо виникнення при цьому статичної похибки.

$$\Delta = K_o \cdot y_{max} \cdot 0.37 = 25.75^\circ\text{C}.$$

Таблиця 3.1.

Відносний час регулювання

| Алгоритм керування                       | Об'єкт     | Відносний час регулювання |                         |  |
|--|------------|---------------------------|-------------------------|--|
|  |            | аперіодичний              | із 20% перерегулюванням | із мінімальним інтегральним показником |
| Пропорційний                             | Статичний  | 4,5                       | 6,5                     | 9,0                                    |
|  | Астатичний | 6,0                       | 8,0                     | -                                      |
| Пропорційно-інтегральний                 | Статичний  | 8,0                       | 12,0                    | 16,0                                   |
|  | Астатичний | 14,0                      | 16,0                    | 18,0                                   |
| Пропорційно-інтегральний-диференціальний | Статичний  | 5,5                       | 7,0                     | 10,0                                   |
|  | Астатичний | 9,0                       | 12,0                    | 13,0                                   |

Оскільки  $0,3 < 20,52$ , то П-алгоритм керування не задовольняє всіх вимог дотримання якості технологічного процесу.

Для ПІ-регулятора  $t_{p\Pi\Pi} = 8,0 \cdot 0,5 = 4$ . Оскільки,  $t_{p\Pi\Pi} < t_p$ , то ПІ-алгоритм керування забезпечує час регулювання, значення якого необхідно досягнути.

Згідно із завданням на виконання кваліфікаційної магістерської роботи, для реалізації системи керування необхідно використати комплекс технічних засобів ARDUINO.

Arduino – відкрита апаратна платформа, яка складається з мікроконтролера та електронних компонентів, призначена для створення електронних пристроїв та робототехніки. Її використовують для автоматизації процесів, створення інтерактивних проєктів, таких як розумний дім, робототехніка, медіаінсталяції та вимірювальні прилади.

Arduino має відкритий вихідний код і може бути запрограмований за допомогою мови програмування Processing/Wiring. Платформа сумісна з різними датчиками, сенсорами, виконавчими механізмами та модулями розширення, що дозволяє створювати різноманітні проєкти [27].

Однією із основних сфер використання Arduino є освітні цілі. Вона допомагає студентам вивчати основи електроніки, програмування та робототехніки. Завдяки простоті та доступності, Arduino став популярним інструментом серед любителів і професіоналів в області електроніки та робототехніки. Платформа була випущена в 2005 році як інструмент для студентів Інституту проєктування взаємодій італійського міста Івера (Interaction Design Institute Ivrea, IDII) [30].

Платформа Arduino може бути використана для розробки систем, що керують датчиками та перемикачами. Такі системи, у свою чергу, можуть керувати роботою широкого діапазону індикаторів, двигунів та інших пристроїв. Модулі на базі Arduino можуть бути як автономними, так і взаємодіяти з програмним забезпеченням, що працює на персональному комп'ютері. Будь-яку плату Arduino можна зібрати власноручно, або купити готовий модуль.

Платформа Arduino спрощує процес роботи з мікроконтролерами та надає низку *переваг* для інженерів, студентів та радіолюбителів.

1. **Низька ціна.** Порівняно зі подібними платформами, плати Arduino мають порівняно низьку вартість (від 10\$), а можливість зібрати плату вручну

дозволяє максимально зменшити затрати та отримати Arduino за мінімальну ціну.

**2. Кросплатформеність.** Програмне забезпечення Arduino працює на операційних системах Windows, OSX та Linux, у той час як більшість аналогів орієнтовані на роботу тільки у Windows.

**3. Просте та зручне середовище програмування.** Середовище програмування підходить як для початківців, так і для досвідчених програмістів та інженерів. Воно ґрунтується на середовищі програмування Processing – відкритій мові програмування, що ґрунтується на Java і є зручним та легким в освоєнні інструментарієм для тих, хто бажає програмувати анімацію та інтерфейси. Завдяки цьому, студенти, які освоюють ази програмування в середовищі Processing, зможуть без проблем працювати з Arduino.

**4. Можливість розширювати програмне забезпечення.** Програмне забезпечення Arduino випускається як інструмент, який можуть доповнити досвідчені користувачі, зокрема, дана мова може бути доповнена бібліотеками C++.

**5. Можливість розширювати апаратне забезпечення.** Досвідчені інженери мають можливість створити власні версії платформ, розширюючи та доповнюючи їх. Велику популярність плата Arduino отримала не тільки завдяки низькій вартості, простій розробці та програмуванню, але, головним чином, через наявність плат розширення (shields), що дають Arduino додаткову функціональність. Шилди (крім маленьких модулів та плати LilyPad) підключаються до Arduino за допомогою наявних на них штирових роз'ємів (Додаток Г1).

Крім зазначеного, плати Arduino зручно використовувати у технології IoT (Internet of Things) – інтернет речей із різноманітними програмними оболонками для візуалізації (наприклад, LabView). Arduino також зручно сполучати з ThingSpeak – потужної платформи для аналітики IoT, яка

дозволяє користувачам агрегувати, візуалізувати та аналізувати потоки даних у реальному часі в хмарі.

Основним *недоліком* технічних засобів Arduino є те, що ці плати не є платформою для побудови промислових систем автоматизації, вони не створені для тривалої експлуатації в складних умовах реального виробництва із можливими перепадами напруги, в агресивних середовищах і при значних перепадах умов навколишнього середовища, в умовах можливих електромагнітних перешкод і т.д. Крім того, плати Arduino не призначені для прямого керування потужними споживачами електроенергії (наприклад, асинхронними електродвигунами), мають обмежену підтримку багатьох периферійних промислових засобів автоматизації (зокрема, датчиків), у них відсутні вбудований дисплей та інші компоненти.

Проектована система автоматизації повинна забезпечувати:

- контролю стану основного та допоміжного технологічного обладнання;
- управління виконавчими механізмами, як в повністю автоматичному, так і в автоматизованому режимі;
- визначення аварійних ситуацій у роботі датчиків та обладнання;
- підтримання параметрів мікроклімату на заданому рівні, шляхом обігріву або охолодження, зволоження або осушення, а також вентиляції повітря в приміщенні фармацевтичного складу;
- візуального представлення інформації про стан технологічного процесу.

Автоматизована система керування мікрокліматом фармацевтичного складу має відповідати наступним вимогам:

*Вимірювання:*

- температури повітря в приміщенні фармскладу;
- вологості повітря в приміщенні;
- атмосферного тиску в приміщенні складу;
- рівень освітленості в приміщенні;

– концентрації вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) у повітрі приміщення.

*Керування:*

– сервоприводами регулювальних заслінок;

- повітряними засувками;

– електродвигунами приводу вентиляторів (приплив та витяжка).

*Індикацію:*

– вимірюваних параметрів на дисплеї автоматизованого робочого місця (АРМ);

– аварійних ситуацій на екрані АРМ.

*Сигналізацію:*

– підвищення рівня води у резервуарі системи осушення вище критичного рівня;

– порушення роботи датчиків.

Згідно із функціональною схемою автоматизації припливно-витяжної вентиляційної установки із рекуператором для фармацевтичного складу зберігання ГЛЗ (рис. 1.6), передбачається керування серводвигунами приводу заслінок; для керування електродвигунами приводу припливного і витяжного вентилятора передбачається використання частотних перетворювачів.

Приймаючи до уваги зазначені переваги і недоліки використання плат Arduino, була прийнята наступна ідея для удосконалення системи керування вентиляційною установкою:

1) на базі однієї з плат Arduino згідно із завданням на магістерську роботу створити вимірювальний модуль основних технологічних параметрів (вологість і температура повітря, рівень вуглекислого газу в повітрі, рівень освітленості), враховуючи невелику вартість датчиків названих параметрів і самої плати Arduino. Крім того, для реєстрації і накопичення вимірної інформації, сполучити плату Arduino з платформою ThingSpeak;

2) для керування виконавчими механізмами, а також частотними перетворювачами (використовуються для регулювання продуктивності припливного і витяжного вентиляторів, тобто для регулювання швидкості

обертання валів приводних електродвигунів), використати програмований логічний контролер.

### 3.2. Вибір технічних засобів для реалізації вимірювального модуля

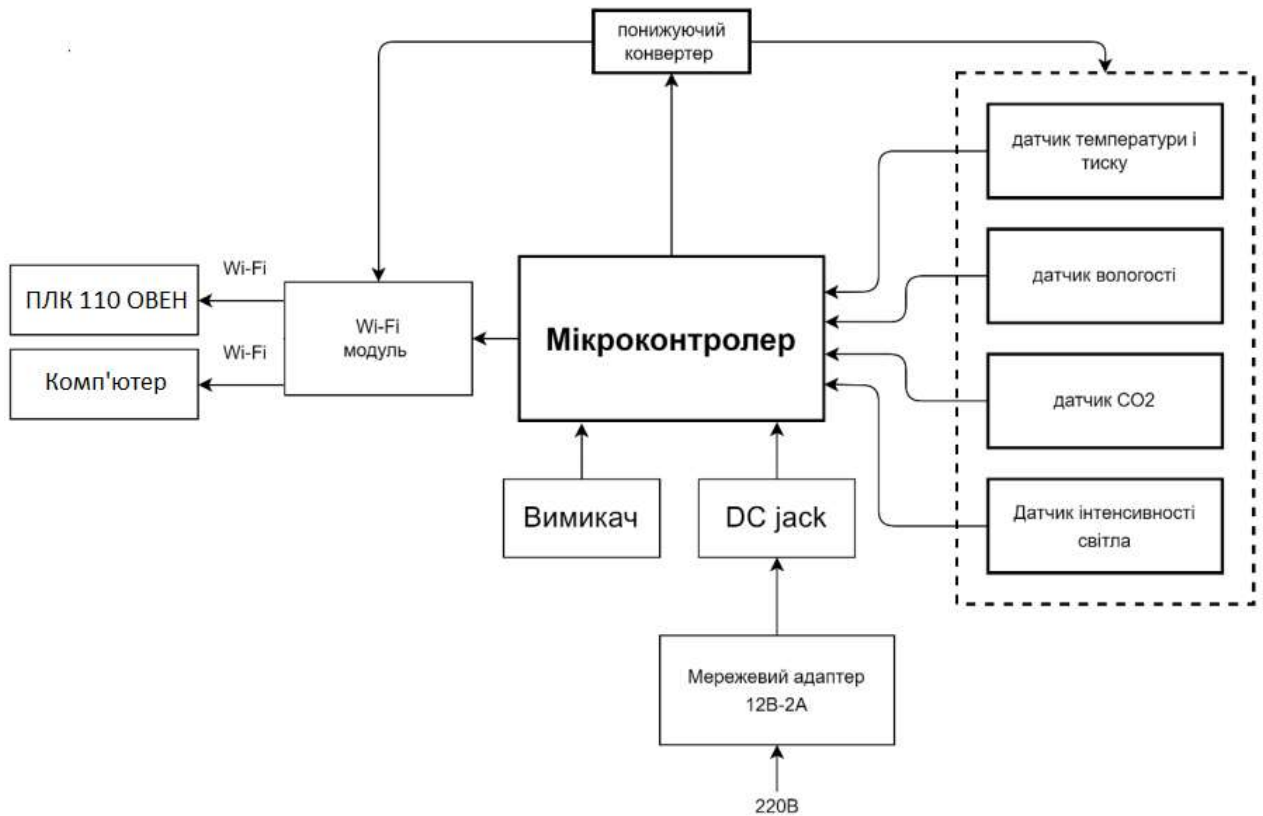


Рис. 3.1. Функціональна схема системи моніторингу параметрів мікроклімату в приміщенні фармацевтичного складу

Функціональна схема (рис. 3.1) вміщує всі необхідні блоки для функціонування системи вимірювання і реєстрації параметрів мікроклімату, а саме:

- Набір датчиків для вимірювання всіх необхідних параметрів мікроклімату (датчик температури і тиску, датчик вологості, датчик CO<sub>2</sub>, датчик інтенсивності світла).

- Мікроконтролер – мікросхема, призначена для управління електронними пристроями. Необхідний для збору даних з датчиків, а також їх обробки. Після чого ці дані будуть відправлені до Wi-Fi модуля.

- Wi-Fi модуль – мікроконтролер з підтримкою Wi-Fi інтерфейсу. Отримуючи дані з датчиків від мікроконтролера передає їх безпосередньо до комп'ютера.

- Мережевий адаптер 12В-2А подає енергію та стабілізує напругу у системі.

- DC jack – роз'єм живлення постійного струму. Підключається до мікроконтролеру, адже в якому цей роз'єм відсутній.

- Понижуючий конвертер – імпульсний понижаючий регульований стабілізатор постійного напруги. Призначений для зміни вихідної напруги в діапазоні від 1,25 до 35 В.

- Вимикач.

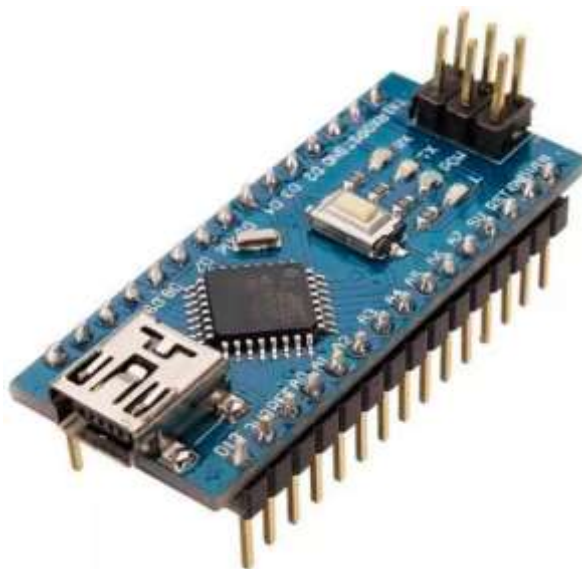
### 3.2.1. Мікроконтролер Arduino Nano

Обов'язком мікроконтролера є: збір та обробка даних з датчиків і їх перенесення до Wi-Fi модулю. **Arduino Nano** є одним з найкращих рішень для цього проекту через свої малі габарити і при цьому має все необхідне для роботи: 14 цифрових входів / виходів (6 з них можуть використовуватися в якості ШІМ-виходів), 6 аналогових входів, кварцовий резонатор на 16 МГц, роз'єм Mini-USB, роз'єм живлення, роз'єм для внутрішньосхемного програмування (ICSP) і кнопка скидання.

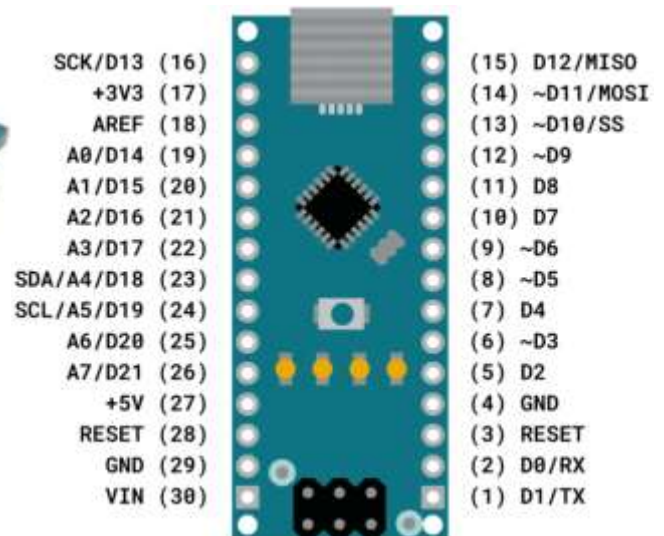
Основні технічні характеристики плати Arduino Nano (рис. 3.2) наведені в таблиці 3.2 [27].

## Технічні характеристики Arduino Nano

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Мікроконтролер                  | АТmega328P                                   |
| Частота                         | 16 МГц                                       |
| FLASH Пам'ять                   | 32 кБ з яких 2кБ використовується бутлоадер  |
| SRAM                            | 2 кБ   |
| EEPROM                          | 1 кБ   |
| Робоча напруга                  | 5 В  |
| Вхідна напруга                  | 7-12 В                                       |
| Цифрових входів / виходів       | 14 (з яких 6 можуть бути використані як ШІМ) |
| Аналогових входів               | 8  |
| Сила струму на входах / виходах | 40 мА  |
| Сила струму для 3.3В виходу     | 50 мА  |
| Тип корпусу                     | TQFP-32                                      |
| Розміри (Д x Ш x В)             | 45 x 18 x 37мм                               |



а)



б)

Рис. 3.2. Мікроконтролер Arduino Nano (а) та призначення портів Arduino Nano (б)

### 3.2.2. Датчик вимірювання вологості DHT11

Цифровий датчик температури та вологості, що дозволяє калібрувати цифровий сигнал на виході. Складається з ємнісного датчика вологості та термістора. Також, датчик містить в собі АЦП для перетворення аналогових значень вологості та температури. DHT11 (рис. 3.3) виводить калібрований цифровий сигнал.

Він використовує ексклюзивну техніку збору цифрових сигналів і технологія датчика вологості, що гарантує її надійність і стабільність. Його чутливими елементами є підключений до 8-розрядного одно кристального комп'ютера. Кожен датчик цієї моделі має температурну компенсацію та відкалібрований для точного калібрування камери, а калібрувальний коефіцієнт зберігається в пам'яті OTP.

Невеликі розміри, низьке споживання та велика відстань передачі (20 м) дозволяють DHT11 бути відповідним у будь-яких важких випадках застосування. Однорядна упаковка з чотирма шпильками, що робить дуже зручне підключення.

Основні технічні характеристики DHT11 наведені в таблиці 3.3 [31].

Таблиця 3.3.

Технічні характеристики DHT11

| Модель                         | DHT11                         |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Блок живлення                  | 3-5,5 В постійного струму     |
| Вихідний сигнал                | цифровий сигнал по одній шині |
| Чутливий елемент               | Полімерний резистор           |
| Діапазон вимірювання вологості | 20-90% RH;                    |
| Точність вимірювання вологості | ±4% RH (Max ±5%RH);           |
| Чутливість                     | 1% RH                         |
| Повторюваність вологості       | ±1% RH                        |
| Гістерезис вологості           | ±1% RH                        |
| Довгострокова стабільність     | ±0,5% RH/рік                  |
| Розміри                        | 12 x 15,5 x 5,5 мм            |

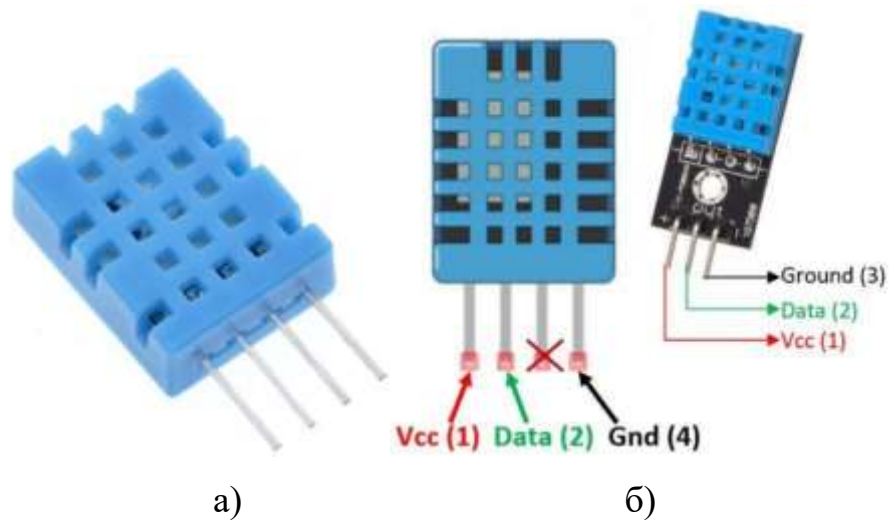


Рис. 3.3. Датчик вологості DHT11 (а) та призначення його портів (б)

### 3.2.3. Датчик вимірювання тиску і температури BMP280

Модуль вимірювання атмосферного тиску заснований на датчику BMP280 від BOSCH. Цей модуль можна використовувати для точного вимірювання температури та атмосферного тиску.

Цей датчик є покращеною версією датчика BMP180. BMP280 має меншу площу, менше споживання енергії, менші вимірювання шуму, більш високу роздільну здатність для тиску та температури, нижчий RMS шум, нещодавно доданий інтерфейс SPI, більше режимів вимірювання, більшу швидкість вимірювання та новий доданий фільтр для захисту від впливу навколишнього середовища.

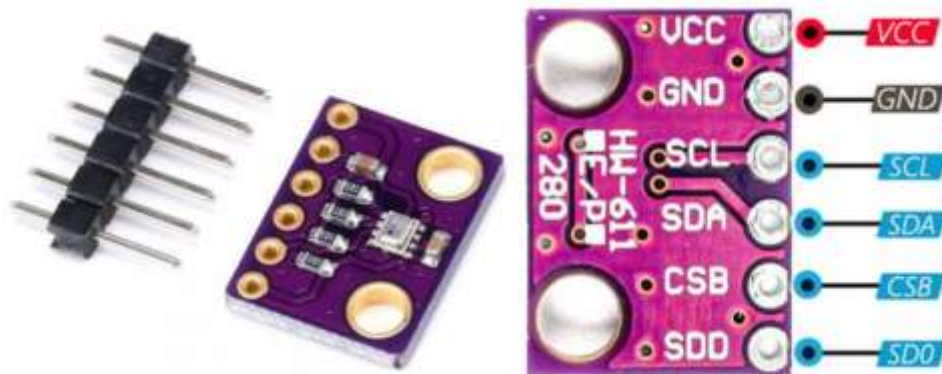


Рис. 3.4. Датчик вимірювання тиску і температури BMP280 та призначення його портів

Основні технічні характеристики BMP280 (рис. 3.4) наведені в таблиці 3.4 [32].

Таблиця 3.4.

## Технічні характеристики BMP280

| Модель                           | BMP280                                    |
|----------------------------------|---|
| Напруга живлення                 | 3,3 або 5 В постійного струму             |
| Макс швидкість I2C інтерфейсу    | 3.4 МГц                                   |
| Струм                            | до 2 мА під час вимірювань                |
| Потужність струму                | до 0,2 мА в режимі очікування             |
| Вимірюваний тиск                 | від 300hPa до 1100hPa                     |
| Вимірювана температура           | 0°C...+65 °C ( $\pm 0,01^\circ\text{C}$ ) |
| Робоча температура               | -40°C ... +85°C                           |
| Точність вимірювання тиску       | 1hPa                                      |
| Точність вимірювання температури | $\pm 1,0^\circ\text{C}$                   |
| Розмір                           | 21 мм x 18 мм                             |

### 3.2.4. Датчик інтенсивності світла LDR

Фоторезистор - це резистор, виготовлений з напівпровідникового матеріалу, і провідність змінюється із зміною яскравості. Фоторезистор може бути виготовлений з різними фігурами та з підсвічуванням області на основі цієї характеристики. Фоторезистор широко використовується в багатьох галузях промисловості, наприклад іграшки, лампи, фотоапарат тощо.

Технічні характеристики LDR (рис. 3.5) наведені в таблиці 3.5 [33].



Рис. 3.5. Датчик інтенсивності світла LDR

## Технічні характеристики датчика світла

|                          |                 |
|--------------------------|-----------------|
| Модель                   | GL5516          |
| Світловий опір (10 люкс) | 5-10 кОм        |
| Темновий опір (0 люкс)   | 0,5 МОм         |
| Спектральний пік         | 540 нм          |
| Час відгуку              | 30 мс           |
| Максимальна напруга      | 150 В           |
| Максимальна потужність   | 90 мВт          |
| Робоча температура       | -30°C ... +70°C |

**3.2.5. Датчик якісного складу повітря MQ135**

Чутливим матеріалом газового датчика MQ135 (рис. 3.6) є  $\text{SnO}_2$ , які з меншою провідністю в чистому повітрі. Коли цільовий газ забруднення існує, провідність датчика зростає разом із зростанням концентрації газу.

Користувачі можуть конвертувати зміну провідності у відповідний вихідний сигнал концентрації газу через просту схему.

Газовий датчик MQ135 має високу чутливість до газів аміаку, сульфїду, парів бензолу, також можна контролювати дим та інші токсичні гази. Він може виявляти види токсичних газів і є своєрідним недорогим датчиком для видів додатків.

Він має хорошу чутливість до токсичних газів у широкому діапазоні та має такі переваги, як довгий термін служби, низька вартість та проста схема підключення тощо.

Він широко використовується в побутовій газовій сигналізації, промисловій газовій сигналізації та портативному детекторі газу.

В даній роботі цей датчик буде використовуватися для вимірювання концентрації вуглекислого газу в приміщенні.

Основні технічні характеристики MQ135 наведені в таблиці 3.6 [34].

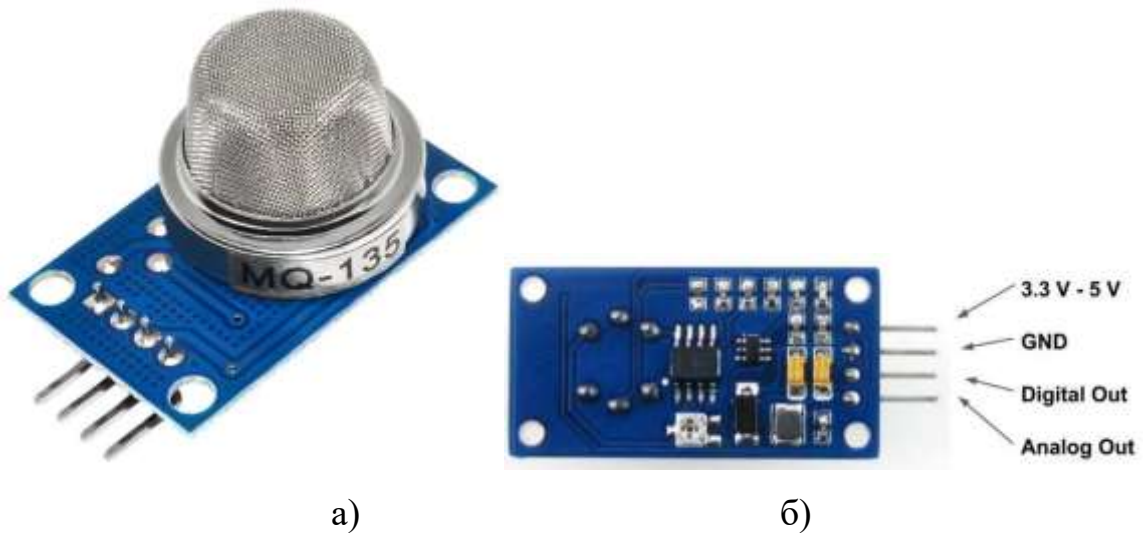


Рис. 3.6. Датчик якості повітря MQ135 (а) та призначення його портів (б)

Таблиця 3.6.

#### Технічні характеристики MQ135

|                             |                    |
|-----------------------------|--------------------|
| Модель                      | MQ135              |
| Тип датчика                 | Напівпровідниковий |
| Концентрація виявлення газу | 10-1000 ppm        |
| Напруга живлення нагрівача  | 5 В                |
| Напруга живлення датчика    | 3,3-5 В            |
| Споживаний струм            | 150 мА             |
| Діапазон робочих температур | -10°C ... +45°C    |
| Габаритні розміри           | 25,4×25,4 мм       |

#### 3.2.6. Wi-Fi модуль ESP8266

ESP-01 – плата-модуль WiFi на базі популярного чіпсету ESP8266EX. На борту плати знаходиться мікросхема Flash-пам'яті об'ємом 2 МБ, чіп ESP8266EX, кварцовий резонатор, два індикаторні світлодіоди та мініатюрна антена з доріжки на верхньому шарі друкованої плати у вигляді змійки. Flashпам'ять потрібна для зберігання програмного забезпечення. При кожному включенні живлення програмне забезпечення автоматично завантажується в чіп ESP8266EX.

Цей модуль відрізняється енергоефективністю і високим ступенем інтеграції, що дозволяє використовувати мінімум елементів обв'язування чіпу.

В даній роботі цей модуль необхідний для бездротової передачі даних з датчиків до комп'ютера. Спілкування з комп'ютером або мікроконтролером здійснюється через UART за допомогою набору AT-команд.

Основні технічні характеристики ESP8266 наведені в таблиці 3.7 [35].

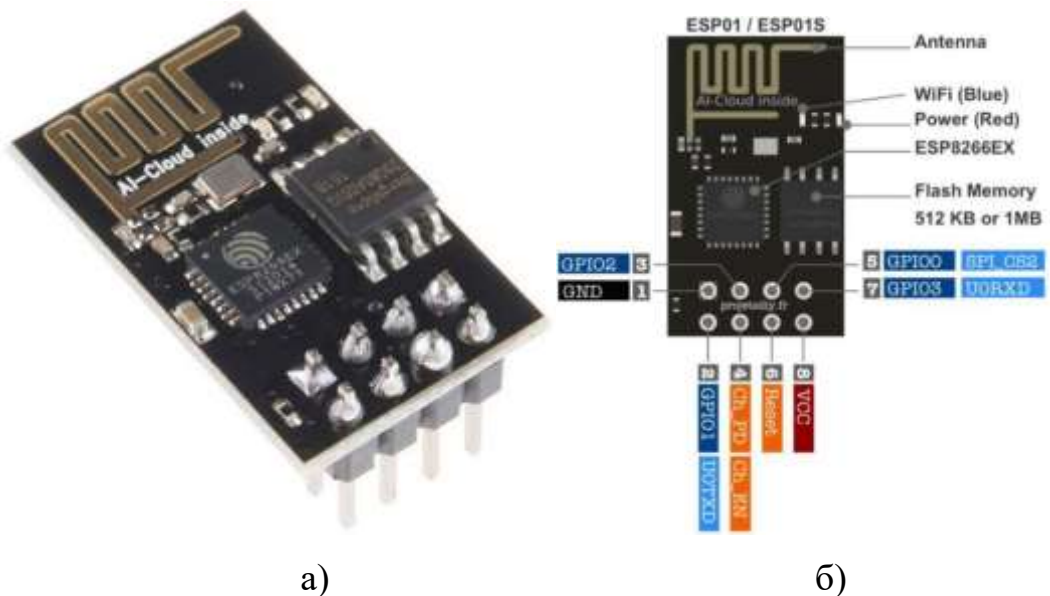


Рис. 3.7. Wi-Fi модуль ESP8266 (а) та призначення його портів (б)

Таблиця 3.7.

### Технічні характеристики ESP8266

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Модель                           | ESP8266 версії ESP-01S                    |
| Протоколи                        | 802.11 b/g/n (HT20)                       |
| Діапазон частот                  | 2,4 ГГц – 2,5 ГГц (2400 МГц – 2483,5 МГц) |
| Робоча напруга                   | 2,5 В – 3,6 В                             |
| Робочий струм (середнє значення) | 80 мА                                     |
| Максимальний струм               | 215 мА                                    |
| Діапазон робочих температур      | -40°C ... +125°C                          |
| Вихідна потужність сигналу       | +20 дБм                                   |
| Чутливість                       | -91 дБм (11 Мбіт/с)                       |
| Мережні протоколи                | IPv4, TCP/UDP/HTTP                        |
| Спосіб керування                 | AT-команди                                |
| Макс. відстань передачі сигналу  | 100 м                                     |
| Габаритні розміри                | 24.5x14 мм                                |

### 3.2.7. Понижуючий конвертер LM2596

LM2596 (рис. 3.8) – це імпульсний понижуючий регульований стабілізатор постійної напруги. Має високий ККД. Менше нагрівається якщо порівнювати з модулями на лінійних стабілізаторах. Джерело живлення може застосовуватись у широкому спектрі пристроїв. Вихідна напруга встановлюється через вхід зворотного зв'язку за допомогою дільника напруги (наприклад, змінного резистора). До безумовних переваг належить робота у відчутному діапазоні вхідної напруги. Датчики та ESP8266 отримають перетворену напругу від понижувального перетворювача LM2596.

Основні технічні характеристики LM2596 наведені в таблиці 3.8 [36].

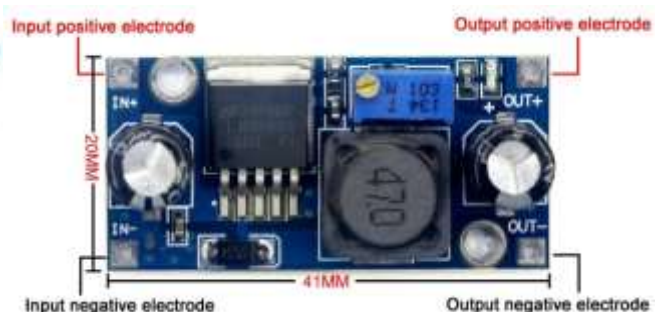
Таблиця 3.8.

Технічні характеристики конвертера LM2596

|                                 |                        |
|---------------------------------|------------------------|
| Модель                          | LM2596                 |
| Ефективність перетворення (ККД) | до 92%                 |
| Частота перемикання             | 150 кГц                |
| Робоча температура              | -40°C ... +85°C        |
| Регулювання навантаження        | ±0.5%                  |
| Регулювання напруги             | ±2.5%                  |
| Вхідна напруга                  | 3-40 В                 |
| Вихідна напруга                 | 1.5-35 В (регульована) |
| Номінальний вихідний струм      | 2 А                    |
| Максимальний вихідний струм     | 3 А                    |
| Розмір                          | 45 x 20 x 14 мм        |



а)



б)

Рис. 3.8. Понижуючий конвертер LM2596 (а) та призначення його портів (б)

### 3.3. Вибір програмованого логічного контролера

Для керування виконавчими механізмами та частотним перетворювачем в системі вентиляції будівлі фармацевтичного складу пропонується використати програмно-логічний контролер **ОВЕН ПЛК110** (рис. 3.9).



Рис. 3.9. Програмно-логічний контролер ОВЕН ПЛК110 (M02)

ОВЕН ПЛК110 – лінійка програмованих лінійних моноблокових контролерів із дискретними та аналоговими входами/виходами на борту для автоматизації систем середнього рівня та розподілених систем керування.

Рекомендується для використання у системах керування кліматичним обладнанням, у системах HVAC, у сфері ЖКГ (ІТП, ЦТП), в АСК водоканалів (водопідготовка, насосні станції), для керування харчопереробними та пакувальними апаратами, а також у сфері виробництва будівельних матеріалів.

Відмінними особливостями лінійки контролерів ПЛК110 є:

- потужні обчислювальні ресурси та великий об'єм пам'яті;
- наявність дискретних та аналогових входів/виходів на борту контролера;
- наявність послідовних портів (RS-232, RS 485) на борту контролера;

- наявність порту Ethernet для увімкнення у локальні або глобальні мережі верхнього рівня;
- підтримання протоколів обміну Modbus (RTU, ASCII), OVEN, DCON;
- можливість роботи безпосередньо з портами контролера, що дозволяє підмикати зовнішні пристрої з нестандартними протоколами.

Крім того, контролер має вбудований годинник, що дозволяє створювати системи керування з урахуванням реального часу, а також вбудований акумулятор, який дозволяє організувати низку додаткових сервісних функцій (можливість короткочасного переключення зникнення живлення, переведення вихідних елементів у безпечний стан).

Технічні характеристики програмно-логічного контролера OVEN ПЛК110 наведені в додатках В1, В2.

Програмна реалізація виконується за допомогою програмного середовища CoDeSys v.2.3, яке розроблене для програмування лінійки контролерів OVEN.

Першим кроком при створенні програми було необхідно обрати технічні засоби в блоці Hardware Config (рис. 3.10).

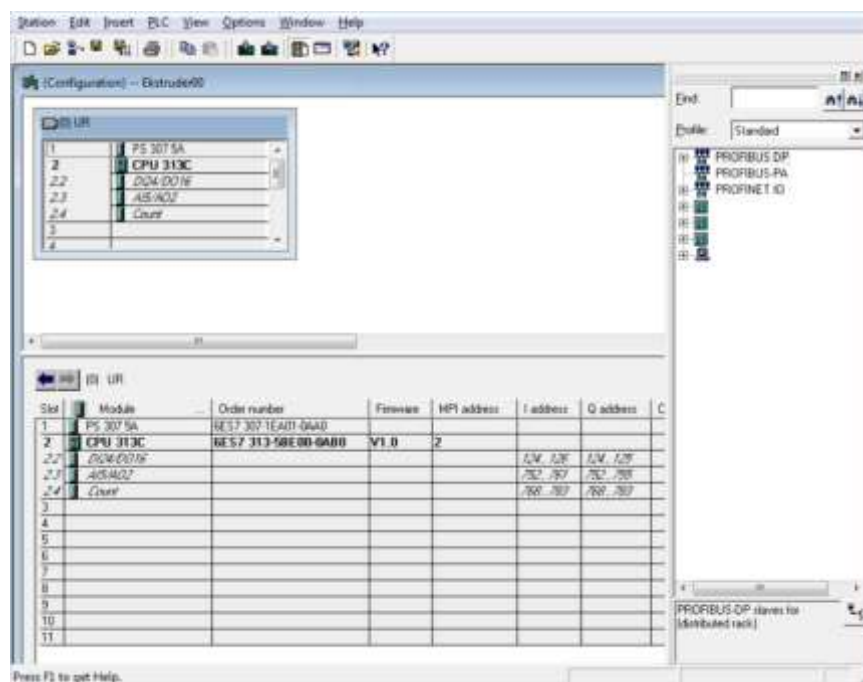


Рис. 3.10. Загальний вигляд вікна CoDeSys v.2.3 Hardware Config

Наступним кроком оголошуються змінні та їх адреси, які будуть використовуватись при розробці програми (рис. 3.11).

Основний блок програми написано на мові LAD (рис. 3.12).

| Status | Symbol   | Address | Data type | Comment         |
|--------|----------|---------|-----------|-----------------|
| 1      | All      | FW 754  | INT       | Tempr-EK2       |
| 2      | CYCL_EXC | OB 1    | OB 1      | Cycle Execution |
| 3      | DI0      | I 0.0   | BOOL      | SBI-Start       |
| 4      | DI1      | I 0.2   | BOOL      | SBI-Stop        |
| 5      | DO0      | Q 0.0   | BOOL      | Motor           |
| 6      | DO1      | Q 0.1   | BOOL      | EK1             |
| 7      | DO2      | Q 0.2   | BOOL      | EK2             |
| 8      | Temp     | MD 25   | REAL      |                 |
| 9      | var1     | M 10.0  | BOOL      |                 |
| 1      | var2     | MW 22   | WORD      |                 |
| 1      | work     | M 0.0   | BOOL      |                 |

Рис. 3.11. Загальний вид вікна CoDeSys v.2.3 Symbol Editor

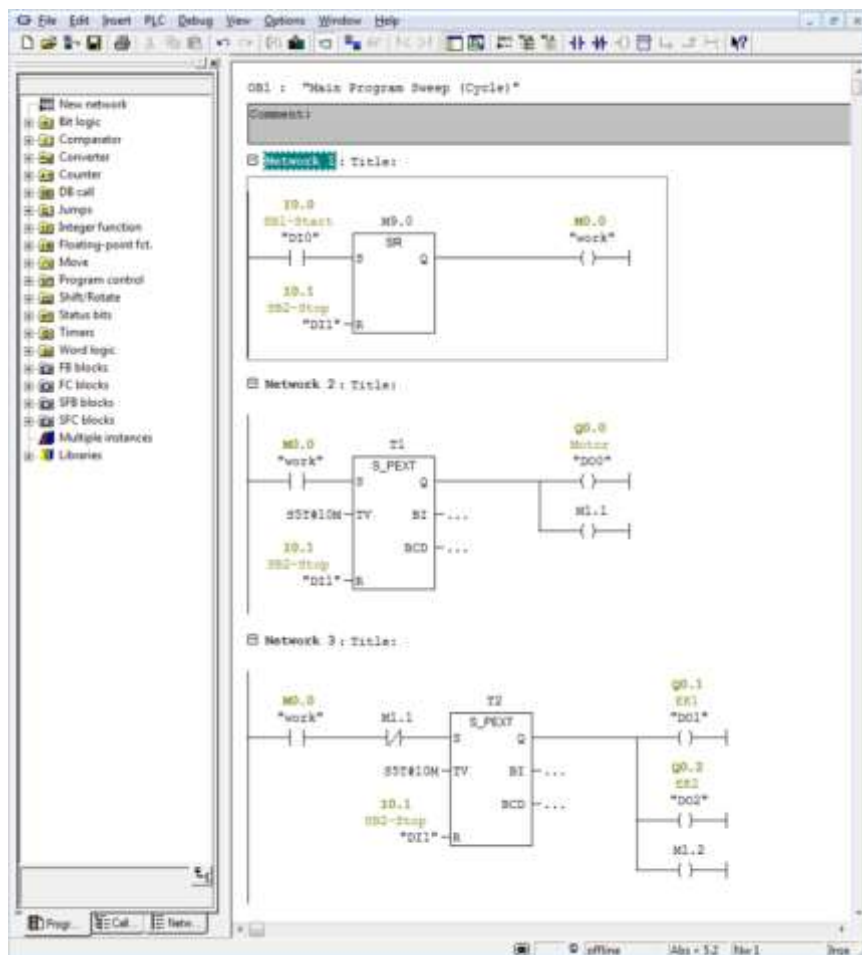


Рис. 3.12. Фрагмент програми керування температурою в будівлі у середовищі CoDeSys v.2.3

Для перевірки працездатності системи керування використовувалась симуляція логічного контролера ОВЕН ПЛК110 із завантаженою програмою (рис. 3.13).

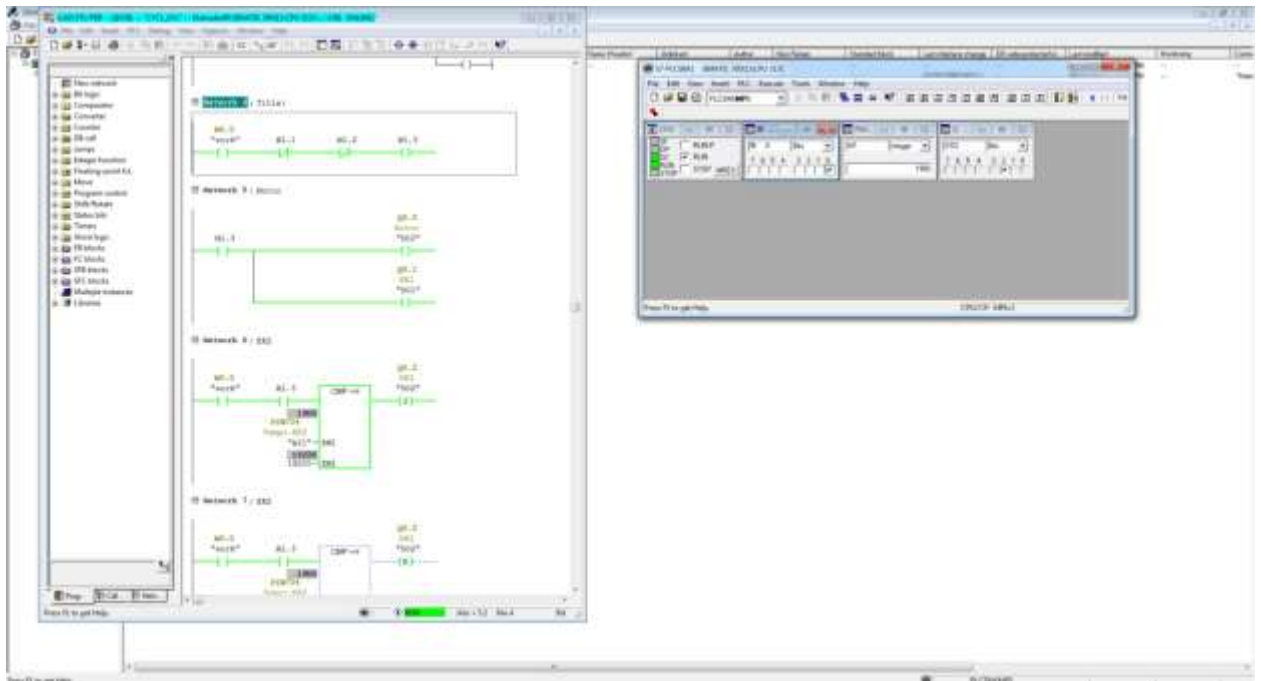


Рис. 3.13. Вікно CoDeSys v.2.3: симуляція логічного контролера ПЛК110 із завантаженою програмою

Симуляція виконання розробленої програми керування температурним режимом в будівлі фармацевтичного складу підтвердила свою працездатність та може бути використана при програмуванні на виробництві.

### 3.4. Вибір регулюючих органів і виконавчих механізмів

#### Вибір регулюючого органу та визначення його передатної функції.

Вихідними даними для вибору регулюючого органу (РО) є:

$\gamma = 1 \text{ г/см}^3$  – об’ємна маса води;

$\nu = 0,2$  – в’язкість води;

$Q_{\max} = 100 \text{ м}^3/\text{год.}$ ,  $Q_{\min} = 20 \text{ м}^3/\text{год.}$  – максимальна та мінімальна об’ємна витрати гарячої води;

$P_1 = 15 \text{ кг/см}^2$  – абсолютний тиск в системі постачання гарячої води до РО;

$\Delta P_c = 10 \text{ кг/см}^2$  – перепад тиску в системі;

$\Delta P_{L \max} = 4 \text{ кг/см}^2$  – максимальний перепад тиску в лінії.

Під час вибору регулюючих органів є певна послідовність розрахунків:

3. Обчислюють максимальну пропускну здатність регулюючого органу та його умовний діаметр.

4. Визначають робочий відрізок витратної характеристики.

5. Знаходять теоретичну витратну характеристику (для клапанів).

6. Визначають для рідини робочу ділянку кривої зміни перепаду тиску (для газу та пари знаходять максимальний та мінімальний перепади тиску).

Обчислюємо максимальну пропускну здатність РО:

$$K_{\gamma \max} = Q_{\max} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{\min}}} = Q_{\max} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_c - \Delta P_{L \max}}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{10 - 4}} = 41 \text{ м}^3/\text{год.} \quad (3.3)$$

Регулювальний орган вибирають за умови, що

$$K_{\gamma} > 1,2 \cdot K_{\gamma \max}. \quad (3.4)$$

Тоді  $K_{\gamma} \geq 1,2 \cdot K_{\gamma \max} = 1,2 \cdot 41 = 49,2 \text{ м}^3/\text{год.}$

За довідниковими даними [7] вибираємо регулювальний клапан з умовним діаметром  $D_y = 50 \text{ мм}$  і пропускну здатністю  $K_{\gamma \text{ РО}} = 50 \text{ м}^3/\text{год.}$

## Формули для розрахунку пропускної здатності [7]

| Вид гідравлічного опору | Перепад тиску             | Витрата   |   |   |
|-------------------------|---------------------------|---|---|---|
|                         |                           | рідини Q, м <sup>3</sup> /год.                              | газу G, кг/год.   | пари G, кг/год.   |
| ВП                      | $\Delta P < P_1/2$        | $K_\gamma = Q \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P}}$         | $K_\gamma = \frac{G}{514} \cdot \sqrt{\frac{T_1}{\Delta P \cdot P_2 \cdot \gamma_n}}$         | $K_\gamma = \frac{G}{31,6} \cdot \sqrt{\frac{V_2}{\Delta P}}$         |
|                         | $\Delta P \geq P_1/2$     |   | $K_\gamma = \frac{G}{257 \cdot P_1} \cdot \sqrt{\frac{T_1}{\gamma_n}}$                        | $K_\gamma = \frac{G}{22,4} \cdot \sqrt{\frac{V}{\Delta P}}$           |
| Лінія                   | $\Delta P_{л} < P_2/2$    | $K_{\gamma л} = Q \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{л}}}$ | $K_{\gamma л} = \frac{G}{514} \cdot \sqrt{\frac{T_2}{\Delta P_{л} \cdot P_3 \cdot \gamma_n}}$ | $K_{\gamma л} = \frac{G}{31,6} \cdot \sqrt{\frac{V_3}{\Delta P_{л}}}$ |
|                         | $\Delta P_{л} \geq P_2/2$ |   | $K_\gamma = \frac{G}{257 \cdot P_2} \cdot \sqrt{\frac{T_2}{\gamma_n}}$                        | $K_{\gamma л} = \frac{G}{2,4} \cdot \sqrt{\frac{V_1}{P_2}}$           |

В якості регулюючого елемента в клапані, зазвичай, застосовується або шток спеціальної конструкції, який може рухатися у вертикальному напрямку, або куля чи заслінка (так зв. батерфляй) яка може повертатися навколо осі. При цьому регулюючий елемент не здійснює повне перекриття клапана, а перерозподіляє потоки рідин, тим самим виробляючи їх змішування.

Поправки на в'язкість не вводимо, оскільки індекс в'язкості:

$$z = 420 \cdot \frac{Q_{\max}}{\nu \cdot \sqrt{K_{\gamma \max}}} = 420 \cdot \frac{100}{0,2 \cdot \sqrt{41}} = 32813 > 1000. \quad (3.5)$$

Знаходимо робочу ділянку витратної характеристики вибраного регулюючого органу. Для цього скористуємось виразом з таблиці 3.3:

$$K_{\gamma л} = Q_{\max} \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{л \max}}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{4}} = 50 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (3.6)$$

Визначаємо відношення перепаду тиску на РО при максимальній витраті до перепаду тиску в лінії:

$$n = \frac{K_{\gamma \text{РО}}}{K_{\gamma л}} = \frac{50}{50} = 1. \quad (3.7)$$

Уточнюємо перепад тиску на виконавчому пристрої:

$$\Delta P_{ВП} = \frac{\Delta P_c}{1+n^2} = \frac{10}{1+1^2} = 5 \text{ кгс/см}^2. \quad (3.8)$$

Визначаємо витрату рідини через виконавчий пристрій в разі перепаду тиску на ньому:

$$Q_{ВП} = K_{\gamma_{PO}} \sqrt{\frac{\Delta P_{ВП}}{\gamma}} = 50 \cdot \sqrt{\frac{5}{1}} = 112 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (3.9)$$

Знаходимо відносну максимальну та мінімальну витрату рідини:

$$\mu_{\max} = \frac{Q_{\max}}{Q_{ВП}} = \frac{100}{112} = 0,89; \quad \mu_{\min} = \frac{Q_{\min}}{Q_{ВП}} = \frac{20}{158} = 0,18. \quad (3.10)$$

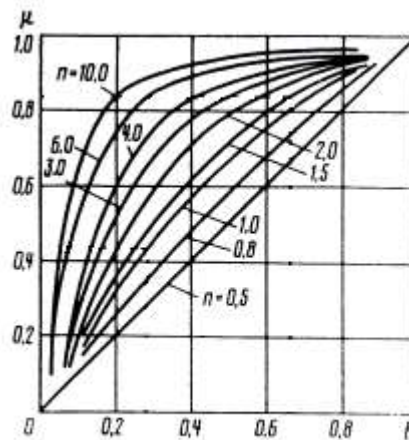


Рис. 3.14. Робочі витратні характеристики для регулювальних клапанів

За графіком (рис. 3.14) вибираємо витратну характеристику ВМ, згідно якої відносний хід затвора регулювального органа (плунжера):

$$l_{\min}=0,12; \quad l_{\max}=0,8.$$

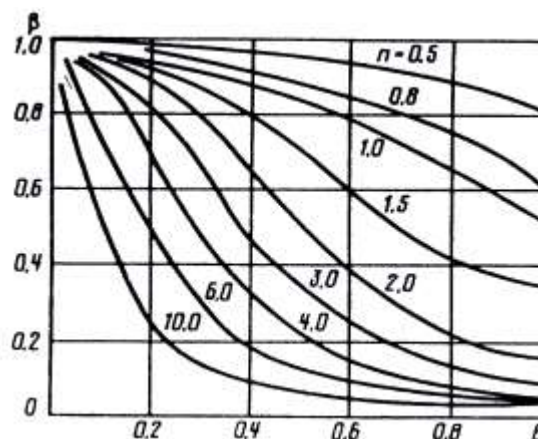


Рис. 3.15. Зміни перепадів тисків на ВМ для регулювальних клапанів

При цьому відношення перепаду тиску на РО до перепаду тиску в системі змінюється від  $\beta_{\max}=0,95$  до  $\beta_{\min}=0,68$  (рис. 3.15), що відповідає наступним перепадам:

$$\beta_{\max} = \frac{\Delta P_{\max}}{\Delta P_c}; \beta_{\min} = \frac{\Delta P_{\min}}{\Delta P_c}. \quad (3.11)$$

Потім розраховуємо значення:

$$\Delta P_{\max} = \beta_{\max} \cdot \Delta P_c = 0,95 \cdot 10 = 9,5 \text{ кг/см}^2; \quad (3.12)$$

$$\Delta P_{\min} = \beta_{\min} \cdot \Delta P_c = 0,68 \cdot 10 = 6,8 \text{ кг/см}^2. \quad (3.13)$$

Таким чином, після розрахунку необхідного регулюючого органу, отримуємо дані для вибору виконавчого механізму.

**Вибір виконавчого механізму САК температурним режимом в будівлі.** Виконавчим механізмом (ВМ) називається пристрій автоматики, який діє безпосередньо або через погоджуючі елементи на регулюючий орган об'єкта управління. ВМ, як частина системи автоматичного керування, призначений для відпрацювання управляючого сигналу, який формується управляючими елементами автоматики таким чином, щоб відхилення регулюючої величини від заданого значення становило якнайменше значення. Виконавчі механізми, які з'єднані безпосередньо з регулюючими органами, переміщують їх відповідно до сигналу, що надходить від пристрою, який формує алгоритм керування.

До ВМ пред'являють ряд вимог:

- здатність розвивати необхідне переставне зусилля або момент, достатні для перестановки регулюючого органу об'єкта,
- забезпечити перестановку регулюючого органу на потрібну величину,
- забезпечити потрібну швидкість і прискорення переміщення регулюючого органу,
- мати високі техніко-економічні показники (надійність, ціна та ін.).

ВМ обираються залежно від величини обертового моменту необхідного для переміщення регулюючого органу [7]:

$$M_3 = k \cdot (M_p + M_m), \quad (3.14)$$

де  $M_p$  – реактивний момент:

$$M_p = 0.07 \cdot \Delta P_{\max} \cdot D_y^3 = 0.07 \cdot 9.5 \cdot 10^4 \cdot (50 \cdot 10^{-3})^3 \approx 0.83 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_m = 0.785 \cdot \Delta P_{\max} \cdot D_y^2 \cdot r_m \cdot \lambda = 0.785 \cdot 9.5 \cdot 10^4 \cdot (50 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot 0.15 \approx 0.28 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = 2 \cdot (0.83 + 0.28) = 2.22 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент обертання валу обраного виконавчого механізму повинен бути більшим за момент, необхідний для обертання заслінки:  $M_n > M_3$ .

В якості електроприводу, яким комплектується регулюючий клапан, виступає сервопривод, побудований на електродвигуні невеликої потужності і системі передач.

Для приводу клапана обраний сервопривод BELIMO SM24A (рис. 3.16), що за технічними характеристиками задовольняє зазначені умови.

Передатна функція виконавчого механізму (сервоприводу) є інтегруючою ланкою

$$W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{s}, \quad (3.15)$$

де  $k_{BM}$  - коефіцієнт передачі виконавчого механізму, град./с.;

$$k_{BM} = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t}, \quad (3.16)$$

$\Delta t$  - проміжок часу, с;

$\Delta \varphi_{OB}$  - кут повороту вихідного валу за проміжок часу  $\Delta t$ , град.



Рис. 3.16. Виконавчий механізм BELIMO SM24A

## Технічні характеристики сервоприводу BELIMO SM24A

| Тип   | Максимальний момент навантаження, Н·м | Час повного ходу, сек/90° | Температура навколишнього середовища, °С | Ступінь захисту | Маса, кг |
|-------|---------------------------------------|---------------------------|--|-----------------|----------|
| SM24A | 10                                    | 58                        | 0...+60                                  | IP65            | 3,5      |

Напруга живлення 220 В, 50 Гц.

$$k_{BM} = \frac{90}{58} = 1,56 \frac{\text{град}}{\text{сек}}.$$

$$W_{BM}(s) = \frac{1,56}{s}.$$

Оскільки конструктивно у сервоприводі реалізований зворотний зв'язок за положенням (реостатний датчик положення), то остаточна передатна функція виконавчого механізму визначається як

$$W_{BM}(s) = \frac{W_{CEEP}(s)}{1 + W_{CEEP}(s)} = \frac{\frac{1,56}{s}}{1 + \frac{1,56}{s}} = \frac{1,56}{s + 1,56} = \frac{1}{\frac{1}{1,56} \cdot s + 1} = \frac{1}{0,64 \cdot s + 1}.$$

### **3.5. Вибір частотних перетворювачів керування припливним і витяжним вентиляторами**

Для керування електродвигунами приводу припливного і витяжного вентиляторів використовується частотний перетворювач ATV 312HU55N4 компанії Schneider Electric (рис. 3.17).



Рис. 3.17. Частотний перетворювач ATV 312HU55N4

Промисловий перетворювач частоти ATV312 відноситься до серії продуктів Altivar Process ATV300 компанії Schneider Electric і розроблений для керування моментом обертання, плавного пуску та зупинки синхронних та асинхронних трифазних електродвигунів у різних галузях промисловості та сільського господарства: у нафтогазовій, металургії, харчовій, у системах водопостачання та водовідведення, у вентиляційних системах.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБКА ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

Цифрові системи керування – це системи, в яких безперервні сигнали перетворюються в цифрові коди і керування здійснюється з використанням алгоритмів обробки цифрової інформації.

Цифрові системи керування передбачають перетворення безперервних сигналів у цифрові коди та зворотне перетворення цифрових кодів у безперервні сигнали. Такі перетворення здійснюють аналогово-цифрові (АЦП) і цифро-аналогові (ЦАП) перетворювачі. У таких перетворювачах здійснюється квантування як за часом так і за рівнем.

#### 4.1. Визначення періоду квантування сигналів ЦСК

Дискретизація (квантування) – це заміна неперервного сигналу тими чи іншими дискретними значеннями.

Види дискретизації:

- за часом;
- за рівнем;
- одночасна дискретизація за рівнем і за часом.

Задача вибору раціонального періоду квантування  $T_k$  є однією з основних проблем реалізації ЦСК. При зменшенні часу керування точність керування цифровою системою збільшується, але при цьому зростає навантаження мікроЕОМ. При збільшенні часу квантування втрачається важлива інформація про сигнал, що може призвести до неможливості відтворення вихідного сигналу за дискретними вибірками. Тому виникає

проблема пошуку раціонального часу квантування  $T_k$ , який задовольнив би такі суперечливі вимоги.

Згідно з теоремою Котельникова, для можливості безпомилкового відтворення сигналу, як показує аналіз амплітудних спектрів імпульсної системи, найменша частота квантування повинна дорівнювати  $2\omega_c$ , де  $\omega_c$  – найвища частота вихідного сигналу, яка має місце в амплітудно-частотній характеристиці неперервної частини системи.

Теорема стверджує: якщо сигнал не містить в собі частот вище, ніж  $\omega_c$  рад/с, він повністю описується своїми значеннями, вимірними у дискретні моменти часу за інтервалом  $T_k = \pi/\omega_c$ .

Визначення передатної функції неперервної частини розімкнутої системи:

$$W_{\text{роз.}}^{\text{н.ч.}}(p) = \frac{K_g}{T_{\text{ем}}p + 1} \frac{K_o}{T_{\text{оу}}p + 1} = \frac{K_g K_o}{T_{\text{ем}} T_{\text{оу}} p^2 + (T_g + T_o)p + 1} \quad (4.1)$$

$$W_{\text{роз.}}^{\text{н.ч.}}(p) = \frac{0,27e^{-100p}}{1280p^2 + 2001p + 1} \quad (4.2)$$

Визначаємо передатну функцію неперервної частини замкненої системи:

$$W_{\text{зам.}}^{\text{н.ч.}}(p) = \frac{W_{\text{роз.}}^{\text{н.ч.}}(p)}{1 + W_{\text{роз.}}^{\text{н.ч.}}(p)} = \frac{0,27e^{-100p}}{(1280 + 2001p + 1) + 0,27e^{-100p}} \quad (4.3)$$

Визначення амплітудно-частотної характеристики неперервної частини замкненої системи:

$$W_{\text{зам.}}(j\omega) = \frac{0,27e^{-100j\omega}}{(1280j\omega^2 + 2001j\omega + 1) + 0,27e^{-100j\omega}} \quad (4.4)$$

У результаті розв'язання рівняння

$$A(\omega) = \frac{K_g K_o}{\sqrt{(-T_g T_o \omega^2 + 1 + K_g K_o)^2 + (T_g T_o)^2 \omega^2}} = 0.01$$

Отримаємо значення частоти за рис. 4.1.

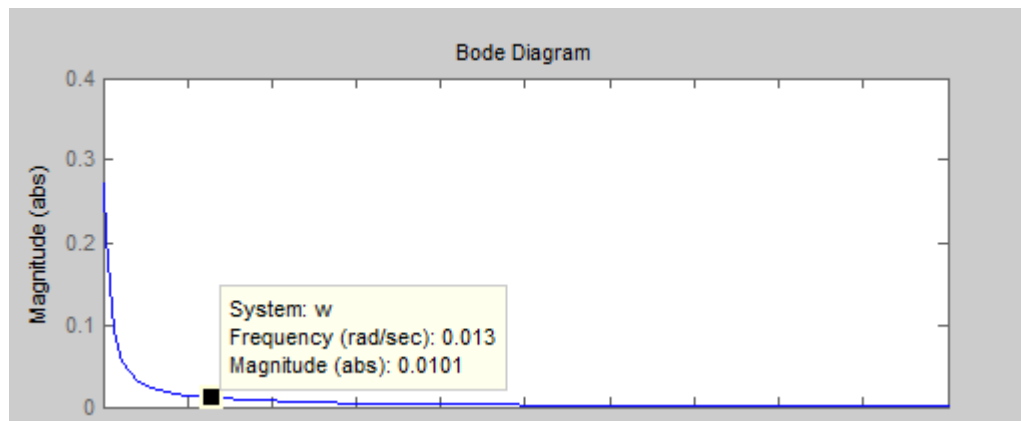


Рис. 4.1. АФЧХ системи керування

$$\omega_c = 0.013$$

і значення часу квантування:

$$T_k = \frac{\pi}{\omega_c} = 241 \text{ c} \quad (4.5)$$

## 4.2. Дослідження цифрового ПІ-регулятора

Аналогічно з неперервними системами в цифрових системах можна реалізувати ПІ закон регулювання (рис. 4.2.).

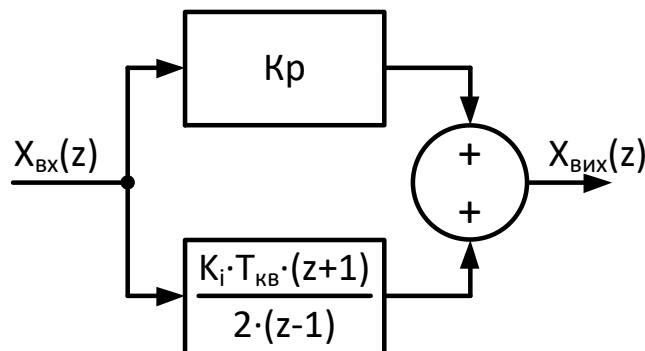


Рис. 4.2. Структурно-алгоритмічна схема цифрового ПІ-регулятора:  
 $K_p$ ,  $K_i$  – параметри відповідно пропорційної та інтегральної складових  
 ПІ-регулятора,  $T$  – період квантування.

Синтез ІІІ-регулятора полягає у знаходженні параметрів  $K_p, K_i$ .

Параметр інтегральної складової регулятора, який залежить від добротності за швидкістю  $K_v$  неперервної частини, визначається за формулою:

$$K_i = K_v \lim_{z \rightarrow 1} W_{н.ч.}(z) \quad (4.6)$$

Добротність за швидкістю визначається залежно від постійної часу об'єкта (табл. 4.1).

Таблиця 4.1.

Визначення добротності за швидкістю

| $T_o, c$ | $K_v$         |
|----------|---------------|
| ~1       | 3...10        |
| ~10      | 0,3...1       |
| ~100     | 0,01...0,04   |
| ~1000    | 0,004...0,012 |

Згідно з таблицею  $K_v=0,008$ , оскільки  $T_o=2000$  с.

Для визначення передатної функції  $W_{н.ч.}(z)$  застосовуємо пакет програм MATLAB, використовуючи операції завдання передатної функції неперервної системи

$$w = \text{tf}([K_o], [T_v \cdot T_o \quad T_v + T_o \quad 1]),$$

$$w = \text{tf}([0,27], [1280 \quad 2001 \quad 1])$$

та Z-перетворення неперервної передатної функції на дискретну

$$wz = \text{c2d}(w, T),$$

де  $w$  – змінна, що отримала вираз неперервної передатної функції;

$T$  – крок квантування.

При синтезі ІІІ-регулятора ми нехтуємо малою постійною часу  $W_M$ , оскільки ІІІ-регулятор компенсує лише один полюс Z-перетворення неперервної частини.

```
>> bode(w)
>> wz=c2d(w,241)

Transfer function:
0.0208 z^2 + 0.009133 z + 5.07e-019
-----
z^3 - 0.8903 z^2 + 9.885e-017 z
```

#### Лістинг 4.1. Z – перетворення у MATLAB

Тоді

$$K_i := \frac{0.008}{\left( \frac{0.0208 \cdot 1 + 0.009133 - 0.00000000000000000507}{1^3 - 0.8903 \cdot 1^2 + 0.00000000000000009885 \cdot 1 + 0} \right)} = 0.029$$

Після знаходження  $K_i$  параметр  $K_p$  визначаємо таким чином, щоб компенсувати полюс Z-перетворення неперервної частини системи.

Передаточна функція ПІ-регулятора має вигляд:

$$\begin{aligned} W_{\text{ПІ}}(z) &= \frac{K_i \times T z + 1}{2} \frac{1}{z - 1} = \frac{2 \times K_p \times z - 2 \times K_p + K_i \times T \times z + K_i \times T}{2z - 2} = \\ &= \frac{(2 \times K_p + K_i \times T)z + (K_i \times T - 2 \times K_p)}{2(z - 1)} = \\ &= \frac{(2 \times K_p + K_i \times T) \left[ z + \frac{K_i \times T - 2 \times K_p}{2 \times K_p + K_i \times T} \right]}{2(z - 1)} \end{aligned}$$

Для компенсації полюсу необхідно знайти такий  $K_p$ , який би задовольняв рівняння:

$$\begin{aligned} &\text{Given} \\ &\frac{K_i \cdot T - 2 \cdot K_p}{K_i \cdot T + 2 \cdot K_p} = 0.0001974 \\ &\text{Find}(K_p) = 8.031 \end{aligned}$$

Для дослідження показників якості роботи системи використовуємо модель у програмному середовищі MATLAB/Simulink (рис. 4.3).

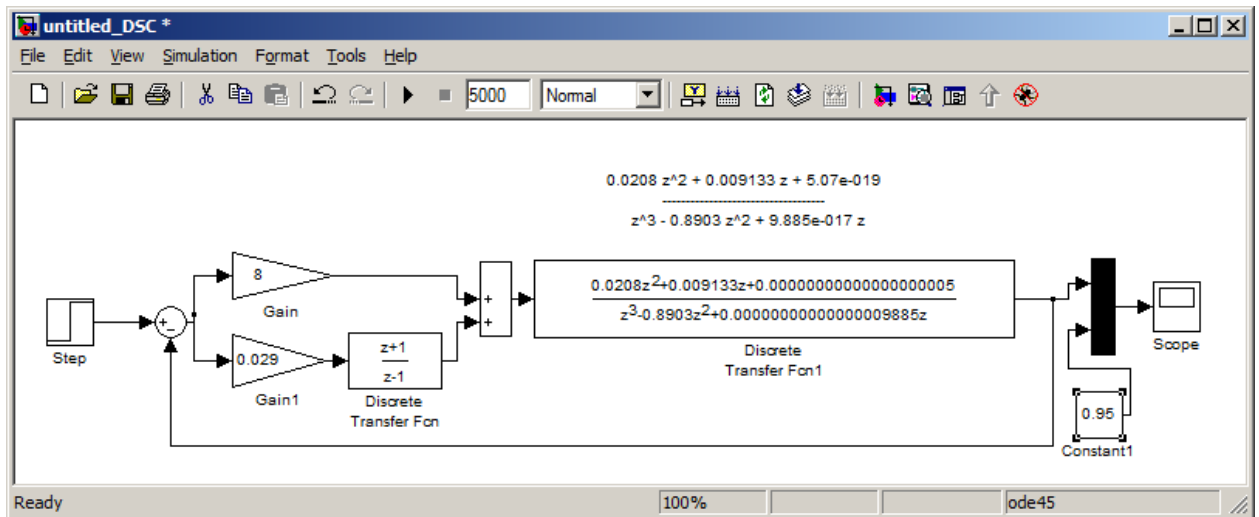


Рис. 4.3. Структурна модель цифрової системи

Та отримаємо перехідний процес цифрової системи з ПІ-регулятором (рис. 4.4).

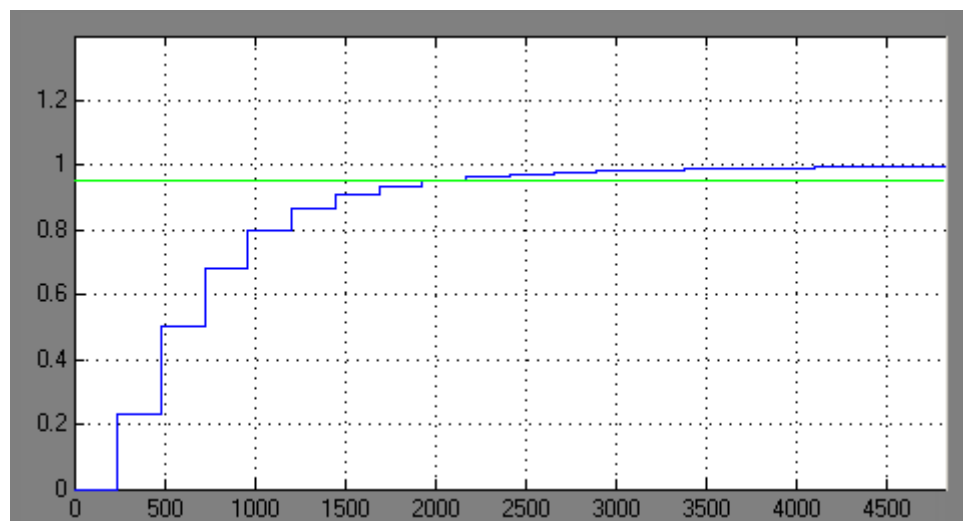


Рис. 4.4. Перехідний процес цифрової системи з ПІ-регулятором

Згідно перехідного процесу визначаємо:

- час регулювання  $t_p = 1970$  с;
- перерегулювання  $\sigma = 0$
- коливальність  $n = 0$ .

### 4.3. Дослідження цифрової системи на стійкість та якість

Використовуючи розімкнуту передаточну функцію цифрової системи  $W_{роз}(z)$ , знайдемо  $W_{зам}(z)$ , розв'яжемо рівняння та знайдемо характеристичні корені.

$$W_{зам}(z) = \frac{\frac{0.0208z^2 + 0.009113z + 5.07 \cdot 10^{-19}}{z^3 - 0.8903z^2 - 9.885z \cdot 10^{-17}}}{\frac{0.0208z^2 + 0.009113z + 5.07 \cdot 10^{-19}}{z^3 - 0.8903z^2 - 9.885z \cdot 10^{-17}} + 1} = \frac{0.0208z^2 + 0.009113z + 5.07 \cdot 10^{-19}}{z^3 - 0.9106z^2 - 9.8835z + 5.07 \cdot 10^{-19}}$$

$$W_{рез}(z)W_{зам} = \frac{22.989 \cdot z - 9.011}{2z - 2} * \frac{0.0208z^2 + 0.009113z + 5.07 \cdot 10^{-19}}{z^3 - 0.9106z^2 - 9.8835z + 5.07 \cdot 10^{-19}}$$

$$W(z) := \frac{22.989z - 9.011}{2z - 2} \cdot \frac{0.02708z^2 + 0.009113z + 5.07 \cdot 10^{-19}}{z^3 - 0.901z^2 - 9.8835z + 5.07 \cdot 10^{-19}} *$$

$$W(z) := \frac{(22.989z - 9.011) \cdot (0.009113z + 0.02708z^2 + 5.07e-19)}{(2z - 2) \cdot (-9.8835z + -0.901z^2 + z^3 + 5.07e-19)}$$

$$W(z) := \frac{-0.082117242999999988345 + -0.034519123z^2 + 19.767000000000000000z + -17.965z^2 + -3.802z^3 + 2z^4 - 1.014e-18}{19.767000000000000000z + -17.965z^2 + -3.802z^3 + 2z^4 - 1.014e-18}$$

У результаті було отримано наступне характеристичне рівняння:

$$19.7670000000000000001 * z + -17.965 * z^2 + -3.802 * z^3 + 2 * z^4 - 1.014e-18 = 0$$

Коренями характеристичного рівняння будуть:

$$z_{1,2} = 0,7464 \pm j0,0237;$$

$$z_3 = 0.$$

Умови стійкості згідно критерію Джурі:  $|z_k| < 1$  – для дійсних коренів;

$$Re^2(z_k) + Im^2(z_k) < 1 \text{ – для комплексних.}$$

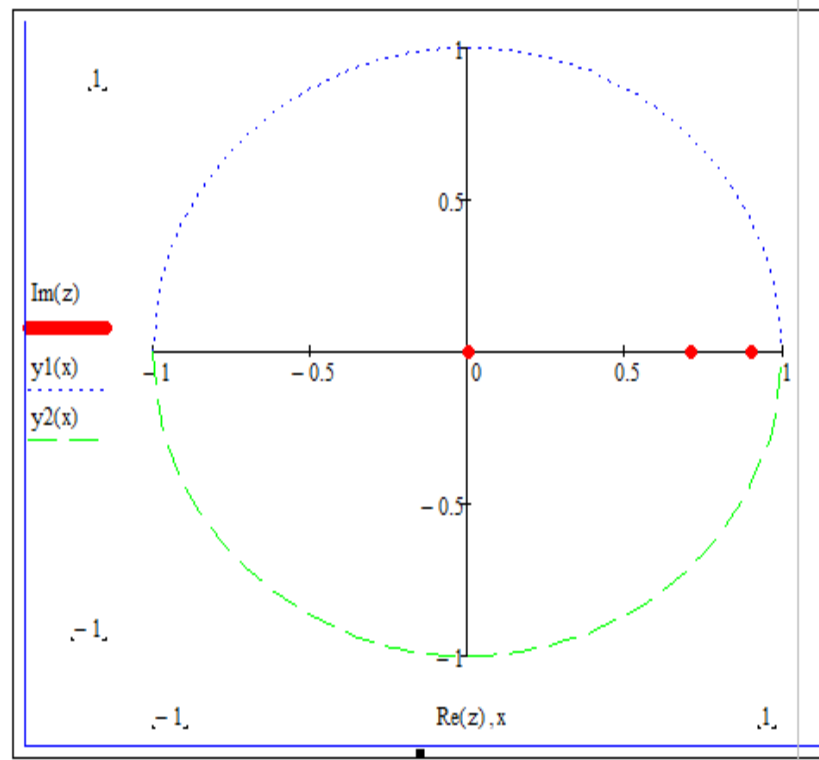


Рис. 4.5. Корені характеристичного рівняння  
на комплексній площині

## РОЗДІЛ 5

### СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 5.1. Розробка схеми електричної принципової САК параметрами мікроклімату на фармацевтичному складі та засобів візуалізації технологічного процесу

Схема електрична принципова системи автоматичного керування параметрами мікроклімату на фармацевтичному складі зображена на рис. 5.1, 5.4. На рис. 5.1 наведена схема електрична принципова вимірювального модуля на базі технічних засобів Arduino, на рис. 5.4 зображені складові частини припливно-витяжної системи вентиляції із пластинчастим рекуператором та електротехнічне обладнання керування установкою.

Для технічної реалізації обраного алгоритму керування температурою на фармацевтичному складі використовується програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК110 (**D1**).

Інформація про стан контрольованих параметрів системи надходить до плати Arduino Nano від відповідних датчиків (описані в п. 3.2 розділу 3) (рис. 5.1).

Для керування електродвигуном приводу відцентрового вентилятора подачі повітря у приміщення складу (**M1**) АИР80А2У3 використовується частотний перетворювач ATV 312HU55N4 (**U1**), який, в свою чергу, отримує сигнали керування через інтерфейсу RS-485 від програмного логічного контролера ОВЕН ПЛК110 (**D1**). Аналогічним чином здійснюється керування електродвигуном витяжного відцентрового вентилятора за допомогою такого самого частотного перетворювача ATV 312HU55N4 (на принциповій схемі цей контур керування не показаний).

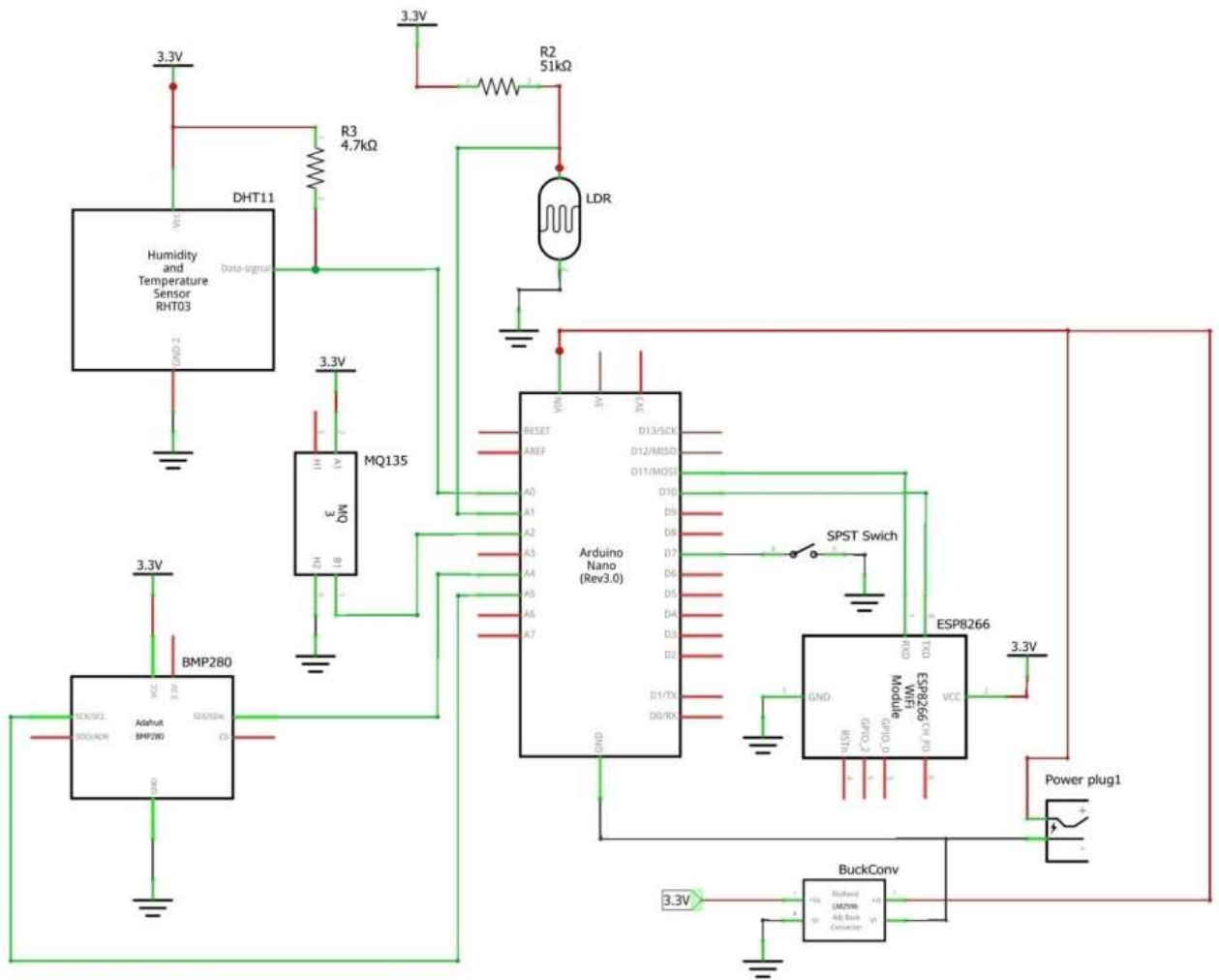


Рис. 5.1. Схема електрична принципова вимірювального модуля на базі технічних засобів Arduino

Блок-схема алгоритму роботи вимірювального модуля на базі плати Arduino Nano та датчиків Arduino наведена на рис. 5.2.

Пристрій в режимі виконання працює наступним чином. Після включення контролера, знімаються дані з датчиків в наступному порядку: температура, інтенсивність світла, тиск, вологість, концентрація вуглекислого газу. Після надходження даних до мікроконтролера Arduino Nano, він надсилає її до Wi-Fi модуля Esp8266, який в свою чергу передає отримані дані до програмованого логічного контролера ПЛК110 і на комп'ютер.

Якщо показники датчиків співпадають із оптимальними заданими показниками мікроклімату, тоді пристрій починає наведену процедуру знов через 30 секунд.

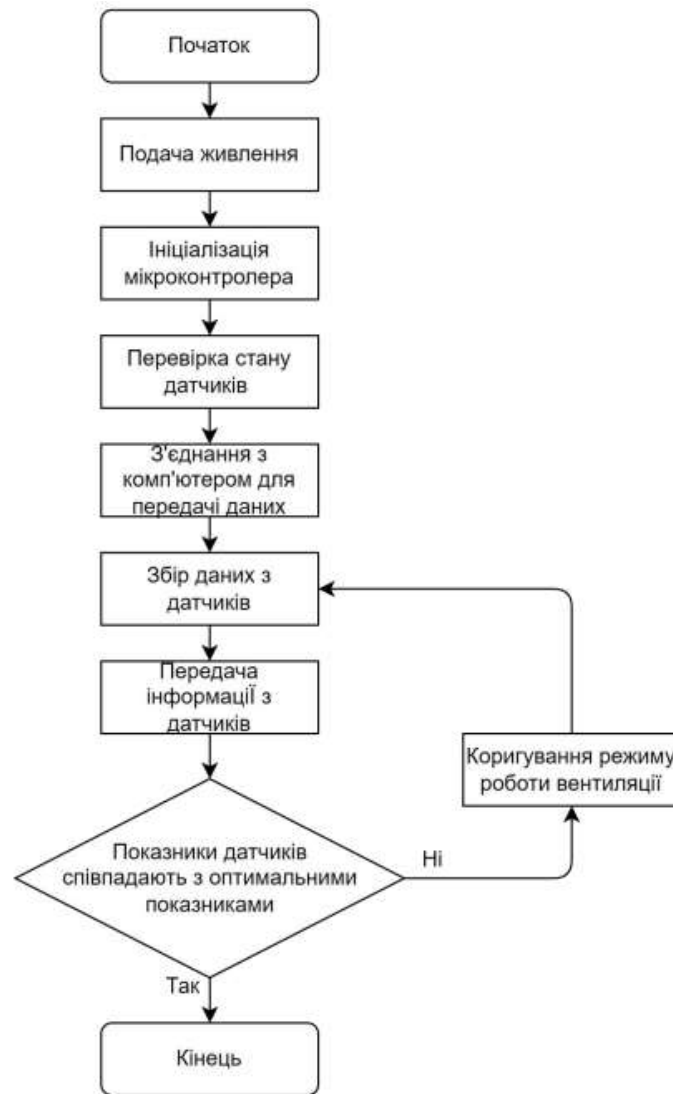


Рис. 5.2. Блок-схема алгоритму роботи вимірювального модуля

В тому разі якщо отримані дані не співпадають з оптимальними показниками, тоді проводиться коригування роботи системи вентиляції.

Отримані дані від системи моніторингу на комп'ютері можна переглянути на комп'ютері за допомогою концепції IoT (Інтернет речей) в приватному каналі на платформі ThingSpeak (рис. 5.3).

ThingSpeak — це потужна платформа для аналітики IoT, яка дозволяє користувачам агрегувати, візуалізувати та аналізувати потоки даних у реальному часі в хмарі. Вона ідеально підходить для різних застосувань, включаючи моніторинг навколишнього середовища, відстеження енергоспоживання та смарт-фермерство. Завдяки інтеграції з MATLAB,

користувачі можуть використовувати просунуті інструменти для аналізу даних і отримувати цінні інсайти.

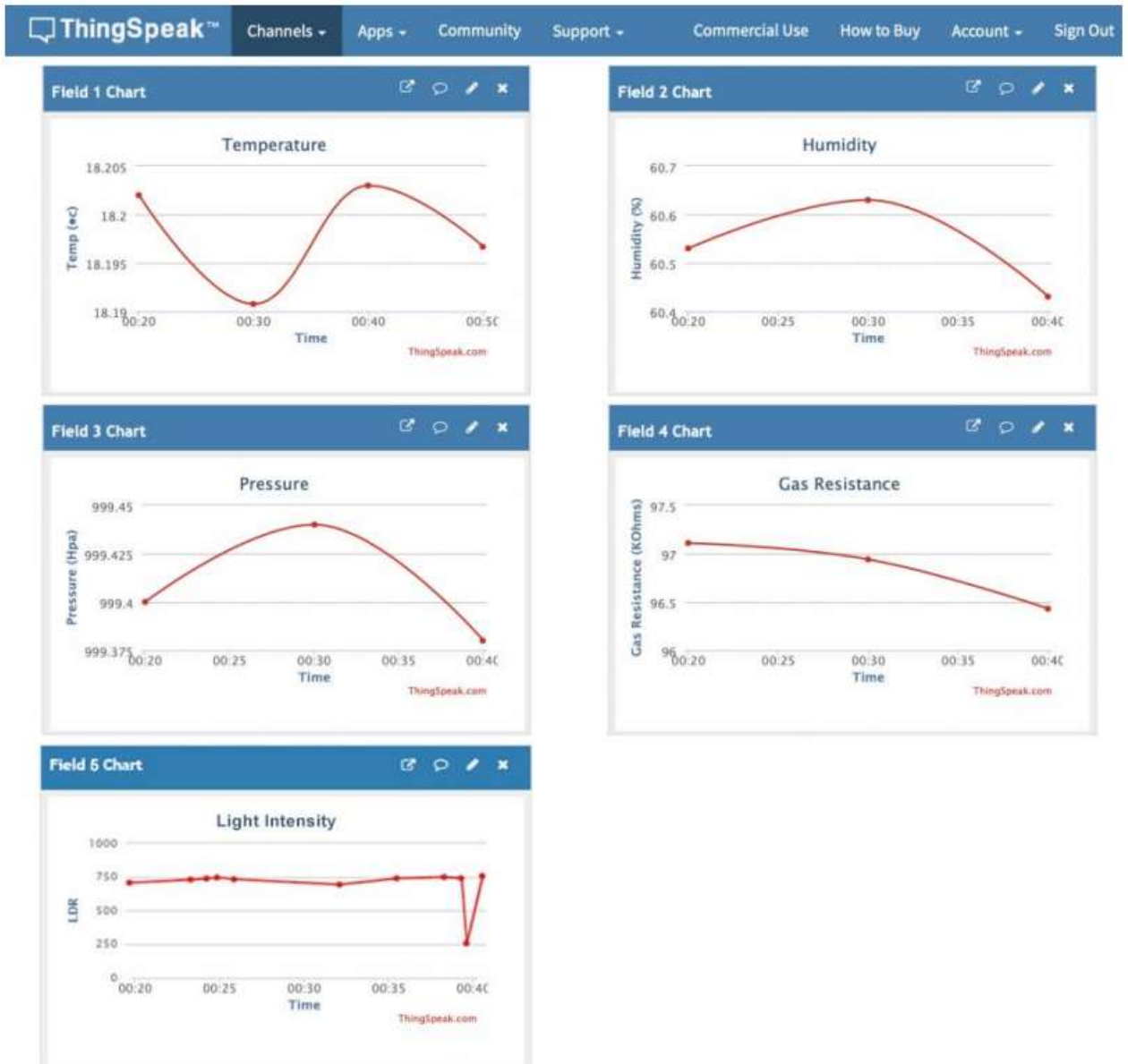


Рис. 5.3. Інтерфейс і відображення даних на платформі ThingSpeak

Для керування виконавчими механізмами – сервоприводами BELIMO SM24A (D13, D14, D15) використовується модуль аналогового виведення МУ110-224.6У (D3), який також отримує сигнали керування від ПЛК.

Електродвигуни приводу циркуляційних насосів подачі теплоносія у водяні калорифери позначені на принциповій схемі M2 та M3.

## 5.2. Вибір апаратури захисту і керування

Для електроприводу відцентрового вентилятору подачі повітря у приміщення фармацевтичного складу використовуються асинхронний трифазний електродвигун марки АИР80А2У3 (М1) потужністю  $P_{н.дв} = 1,5 \text{ кВт}$ , напругою живлення  $U_{ж} = 380 \text{ В}$ , 50Гц, технічні характеристики яких наведені в таблиці 5.1.

Для електроприводу циркуляційних насосів використовуються аналогічні електродвигуни марки АИР80А2У3 (М2 та М3) потужністю 1,5 кВт.

Таблиця 5.1.

Технічні характеристики електродвигуна АИР80А2 У3

| $P_{н.дв}$ ,<br>кВт | $n$ ,<br>$\frac{об.}{хв.}$ | $I_H$ ,<br>А | $\eta$ ,<br>% | $\cos\varphi$ | $S_H$ ,<br>% | $\frac{I_{пущк}}{I_H}$ | $\frac{M_{пущк}}{M_H}$ | $\frac{M_{макс}}{M_H}$ | $\frac{M_{мин}}{M_H}$ | $J_{дв}$ ,<br>кг·м <sup>2</sup> |
|---------------------|----------------------------|--------------|---------------|---------------|--------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 1,5                 | 2880                       | 3,2          | 82            | 0,85          | 4,0          | 6,5                    | 2,2                    | 2,6                    | 1,8                   | 0,0015                          |

**Вибір автоматичних вимикача QF1-QF3.** При виборі автоматичного вимикача для захисту електричної лінії, яка живить електродвигун, необхідно дотримуватись наступних умов:

- номінальна напруга автоматичного вимикача має дорівнювати напрузі живлення електричної мережі або перевищувати її

$$U_{н.ав} \geq U_{ж}; \quad (5.1)$$

- номінальний струм автоматичного вимикача і номінальний струм електромагнітного розчіплювача повинні дорівнювати або перевищувати суму номінальних струмів одночасно працюючих електродвигунів

$$I_{н.ав} \geq \sum_{i=1}^n I_{н.i}, \quad (5.2)$$

де  $I_{н.i}$  - номінальний струм і-го одночасно працюючого двигуна, А;

- номінальний струм електромагнітного (та теплового за наявності) розчіплювача має дорівнювати або перевищувати суму номінальних струмів одночасно працюючих електродвигунів

$$I_{H.ROZCH} \geq \sum_{i=1}^n I_{H.i} ; \quad (5.3)$$

- струм відсічки електромагнітного та теплового розчіплювача в даному випадку

$$I_{ВДС.РОЗЧ} \geq 1,8 \cdot \left( \sum_{i=1}^n I_{H.i} + I_{ПУСК.НАЙБ.} \right), \quad (5.4)$$

$I_{ПУСК.НАЙБ.}$  - пусковий струм найбільшого за пусковим струмом електродвигуна, А.

В даному випадку, окремий автоматичний вимикач захищає окремий електродвигун.

Згідно з принциповою схемою керування тепловим пунктом та умовами (5.1) - (5.4), вибираємо автоматичний вимикач GV2ME Schneider Electric (рис. 5.5) – автоматичний вимикач з електромагнітним та тепловим розчіплювачем, без вільних контактів, без температурної компенсації, технічні характеристики якого наведені в таблиці 5.2.



Рис. 5.5. Зовнішній вигляд автоматичного вимикача  
GV2ME Schneider Electric

## Технічні характеристики автоматичного вимикача GV2ME Schneider Electric

|   |   |
|---|---|
| Номинальна напруга $U_{H.AB}$ , В   | 690 V AC 50/60 Гц у відповідності з ІЕС 60947-2   |
| Потужність електродвигуна або групи електродвигунів, кВт                      | 5,5 при 400/415 V AC 50/60 Гц<br>7,5 при 500 V AC 50/60 Гц<br>9,0 при 690 V AC 50/60 Гц<br>11,0 при 690 V AC 50/60 Гц |
| Номинальний струм $I_{H.AB}$ , А  | 6   |
| Номинальний струм електромагнітних розчіплювачів $I_{H.ROZCH}$ , А            | 6   |
| Номинальний струм теплових розчіплювачів $I_{H.ROZCH}$ , А                    | 1,5...6   |
| Уставка за струмом відсічки електромагнітного розчіплювача $I_{ВДС.РОЗЧ}$ , А | $I_{ВДС.РОЗЧ} = 12 \cdot I_{H.РОЗЧ}$  |
| Кількість полюсів   | 3,4   |
| Категорія використання  | АС-3 у відповідності з ІЕС 60947-4-1  |
| Комутуюча здатність, циклів вмикання-вимикання                                | 100000  |
| Робоча температура, °С  | -20...+60   |
| Ступінь захисту   | IP20 у відповідності з ІЕС 60529  |

**Вибір автоматичного вимикача QF4.** При виборі автоматичного вимикача для захисту ПЛК та кола керування, необхідно дотримуватись наступних умов:

- номінальна напруга автоматичного вимикача має дорівнювати напрузі живлення електричної мережі або перевищувати її

$$U_{H.AB} \geq U_{Ж}; \quad (5.5)$$

- номінальний струм автоматичного вимикача повинен дорівнювати або перевищувати робочий струм ПЛК та кола керування

$$I_{H.AB} > I_{К.КЕР}, \quad (5.6)$$

- номінальний струм електромагнітного розчіплювача повинен дорівнювати або перевищувати номінальний струм ПЛК та кола керування

$$I_{H.РОЗЧ} > I_{К.КЕР}; \quad (5.7)$$

- струм відсічки електромагнітного розчіплювача має становити не менше 1,5...1,6 робочого струму ПЛК та кола керування

$$I_{ВДС.РОЗЧ} > (1,5...1,6) \cdot I_{К.КЕР}. \quad (5.8)$$

Згідно з принциповою схемою керування та умовами (5.5) - (5.8), для захисту ПЛК та кола керування вибираємо автоматичний вимикач IC60C-K Schneider Electric (рис. 5.6) – 2-х полюсний автоматичний вимикач з електромагнітним розчіплювачем, технічні характеристики якого наведені в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3.

## Технічні характеристики автоматичного вимикача IC60C-K

|   |   |
|---|---|
| Номинальна напруга $U_{H.AB}$ , В   | 440 V AC 50/60 Гц у відповідності з ІЕС 60947-2 |
| Номинальний струм $I_{H.AB}$ , А  | 10  |
| Номинальний струм електромагнітних розчіплювачів $I_{H.ROZCH}$ , А            | 10  |
| Уставка за струмом відсічки електромагнітного розчіплювача $I_{ВДС.РОЗЧ}$ , А | $I_{ВДС.РОЗЧ} = 12 \cdot I_{H.РОЗЧ}$            |
| Кількість полюсів   | 2   |
| Категорія використання  | АС-3 у відповідності з ІЕС 60947-4-1            |
| Комутуюча здатність, циклів вмикання-вимикання                                | 100000  |
| Робоча температура, °С  | -20...+60                                       |
| Ступінь захисту   | IP20 у відповідності з ІЕС 60529                |

$$U_{H.AB} > U_{Ж} = 220 \text{ В};$$

$$I_{H.AB} > I_{К.КЕР}, \quad 10 \text{ А} > 6 \text{ А};$$

$$I_{H.РОЗЧ} > I_{К.КЕР}, \quad 10 \text{ А} > 6 \text{ А};$$

$$I_{ВДС.РОЗЧ} > (1,5 \dots 1,6) \cdot I_{К.КЕР}, \quad I_{відс.розч.} = 12 \cdot I_{H.розч.} = 12 \cdot 10 = 120 \text{ А};$$

$$120 > (1,5 \dots 1,6) \cdot 6 = 8,0 \dots 9,6 \text{ А}.$$



Рис. 5.6. Зовнішній вигляд автоматичного вимикача IC60C-K Schneider Electric

**Вибір електромагнітних пускачів КМ1-КМ4.** Електромагнітні пускачі вибирають за наступними умовами:

- номінальна напруга електромагнітного пускача має дорівнювати напрузі живлення електричної мережі або перевищувати її

$$U_{H.EП} \geq U_{Ж}; \quad (5.9)$$

- номінальний струм комутації силових контактів електромагнітного пускача повинен дорівнювати або перевищувати номінальний струм електродвигуна

$$I_{H.EП} \geq I_H; \quad (5.10)$$

- номінальна напруга живлення втягуючої котушки електромагнітного пускача повинна дорівнювати напрузі кола керування

$$U_{H.КОТ} \geq U_{КЕР}. \quad (5.11)$$

- за струмом теплового реле та за струмом неспрацювання теплового реле (при відповідній комплектації).

Крім того, необхідно враховувати необхідність наявності допоміжних контактів магнітного пускача в колі керування.

Враховуючи умови (5.9) – (5.11) та вихідні дані, для даної системи керування вибираємо електромагнітні пускачі КМ1, КМ2 – LC1D12P7 – нереверсивний, без оболонки, без теплового реле, із ступенем захисту IP00, із змінним струмом кола управління, без додаткових контактів кола управління, номінальним робочим струмом (категорія використання АС-3) при напрузі  $U_{H.EП} = 380 \text{ В}$  силового кола  $I_{H.EП} = 10 \text{ А}$ , номінальною напругою втягуючої котушки  $U_{H.КОТ} = 220 \text{ В}$  (50 Гц).

**Вибір ламп світлової сигналізації HL1-HL7.** Для світлової сигналізації в колі керування вибираємо сигнальні лампи AD-22DS з підсвічуванням світлодіодною матрицею на 230 В, з плоским світлофільтром, з підключенням проводів під гвинт, зеленого та червоного кольору.

### 5.3. Вибір проводів та кабелів

Переріз струмопровідної жили проводу, шнура або кабелю вибирають, виходячи з умов гранично допустимого його нагрівання та достатньої механічної міцності. Під час визначення кількості проводів, які прокладають в одній трубці (або жил багатожильного провідника), нульовий робочий провід чотирипровідної системи трифазного струму (або заземлюючу жилу) не враховують.

Площу поперечного перерізу жил проводів, шнурів і кабелів вибирають за тривало допустимим струмом

$$I_{\text{тр.доп}} \geq I_{\text{розр}}, \quad (5.12)$$

де  $I_{\text{розр}}$  - розрахунковий струм ділянки електричної мережі, А.

Для відгалужень до окремих електроспоживачів за максимальні тривалі робочі струми беруть їх номінальні струми.

Для трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором тривало допустимий струм визначається за формулою

$$I_{\text{розр.дв}} = \frac{10^3 P_{\text{н.дв}}}{\sqrt{3} U_{\text{н}} \eta_{\text{н}} \cos \varphi_{\text{н}}}. \quad (5.13)$$

Розрахунковий струм магістралі, від якої живиться кілька електродвигунів, визначається за виразом

$$I_{\text{м.розр}} = K_{\text{о}} \cdot \sum_{i=1}^m I_{\text{розр.дв.і}}, \quad (5.14)$$

де  $K_{\text{о}}$  - коефіцієнт одночасності роботи електродвигунів;

$\sum_{i=1}^m I_{\text{розр.дв.і}}$  - сума всіх розрахункових сил струму, А.

Враховуючи умови та відповідні розраховані значення тривало допустимих струмів електродвигунів М1 – М3, для живлення кожного з них вибираємо кабель АВВГ 4х2,5 (ГОСТ 16442-70) – чотирижильний кабель з алюмінієвими жилами, полівінілхлоридною ізоляцією, в полівінілхлоридній

оболонці, перерізом струмопровідних жил  $2,5 \text{ мм}^2$ , тривало допустимий струм якого дорівнює 19 А. Кабель прокладається в трубі [17].

**Вибір проводів живлення кола управління.** Враховуючи, що номінальний струм живлення котушок магнітних пускатів, реле та блоку логічного керування кола управління не перевищує 5А, для живлення кола управління вибираємо провід ПВ 1х0,5 (ГОСТ 6323-79) – провід з мідною жилою перерізом  $0,5 \text{ мм}^2$  в полівінілхлоридній оболонці, тривало допустимий струм якого дорівнює 11 А [17].

#### **Вибір кабелю живлення шафи керування.**

Для живлення шафи керування вибираємо кабель АВВГ 3х6 + 1х2,5 (ГОСТ 16442-70) – кабель з алюмінієвими жилами, полівінілхлоридною ізоляцією, в полівінілхлоридній оболонці, перерізом силових жил  $6 \text{ мм}^2$ , тривало допустимий струм яких дорівнює 30 А, перерізом жили нульового проводу  $2,5 \text{ мм}^2$ . Кабель прокладається в трубі [17].

### **5.4. Вибір щита керування**

Щити і пульти – це пости керування, контролю, сигналізації електрифікованих і автоматизованих об'єктів. На них розміщують апаратуру керування, контрольно-вимірювальні прилади, засоби сигналізації та захисту. На фасадних сторонах щитів і пультів можуть бути нанесені мнемонічні схеми, накладні надписи (пояснюючі), освітлювальні пристрої тощо.

Щити і пульти на стадії проектування вибирають на підставі таких нормативних документів: ГОСТ 20504-81 "Система унифицированных типовых конструкций агрегатных комплексов ГСП. Типы и основные размеры", ДСТУ 3288-95 (ГОСТ 26032-96) "Система уніфікованих типових конструкцій агрегатних комплексів. Загальні технічні умови", ОСТ 36.13-76

"Щиты и пульты систем автоматизации технологических процессов". На додаток до ОСТ 36.13-76 розроблені інструкції РМ4-107-82.

Згідно з вище вказаними нормативними документами щити і пульти розраховано, на розміщення їх у закритих приміщеннях із температурою навколишнього середовища від  $-30$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  за відносної вологості не більше як 80%. Промисловість випускає також щити та пульти спеціального призначення, які розраховані на більш високі або низькі температури, підвищену вологість, наявність агресивного середовища тощо. Щити та пульти умовно позначають згідно з вимогами ОСТ 36.13-76.

Шафові щити використовують:

- у виробничих приміщеннях, що характеризуються запиленістю, великою вологістю та можливістю механічного пошкодження апаратури й внутрішньощитових проводів;
- для розміщення допоміжної апаратури (реле, джерел живлення) всередині щита;
- для захисту обслуговуючого персоналу від дотиків до відкритих струмоведучих частин апаратури та затискачів.

Враховуючи габаритні розміри всіх пристроїв схеми керування технологічним обладнанням в тепловому пункті, що розміщуються на передній і задній панелях, вибираємо щит шафовий типу ЩШМ (600x400x250)V4IP30 (ОСТ 36.13-76) [17].

## РОЗДІЛ 6

### СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ КЛІМАТОМ З ВІДДАЛЕНИМ МОНІТОРИНГОМ ФАРМАЦЕВТИЧНОГО СКЛАДУ

При візуалізації системи керування використовують наступні підходи: створення SCADA-system; використання контролера з панеллю оператора; використання контролера з дисплеєм.

Вибір технічних засобів для забезпечення візуалізації залежить від кількості інформації та величини об'єкта керування. У разі масштабних об'єктів використовують SCADA-системи.

SCADA – це програмний комплекс для візуалізації та диспетчеризації технологічних процесів. SCADA-система дає наочне уявлення процесу і надає графічний інтерфейс оператору для контролю і керування.

Інтерфейс ЛМІ (Локальна маніпуляційно-інформаційної) системи автоматичного керування мікрокліматом на фармацевтичному складі у відповідність з розробленою функціональною схемою автоматизації створений з використанням програмного забезпечення Zenon SCADA від компанії COPA-DATA. Програмування логічного контролера ОВЕН ПЛК 110 здійснюється за допомогою стандартного програмного пакету CoDeSys v.2.3 від компанії ОВЕН.

Zenon є програмним забезпеченням для візуалізації, управління, збору та аналізу даних. Система Zenon SCADA є основним продуктом австрійської компанії COPA-DATA GmbH. Вперше розроблена в середині 80-х років, це було перше комплексне рішення графічної візуалізації для систем Windows. Завдяки постійній модернізації, вдосконаленню та впровадженню новітніх технологій, Zenon утримує лідерські позиції на ринку систем HMI / SCADA. Zenon повністю вирішує всі можливі завдання, що стоять перед системами HMI / SCADA. Дозволяє здійснювати зручне та візуальне управління, точну взаємодію всіх інженерних комплексів, автоматичну адаптацію,

інтелектуалізацію режимів роботи підсистем. Він базується на стандартних зовнішніх технологіях і пропонує величезний набір простих у використанні графічних функцій для побудови систем візуалізації.

Переваги Zenon: можливість децентралізованої розробки; висока швидкодія; ефективність і масштабованість; велика гнучкість та висока надійність. Продукт використовується у сфері автоматизації таких галузей, як нафтогазовий комплекс; будівництво; промислове виробництво; енергетика; транспорт.

**Опис об'єкта керування.** Склад представляє собою комплекс великого приміщення готової продукції, холодильних камер в цьому приміщенні, віддаленого холодильного приміщення (який знаходиться в іншій будівлі виробництва на відстані 200м ), та вентиляційної камери де знаходиться вентиляційна система з функціями: двома ступенями фільтрації, рекуперацією, охолодженням, нагрівом та зволоженням повітря.

***Завдання системи автоматизації:***

- 1.) Контролювати температуру та відносну вологість у великому приміщенні готової продукції в заданих межах.
- 2.) Керувати вентиляційною системою та відображати параметри її роботи.
- 3.) Контролювати температуру та відносну вологість у холодильних камерах розміщених в приміщенні складу готової продукції.
- 4.) Контролювати температуру та відносну вологість у віддаленого холодильного приміщення на виробництві.
- 5.) Виконувати запис показників у вигляді файлів, та при необхідності створювати звіти. Час запису необмежений (обмежений величиною жорсткого диску).
- 6.) Інформувати операторів, інженерів про аварійні ситуації на екрані монітора, світло-сигнальною сигналізацією та за допомогою SMS інформування.

7.) Забезпечити стабільну роботу системи від зовнішніх впливів: грози, нестабільного живлення (часте перемикання на дизель-генератор), впливів високовольтних перешкод які потрапляють у низьковольтні мережеві лінії передачі даних.

8.) Віддалене керування та моніторинг параметрів через глобальну мережу Інтернет.

*Для реалізації цієї системи було використано:*

- Центральний блок керування у вигляді сервера початкового рівня.
- Безперебійний блок живлення з подвійним перетворенням напруги.
- Керування системою вентиляції виконував окремий контролер у складі силового щита керування вентиляцією. Зв'язок між центральним блоком керування та контролером керування вентиляцією виконано за допомогою оптоволоконного кабелю для забезпечення захисту.
- Датчики температури та відносної вологості мали мережевий інтерфейс RS485 Modbus RTU.
- Зв'язок між віддаленими датчиками, які знаходились у холодильному приміщенні виробництва виконали за допомогою оптоволоконного кабелю, щоб забезпечити захист вхідних ланцюгів мережевого обладнання від впливу високовольтних перешкод.
- Виконання SMS оповіщення виконали за допомогою GSM модуля який також під'єднувався мережею RS485 ModBusRTU.
- Віддалений моніторинг виконали за допомогою web інтерфейсу системи.
- Віддалене керування та моніторинг за допомогою віддаленого робочого столу Windows.
- Комплекс програмного забезпечення SCADA.

*Головне вікно робочої програми диспетчеризації.* На ній відображено план складу готової продукції розділеної на три зони в яких вимірюються температура та відносна вологість, а також розміщена холодильна камера (ХК склад) в якій вимірюються температура та вологістю. Пара датчиків у холодильній камері потрібна для заміру температури в різних частинах камери, а також для дублювання в разі виходу з ладу одного з них.

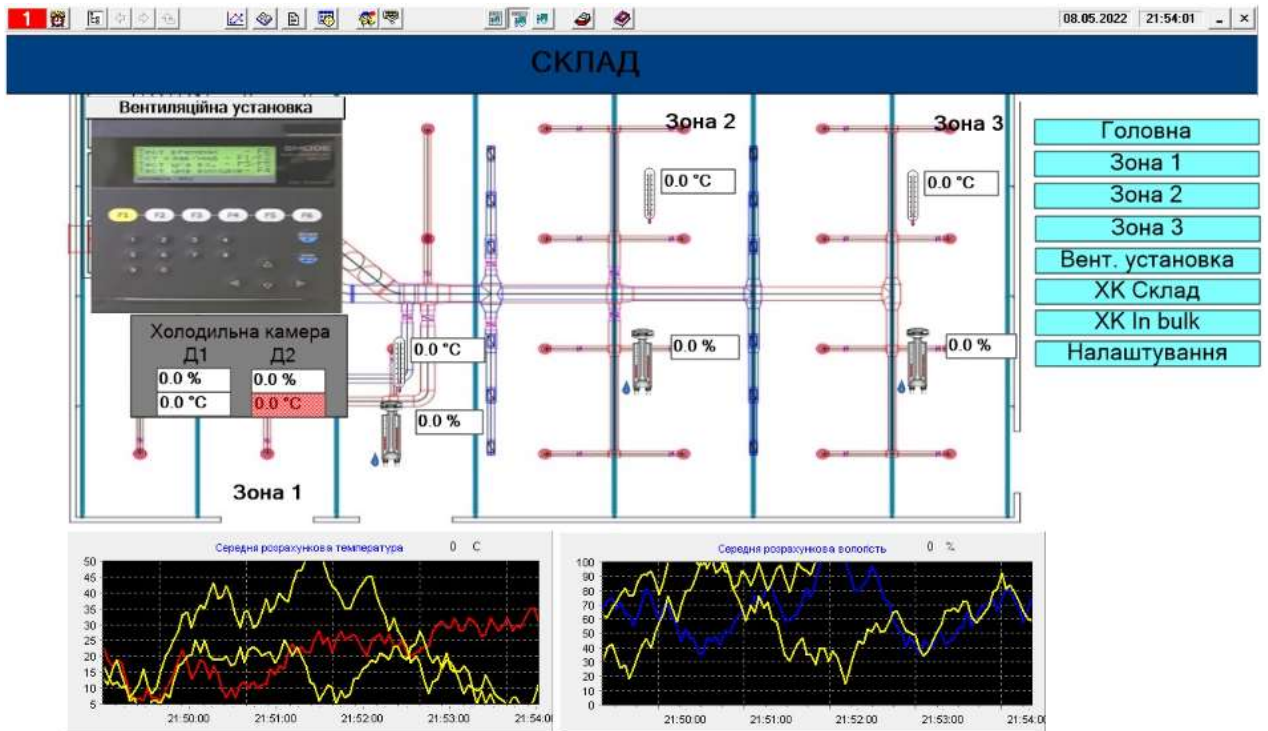


Рис. 6.1. Головне вікно робочої програми диспетчеризації

Також на головному вікні програми відображаються графіки з показниками середніх температур та вологості.

Показники параметрів, які підсвічені червоним кольором, вказують на те, що зв'язок з джерелом (датчики, виконавчі механізми, або контролери керування) показника відсутній.

**Вікна «Зона 1», «Зона 2», «Зона 3».** В даному вікні відображаються графіки температури, та вологості з межами які встановлені оператором. При виході параметрів за межі, програма сигналізує про це.

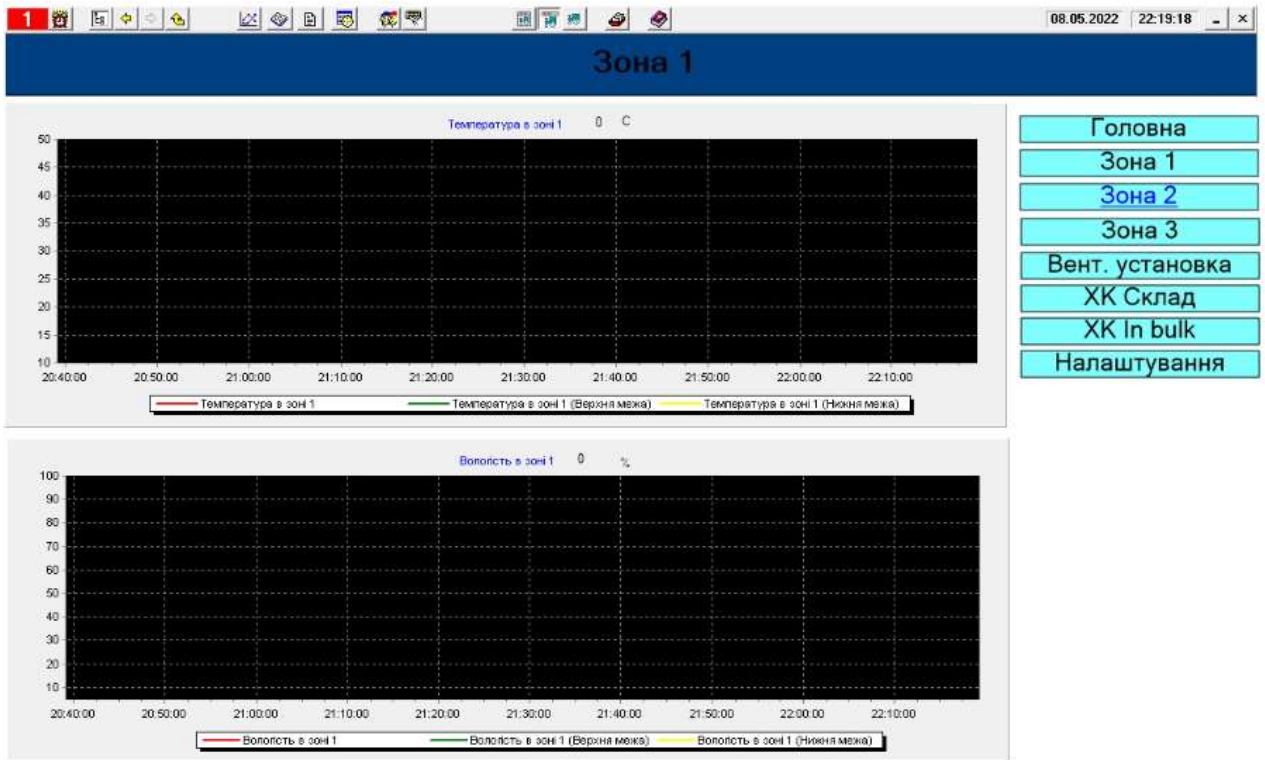


Рис. 6.2. Інтерфейс вікон "Зона 1", "Зона 2", "Зона 3"

Тревоги

| Активних         |   | Неактивних       |   |
|------------------|---|------------------|---|
| Не підтверджених | 1 | Не підтверджених | 1 |
| Підтверджених    | 0 | Підтверджених    | 0 |

Список тревог

| Назва                     | Появилась           | Підтверджена | Исчезла             |
|---------------------------|---------------------|--------------|---------------------|
| Висока вологість в зоні 1 | 08-05-2022 21:42:31 | —            | —                   |
| Висока вологість в зоні 2 | 08-05-2022 21:42:31 | —            | 08-05-2022 21:42:31 |
|                           |                     |              |                     |
|                           |                     |              |                     |
|                           |                     |              |                     |
|                           |                     |              |                     |
|                           |                     |              |                     |

Описание выбранной тревоги

Buttons: Подтвердить, Снять, Мнемосхема, Закреть

Рис. 6.3. Вікно сигналізації виходу контрольованого параметра за межі заданого значення

**Вікно холодильної камери (ХК Склад).** В даному вікні відображаються графіки температури та вологості з межами, які встановлені оператором. При виході параметрів за межі, програма сигналізує про це.

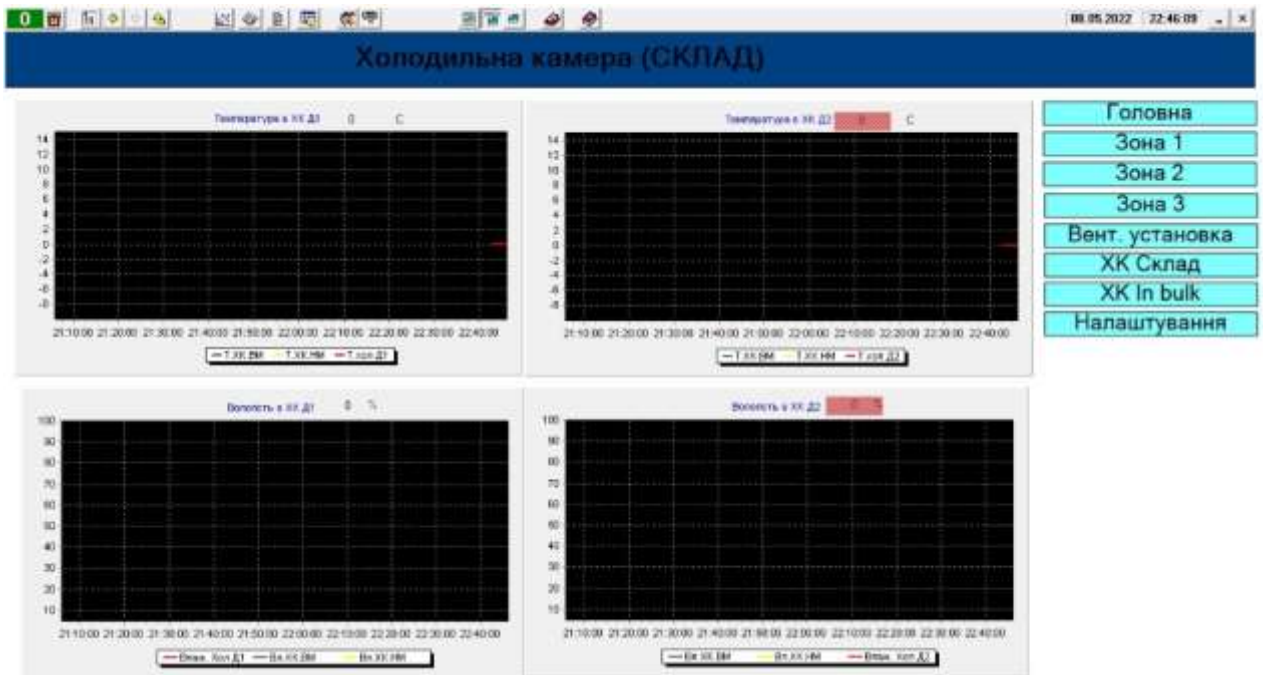


Рис. 6.4. Вікно холодильної камери

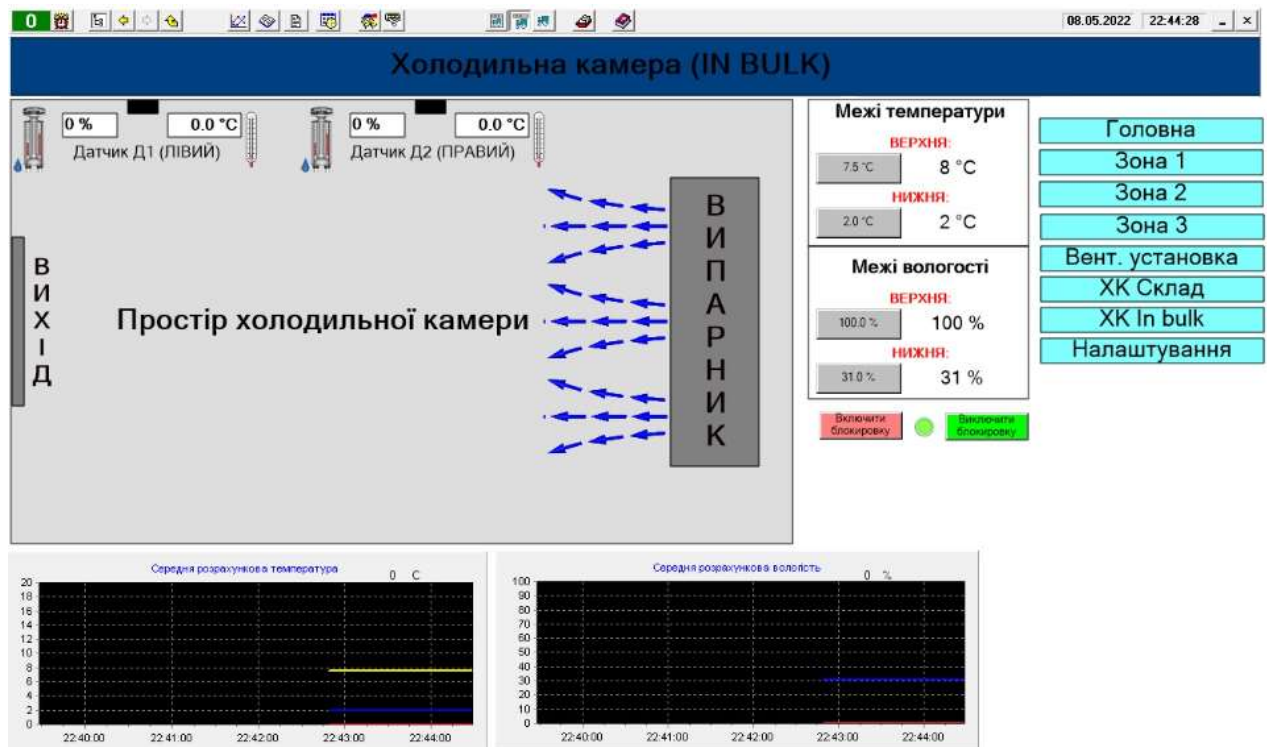


Рис. 6.5. Вікно мнемосхема віддаленого холодильного приміщення на фармацевтичному складі (ХК In bulk)

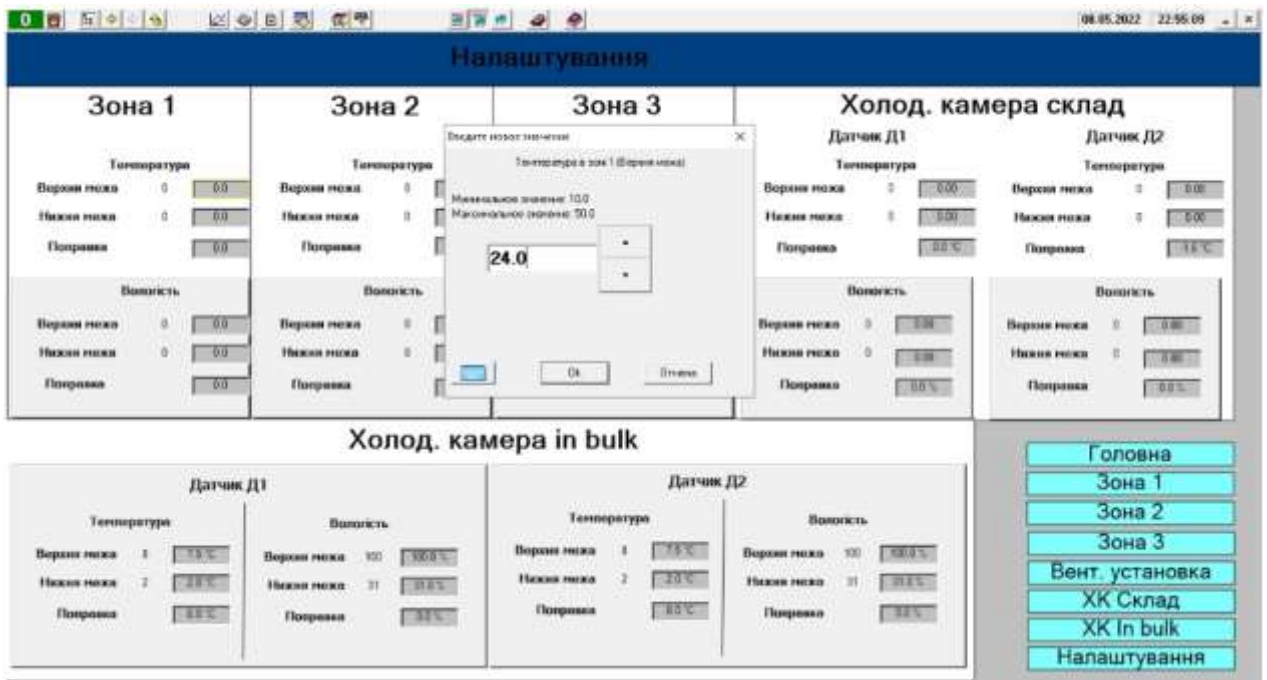


Рис. 6.6. Вікно налаштування меж показників (Налаштування)

**Вікно мнемосхеми "Вентиляційна установка".** На вікні мнемосхеми моніторингу та керування вентиляційної системи відображене зникнення зв'язку між сервером системи моніторингу та контролером керування вентиляцією.

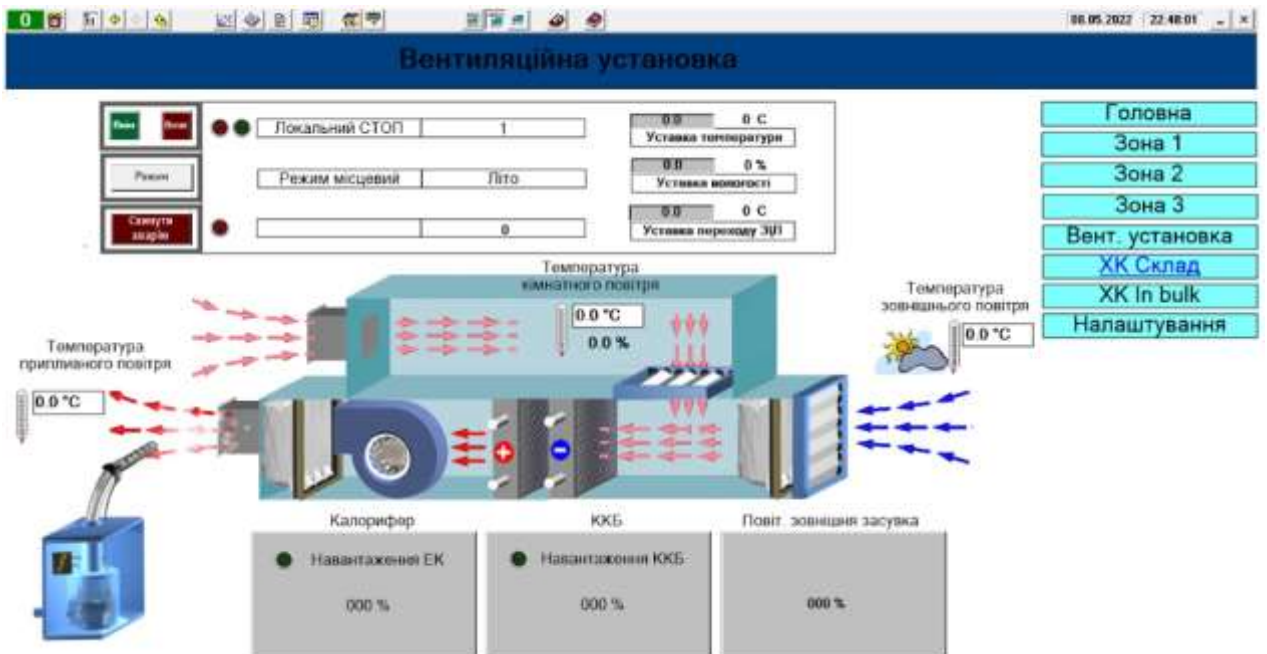


Рис. 6.7. Вікно мнемосхеми моніторингу та керування припливно-витяжною вентиляційною системою

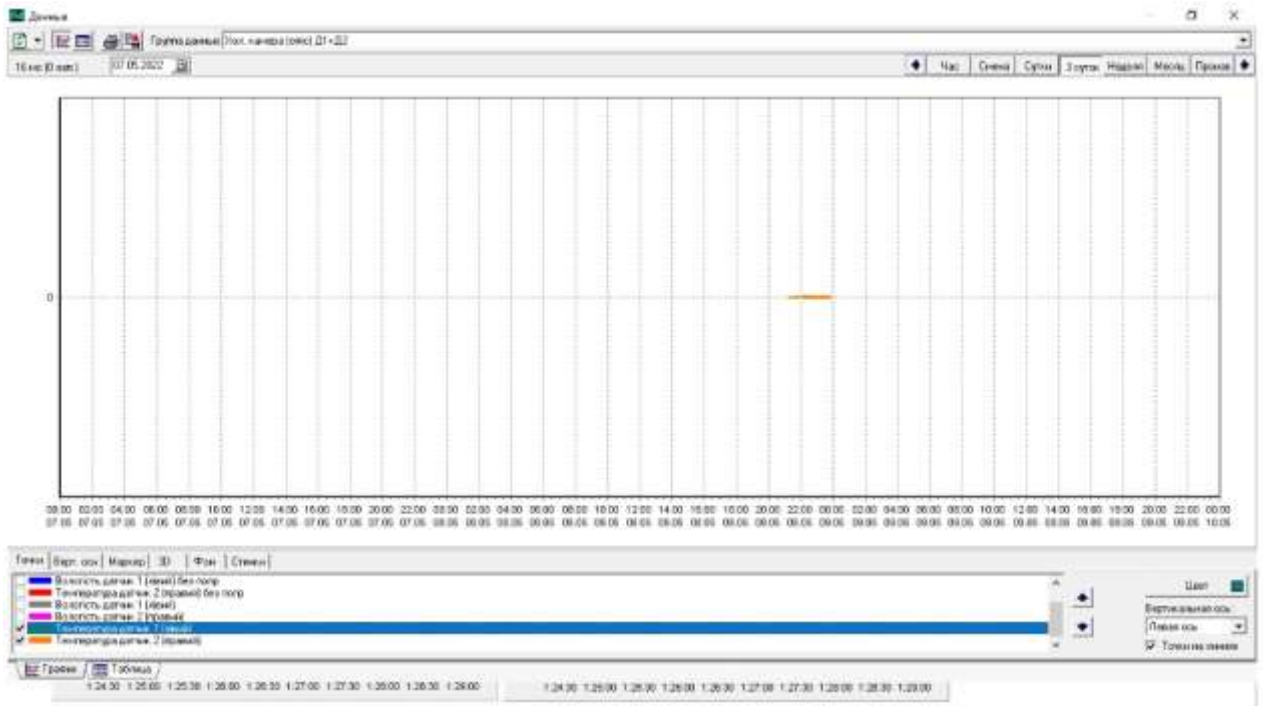


Рис. 6.8. Вікно виклику відображення архівних параметрів 

У вікні відображення архівних даних (рис. 6.8) можливо відображення архівних даних у вигляді графіків чи у табличному вигляді. Також можливо селекційно вибирати відображення параметрів, які необхідні. Ці параметри також можна роздрукувати, чи зберегти у файлі. Можна ще в цьому вікні форматувати відображення параметрів графіків по горизонталі, та по вертикалі змінивши проміжки часу та діапазону величин параметрів відповідно.



Рис. 6.9. Вікно відображення списку підготовлених звітів

На рис. 6.10 наведене вікно відображення протоколу роботи програмного комплексу, дій операторів, тривог, авторизації, робота обладнання, та інші.

Протокол

Модуль протоколирования\_1

Отображать категории событий

- Тревоги
- Авторизация
- Работа оборудования
- Запуск/останов модулей
- Команда оператора

Интервал времени, за который отображать события

Дата: 09.05.2022

Начало: 09.05.2022 00:00:00  
Конец : 10.05.2022 00:00:10

Выбор интервала отображения

| Событие   | Дата/время          | Категория              | Модуль                       |
|---|---------------------|------------------------|------------------------------|
| Модуль запущен                                      | 09-05-2022 01:24:00 | Запуск/останов модулей | Модуль отчетов_1 (DEMO)      |
| Модуль запущен                                      | 09-05-2022 01:24:02 | Запуск/останов модулей | Модуль архивирования_1 (D... |
| Вход пользователя склад                             | 09-05-2022 01:24:13 | Авторизация            | Модуль визуализации_1 (DE... |
| Выход пользователя склад                            | 09-05-2022 01:35:18 | Авторизация            | Модуль визуализации_1 (DE... |
| Вход пользователя склад                             | 09-05-2022 02:24:56 | Авторизация            | Модуль визуализации_1 (DE... |
| Задать "Температура в зоне 2 (Верхняя межа)" = 24.0 | 09-05-2022 02:36:40 | Команда оператора      | Модуль визуализации_1 (DE... |
| Задать "Температура в зоне 3 (Нижняя межа)" = 16.0  | 09-05-2022 02:37:14 | Команда оператора      | Модуль визуализации_1 (DE... |
| Задать "Вологість в зоні 3 (Верхня межа)" = 80.0    | 09-05-2022 02:37:24 | Команда оператора      | Модуль визуализации_1 (DE... |
| Задать "Вологість в зоні 3 (Нижня межа)" = 60.0     | 09-05-2022 02:37:29 | Команда оператора      | Модуль визуализации_1 (DE... |
| Переключить режим                                   | 09-05-2022 02:38:12 | Команда оператора      | Модуль визуализации_1 (DE... |
| Скинута аварія                                      | 09-05-2022 02:38:14 | Команда оператора      | Модуль визуализации_1 (DE... |

Рис. 6.10. Вікно відображення протоколу роботи програмного комплексу

## РОЗДІЛ 7

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Автоматизація технологічних процесів має забезпечувати підвищення ефективності виробництва продукції, збільшення продуктивності праці, зменшення енергоємності та собівартості продукції, терміну окупності капітальних витрат.

Узагальнюючим показником ефективності капітальних вкладень в розвиток автоматизації є зведені розрахункові витрати, які враховують річні експлуатаційні витрати і частку капіталовкладень, що припадає на один рік.

Зведені витрати визначають за виразом:

$$B_{зв} = C + E_H \cdot K, \quad (7.1)$$

де:  $B_{зв}$  – зведені витрати, грн./рік;

$C$  – річні експлуатаційні витрати, грн./рік;

$K$  – капітальні витрати, грн.;

$E_H$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, приймають  $E_H = 0,15$ .

До складу експлуатаційних витрат входять:

- витрати на оплату праці персоналу ( $C_3$ );
- утримання основних засобів виробництва ( $C_v$ );
- оплата електроенергії ( $C_E$ );
- інші прямі витрати ( $C_I$ ).

Витрати на оплату праці персоналу з експлуатації систем автоматизації визначають, виходячи з витрат праці і годинних ставок з урахуванням різних додаткових нарахувань та доплат. Ці витрати складають  $C_3 = 22,5$  грн./год.

Витрати на утримання основних засобів виробництва  $C_v$  складаються з відрахувань на амортизацію  $C_A$  (визначають у відсотках від балансової вартості обладнання приладів і засобів автоматизації, приймають  $C_A = 14,2\%$ ) та відрахувань на поточний ремонт  $C_{IP}$  (також визначають у відсотках від балансової вартості обладнання приладів і засобів автоматизації, приймають  $C_{IP} = 18\%$ ).

Витрати на електроенергію визначаються за споживаною потужністю приладів і тарифами на електроенергію для виробничих цілей (приймається  $2,93 \frac{\text{грн.}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$ ):

$$C_E = P_{СП} \cdot \Gamma \cdot 2,93, \quad (7.2)$$

де  $P_{СП}$  – потужність споживачів електроенергії;

$\Gamma$  – кількість годин роботи споживачів на рік.

Інші прямі витрати приймають рівними 1% від загальної суми експлуатаційних витрат:

$$C_I = 0,01 \cdot (C_3 + C_A + C_{IP} + C_E). \quad (7.3)$$

При визначенні капітальних вкладень необхідно враховувати:

- вартість технічних засобів автоматизації ( $K_3$ );
- торгівельно-транспортні та складські витрати ( $K_{TT}$ );
- витрати на монтаж технічних засобів ( $K_M$ );
- витрати на електропроводки ( $K_{IP}$ );
- інші капітальні витрати, пов'язані зі здійсненням автоматизації ( $K_I$ ).

Торгівельно-транспортні та складські витрати зазвичай приймаються рівними 11% від вартості технічних засобів:

$$K_{TT} = 0,11 \cdot K_3. \quad (7.4)$$

При визначенні витрат на монтажні роботи приблизно вважають, що вони складають 15...20% від вартості технічних засобів. Для розрахунку приймемо значення 17%:

$$K_M = 0,17 \cdot K_3. \quad (7.5)$$

Витрати на електропроводки складаються з вартості кабелів (проводів) та вартості їх прокладання. В практичних розрахунках приймають, що вартість прокладання 1м кабелю (проводу) відкритим способом складає 26–54 грн., в трубі - 150 грн.

Інші капітальні витрати, пов'язані зі здійсненням автоматизації, приймаються у розмірі 2% від вартості технічних засобів автоматизації:

$$K_I = 0,02 \cdot K_3. \quad (7.6)$$

Загальна вартість технічних засобів автоматизації складає

$$K_3 = K_{ТЗА} + K_{П}, \quad (7.7)$$

$K_{ТЗА}$  – вартість технічних засобів автоматики у складі САК, грн.;

$K_{П}$  – вартість плат та провідників, грн.

Вартість технічних засобів автоматизації визначається із загального кошторису системи керування.

Вартість технічних засобів автоматики у складі САК складає  
 $K_{ТЗА} = 14620,28$  грн.

Вартість плат та провідників  $K_{П} = 2550,00$  грн.

Загальна вартість технічних засобів автоматизації складає

$$K_3 = K_{ТЗА} + K_{П} = 14620,00 + 2550,00 = 17170,28 \text{ грн.}$$

Торгівельно-транспортні та складські витрати

$$K_{ТТ} = 0,11 \cdot K_3 = 0,11 \cdot 17170,28 = 1889 \text{ грн.}$$

Витрати на монтажні роботи

$$K_M = 0,17 \cdot K_3 = 0,17 \cdot 17170,28 = 2919,4 \text{ грн.}$$

Інші капітальні витрати, пов'язані зі здійсненням автоматизації

$$K_I = 0,02 \cdot K_3 = 0,02 \cdot 17170,28 = 343,5 \text{ грн.}$$

Капітальні вкладення складають

$$K = K_3 + K_{TT} + K_M + K_I = 24000 \text{ грн.}$$

Після визначення розміру капітальних вкладень можна визначити :

- відрахування на амортизацію

$$C_A = 0,142 \cdot K = 0,142 \cdot 2232218 = 3170,01 \text{ грн.};$$

- відрахування на поточний ремонт

$$C_{PP} = 0,18 \cdot K = 0,18 \cdot 223247 = 4017,99 \text{ грн.};$$

- утримання основних засобів виробництва

$$C_V = C_A + C_{PP} = 3170,01 + 4017,99 = 7188 \text{ грн.};$$

- витрати на електроенергію

$$C_E = P_{СП} \cdot \Gamma_{ТО} \cdot 2,93.$$

Оскільки загальна потужність споживачів електроенергії теплопункту  $P_{СП} = 19 \text{ кВт}$ , а кількість годин роботи технічного обладнання за 1 рік складає  $\Gamma_{ТО} = 300 \cdot 4 = 1200 \text{ год.}$ , витрати на електроенергію

$$C_E = 19 \cdot 1200 \cdot 2,93 = 66804 \text{ грн.}$$

Витрати на оплату праці персоналу з експлуатації системи автоматики (в нашому випадку 1 оператор-наладчик) становить

$$C_3 = 1 \cdot 22,5 \cdot 300 \cdot 8 = 54000 \text{ грн.},$$

де 1 – кількість операторів-наладчиків; 22,5 грн./год. – ставка оператора-наладчика за 1 год. роботи;  $K_{PO} = 300$  – кількість робочих днів за рік; 8 - кількість робочих годин за 1 добу.

Інші прямі витрати

$$C_I = 0,01 \cdot (C_3 + C_A + C_{PP} + C_E) = 0,01 \cdot (54000 + 3170,01 + 4017,99 + 66804) = 1279,91 \text{ грн.}$$

Тоді річні експлуатаційні витрати становитимуть

$$C = C_3 + C_A + C_{PP} + C_E + C_I = 129272 \text{ грн.}$$

Зведені витрати становитимуть

$$B_{ЗВ} = C + E_H \cdot K = 129272 + 0,15 \cdot 2232218 = 132620 \text{ грн.}$$

Чистий прибуток, років, можна визначити за виразом

$$Ч = \Delta C_3 + \Delta C_E, \quad (7.8)$$

де  $\Delta C_3$  – прибуток за рахунок економії заробітної плати, грн.;

$\Delta C_E$  – прибуток за рахунок економії електричної енергії, грн.

$$\Delta C_3 = C_3 - (22,5 \cdot K_{PO} \cdot n_{роб} \cdot 8) = 54000 - (22,5 \cdot 250 \cdot 1 \cdot 8) = 9000 \text{ грн.}$$

$$\Delta C_E = C_E - (P \cdot \Gamma_{TO} \cdot 0,293 \cdot \Delta IT) = 66804 - (19 \cdot 1200 \cdot 2,93 \cdot 0,85) = 10000 \text{ грн.}$$

$$\text{Тоді } Ч = \Delta C_3 + \Delta C_E = 9000 + 10000 = 19000 \text{ грн.}$$

Термін окупності установки складатиме

$$T_{окуп} = \frac{K}{Ч} = \frac{24000}{19000} = 1,3 \text{ року.}$$

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень

$$E = \frac{1}{T_{окуп}} = 0,77.$$

Після проведених розрахунків можна зробити висновок, що термін окупності при впровадженні розробленої САК температурним режимом на фармацевтичному складі складе 1,3 року, що вказує на доцільність її використання у виробництві.

## ВИСНОВКИ

При виконанні кваліфікаційної магістерської роботи згідно із завданням удосконалено систему автоматичного керування параметрами мікроклімату на фармацевтичному складі і отримані наступні результати:

1. Проведено аналіз сучасного стану автоматизації систем забезпечення параметрів мікроклімату фармацевтичних складів для зберігання готових лікарських препаратів, розроблена функціональна схема автоматизації системи керування припливно-витяжної системи вентиляції з рекуператором.

2. Для визначення динамічних властивостей фармскладу на основі рівнянь теплового балансу розроблена математична та імітаційна модель у середовищі MATLAB, за допомогою якої визначена передатна функція для каналу керування температурою повітря.

3. Обґрунтований вибір ПІ-алгоритму керування та комплексу технічних засобів автоматизації для реалізації системи керування параметрами мікроклімату, що складається з вимірювального модуля на базі датчиків ARDUINO та плати Arduino Nano, сервоприводів BELIMO SM24A, частотного перетворювача ATV 312HU55N4, програмно-логічного контролера ОВЕН ПЛК110 із необхідним додатковим обладнанням.

4. Цифрова САК температурою в будівлі забезпечує стійку роботу з наступними показниками якості: коливальність  $\sigma = 0$ ; статична похибка:  $\delta = 0\%$ ; час регулювання  $t_p = 1970$  с; перерегулювання відсутнє.

5. Розроблені електричні схеми САК температурним режимом, обґрунтований вибір електротехнічного обладнання, проводів і кабелів.

6. Економічні розрахунки показали, що термін окупності при впровадженні розробленої САК температурою на фармацевтичному складі дорівнюватиме 1,3 року, що вказує на доцільність її використання у виробництві.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Адсорбція // Фармацевтична енциклопедія / Голова ред. ради та автор передмови В.П. Черних ; Нац. Фармац. Ун-т. України, 2-ге вид. перероб і допов. – Київ : МОРІОН, 2010. – 1632 с.
2. Герасимчук Ю.В. Математична модель рекуперативного теплоутилізатора вентиляційних викидів тваринницьких приміщень. Науковий вісник НУБіП України. 2014. Вип. 194, №2. С.93-99.
3. ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель [Чинний від 2007-01-01]. – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2007 р. – 72 с.
4. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування [Чинний від 2014-01-01]. – К.: Держбуд України, 2014. – 113 с. (Державні будівельні норми).
5. ДБН А.3.1-5-2009. Організація будівельного виробництва [Чинний від 2010-01-01]. – К.: Міністерство регіонального розвитку і будівництва України, 2010. – 61 с.
6. Драганов Б.Х., Міщенко А.В., Борхаленко Ю.О. Основи теплотехніки і гідравліки: Навчальний посібник / За ред. Б.Х. Драганова. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 495с.
7. Драганов Б.Х. Оптимізація енергозберігаючих систем / Б.Х. Драганов, В.В. Козирський. – К: ФОП "Пилипенко О.М.", 2010. – 176 с.
8. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія [Чинний від 2011-01-01]. К.: Міністерство регіонального розвитку і будівництва Країни, 2011 р.–127 с.
9. Краснов Ю.С. Системи вентиляції та кондиціонування повітря. Рекомендації з проектування, випробувань і налагодження / Ю.С. Краснов, Борисоглібська А.П., Антипов А.В. К.: В-во "Термокул", 2004. – 373 с.
10. Курсове і дипломне проектування. Монтаж, обслуговування та ремонт електротехнічних установок в АПК: навчальний посібник / [Кашенко П.С., Біленко О.І., Устименко О.А та ін.]. – Київ: Аграрна освіта, 2008. – 502 с.
11. Мартиненко І. І. Автоматика в сільськогосподарському виробництві / І. І. Мартиненко, Б. Л. Головінський, Р. Д. Проценко. – К.: Урожай, 1989. – 168 с.
12. Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Лукач В.С. Проектування систем електрифікації та автоматизації сільського господарства. – К.: Вища школа, 1999. – 201 с.
13. Мілозеров О.В., Панков І.Г. Електротехніка: Навч. посібник для ВНЗ. – К.: Урожай, 2006. – 288с.
14. Парков В.В. Особливості проектування сучасних систем водяного опалення / В.В.Парков – Київ://ДП "Такі справи", 2003. – 176 с.– іл.

15. Пономарчук А.Ф. Методичні вказівки для виконання курсового проекту з дисципліни "Опалення" / А.Ф. Пономарчук, І.А. Пономарчук, О.Б. Волошин. Вінниця ВНТУ 2005, - 56 с.
16. Решетюк В.М., Мірошник В.О. Типові технологічні процеси і об'єкти виробництва. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2008. – 62 с.
17. Електротехнічний довідник/Алієв І.І. - К.:В–во РадіоСофт, 2006.–384с.
18. Горобець В.Г. Комп'ютерне математичне моделювання процесів тепло- і масо переносу при вентиляції повітря в птахівничих приміщеннях [Електронний ресурс] / В.Г. Горобець, В.І. Троханяк // Мелітополь: ТДАТУ. – 2015. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf5t1/24.pdf>.
19. Обробка і передача інформації. Сучасні комп'ютерні технології. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://subject.com.ua/article/article2018/152.html>
20. Вартість електроенергії для підприємств. Як затримати ріст цін? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://inteleng.com.ua/blog-uk/vartist-elektroenergii-dlya-pidpriie/>
21. Припливно-витяжна вентиляція в частому домі своїми руками – установка, розрахунок та проектування. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://teplogrur.ru/ventilyatsiya/tipovye-shemy-i-pravila-sostavleniya-proektasistemy-ventilyacii-v-chastnom-dome.html> (дата звернення 03.02.2024).
22. Керування мікрокліматом фармацевтичних складів зберігання готових лікарських засобів. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://adventeks.com.ua/vikonani-proekti/6-sistema-upravleniya-klimatom-i-otopleniem-farmatsevticheskogo-sklada>
23. Рекуператори з проміжних теплоносієм. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://rekuperation.ru/rekuperator-s-promezhutochnym-teplonositelem/> (дата звернення 03.02.2024)
24. Що таке адсорбційний осушувач повітря. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://energomir.su/blog/chto-takoe-adsorbtsionnyi-osushitel> (дата звернення 03.02.2024).
25. Вимоги до параметрів мікроклімату приміщень фармацевтичної галузі. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://trotec.com.ua/uk/blog/osushennya-povitrya-na-farmacevtychnyh-skladah-i-v-aptekah-za-dopomogoyu-obladnannya-trotek/>
26. Математична модель енерговитрат у теплиці / А.О. Дудник, В.П. Лисенко, В.О. Мірошник // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія "Техніка та енергетика АПК" / Редкол.: Д.О. Мельничук (відп. Ред.) та ін. – К.: ВЦ НУБіП України, 2013. – Вип. 184, Ч.2 – С. 119-128.

27. Огляд плат Arduino. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://distancionka.com/ua/blog/arduino/obzor-plat-arduino/?srsltid=AfmBOop5jp0uhy73sEFnSpaXn72hmHgxx4qGXvDvDa\\_mDnd38-rPivF-](https://distancionka.com/ua/blog/arduino/obzor-plat-arduino/?srsltid=AfmBOop5jp0uhy73sEFnSpaXn72hmHgxx4qGXvDvDa_mDnd38-rPivF-)
28. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Мікропроцесорні пристрої. Програмування контролерів Arduino» для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». В.О. Величко, А.А. Дігтяр, М.В. Величко. – Харків: видавництво Харківського державного політехнічного коледжу, 2019. – 58 с.
29. Биков В. Ю. Інформаційні технології і засоби навчання / В. Ю. Биков. – К. : Атіка, 2008. – 684 с.
30. А. Р. Купінський, І. Ю. Юрчак «Принципи побудови метеостанції для спостереження за мікрокліматом у приміщенні на платформі Arduino», Computer systems and networks, Vol. 3, No. 1, 2021. с. 68-79. DOI:10.23939/csn2021.01/068.
31. Digital-output relative humidity & temperature sensor/module – DHT11: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/docs/DHT11.pdf> (дата звернення: 26.07.2024).
32. Datasheet BMP280 Digital Pressure Sensor : [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf> (дата звернення: 29.07.2024).
33. GL55 Series Photoresistor : [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/docs/GL55Series.pdf> (дата звернення: 29.07.2024).
34. TECHNICAL DATA MQ-135 GAS SENSOR: [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/Gas/SNS\\_MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf](https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/Gas/SNS_MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf) (дата звернення: 26.07.2022).
35. ESP8266EX Datasheet : [Електронний ресурс]. Режим доступу: [https://espressif.com/sites/default/files/documentation/0aesp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://espressif.com/sites/default/files/documentation/0aesp8266ex_datasheet_en.pdf) (дата звернення: 29.07.2024).
36. DC-DC понижуючий конвертер LM2596 з 4.5-40В до 3-35В : [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod650-DC-DC-ponijaushhii-konverter-c-4-5-60V-do-3-35V> (дата звернення: 29.03.2022).

| № кімнати | Назва       | Позначення | Розміри, м |            | Орієнтація | Площа, м <sup>2</sup> | K, Вт/м <sup>2</sup> К | Δt, °С | n  | Додаткові тепловтрати |       |       |       |        | Тепловтрати конструкції, Вт | Темп. прим., Вт | Площа прим. м <sup>2</sup> | Висота приміщ. | Тепловтрати на Вентиляцію, Вт | Зар. тепловтр., Вт | Радіатори |           |
|-----------|-------------|------------|------------|------------|------------|-----------------------|------------------------|--------|----|-----------------------|-------|-------|-------|--------|-----------------------------|-----------------|----------------------------|----------------|-------------------------------|--------------------|-----------|-----------|
|           |             |            | ширина     | висота     |            |                       |                        |        |    | орієнтація            | вітер | стіни | двері | Σ      |                             |                 |                            |                |                               |                    | типорозм  | кількість |
| 102       | Східина +16 | 3Ст        | 3х         | 5,6        | 3,3        | 18,5                  | 0,26                   | 37     | 1  | 5                     | 5     | -     | -     | -      | 195,8                       | 34,76           | 3,3                        | 1430,3         | 2243,4                        | FTV 22-500×1158    | 23        | шт.       |
|           |             |            |            |            |            |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |        |                             |                 |                            |                |                               |                    |           |           |
|           |             | 3Ст        | Пд         | 3,9        | 3,3        | 13,0                  | 0,26                   | 37     | 1  | -                     | 5     | -     | -     | 131,3  |                             |                 |                            |                |                               |                    |           |           |
|           |             |            |            |            |            |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |        | П                           | -               | -                          | -              | 34,76                         | 0,23               | 21        | 0,6       |
|           |             | 3Ст        | 3х         | 17,5       | 3,3        | 57,8                  | 0,26                   | 36     | 1  | 5                     | 5     | 5     | -     | 622,1  |                             |                 |                            |                |                               |                    |           |           |
|           |             |            |            |            |            |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |        | 3Ст                         | Пд              | 9,2                        | 3,3            | 30,4                          | 0,26               | 36        | 1         |
|           |             | 3Ст        | Сх         | 22,3       | 3,3        | 73,6                  | 0,26                   | 36     | 1  | 10                    | 5     | 5     | -     | 826,7  |                             |                 |                            |                |                               |                    |           |           |
|           |             |            |            |            |            |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |        | В                           | Пд              | 2(1,6х2,5)                 | 9,3            | 1,9                           | 36                 | 1         | -         |
|           |             | В          | Сх         | 6(1,6х2,5) | 27,5       | 1,9                   | 36                     | 1      | 10 | 5                     | 5     | 5     | -     | 2257,2 |                             |                 |                            |                |                               |                    |           |           |
|           |             |            |            |            |            |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |        | В                           | Сх              | 1,6х2,5                    | 4,6            | 1,9                           | 36                 | 1         | 10        |
| П         | -           | -          | 237,6      | 0,23       | 20         | 0,6                   | -                      | -      | -  | -                     | -     | 655,7 |       |        |                             |                 |                            |                |                               |                    |           |           |

**ДОДАТОК А1**  
Тепловтрати приміщення, 1-й поверх

|     |                          |     |    |     |     |     |      |    |     |    |    |   |   |      |        |        |       |     |       |        |                 |       |  |
|-----|--------------------------|-----|----|-----|-----|-----|------|----|-----|----|----|---|---|------|--------|--------|-------|-----|-------|--------|-----------------|-------|--|
| 104 | Приміщення персоналу ±18 | 3Ст | Сх | 2,7 | 3,3 | 8,9 | 0,26 | 39 | 1   | 10 | 5  | - | - | 1,15 | 109,2  | 17     | 18    | 19  | 20    | 21     | 22              | 23    |  |
|     |                          | В   | Сх | 1,6 | 2,9 | 16, | 1,9  | 39 | 1   | 10 | 5  | - | - | 1,15 | 1442,3 | 1606,3 | 15,9  | 3,3 | 724,9 | 2313,2 | FTV 22-500×2316 | шт. 1 |  |
|     |                          | П   | -  | -   | -   | 15, | 0,23 | 25 | 0,6 | -  | -- | - | - | -    | -      | 54,8   |       |     |       |        |                 |       |  |
| 107 | Санвузол ±20             | 3Ст | Сх | 1,2 | 3,3 | 4,1 | 0,26 | 41 | 1   | 10 | 5  | 5 | - | 1,2  | 52,8   | 129    | 2,06  | 3,3 | 93,9  | 222,9  | FTV 11-500×459  | шт. 1 |  |
|     |                          | 3Ст | Сх | 1,6 | 3,3 | 5,4 | 0,26 | 41 | 1   | 10 | 5  | 5 | - | 1,2  | 69,1   |        |       |     |       |        |                 |       |  |
|     |                          | П   | -  | -   | -   | 2,0 | 0,23 | 25 | 0,6 | -  | -  | - | - | -    | 7,1    |        |       |     |       |        |                 |       |  |
| 108 | Електроштова +10         | 3Ст | Сх | 2,5 | 3,3 | 8,3 | 0,26 | 31 | 1   | 10 | 5  | 5 | - | 1,2  | 80,3   | 360,3  | 8,94  | 3,3 | 308,2 | 668,5  | FTV 11-500×668  | шт. 1 |  |
|     |                          | 3Ст | Пн | 3,5 | 3,3 | 11, | 0,26 | 31 | 1   | 10 | 5  | 5 | - | 1,2  | 113,1  |        |       |     |       |        |                 |       |  |
|     |                          | В   | Сх | 1,3 | 1,6 | 2,1 | 1,9  | 31 | 1   | 10 | 5  | 5 | - | 1,2  | 148,4  |        |       |     |       |        |                 |       |  |
| 111 | Холова кітлина +15       | П   | -  | -   | -   | 8,9 | 0,23 | 15 | 0,6 | -  | -  | - | - | -    | 18,5   | 914    | 17,84 | 3,3 | 734,0 | 1648   | FTV 22-500×965  | шт. 2 |  |
|     |                          | 3Ст | Зх | 6,3 | 3,3 | 20, | 0,26 | 37 | 1   | 5  | 5  | 5 | - | 1,15 | 230,1  |        |       |     |       |        |                 |       |  |
|     |                          | 3Ст | Зх | 2,8 | 3,3 | 9,4 | 0,26 | 37 | 1   | 10 | 5  | 5 | - | 1,2  | 108,5  |        |       |     |       |        |                 |       |  |
|     |                          | Д   | Пн | 1,3 | 2,1 | 2,7 | 2,64 | 37 | 1   | -  | -  | - | - | 95   | 1,95   | 523,8  |       |     |       |        |                 |       |  |
|     |                          | П   | Пн | -   | -   | 17, | 0,23 | 21 | 0,6 | -  | -  | - | - | 51,6 |        |        |       |     |       |        |                 |       |  |

**ДОДАТОК А2**  
Тепловтрати приміщення, 1-й поверх (продовження)

| № кімнати | Назва | Позначення | Орієнтація | Розміри, м |        | Площа, м <sup>2</sup> | K, Вт/м <sup>2</sup> К | Δt, °С | n  | Додаткові теплоізотри |       |       |       |    | Тепловтрати конструкції, Вт | Темп. прим., Вт | Площа прим., м <sup>2</sup> | Висота приміщ., | Тепловтрати на Вентиляцію, Вт | Зар. теплової, Вт | Радіатори |           |       |                 |      |                                |     |    |     |     |      |        |         |        |     |         |         |       |       |      |      |      |     |       |       |                |       |            |
|-----------|-------|------------|------------|------------|--------|-----------------------|------------------------|--------|----|-----------------------|-------|-------|-------|----|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------|-----------|-----------|-------|-----------------|------|--------------------------------|-----|----|-----|-----|------|--------|---------|--------|-----|---------|---------|-------|-------|------|------|------|-----|-------|-------|----------------|-------|------------|
|           |       |            |            | ширина     | висота |                       |                        |        |    | орієнтація            | вітер | стіни | двері | Σ  |                             |                 |                             |                 |                               |                   | типорозм  | кількість |       |                 |      |                                |     |    |     |     |      |        |         |        |     |         |         |       |       |      |      |      |     |       |       |                |       |            |
| 202       |       | 3Ст        | Сх         | 4          | 5      | 7                     | 8                      | 9      | 10 | 11                    | 12    | 13    | 14    | 15 | 16                          | 17              | 18                          | 19              | 20                            | 21                | 22        | 23        | 1 шт. | FTV 22-500×2702 |      |                                |     |    |     |     |      |        |         |        |     |         |         |       |       |      |      |      |     |       |       |                |       |            |
|           |       |            |            |            |        |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |    |                             |                 |                             |                 |                               |                   |           |           |       |                 | 15,8 | 0,26                           | 40  | 1  | 5   | 5   | 5    | 188,9  | 11019,8 | 356,05 | 3,3 | 15838,5 | 26858,3 | 185,5 | 120,1 |      |      |      |     |       |       |                |       |            |
|           |       |            |            |            |        |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |    |                             |                 |                             |                 |                               |                   |           |           |       |                 | 17,8 | 0,26                           | 40  | 1  | 10  | 5   | 5    | 222,1  |         |        |     |         |         |       |       |      |      |      |     |       |       |                |       |            |
|           |       |            |            |            |        |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |    |                             |                 |                             |                 |                               |                   |           |           |       |                 | 20,4 | 0,26                           | 40  | 1  | 10  | 5   | 5    | 254,6  |         |        |     |         |         |       |       |      |      |      |     |       |       |                |       |            |
|           |       |            |            |            |        |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |    |                             |                 |                             |                 |                               |                   |           |           |       |                 | 4,95 | 0,26                           | 40  | 1  | 10  | 5   | 5    | 61,8   |         |        |     |         |         |       |       |      |      |      |     |       |       |                |       |            |
|           |       |            |            |            |        |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |    |                             |                 |                             |                 |                               |                   |           |           |       |                 | 57,8 | 0,26                           | 40  | 1  | 5   | 5   | 5    | 691,3  |         |        |     |         |         |       |       |      |      |      |     |       |       |                |       |            |
|           |       |            |            |            |        |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |    |                             |                 |                             |                 |                               |                   |           |           |       |                 | 87   | 1,9                            | 40  | 1  | 5   | 5   | 5    | 8652,6 |         |        |     |         |         |       |       |      |      |      |     |       |       |                |       |            |
|           |       |            |            |            |        |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |    |                             |                 |                             |                 |                               |                   |           |           |       |                 | 10,4 | 1,9                            | 40  | 1  | 10  | 5   | 5    | 948,5  |         |        |     |         |         |       |       |      |      |      |     |       |       |                |       |            |
|           |       |            |            |            |        |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |    |                             |                 |                             |                 |                               |                   |           |           |       |                 | 203  | Приміщення першого поверху +18 | 3Ст | Сх | 1,7 | 3,3 | 5,61 | 0,26   | 39      | 1      | 10  | 5       | -       | -     | 1,15  | 65,4 | 65,4 | 2,77 | 3,3 | 120,1 | 185,5 | FTV 11-400×379 | 1 шт. |            |
|           |       |            |            |            |        |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |    |                             |                 |                             |                 |                               |                   |           |           |       |                 |      |                                |     |    |     |     |      |        |         |        |     |         |         |       |       |      |      |      |     |       |       |                |       | 3(1,6×2,5) |

**ДОДАТОК А3**  
Тепловтрати приміщення, 2-й та 3-й поверх (2-й та 3-й поверхи однакові)

|     |     |                 |                 |   |     |     |          |      |     |     |          |   |      |    |     |       |   |   |    |   |      |       |       |      |      |       |       |                     |       |       |                     |    |                    |     |     |     |     |    |   |   |   |      |       |       |       |      |      |      |      |       |       |       |     |
|-----|-----|-----------------|-----------------|---|-----|-----|----------|------|-----|-----|----------|---|------|----|-----|-------|---|---|----|---|------|-------|-------|------|------|-------|-------|---------------------|-------|-------|---------------------|----|--------------------|-----|-----|-----|-----|----|---|---|---|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-----|
| 1   | 204 | 2               | Санвузол<br>+20 | 3 | ЗСт | 4   | Сх       | 5    | 1,6 | 3,3 | 5,2<br>8 | 8 | 0,26 | 41 | 1   | 10    | 5 | - | 14 | - | 1,15 | 64,7  | 64,7  | 17   | 64,7 | 18    | 2,55  | 3,3                 | 457,3 | 933,6 | FTV 11-<br>500×1032 | 22 | FTV 11-<br>400×379 | 23  | шт. |     |     |    |   |   |   |      |       |       |       |      |      |      |      |       |       |       |     |
| 205 |     | Гардероб<br>+25 | ЗСт             | Щ | 3,3 | 3,3 | 11,<br>9 | 0,26 | 46  | 1   | 10       | 5 | 5    | -  | 1,2 | 166,5 | 5 | 5 | 5  | - | 1,15 | 113,9 | 476,3 | 8,94 | 3,3  | 457,3 | 933,6 | FTV 11-<br>500×1032 |       |       |                     |    |                    |     |     |     |     |    |   |   |   |      |       |       |       |      |      |      |      |       |       |       |     |
|     |     |                 |                 |   |     |     |          |      |     |     |          |   |      |    |     |       |   |   |    |   |      |       |       |      |      |       |       |                     |       |       |                     |    | 3С                 | 1   | 2,5 | 3,3 | 8,2 | 46 | 1 | 5 | 5 | -    | 1,15  | 113,9 | 113,9 | 17   | 64,7 | 18   | 2,55 | 3,3   | 457,3 | 933,6 | шт. |
|     |     |                 |                 |   |     |     |          |      |     |     |          |   |      |    |     |       |   |   |    |   |      |       |       |      |      |       |       |                     |       |       |                     |    | В                  | 1,3 | 1,5 | 1,9 | 46  | 1  | 5 | 5 | - | 1,15 | 195,9 | 195,9 | 17    | 64,7 | 18   | 2,55 | 3,3  | 457,3 | 933,6 | шт.   |     |

**ДОДАТОК А4**  
Тепловтраги приміщення, 2-й та 3-й поверх (продовження)

| № кімнати | Назва | Позначення | Орієнтація | Розміри, м |        | Площа, м <sup>2</sup> | K, Вт/м <sup>2</sup> К | Δt, °С | n  | Додаткові теплоізотри |       |       |       |      | Тепловрати конструкції, Вт | Тем. прим., Вт | Площа прим. м <sup>2</sup> | Висота примщ., | Тепловрати на Вентиляцію, Вт | Зар. тепловтр., Вт | Радіатори       |            |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |     |      |    |   |    |   |   |   |     |      |     |    |      |     |      |      |    |   |   |   |   |      |       |   |   |    |     |    |     |    |   |   |   |   |   |      |        |   |    |            |      |     |    |   |    |   |   |   |   |     |       |      |   |   |        |      |    |   |   |   |   |   |   |   |        |
|-----------|-------|------------|------------|------------|--------|-----------------------|------------------------|--------|----|-----------------------|-------|-------|-------|------|----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|------------------------------|--------------------|-----------------|------------|-----|----|-----|-----|------|------|----|---|----|---|---|---|-----|-------|-----|----|-----|-----|------|------|----|---|----|---|---|---|-----|-------|-----|----|-----|-----|-----|------|----|---|----|---|---|---|-----|------|-----|----|------|-----|------|------|----|---|---|---|---|------|-------|---|---|----|-----|----|-----|----|---|---|---|---|---|------|--------|---|----|------------|------|-----|----|---|----|---|---|---|---|-----|-------|------|---|---|--------|------|----|---|---|---|---|---|---|---|--------|
|           |       |            |            | ширина     | висота |                       |                        |        |    | опієнтація            | вітер | стіни | двери | Σ    |                            |                |                            |                |                              |                    | типороз         | кількість  |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |     |      |    |   |    |   |   |   |     |      |     |    |      |     |      |      |    |   |   |   |   |      |       |   |   |    |     |    |     |    |   |   |   |   |   |      |        |   |    |            |      |     |    |   |    |   |   |   |   |     |       |      |   |   |        |      |    |   |   |   |   |   |   |   |        |
| 1         | 2     | 3          | 4          | 5          | 6      | 7                     | 8                      | 9      | 10 | 11                    | 12    | 13    | 14    | 15   | 16                         | 17             | 18                         | 19             | 20                           | 21                 | 22              | 23         |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |     |      |    |   |    |   |   |   |     |      |     |    |      |     |      |      |    |   |   |   |   |      |       |   |   |    |     |    |     |    |   |   |   |   |   |      |        |   |    |            |      |     |    |   |    |   |   |   |   |     |       |      |   |   |        |      |    |   |   |   |   |   |   |   |        |
| 402       |       | 3Ст        | 3х         | 4,8        | 3,3    | 15,8                  | 0,26                   | 40     | 1  | 5                     | 5     | 5     | -     | 1,15 | 188,9                      |                | 309,8                      | 3,3            | 13781,14                     | 26919,9            | FTV 22-500×2702 | т.<br>11шт |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |     |      |    |   |    |   |   |   |     |      |     |    |      |     |      |      |    |   |   |   |   |      |       |   |   |    |     |    |     |    |   |   |   |   |   |      |        |   |    |            |      |     |    |   |    |   |   |   |   |     |       |      |   |   |        |      |    |   |   |   |   |   |   |   |        |
|           |       |            |            |            |        |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |      |                            |                |                            |                |                              |                    |                 |            | 3Ст | Сх | 5,4 | 3,3 | 17,8 | 0,26 | 40 | 1 | 10 | 5 | 5 | - | 1,2 | 222,1 |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |     |      |    |   |    |   |   |   |     |      |     |    |      |     |      |      |    |   |   |   |   |      |       |   |   |    |     |    |     |    |   |   |   |   |   |      |        |   |    |            |      |     |    |   |    |   |   |   |   |     |       |      |   |   |        |      |    |   |   |   |   |   |   |   |        |
|           |       |            |            |            |        |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |      |                            |                |                            |                |                              |                    |                 |            |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       | 3Ст | Сх | 6,2 | 3,3 | 20,4 | 0,26 | 40 | 1 | 10 | 5 | 5 | - | 1,2 | 254,6 |     |    |     |     |     |      |    |   |    |   |   |   |     |      |     |    |      |     |      |      |    |   |   |   |   |      |       |   |   |    |     |    |     |    |   |   |   |   |   |      |        |   |    |            |      |     |    |   |    |   |   |   |   |     |       |      |   |   |        |      |    |   |   |   |   |   |   |   |        |
|           |       |            |            |            |        |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |      |                            |                |                            |                |                              |                    |                 |            |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       | 3Ст | Пн | 1,5 | 3,3 | 4,9 | 0,26 | 40 | 1 | 10 | 5 | 5 | - | 1,2 | 61,8 |     |    |      |     |      |      |    |   |   |   |   |      |       |   |   |    |     |    |     |    |   |   |   |   |   |      |        |   |    |            |      |     |    |   |    |   |   |   |   |     |       |      |   |   |        |      |    |   |   |   |   |   |   |   |        |
|           |       |            |            |            |        |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |      |                            |                |                            |                |                              |                    |                 |            |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |     |      |    |   |    |   |   |   |     |      | 3Ст | 3х | 17,5 | 3,3 | 57,8 | 0,26 | 40 | 1 | 5 | 5 | - | 1,15 | 691,3 |   |   |    |     |    |     |    |   |   |   |   |   |      |        |   |    |            |      |     |    |   |    |   |   |   |   |     |       |      |   |   |        |      |    |   |   |   |   |   |   |   |        |
|           |       |            |            |            |        |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |      |                            |                |                            |                |                              |                    |                 |            |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |     |      |    |   |    |   |   |   |     |      |     |    |      |     |      |      |    |   |   |   |   |      |       | В | - | 30 | 2,9 | 87 | 1,9 | 40 | 1 | 5 | 5 | 5 | - | 1,15 | 8652,6 |   |    |            |      |     |    |   |    |   |   |   |   |     |       |      |   |   |        |      |    |   |   |   |   |   |   |   |        |
|           |       |            |            |            |        |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |      |                            |                |                            |                |                              |                    |                 |            |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |     |      |    |   |    |   |   |   |     |      |     |    |      |     |      |      |    |   |   |   |   |      |       |   |   |    |     |    |     |    |   |   |   |   |   |      |        | В | Сх | 3(1,6×2,5) | 10,4 | 1,9 | 40 | 1 | 10 | 5 | 5 | 5 | - | 1,2 | 948,5 |      |   |   |        |      |    |   |   |   |   |   |   |   |        |
|           |       |            |            |            |        |                       |                        |        |    |                       |       |       |       |      |                            |                |                            |                |                              |                    |                 |            |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |      |      |    |   |    |   |   |   |     |       |     |    |     |     |     |      |    |   |    |   |   |   |     |      |     |    |      |     |      |      |    |   |   |   |   |      |       |   |   |    |     |    |     |    |   |   |   |   |   |      |        |   |    |            |      |     |    |   |    |   |   |   |   |     |       | Покр | - | - | 309,80 | 0,18 | 38 | 1 | - | - | - | - | - | - | 2119,0 |

**ДОДАТОК А5**  
Тепловрати приміщення, 4-й поверх

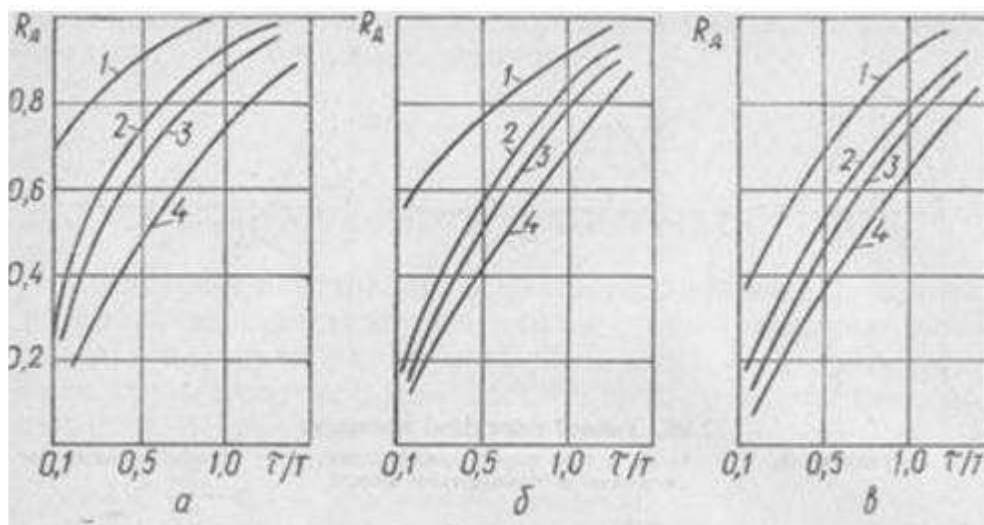
## ДОДАТОК Б1

Розрахункові дані для побудови нормованої розгінної характеристики  
будівлі складу для каналу регулювання температури повітря

| Час $t_i, c$ | Температура<br>$T, ^\circ C$ | $y(t_i)$ | Час $t_i, c$ | Температура<br>$T, ^\circ C$ | $y(t_i)$ |
|--------------|------------------------------|----------|--------------|------------------------------|----------|
| 0            | 10,000                       | 0        | 4000         | 17,233                       | 0,882    |
| 250          | 10,767                       | 0,093    | 4250         | 17,367                       | 0,898    |
| 500          | 11,733                       | 0,211    | 4500         | 17,467                       | 0,911    |
| 750          | 12,667                       | 0,325    | 4750         | 17,567                       | 0,923    |
| 1000         | 13,400                       | 0,415    | 5000         | 17,633                       | 0,931    |
| 1250         | 14,000                       | 0,488    | 5500         | 17,767                       | 0,947    |
| 1500         | 14,500                       | 0,549    | 6000         | 17,900                       | 0,963    |
| 1750         | 14,967                       | 0,606    | 6500         | 17,967                       | 0,972    |
| 2000         | 15,367                       | 0,654    | 7000         | 18,033                       | 0,980    |
| 2250         | 15,733                       | 0,699    | 7500         | 18,067                       | 0,984    |
| 2500         | 16,033                       | 0,736    | 8000         | 18,100                       | 0,988    |
| 2750         | 16,300                       | 0,768    | 8500         | 18,133                       | 0,992    |
| 3000         | 16,533                       | 0,797    | 9000         | 18,167                       | 0,996    |
| 3250         | 16,720                       | 0,820    | 9500         | 18,200                       | 1,000    |
| 3500         | 16,933                       | 0,846    | 10000        | 18,200                       | 1,000    |
| 3750         | 17,100                       | 0,866    |              |                              |          |

## Додаток Б2

Графічні залежності для визначення алгоритму керування



## Додаток В1

### Технічні характеристики програмно-логічного контролера ОВЕН ПЛК110

#### Загальні відомості

|  |   |
|--|---|
| Габаритні розміри, не більше             | (208 × 110 × 73) ± 1 мм                                   |
| Вага, не більше                          | 0,75 кг   |
| Ступінь захисту корпусу за ГОСТ 14254-96 | IP20 зі сторони передньої панелі,<br>IP00 зі сторони клем |
| Індикація на передній панелі             | Світлодіодна  |
| Середнє напрацювання на відмову          | 100 000 год.  |
| Середній термін служби                   | 10 років  |

#### Живлення

|  |   |
|--|---|
| Напруга живлення:<br>ПЛК110-24.X-X     | з 22 по 28 В постійного струму<br>(номінальна 24 В)   |
| ПЛК110-220.X-X                         | від 90 до 264 В змінного струму<br>(номінальна 110/220 В)<br>частотою 47-63 Гц<br>(номінальне значення 50 Гц) |
| Споживана потужність, не більше        | 40 ВА   |
| Параметри вбудованого джерела живлення | Вихідна напруга 24±3 В,<br>струм споживання не більше 400 мА  |
| Акумулятор резервного живлення         | LIR2477 (термін служби залежить від умов експлуатування, але не більше 5 років)                               |

#### Цифрові (дискретні входи)

|   |   |
|---|---|
| Кількість входів  | 16  |
| із них швидкодіючих   | 4 (DI1-DI4)   |
| Тип входів за ГОСТ р 52931-2008   | 1 і 2   |
| Напруга живлення дискретних входів  | 24 ± 3 В  |
| Максимальний вхідний струм дискретного входу  | не більше 7 мА при живленні 24 В,<br>не більше 8,5 мА при живленні 27 В |
| Сигнал "логічної одиниці", який відповідає стану "Увімкнено", дискретних виходів для постійної напруги (струм у колі) | від 15 до 30 В (струм від 3 до 15 мА)                                   |
| Сигнал "логічного нуля", який відповідає стану "Вимкнено", дискретних входів для постійної напруги (струм у колі)     | від мінус 3-5 В (струм 15 мА)   |

|  |   |
|--|---|
| Мінімальна тривалість імпульсу, який сприймається дискретним входом              |   |
| – для звичайних входів   | 1 мс  |
| – для швидкодіючих   | 0,02 мс   |
| Вхідні пристрої, які підмикаються  | – комутаційні пристрої (контакти кнопок, вимикачів, герконів, реле, тощо);<br>– датчики, які мають на виході транзистор n-p-n або p-n-p– типу з відкритим колектором;<br>– дискретні сигнали $24 \pm 3$ В   |
| Гальванічна розв'язка  | Групова   |
| Електрична міцність ізоляція між групою дискретних входів та:                    |   |
| – колами живлення  | 1780 В  |
| – групами кіл дискретних виходів   | 1780 В  |
| – групами інших кіл  | 560 В   |
| <b>Дискретні виходи (контакти електромагнітних реле)</b>                         |   |
| Кількість релейних вихідних каналів  | 12  |
| Гальванічна розв'язка  | Індивідуальна (для DO1-DO8),<br>групова (DO9-DO10),<br>групова (DO11-DO12)  |
| Електрична міцність ізоляції між групами дискретних виходів та групами інших кіл | 1780 В  |
| Максимальний струм, який комутований контактами реле, не більше                  | 3 А (для змінної напруги не більше 250 В, частотою 50 Гц та $\cos \varphi > 0,4$ – навантаження для категорії використання АС-15 за ГОСТ р 50030.1-2000)<br>3 А (для постійної напруги не більше 30 В – навантаження для категорії використання DC-13 за ГОСТ р 50030.1-2000) |
| Час перемикання контактів реле із стану «лог. 0» у «лог. 1» та назад, не більше  | 50 мс (виходи DO1-DO12)   |
| Механічний ресурс реле   | - не менше 300 000 циклів перемикань при максимальному  |

комутованому навантаженні;  
 - не менше 500 000 циклів  
 перемикання при комутації  
 навантаження менше половини від  
 максимального

#### Аналогові входи

|   |  |
|---|--|
| Кількість аналогових входів   | 8  |
| Тип уніфікованих сигналів,<br>що підтримуються  | Струм від 0 (4) 20 мА;<br>Струм від 0 до 5 мА;<br>Напруга від 0 до 10 В; |
| АЦП   | 14 біт   |
| Вхідний опір:   |  |
| У режимі вимірювання струму   | Не більш ніж 170 Ом  |
| У режимі вимірювання напруги  | Не менше 200 кОм   |
| Період опитування аналогових<br>входів  | 10 мс  |
| Межа основної зведеної похибки<br>перетворення  | $\pm 0,25\%$   |
| Межа додаткової зведеної похибки<br>перетворення на кожні 10 градусів<br>змінення температури | $\pm 0,05\%$   |
| Гальванічна ізоляція аналогових<br>входів   | Групова (8 входів)   |
| Електрична міцність ізоляції між<br>групою аналогових виходів та:                             |  |
| – колами живлення   | 1780 В   |
| – групами кіл дискретних виходів  | 1780 В   |
| – групами інших кіл   | 560 В  |

#### Аналогові виходи

|  |   |
|--|---|
| Кількість аналогових виходів                       | 4   |
| Тип вихідного сигналу (залежно від<br>модифікації) | Універсальний, струм від 4 до 20 мА,<br>напруга від 0 до 10 В     |
| Межа основної зведеної похибки                     | $\pm 0,5\%$   |
| ЦАП  | ПЛК110-Х.А – 12 біт<br>ПЛК110-Х.У – 10 біт<br>ПЛК110-Х.И – 10 біт |
| Розрядність ЦАП                                    |   |
| Мінімальний період оновлення<br>виходів            | 100 мс  |
| Живлення аналогових виходів                        | Зовнішнє (24 $\pm$ 3 В)   |
| Гальванічна ізоляція аналогових<br>виходів         | Індивідуальна   |

|   |  |
|---|--|
| Електрична міцність ізоляції між групами аналогових виходів та групами інших кіл  | 1780 В   |
| Межа допустимої додаткової зведеної похибки аналогових виходів, яка викликана зміненням температури навколишнього повітря від нормальної на кожні 10°C змінення температури | не більше 0,5 межі допустимої основної зведеної похибки аналогових виходів |

### Інтерфейси зв'язку

|                              |   |
|------------------------------|---|
| RS-485                       |   |
| Кількість                    | 1   |
| Гальванічна розв'язка        | Індивідуальна   |
| Електрична міцність ізоляції | 1780 В (між інтерфейсом RS-485 та іншими групами кіл) |

|                              |   |
|------------------------------|---|
| Ethernet 100 Base-T          |   |
| Кількість                    | 1   |
| Гальванічна розв'язка        | Індивідуальна   |
| Електрична міцність ізоляції | 1780 В (між інтерфейсом RS-485 та іншими групами кіл) |

|                       |          |
|-----------------------|----------|
| RS-232 **             |          |
| Кількість             | 1        |
| Гальванічна розв'язка | Відсутня |

|                       |          |
|-----------------------|----------|
| RS-232-Debug **       |          |
| Кількість             | 1        |
| Гальванічна розв'язка | Відсутня |

|                       |          |
|-----------------------|----------|
| USB-пристрій *        |          |
| Кількість             | 1        |
| Гальванічна розв'язка | Відсутня |

\* – точність вказана без застосування програмної корекції.

\*\* – кола зазначених інтерфейсів не мають між собою гальванічної ізоляції.

Електрична міцність ізоляції між групою зазначених кіл:

- колами живлення – 1780 В;
- групами кіл дискретних виходів – 1780 В;
- групами інших кіл – 560 В.

### Ресурси та додаткове обладнання

|   |  |
|---|--|
| Центральний процесор                    | RISC-процесор на базі ядра ARM-9, 32 розряду, 180МГц   |
| Об'єм оперативної пам'яті (тип пам'яті) | 8 Мб (SDRAM), із них 1 Мб для коду користувальницької програми, 128 кб для змінних користувальницької програми |

|                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| Об'єм енергонезалежної пам'яті      | 4 Мб (DataFlash), из них 3 Мб доступно для зберігання файлів та архівів   |
| Розмір Retain-пам'яті               | не більше 16 кб (за умовчанням встановлено значення 4 кб.)  |
| Час виконання одного циклу програми | – Мінімальний (що не стабілізується) -250 мкс;<br>– встановлений за умовчанням (стабілізований) -1 мс (налаштовується у вікні "Конфігурація ПЛК (PLC Configuration) ПЗ CoDeSys  |
| Додаткове обладнання                | – Годинник реального часу з автономним акумуляторним живленням (точність ходу – не більше 3 хв. на добу);<br>– Вбудоване джерело видавання звукового сигналу;<br>– Функціональна кнопка на передній панелі контролера |

## Додаток В2

Інтерфейси зв'язку та програмування  
контролера ОВЕН ПЛК110

| Інтерфейс<br>и зв'язку    | Протоколи<br>(тип зв'язку<br>та особливості<br>роботи)  | Формат<br>передавання<br>даних   | Швидкість<br>передавання  | Довжин<br>а<br>кабелю,<br>м, не<br>більше | Рекомендовани<br>й тип кабелю   |
|---------------------------|---|--|---|---|---|
| RS-485                    | Modbus-RTU,<br>ModBus ASCII-<br>DCON, ОВЕН  | 7 або 8 біт,<br>парність<br>є\немає\не<br>використовуєтьс<br>я, 1 або 2 стоп<br>біти | 2400, 4800,<br>9600, 14400,<br>19200,28800,<br>38400,57600,<br>115200 біт/с                     | 1200                                      | КИПЭВ<br>1×2×0,6 (ТУ<br>16.К99-008-<br>2001)<br>або аналогічні                                |
| RS-232                    | Modbus-RTU,<br>ModBus ASCII-<br>DCON, ОВЕН  | 7 або 8 біт,<br>парність<br>є\немає\не<br>використовуєтьс<br>я, 1 або 2 стоп<br>біти | 1200, 2400,<br>4800, 9600,<br>14400, 19200<br>,<br>28800, 38400<br>,<br>57600, 11520<br>0 біт/с | 3   | -   |
| RS-232-<br>Debug          | ModBus-RTU<br>(тільки slave),<br>ModBus-ASCII,<br>DCON, GateWa<br>у (тільки для<br>Debug RS-232),<br>ОВЕН | тільки 8 немає 1   | 1200, 2400,<br>4800, 9600,<br>14400,<br>19200,<br>28800, 38400<br>, 57600,<br>115200 біт/с      | 1,8                                       | -   |
| Ethernet<br>100<br>Base-T | ModBus-TCP<br>Gateway TCP-<br>IP, UDP-IP,<br>Codesys<br>Network<br>Variables (over<br>UDP)                | -  | 10, 100<br>Мбіт/с   | 100                                       | Категорія 5 тип<br>UTP (звиті<br>пари без<br>екрану), STP<br>або FTP (звиті<br>пари в екрані) |
| USB-<br>Device            | CDC   | -  | 115200 біт/с  | 1,8                                       | Стандартний із<br>з'єднувачами<br>типу А та В   |

## ДОДАТОК Г1

### Arduino shields

1. Ethernet Shield – забезпечує з'єднання з Інтернетом;
2. XBee Shield – забезпечує за допомогою модуля Maxstream Xbee Zigbee безпроводний зв'язок для деяких пристроїв Arduino;
3. MicroSD Shield – забезпечує запис даних на карти microSD;
4. MP3 Shield – плата для відтворення звуку у форматах Ogg Vorbis/MP3/AAC/WMA/MIDI та запису в Ogg Vorbis;
5. Motor – забезпечує керування двигунами постійного струму;
6. GSM/GPRS Shield – дозволяє відправляти SMS-повідомлення, здійснювати дзвінки, обмінюватися даними по GPRS;
7. Cosmo WiFi Connect – плата призначена для організації безпроводної мережі стандарту IEEE 802.11b/g.
8. Video Overlay Shield – для накладання тексту на аналогове відео;
9. EasyVR Arduino Shield – багатоцільовий модуль розпізнавання;
10. Music Shield – професійний аудіокодек та ін.

## ДОДАТОК Д1

Фрагмент програмного коду для мікроконтролера в програмі Arduino IDE

```

#include <SoftwareSerial.h>
#include <Wire.h>
#include <dht.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>
#include <MQUnifiedSensor.h>

#define DEBUG 0 // change value to 1 to enable debugging using serial monitor
#define dht_pin A0 // визначальний контакт A0 для датчика DHT
#define lightSensor A1 // визначальний контакт A1 як вхідного контакту для подільника напруги LDR
#define aqsensor A2 // визначальний контакт A2 як вхідного висновку для датчика газу

dht DHT;
Adafruit_BMP280 bmp;
SoftwareSerial esp8266Module(10, 11); // RX, TX

String network = "----"; // SSID вашої точки доступу
String password = "-----"; // пароль вашої точки доступу Wi-Fi
#define IP "184.106.153.149" // IP-адреса thingpeak.com
String GET = "GET /update?key=-----"; // замінити ключем свого каналу

void setup()
{
  if(DEBUG){
    Serial.begin(9600); // Встановлення апаратної швидкості послідовної передачі даних на 9600
  }
  esp8266Module.begin(9600); // Встановлення швидкості передачі softserial на 9600
  if (!bmp.begin()) {
    if(DEBUG){
      Serial.println("Could not find a valid BMP085 sensor, check wiring!");
    }
    while (1) {}
  }
  delay(2000);
}

void loop()

{
  setupEsp8266();
  DHT.read11(dht_pin);
  double humi = DHT.humidity;
  double bmp_temp = bmp.readTemperature();
  double bmp_pressure = bmp.readPressure();
  int lightIntensity = analogRead(lightSensor);
  int ppm = analogRead(aqsensor);
  updateTemp(String(bmp_temp), String(lightIntensity), String(bmp_pressure), String(humi));
  delay(30000);
}

```

```

void setupEsp8266()
{
  if(DEBUG){
    Serial.println("Resetting esp8266");
  }
  esp8266Module.flush();
  esp8266Module.println(F("AT+RST"));
  delay(7000);
  if (esp8266Module.find("OK"))
  {
    if(DEBUG){
      Serial.println("Found OK");
      Serial.println("Changing espmode");
    }
    esp8266Module.flush();
    changingMode();
    delay(5000);
    esp8266Module.flush();
    connectToWiFi();
  }
  else
  {
    if(DEBUG){
      Serial.println("OK not found");
    }
  }
}

bool changingMode()
{
  esp8266Module.println(F("AT+CWMODE=1"));
  if (esp8266Module.find("OK"))
  {
    if(DEBUG){
      Serial.println("Mode changed");
    }
    return true;
  }
  else if(esp8266Module.find("NO CHANGE")){
    if(DEBUG){
      Serial.println("Already in mode 1");
    }
    return true;
  }
  else
  {
    if(DEBUG){
      Serial.println("Error while changing mode");
    }
    return false;
  }
}

bool connectToWiFi()
{
  if(DEBUG){
    Serial.println("inside connectToWiFi");
  }
  String cmd = F("AT+CWJAP=\"");
  cmd += network;

```

```

cmd += F("\",\"");
cmd += password;
cmd += F("\");
esp8266Module.println(cmd);
delay(15000);

if (esp8266Module.find("OK"))
{
  if(DEBUG){
    Serial.println("Connected to Access Point");
  }
  return true;
}
else
{
  if(DEBUG){
    Serial.println("Could not connect to Access Point");
  }
  return false;
}
}

void updateTemp(String voltage1,String voltage2,String voltage3,String voltage4)
{
  String cmd = "AT+CIPSTART=\"TCP\", \"";
  cmd += IP;
  cmd += "\",80";
  esp8266Module.println(cmd);
  delay(5000);
  if(esp8266Module.find("Error")){
    if(DEBUG){
      Serial.println("ERROR while SENDING");
    }
    return;
  }
}
cmd = GET + "%field1=" + voltage1 + "%field2=" + voltage2 + "%field3=" + voltage3 + "%field4=" + voltage4 + "\r\n";

```