

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри

автоматики та робототехнічних систем

ім. акад. І.І. Мартиненка

(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

" ____ " _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему **"КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ
МІКРОКЛІМАТУ НА ФАРМАЦЕВТИЧНОМУ СКЛАДІ ДЛЯ
ЗБЕРІГАННЯ ГОТОВИХ ЛІКАРСЬКИХ ПРЕПАРАТІВ"**

Спеціальність: 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент.
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Дудник А.О.
(П.І.Б.)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Опришко О.О.
(П.І.Б.)

Виконав

(підпис)

Кравченко Б.Ю.
(П.І.Б.)

КИЇВ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

автоматики та робототехнічних систем

ім. акад. І.І. Мартиненка

(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

" ____ " _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Кравченку Богдану Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність: 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

1. Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: **"Комп'ютерно-інтегрована система автоматичного керування параметрами мікроклімату на фармацевтичному складі для зберігання готових лікарських препаратів"**,

затверджена наказом ректора НУБіП України від "24" 10 2025 р. № 2515"С"

2. Термін подання завершеної роботи на кафедру "01" червня 2026 р.

3. Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи:

3.1. Завдання кафедри на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи.

3.2. Нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації.

3.3. Наукова література з тематики бакалаврської кваліфікаційної роботи.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

4.1. Фармацевтичний склад: значення, функції, вимоги.

4.2. Розробка та дослідження математичної моделі керування температурою та вологістю у приміщенні фармацевтичного складу.

4.3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань.

4.4. Розробка цифрової системи керування.

4.5. Схеми системи автоматизації.

4.6. Система контролю та управління кліматом з віддаленим моніторингом фармацевтичного складу.

4.7. Техніко-економічне обґрунтування.

5. Перелік графічних документів:

5.1. Функціональна схема автоматизації системи керування припливно-втяжною вентиляційною установкою із рекуператором для приміщень фармацевтичного складу.

5.2. Система автоматичного керування вентиляційною установкою приміщень фармацевтичного складу. Схема електрична принципова.

5.3. Система автоматичного керування вентиляційною установкою приміщень фармацевтичного складу. Схема електрична підключень.

5.5. Система автоматичного керування вентиляційною установкою приміщень фармацевтичного складу. Зовнішній вид шафи керування.

Дата видачі завдання "25" жовтня 2025 року

**Керівник
бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

(підпис)

Опришко О.О.
(П.І.Б.)

**Завдання прийняв до
виконання**

(підпис)

Кравченко Б.Ю.
(П.І.Б.)

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень і скорочень	5
Вступ	6
РОЗДІЛ 1. Фармацевтичний склад: значення, функції, вимоги	10
1.1. Види та функції фармацевтичних складів	10
1.2. Загальні вимоги до підтримки параметрів мікроклімату на фармацевтичних складах	13
1.3. Вимоги до систем моніторингу мікроклімату на фармацевтичних складах	17
1.4. Огляд і аналіз існуючих вентиляційних систем фармацевтичних складів зберігання ГЛЗ	18
1.5. Функціональна схема автоматизації припливно-витяжної вентиляційної установки із рекуператором для фармацевтичного складу	24
РОЗДІЛ 2. Розробка та дослідження математичної моделі керування температурою та вологістю у приміщенні фармацевтичного складу	27
2.1. Загальна характеристика об'єкта автоматизації	27
2.2. Теплотехнічний розрахунок огорожуючих конструкцій будівлі фармацевтичного складу	29
2.3. Розрахунок теплових втрат по поверххах та будівлі в цілому	36
2.4. Розробка математичної моделі температурного стану повітря в будівлі фармацевтичного складу	38
РОЗДІЛ 3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань	47
3.1. Вибір алгоритму керування та засобів його реалізації	47
3.2. Вибір комплексу технічних засобів автоматизації	53
РОЗДІЛ 4. Розробка цифрової системи керування	63
4.1. Визначення періоду квантування сигналів ЦСК	63
4.2. Дослідження цифрового ПІ-регулятора	65
4.3. Дослідження цифрової системи на стійкість та якість	69
РОЗДІЛ 5. Схеми системи автоматизації	71
5.1. Розробка схеми електричної принципової САК температурним режимом на фармацевтичному складі	71
5.2. Вибір апаратури захисту і керування	73
5.3. Вибір проводів та кабелів	78
5.4. Вибір щита керування	80
РОЗДІЛ 6. Система контролю та управління кліматом з віддаленим моніторингом фармацевтичного складу	82
РОЗДІЛ 7. Техніко-економічне обґрунтування	91
Висновки	96
Література	97
Додатки	100

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
- GCP – "Good Clinical Practice", "Належна клінічна практика"
- GDP – "Good Distribution Practice", "Належна практика дистрибуції"
- GLP – "Good Laboratory Practice", "Належна лабораторна практика"
- GMP – "Good Manufacturing Practice", "Належна виробнича практика"
- GPP – "Good Pharmaceutical Practice", "Належна аптечна практика"
- GSP – "Guide to Good Storage Practices for Pharmaceuticals", "Належна практика зберігання фармацевтичної продукції"
- SCADA – "Supervisory Control And Data Acquisition", "Диспетчерське управління і збір даних"

ВСТУП

Актуальність теми. Мікроклімат – один із ключових чинників, що впливає на якість товару, розміщеного на фармацевтичному складі. Кожен лікарський препарат потребує певних умов зберігання. Іноді навіть відхилення на один градус може негативно позначитися на ефективності фармацевтичного засобу.

Незмінність початкових характеристик товару – головна мета будь-якого складу. Ефективно вирішити це завдання можливо лише за умови підтримання оптимальних умов зберігання. Це правило особливо актуальне для лікарських препаратів. Їхня ефективність може знижуватися через високу вологість і температуру, різкі коливання параметрів мікроклімату, вплив сонячного світла та інші негативні чинники. У деяких випадках лікарські засоби стають не просто непридатними, а й небезпечними для людини. З цієї причини в Україні запроваджено обов'язкове ліцензування фармацевтичної діяльності, одним із елементів якого є перевірка умов на складі.

Температурно-вологісний режим, ефективність роботи вентиляційного обладнання, спосіб фіксації параметрів мікроклімату – перше, на що звертають увагу наглядові органи під час перевірки фармацевтичного складу. Це основні чинники, що можуть вплинути на властивості лікарських препаратів. Якщо власник складу не забезпечить необхідні умови зберігання медикаментів, йому буде відмовлено у видачі ліцензії.

На які особливості зберігання фармацевтичної продукції звертають увагу першочергово?

1. Для визначення точок встановлення кліматичного обладнання необхідно провести температурне картування. Результати наочно покажуть, у яких зонах часто спостерігаються коливання вологості та температури. Саме в цих зонах ризику доцільно встановити кліматичну техніку.

2. Розміщення фармацевтичної продукції за категоріями слід організовувати з урахуванням кількох параметрів, зокрема рекомендованих умов зберігання.

3. Температурно-вологісний режим тісно пов'язаний з ефективністю роботи вентиляційної системи. Низька інтенсивність повітрообміну може призвести до накопичення вологи та появи плісняви. У таких зонах доцільно передбачити примусову вентиляцію.

4. На складі з фармацевтичною продукцією ще на етапі проектування має бути вирішене питання підтримання температури у разі тимчасової відсутності електроенергії. Це може бути встановлення джерела аварійного живлення або використання багат шарових будівельних матеріалів із високим коефіцієнтом теплоізоляції, які дозволяють зберігати мікроклімат протягом кількох годин після вимкнення електропостачання.

5. Час перебування лікарських засобів у зонах з неконтрольованими параметрами мікроклімату слід звести до мінімуму.

Практично все обладнання та інженерні системи, встановлені на фармацевтичному складі, необхідні для вирішення трьох основних завдань. По-перше, це забезпечення оптимальних умов зберігання, підтримання температурно-вологісного режиму. Друге завдання – захист продукції та іншого майна від крадіжок, запобігання проникненню сторонніх осіб у приміщення, особливо у ту його частину, де зберігаються лікарські засоби особливих категорій (наприклад, опіоїдні знеболювальні тощо). Третє завдання – забезпечення зручної експлуатації та швидкого пошуку різних груп препаратів. У цьому допомагають вдалі конструктивно-планувальні рішення, системи стелажів, електронний або автоматичний пошук товару.

Відповідно до вимог нормативно-правових актів [5], система моніторингу мікроклімату фармацевтичного складу може бути ручною, частково або повністю автоматизованою. Власник об'єкта має право обрати відповідне рішення на основі експлуатаційних характеристик, площі та бюджету.

Автоматизована установка значно спрощує завдання моніторингу мікроклімату. Сучасні технологічні рішення дозволяють не лише налаштувати автоматичну фіксацію кліматичних показників, а й запрограмувати оперативне сповіщення про порушення у функціонуванні системи.

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 роботи. Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є розробка 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

ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ СКЛАД: ЗНАЧЕННЯ, ФУНКЦІЇ, ВИМОГИ

1.1. Види та функції фармацевтичних складів

Фармацевтичний (аптечний) склад – це спеціалізоване приміщення, призначене для приймання, зберігання та відвантаження медикаментів. Фармсклад має бути відокремлений від інших приміщень, мати окремий вхід, під'їзну дорогу та місце для розвантаження товарів. Кожен медикамент потребує особливих умов зберігання. Мазі, свічки та розчини для ін'єкцій чутливі до перегріву, тому їх слід тримати в холодильнику або термоконтейнері. Лікарські препарати з леткими компонентами повинні зберігатися в герметичній упаковці.

Звичайні склади не придатні для використання у фармацевтичних цілях, навіть якщо вони оснащені обладнанням для підтримання необхідного температурного режиму та вологості. Аптечні склади повинні відповідати спеціальним критеріям.

Фармацевтичний склад має розташовуватися в окремій будівлі або мати окремий вхід, а його оздоблення повинно забезпечувати можливість регулярного вологого прибирання. Мінімальна площа складу повинна становити не менше 150 м².

Приміщення фармскладу повинно відповідати суворим нормам, що забезпечують належне зберігання та поводження з лікарськими засобами. Ці вимоги спрямовані на підтримання якості, безпеки та ефективності ліків протягом усього періоду їх зберігання.

Процедури вимірювання, моніторингу та документування параметрів мікроклімату є частиною загальної системи управління якістю у фармацевтичній промисловості та є обов'язковими для будь-якого об'єкта виробництва і зберігання лікарських засобів. Сучасний підхід до забезпечення

якості та безпеки в цій галузі передбачає використання визнаної в усьому світі системи стандартів G...P (від *англ.* Good Practice – належна практика), загальна схема якої показана на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Система міжнародних стандартів управління якістю у фармацевтичній промисловості (G...P) на усіх етапах життєвого циклу лікарського засобу

Фармацевтичні склади виконують ряд важливих *функцій*.

1. Приймання та зберігання готових лікарських засобів.

- Створення належних умов для зберігання лікарських препаратів.
- Підтримання необхідного рівня запасів для задоволення потреб медичних закладів та аптек.

2. Відвантаження товарів аптекам і виробничим підприємствам.

- Координація постачання ліків від виробників до оптових покупців і аптек, оптимізація термінів доставки та мінімізація втрат.
- Забезпечення дотримання нормативних вимог і стандартів під час транспортування та зберігання лікарських засобів, використання спеціалізованого транспорту з контрольованою температурою.
- Своєчасна доставка ліків і обладнання відповідно до замовлень і потреб клієнтів.

- Оперативне реагування на термінові замовлення та запити на доставку, гарантування безперебійного постачання медичних закладів і аптек життєво важливими ліками.

3. Контроль якості. Дотримання вимог законодавства.

- Виконання всіх нормативних актів і правил, що регулюють діяльність фармацевтичного складу.

Виходячи із специфіки зберігання продукції, фармацевтичні склади поділяються на наступні *види*:

1. **Склади зі стандартним температурним режимом.** Такі склади використовуються для лікарських засобів, що не потребують особливих умов зберігання (таблетки, капсули). Тут підтримується стабільна температура близько $+18-20^{\circ}\text{C}$ та низький рівень освітленості.

2. **Склади для зберігання охолоджених лікарських препаратів.** У таких складах зберігаються ліки, що потребують низьких температур (свічки, розчини та суспензії). Температура на цих складах не перевищує $+4^{\circ}\text{C}$. Освітлення в холодильній камері відсутнє, оскільки вона є закритим простором.

3. **Кріофармацевтичні склади** використовуються для зберігання спеціалізованих компонентів, наприклад, вакцин, і потребують наднизьких температур. Вимоги до обладнання та умов зберігання тут дуже суворі, вибір температури залежить від специфічних властивостей препарату, зазначених виробником.

Окрім цього, зважаючи на *логістичні* та *транспортні* вимоги до складів, виділяють:

- склади довготривалого зберігання за межами міста;
- склади тимчасового зберігання в межах міської території для зручнішої логістики.

1.2. Загальні вимоги до підтримки параметрів мікроклімату на фармацевтичних складах

Передусім слід зазначити, що під режимом зберігання зазвичай мають на увазі сукупність кліматичних та санітарно-гігієнічних вимог, які забезпечують збереження товару.

У складських та аптечних приміщеннях має підтримуватися мікроклімат, зумовлений особливостями та вимогами виробника конкретних фармацевтичних товарів.

Для контролю основних параметрів умов зберігання лікарських засобів у кожному приміщенні встановлюються вимірювальні пристрої, які розміщуються на внутрішніх стінах сховищ, на відстані від нагрівальних приладів, на висоті 1,5–1,7 м від підлоги та не менше ніж за 3 м від дверей.

Перевірка температури та вологості здійснюється щоденно, показники приладів реєструються у спеціальному журналі – на паперовому носії або в електронному вигляді – відповідальною особою.

Контролюючі прилади мають бути сертифіковані та проходити повірку у встановленому порядку.

Під час вибору приміщень необхідно дотримуватися норм, що стосуються залежності площі приміщень від обсягу медикаментів, які підлягають зберіганню (таблиця 1.1). Як було зазначено, мінімальна площа складу повинна становити не менше 150 м², рекомендована – 200 м².

Основним настановним документом, що регламентує правила зберігання лікарських засобів і медичних виробів на фармскладах, в аптеках і лікарнях, є **Державна фармакопея України (ДФУ)**, що уведена в дію 1 жовтня у 2001 році. Порухення цих умов може призвести до зниження якості готових лікарських засобів і речовин, втрати їх фармацевтичних властивостей та скорочення терміну придатності. Вживання таких лікарських засобів може становити загрозу для здоров'я та життя людини.

Кліматичні вимоги до режиму зберігання лікарських засобів включають такі параметри:

- температуру;
- відносну вологість повітря;
- повітрообмін;
- газовий склад повітря;
- освітленість.

Умови зберігання фармацевтичних продуктів і матеріалів мають відповідати вимогам на етикетці, обґрунтованим результатами досліджень стабільності. Відхилення від інструкцій допускаються тільки на короткий час (наприклад, під час місцевих перевезень), якщо при цьому спеціальні умови (наприклад, постійне зберігання в холоді) не зазначені окремо.

Таблиця 1.1.

Залежність площі приміщень фармацевтичного складу від обсягу медикаментів, які підлягають зберіганню [29]

Основне зберігання, м ²	Висота стелі, м	Допустимий максимальний об'єм продукції для зберігання у певний період часу, м ³
30	2,7	60,75
50	2,7	101,25
70	2,7	141,75
Від 100	2,7	Від 202,50
30	3,0	67%
50	3,0	112,50
70	3,0	157,50
Від 100	3,0	Від 225,50

Температура — найважливіший показник режиму зберігання. Із підвищенням температури активізуються хімічні, фізико-хімічні, біохімічні та мікробіологічні процеси.

Рекомендовані значення температур та інших умов зберігання, що відповідають зазначеним на етикетках, наведені у таблиці 1.2.

Рекомендовані значення температур та інших умов зберігання,
що відповідають зазначеним на етикетках [28]

Зберігати при температурі: не вище 30 °C	Означає: від +2 °C до +30 °C
не вище 25 °C	Від +2 °C до +25 °C
не вище 15 °C	Від +2 °C до +15 °C
не вище 8 °C	Від +2 °C до +8 °C
не нижче 8 °C	Від +8 °C до +25 °C
Берегти від світла	Відпускати пацієнтові у світлозахисному пакуванні
Берегти від вологи	Вологість при нормальних умовах зберігання не більше 60%; відпускати пацієнтові у вологостійкому пакуванні

Відносна вологість повітря – показник, що характеризує ступінь насиченості повітря водяною парою і вимірюється у відсотках. Підвищена вологість повітря сприяє виникненню мікробіологічного псування та корозії металевих поверхонь стелажів тощо. Відносна вологість повітря в сухому приміщенні повинна підтримуватися на рівні 60% ($\pm 5\%$). Умовам «сухого, прохолодного місця» відповідає температура повітря від 12 до 15°C та відносна вологість 50% і менше.

Повітрообмін у місцях зберігання фармацевтичної продукції – показник режиму зберігання, що характеризує інтенсивність і кратність обміну повітря в середовищі, яке оточує товари. У процесі повітрообміну створюється рівномірний температурно-вологісний режим, а також видаляються газоподібні речовини, що виділяються з товарів, тари та обладнання під час зберігання.

Газовий склад повітря – показник режиму зберігання, що відображає склад газів у навколишньому середовищі. Газовий склад повітря визначається трьома групами компонентів: *основні гази*, *інертні гази* та *шкідливі газоподібні домішки*. Найбільший вплив на збереження товарів має кисень, який активізує окислювальні процеси.

Освітленість – показник режиму зберігання лікарських засобів, що характеризується інтенсивністю світла, яке потрапляє на фармацевтичну продукцію, що зберігається. Світло, особливо пряме сонячне, негативно впливає на збереження більшості товарів, оскільки активізує окислювальні процеси. У зв'язку з цим більшість фармацевтичних засобів рекомендується зберігати саме в *темному місці*.

Окрім параметрів мікроклімату, для організації ефективної і безпечної роботи фармацевтичного складу необхідно приділити увагу наступним складовим елементам процесу зберігання фармацевтичної продукції.

Якість виконання стелажів та полиць. Використання міцних і легких у очищенні стелажів та полиць для безпечного й упорядкованого зберігання лікарських засобів. Слід враховувати, що вони не повинні піддаватися деформації, ударам або різким переміщенням. Тому коробки з фармацевтичними препаратами рекомендується розміщувати не більше ніж в один шар по глибині та не більше ніж в один шар по висоті. Це забезпечить зручний доступ до стелажної системи та дозволить оглядати всі упаковки з продукцією.

Встановлення систем безпеки. Оснащення складу системами сигналізації, відеоспостереження та контролю доступу для забезпечення безпеки і захисту від несанкціонованого проникнення.

Виділення окремих зон зберігання. Розподіл приміщення на окремі зони зберігання для різних типів лікарських засобів, таких як рецептурні, безрецептурні, наркотичні та психотропні препарати.

Наявність карантинної зони. Облаштування окремої карантинної зони для зберігання лікарських засобів із підозрою на дефекти або невідповідність.

Наявність вбиральних та санітарних приміщень.

1.3. Вимоги до систем моніторингу мікроклімату на фармацевтичних складах

До систем моніторингу параметрів мікроклімату на фармацевтичних складах висувають наступні вимоги [5,27,28,29].

- Вимірювальні прилади для системи повинні бути внесені до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки України.

- Прилади мають проходити актуальну перевірку в акредитованих організаціях.

- Похибка вимірювання температури не повинна перевищувати $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

- Необхідне обладнання для візуального відображення отриманих даних, розташоване на висоті 1,5–1,7 м.

- Отримані дані повинні контролюватися за встановленими нормативами на апаратному та програмному рівнях. У разі порушень має спрацьовувати світлозвукове та SMS-сповіщення.

- Обладнання, включно з апаратною частиною, повинно бути захищене від несанкціонованого втручання.

- Система повинна мати джерело безперебійного живлення та виконувати функції реєстрації даних, контролю параметрів і сповіщення навіть за відсутності зовнішнього електроживлення протягом регламентованого часу.

- Вимірювальні прилади температури та вологості повинні мати власне джерело живлення та внутрішню енергонезалежну пам'ять для запису даних у разі критичної несправності системи. Це забезпечується використанням автономних реєстраторів температури та вологості.

- Система повинна проходити валідацію (DQ, IQ, OQ, PQ).

- Система повинна бути легко масштабованою.

Вимоги до програмного забезпечення комп'ютерної техніки.

- Відображення, реєстрація та контроль вимірюваних параметрів у режимі реального часу. Візуалізація даних у вигляді графіків і мнемосхем.

- Розмежування прав доступу користувачів до системи. Кожен користувач повинен мати унікальний логін і пароль для входу.
- Можливість налаштування різних рівнів доступу для користувачів.
- Автоматичне ведення журналу подій та дій користувачів із фіксацією в режимі реального часу.
- Автоматичне формування звітів щодо температурно-вологісних режимів із заданою періодичністю.
- Зберігання вимірних значень у базі даних протягом щонайменше 5 років. Можливість резервного копіювання та експорту даних за будь-який період.
- Бажано мати можливість віддаленого доступу до системи в будь-який момент через Інтернет або локальну мережу (клієнтська програма).

1.4. 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. 1.2) [9].

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

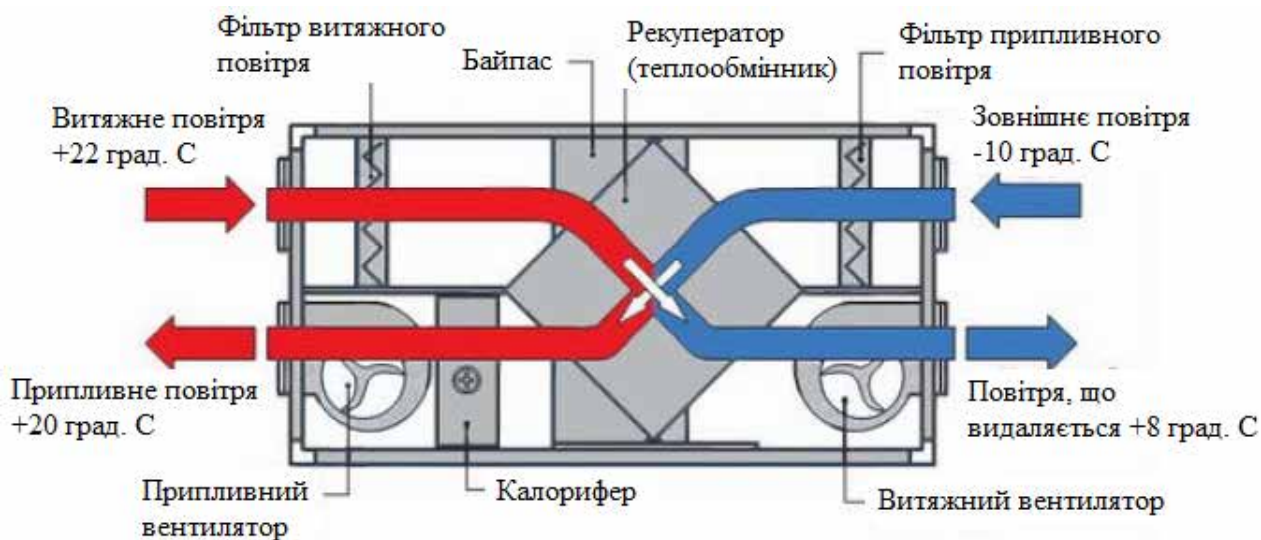


Рис. 1.2. Узагальнена схема припливно-витяжної системи вентиляції з рекуперацією тепла

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. 1.3).

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 осушуване 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].

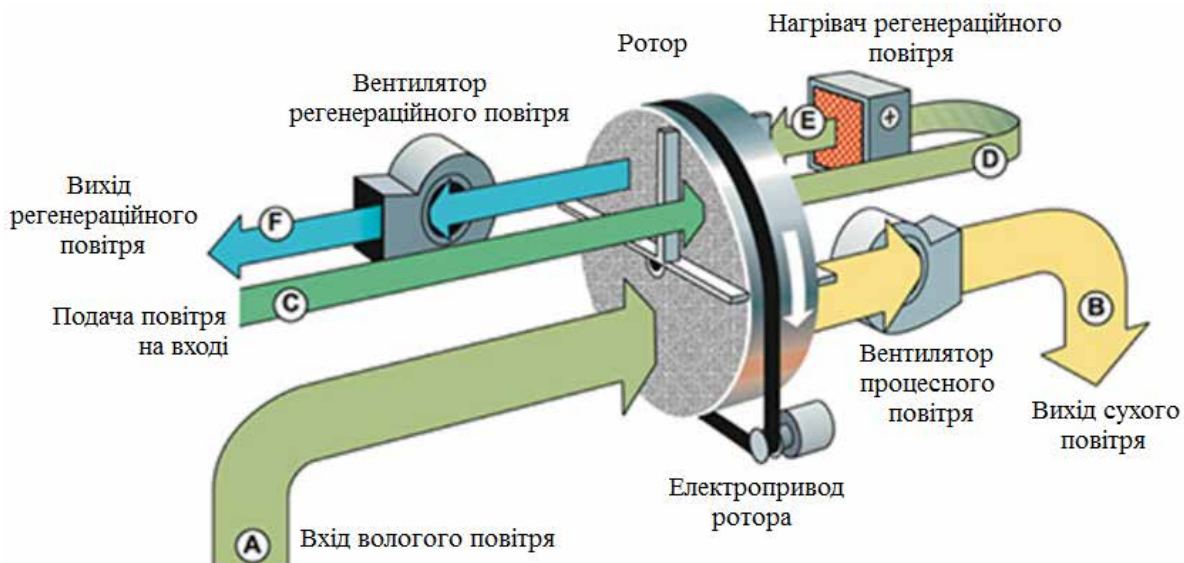


Рис. 1.3. Схема роботи припливно-витяжної системи вентиляції із адсорбційним роторним теплообмінником

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. 1.4.

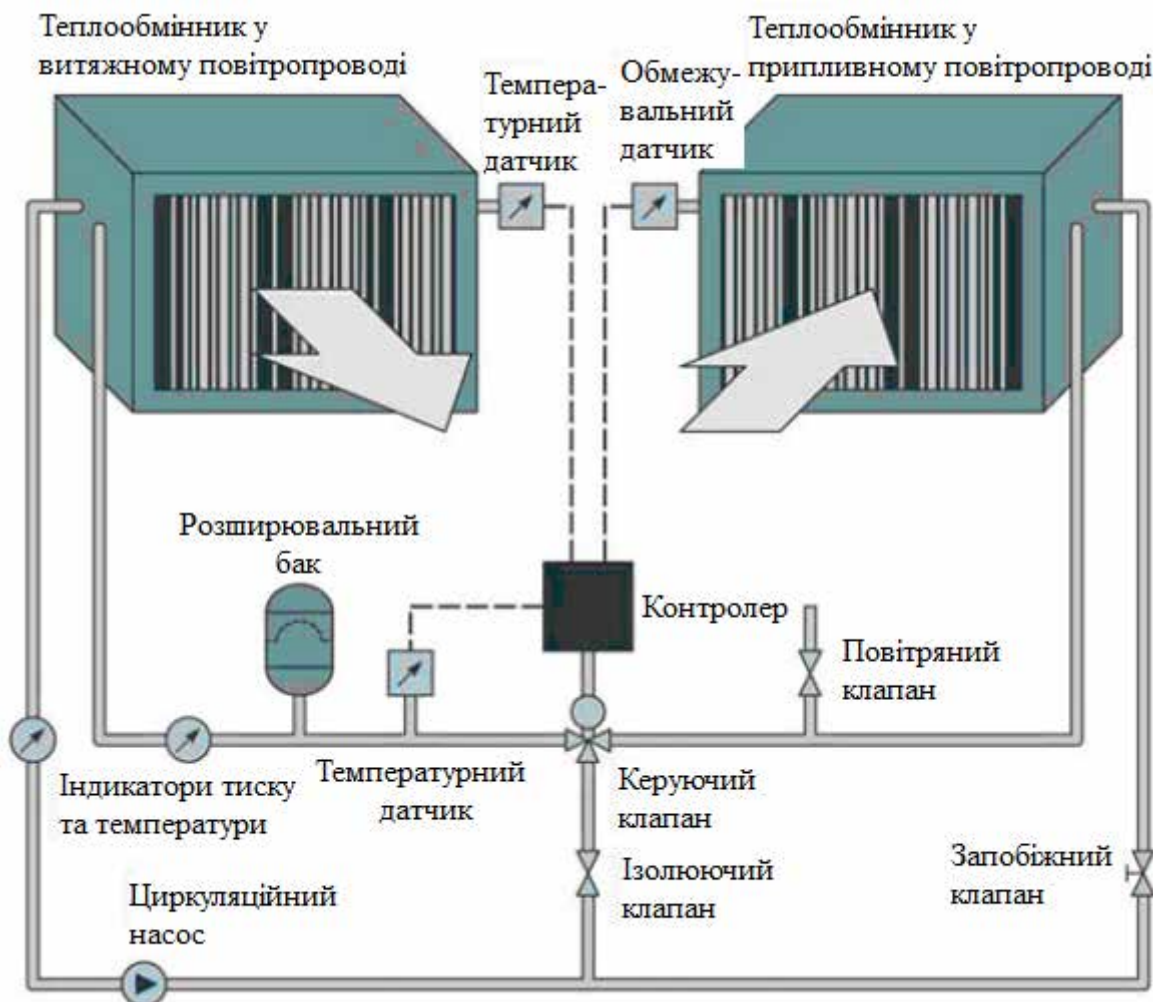


Рис. 1.4. Схема роботи гліколевого рекуператора

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. 1.2, 1.5, 1.6), 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.

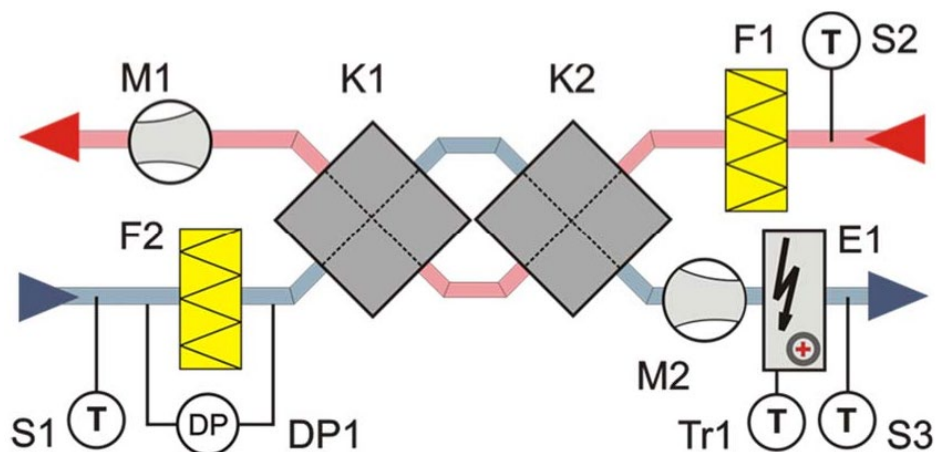


Рис. 1.5. Схема роботи припливно-витяжної системи вентиляції з електричним калорифером нагріву повітря

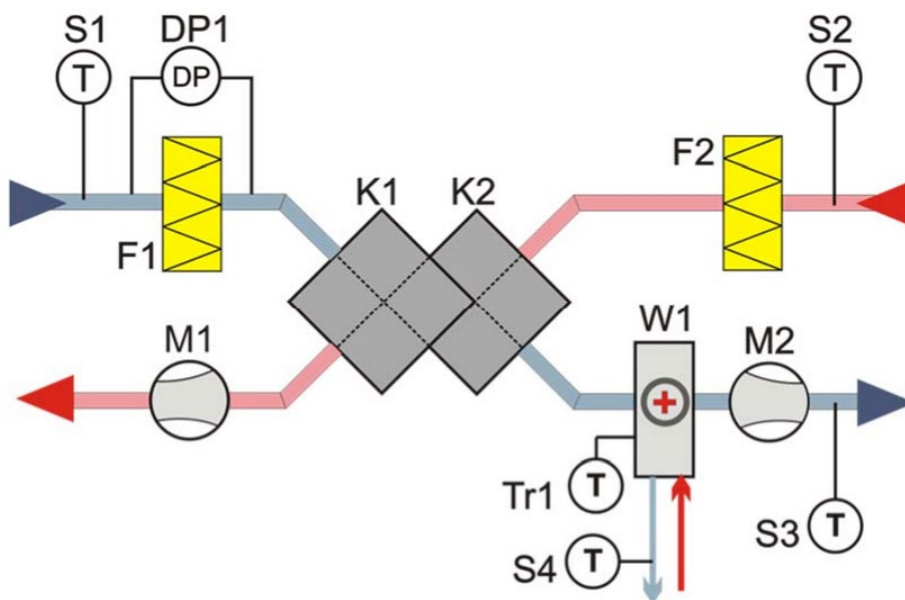


Рис. 1.6. Схема роботи припливно-витяжної системи вентиляції з водяним калорифером

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.

1.5. 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 аркуші 1 графічної частини роботи.

Основний контроль температури здійснюється в трьох місцях:

- температура зовнішнього припливного повітря вимірюється датчиком температури **ТЕ (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 **ТЕ (1-2)**;
- температура повітря у приміщенні фармацевтичного складу вимірюється датчиком температури **ТЕ (1-3)**.

Для отримання додаткової інформації встановлені датчики:

- **ТЕ (1-5)** температури теплоносія в системі нагрівання повітря (температура гарячої води у водяному калорифері);
- **ТЕ (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 **РЕ (1-7)** та **РЕ (1-8)**, замикання контактів яких сигналізує про те, що фільтр треба замінити або прочистити.

Для керування електродвигунами приводу відцентрових вентиляторів подачі припливного повітря **М1** та видалення відпрацьованого повітря **М2** використовуються частотні перетворювачі **SIC (1-13)** та **SIC (1-15)** відповідно.

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	дів	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 м² 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, м²·°C/Вт

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

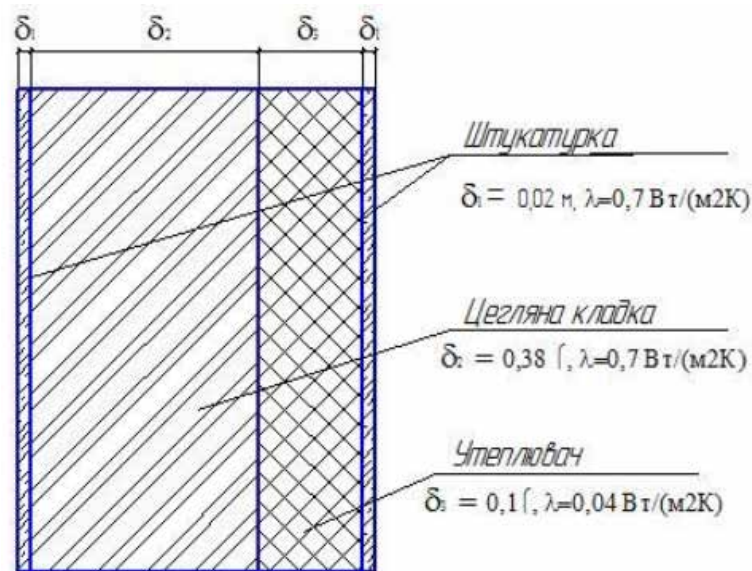


Рис. 2.1. Конструкція зовнішньої стіни

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.

$$\Sigma R = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + 2R_1 + R_2 + R_3 + \frac{1}{\alpha_3} \quad (2.3)$$

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

$$R_{yt} = R_{ct}^{норм} - \Sigma R = 3,3 - 0,759 = 2,541 \left(\frac{m^2 K}{Вт} \right) \quad (2.4)$$

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

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

$$R_{ct} = \Sigma R + \frac{\delta'_{yt}}{\lambda_{yt}} = 0,759 + \frac{0,13}{0,05} = 3,759 \left(\frac{m^2 K}{Вт} \right) \quad (2.6)$$

Отже, розрахунковий термічний опір стіни становить

$$R_{прив} = 3,759 > R_{ct}^{норм} = 3,3 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт},$$

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 $R_{пер}^{норм} = 3,75 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}$, коефіцієнти тепловіддачі від внутрішнього повітря до перекриття $\alpha_{вн} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ і від перекриття до повітря підвалу $\alpha_{зн} = 6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ [3].

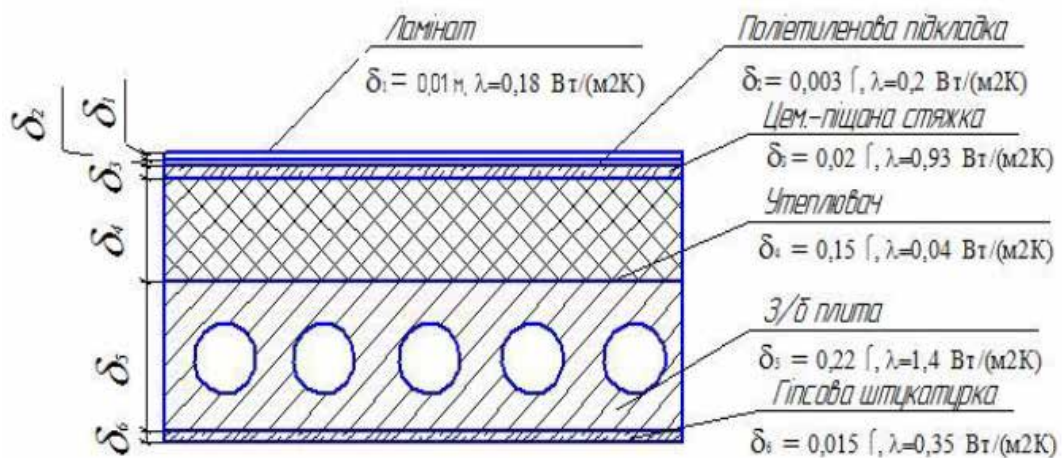


Рис. 2.2. Конструкція перекриття над підвалом

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

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

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 $\alpha_{\text{вн}} = 8,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ і від перекриття до повітря горища $\alpha_{\text{зн}} = 12 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ [3].

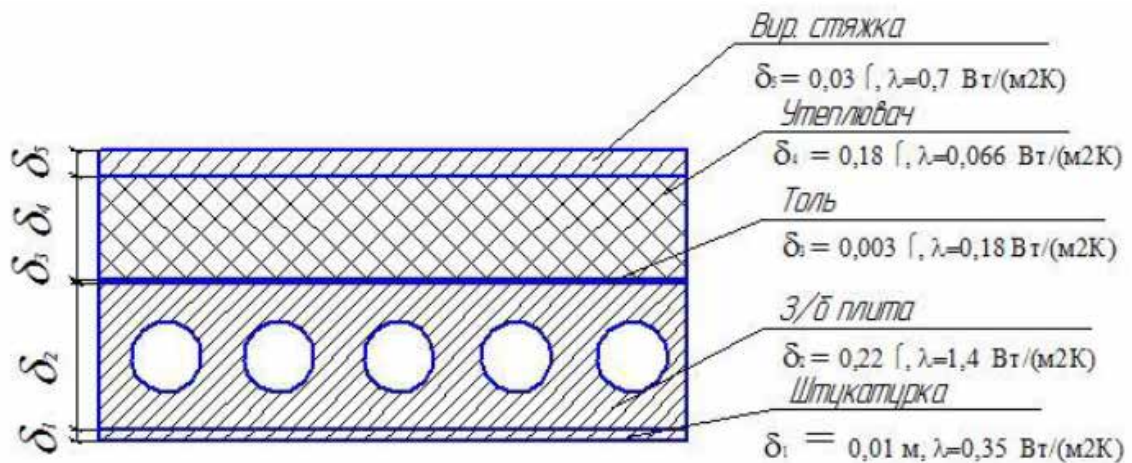


Рис. 2.3. Конструкція горіщного перекриття

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:

1. 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

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

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

$$Q_K = \frac{1}{R} \cdot F \cdot (t_g - t_z) \cdot n \cdot \Sigma_m, \quad (2.16)$$

де $1/R$ – коефіцієнт теплопередачі конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$;

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

t_z – розрахункова температура зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$;

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

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

F – площа огорожуючої поверхні, 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, м^2 ;

h – висота приміщення, 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 $Q_{\text{Г}}$, 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, 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 $Q_{\text{Д}}$, Вт визначаються як % від головних.

Загальні тепловтрати на першому поверсі становлять

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

Загальні тепловтрати на другому та третьому поверхах разом становлять

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

Загальні тепловтрати на четвертому поверсі становлять

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

Загальні тепловтрати по усій будівлі становлять

$$\Sigma Q_3 = Q_{\text{зI}} + Q_{\text{зII}} \cdot 2 + Q_{\text{зIV}} = 105596 \text{ Вт} \approx 106 \text{ кВт}.$$

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].

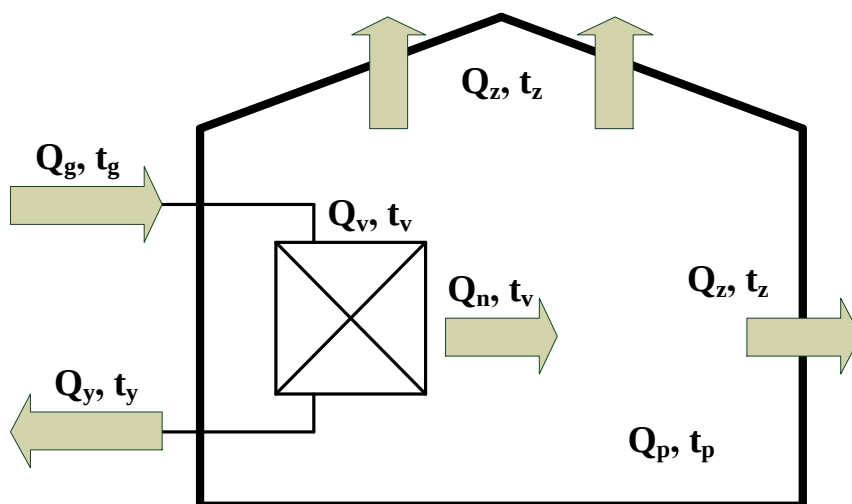


Рис. 2.4. Схема теплових потоків у будівлі фармацевтичного складу

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

$$\begin{aligned} \text{для води: } Q_g - Q_y - Q_n &= 0, \\ \text{для повітря будівлі: } Q_n - Q_z &= 0, \end{aligned} \quad (2.20)$$

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 ρ_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 ρ_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/м³

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

Кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря, м²/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 використаємо 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

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

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

$$\eta_0 = \frac{F_{ог}}{F_{инв}}, \quad (2.33)$$

де $F_{инв}$ – 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 α_p , α_c – відповідно, коефіцієнти тепловіддачі від повітря будівлі до огорожуючих конструкцій та від них до зовнішнього повітря; λ_c – коефіцієнт теплопровідності огорожуючих конструкцій; δ_c – товщина огороження.

Коефіцієнт тепловіддачі від повітря будівлі до огорожувальної поверхні приймемо 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/м³

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

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.

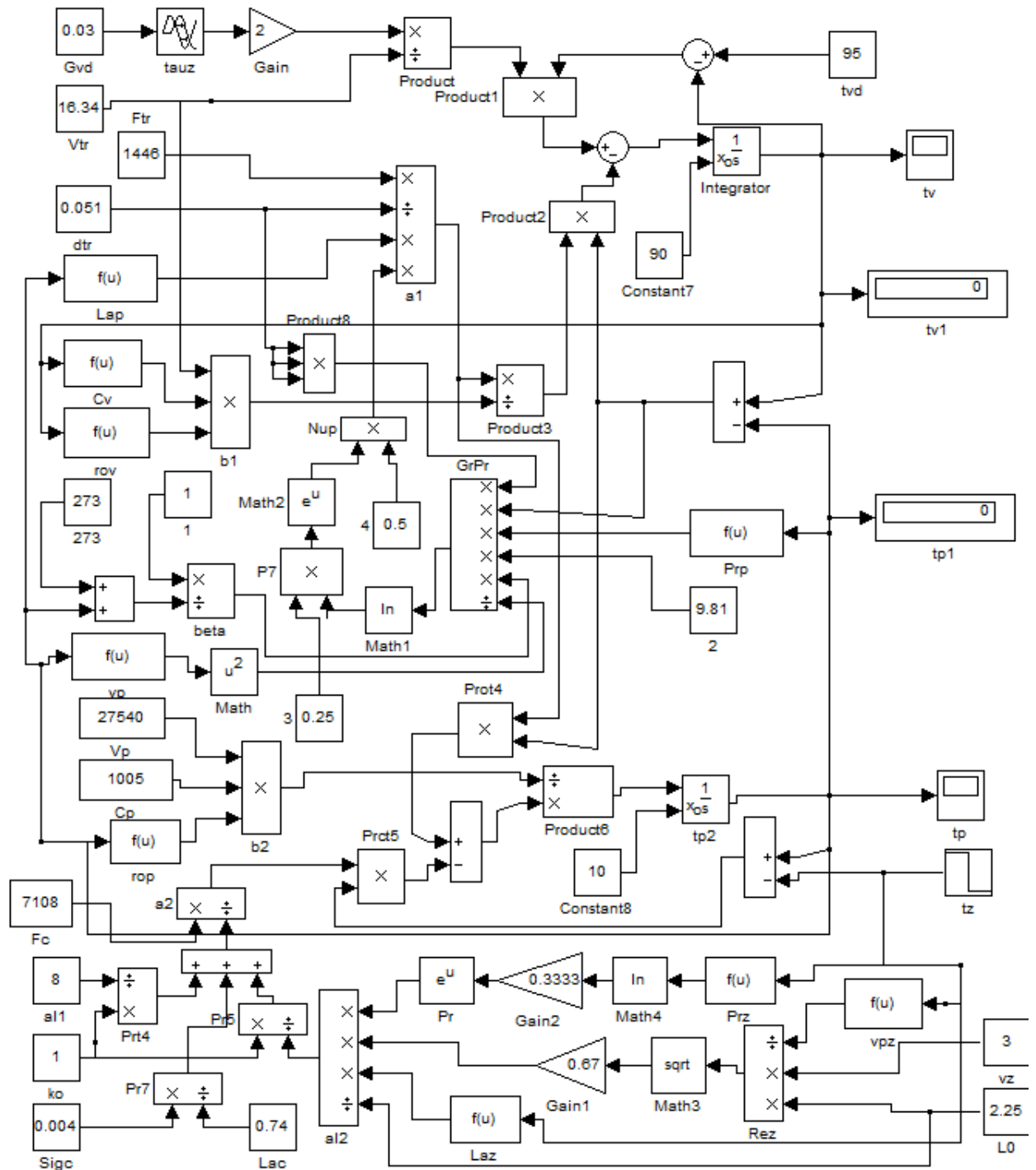


Рис. 2.5. Блок-схема імітаційної моделі енерговитрат у системи опалення будівлі з використанням пакету MATLAB Simulink

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

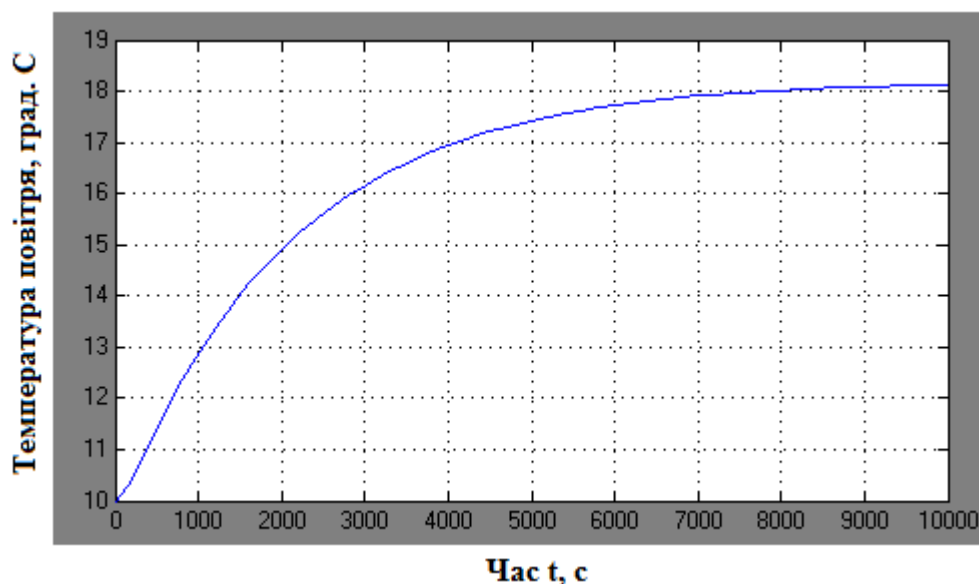


Рис. 2.6. Розгінна характеристика будівлі для каналу регулювання температури повітря

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 → температура повітря" був використаний графічний метод [12]. Для цього розгінна характеристика будівлі, отримана з використанням побудованої математичної моделі при зміні температури повітря від 10°C до 18°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.

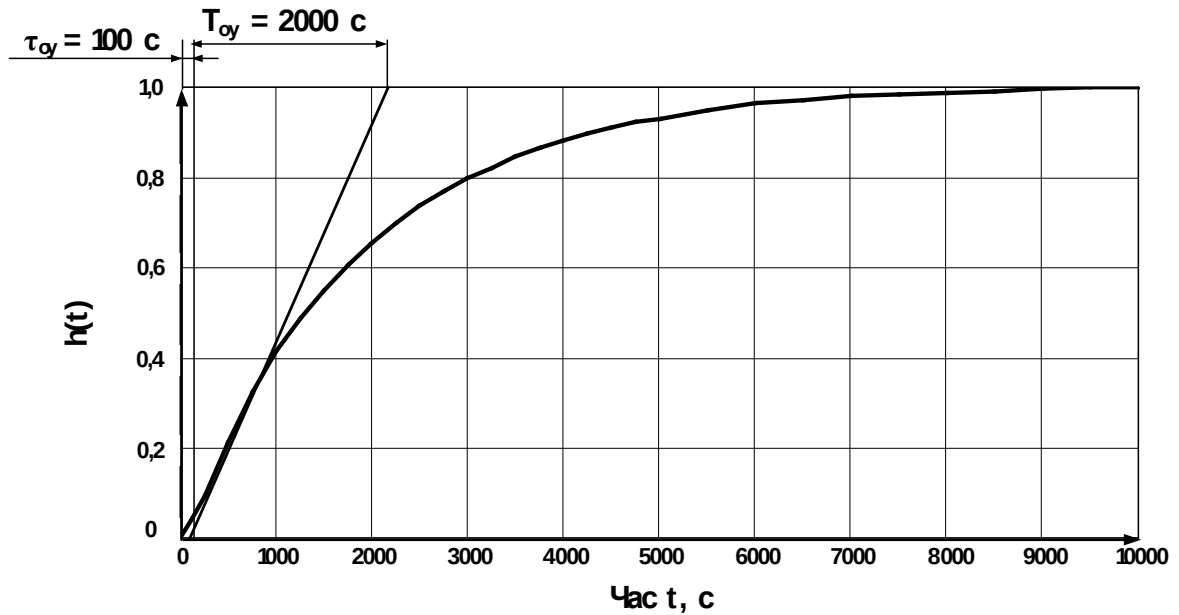


Рис. 2.7. Нормована розгінна характеристика будівлі для каналу регулювання температури повітря

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; τ_{oy} - час чистого запізнення, с.

Чисельне значення постійної часу T_{oy} та часу запізнення τ_{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;

Δx – зміна вхідного впливу, %.

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

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

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:

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

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:

$$R_d = 1.5 / (0.117\ 595) = 0.02$$

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

Для технічної реалізації системи автоматичного регулювання температурного режиму в будівлі фармацевтичного складу пропонується використати програмно-логічний контролер **AQteck ПЛК110** (рис. 3.1).

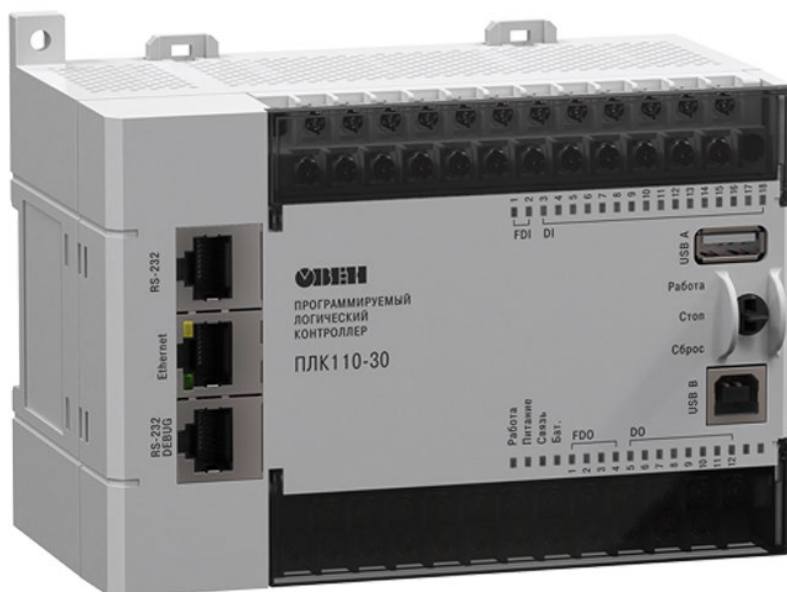


Рис. 3.1. Програмно-логічний контролер AQteck ПЛК110 (M02)

AQteck 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), AQteck, 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 перечікування зникнення живлення, переведення вихідних елементів у безпечний стан).

Технічні характеристики програмно-логічного контролера AQteck ПЛК110 наведені на сайті виробника.

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

Першим кроком при створенні програми було необхідно обрати технічні засоби в блоці Hardware Config (рис. 3.2).

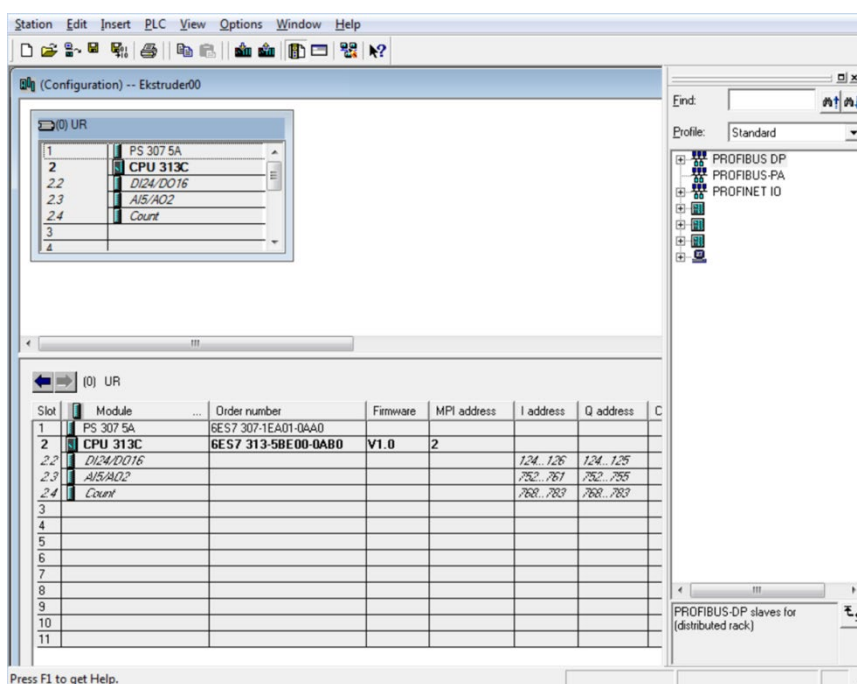
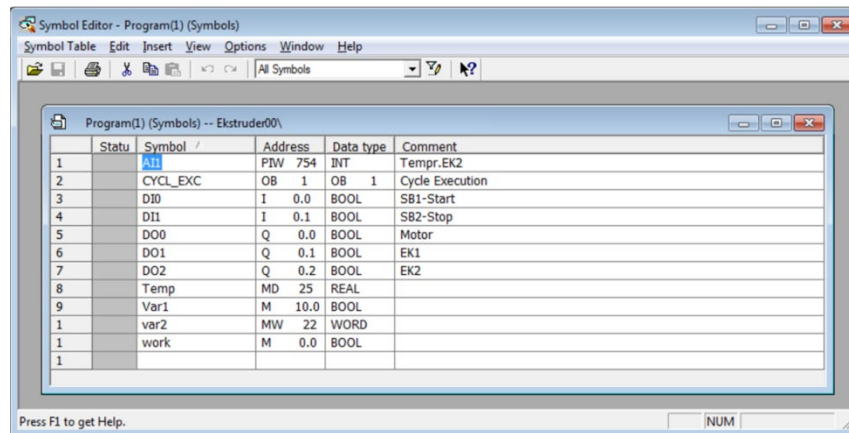


Рис. 3.2. Загальний вигляд вікна CoDeSys v.2.3 Hardware Config

Наступним кроком оголошуються змінні та їх адреси, які будуть використовуватись при розробці програми (рис. 3.3).

Основний блок програми написано на мові LAD (рис. 3.4).



	Status	Symbol /	Address	Data type	Comment
1		PIW	754	INT	Tempr.EK2
2		CYCL_EXC	OB 1	OB 1	Cycle Execution
3		DI0	I 0.0	BOOL	SB1-Start
4		DI1	I 0.1	BOOL	SB2-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. 3.3. Загальний вид вікна CoDeSys v.2.3 Symbol Editor

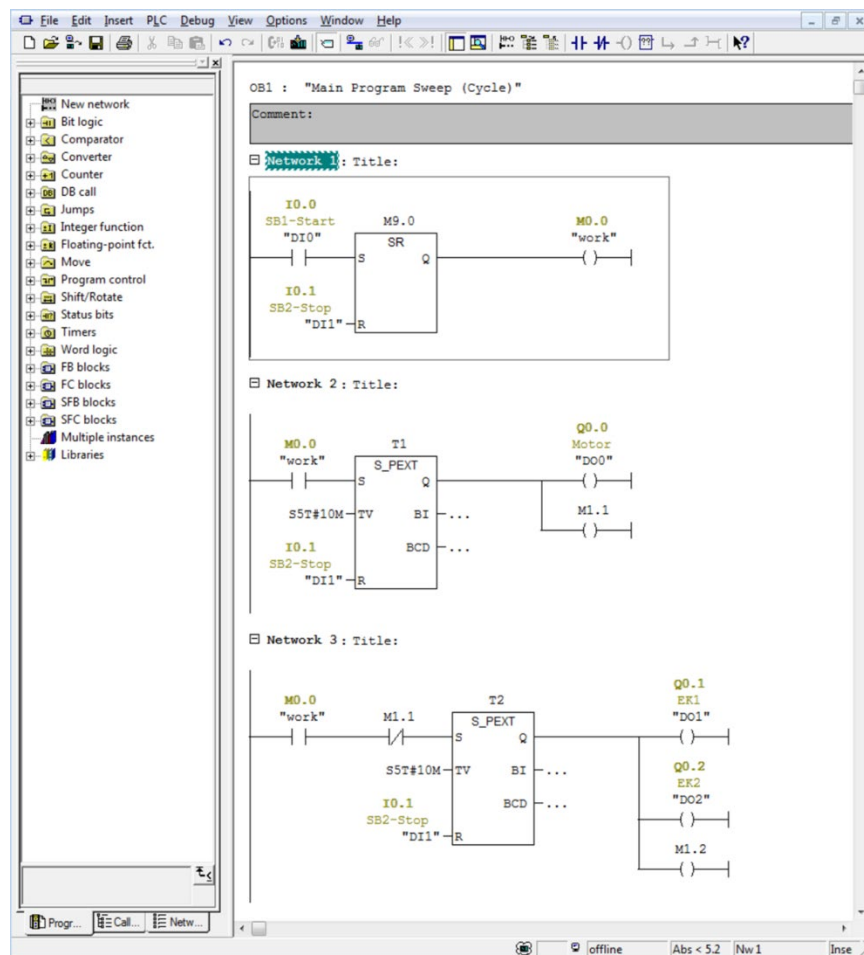


Рис. 3.4. Фрагмент програми керування температурою в будівлі у середовищі CoDeSys v.2.3

Для перевірки працездатності системи керування використовувалась симуляція логічного контролера AQteck ПЛК110 із завантаженою програмою (рис. 3.5).

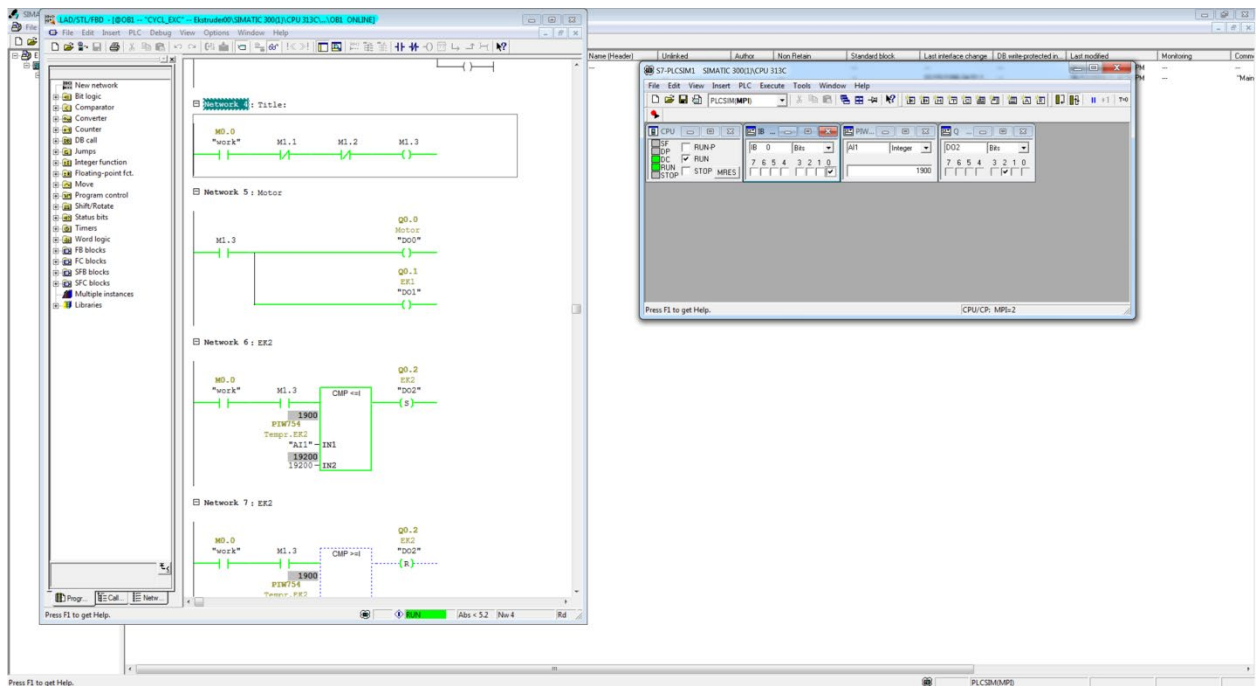


Рис. 3.5. Вікно CoDeSys v.2.3: симуляція логічного контролера ПЛК110 із завантаженою програмою

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

3.2. Вибір комплексу технічних засобів автоматизації

Вибір сприймаючого елемента САК температурою в будівлі.

Вимірювальні перетворювачі, що входять до складу регулятора, вибирають найчастіше в два етапи:

- на першому етапі за типом контрольованого параметра об'єкта управління та умовами його роботи визначають різновид перетворювача;
- на другому етапі, після вибору всіх елементів регулятора, за довідниками знаходять його типорозмір.

Датчик рекомендується підбирати таким чином, щоб межі його вимірювання охоплювали діапазон зміни контрольованої ним величини і були як найближчими до них, не забуваючи про необхідність забезпечення необхідної перевантажувальної здатності датчика і про можливість його підключення до обраного електронного пристрою управління регулятора. При цьому особливу увагу необхідно приділяти швидкодії (інерційності) вимірювального перетворювача, яка характеризується його постійною часу T_{CE} .

При обґрунтуванні вибору датчика температури для регулятора температури повітря в будівлі необхідно в першу чергу звернути увагу на те, який діапазон зміни температури відповідно до технічних умов повинна забезпечити проектована система керування.

Для того, щоб перетворювач в процесі стабілізації температури до заданого рівня не вносив неприпустиму динамічну похибку вимірювання, його постійна часу T_{CE} повинна бути на порядок меншою від постійної часу об'єкта управління T_{OY} .

Передатна функція визначена у попередньому розділі

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

Постійна часу об'єкта управління T_{OY} при цьому складає 2000 с.

Оскільки у системі керування безпосередньо регулюється температура теплоносія у системі опалення, заданий діапазон вимірювання температур знаходиться у межах 90...70°C.

Враховуючи зазначені вище умови, використаємо датчик температури – термометр опору AQteck ДТС125, технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2.

Характеристика термометра опору AQteck ДТС125

Тип	Номинальна статична характеристика	Діапазон вимірювання, °C	Показник теплової інерції
ДТС125	50М	-50...+150	15 с

Матеріал захисної арматури – сталь 12Х18Н10Т.

Матеріал корпусу – фенопласт ВХ5-010-73.

Габаритні розміри – 48х40х200 мм.

Середнє напрацювання на відмову – 200000 годин.

Термоперетворювачі з уніфікованим вихідним сигналом типу AQteck ДТС125 призначені для неперервного перетворювання температури середовища (газів, пари, рідин та сипких середовищ) у пропорційний струмовий сигнал 0-5 або 4-20 мА дистанційної передачі. Датчик складається із вбудованого в головку вимірювального перетворювача із вихідним сигналом 0-5 або 4-20мА та термозонду. Вимірюваний параметр – температура – лінійно перетворюється термочутливим елементом у пропорційну зміну омичного опору, який, в свою чергу, перетворюється вимірювальним перетворювачем у струмовий вихідний сигнал.

Отже, $15/2075 = 0,007 < (0,2...0,3)$, тому за швидкодією датчик підходить для даного об'єкта.

Передатна функція термометра опору є інерційною ланкою

$$W_{CE}(s) = \frac{k_{CE}}{T_{CE} \cdot s + 1}.$$

Передатний коефіцієнт k_{CE} визначається за виразом

$$k_{CE} = \frac{dR_t}{d\theta}. \quad (3.2)$$

Оскільки $R_t = R_o \cdot (1 + \alpha \cdot \theta)$, то $k_{CE} = \frac{dR_t}{d\theta} = R_o \cdot \alpha$, де R_o – номінальний опір датчика температури при 0°C . Оскільки цей вимірювальний перетворювач має номінальну статичну характеристику 50M (рис. 3.6), то для нього $R_o = 50 \text{ Ом}$; α – температурний коефіцієнт опору.

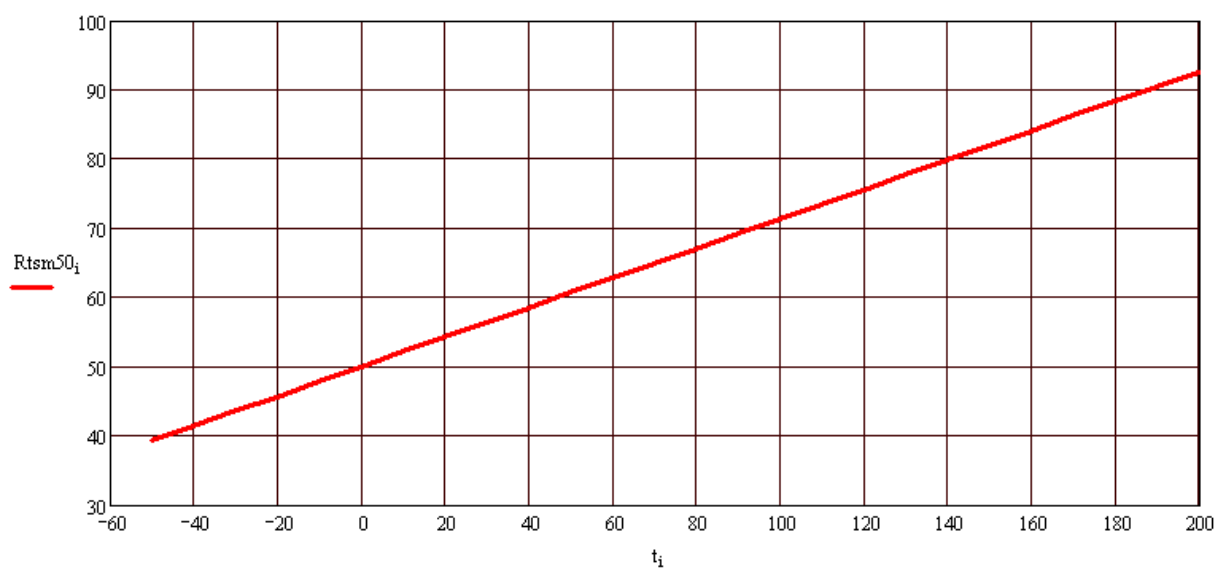


Рис. 3.6. Статична характеристика мідного термоопору із HSCX 50M
(значення опору при $t = 0^\circ\text{C}$ дорівнює $R_o = 50 \text{ Ом}$)

Для мідних термометрів опору він становить $4,26 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}/^\circ\text{C}$.

Тоді $k_{CE} = 50 \cdot 4,26 \cdot 10^{-3} = 0,213 \text{ Ом}/^\circ\text{C}$, і передатна функція сприймаючого елемента

$$W_{CE}(s) = \frac{0,213}{15 \cdot s + 1}.$$

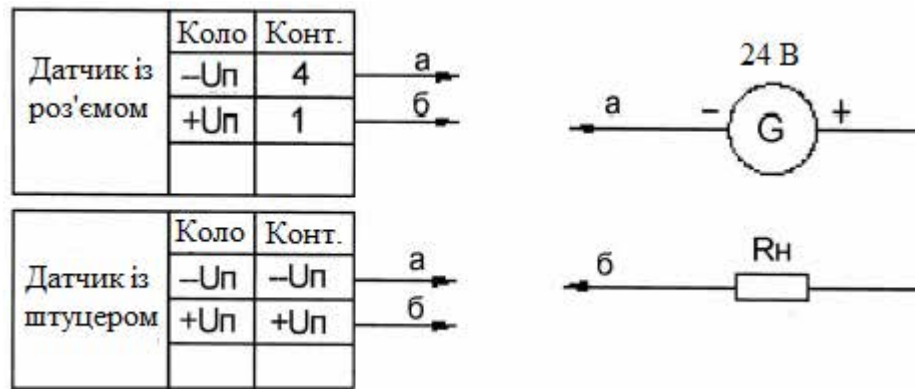


Рис. 3.7. Схема зовнішніх з'єднань датчиків типу AQteck ДТС125

із вихідним сигналом 4-20 мА

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;

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

Під час вибору регулюючих органів є певна послідовність розрахунків:

2. Обчислюють максимальну пропускну здатність регулюючого органу та його умовний діаметр.
3. Визначають робочий відрізок витратної характеристики.
4. Знаходять теоретичну витратну характеристику (для клапанів).
5. Визначають для рідини робочу ділянку кривої зміни перепаду тиску (для газу та пари знаходять максимальний та мінімальний перепади тиску).

Обчислюємо максимальну пропускну здатність РО:

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

Регулювальний орган вибирають за умови, що

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

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 $K_{\gamma \text{РО}} = 50 \text{ м}^3/\text{год.}$

Таблиця 3.3.

Формули для розрахунку пропускну здатності [7]

Вид гідравлічного опору	Перепад тиску	Витрата		
		рідини Q, м ³ /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	$\Delta P_{\text{л}} < P_2/2$	$K_{\gamma \text{л}} = Q \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{\text{л}}}}$	$K_{\gamma \text{л}} = \frac{G}{514} \cdot \sqrt{\frac{T_2}{\Delta P_{\text{л}} \cdot P_3 \cdot \gamma_n}}$	$K_{\gamma \text{л}} = \frac{G}{31,6} \cdot \sqrt{\frac{V_3}{\Delta P_{\text{л}}}}$
	$\Delta P_{\text{л}} \geq P_2/2$		$K_{\gamma} = \frac{G}{257 \cdot P_2} \cdot \sqrt{\frac{T_2}{\gamma_n}}$	$K_{\gamma \text{л}} = \frac{G}{2,4} \cdot \sqrt{\frac{V_1}{P_2}}$

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:

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

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

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

Уточнюємо перепад тиску на виконавчому пристрої:

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

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

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

Знаходимо відносну максимальну та мінімальну витрату рідини:

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

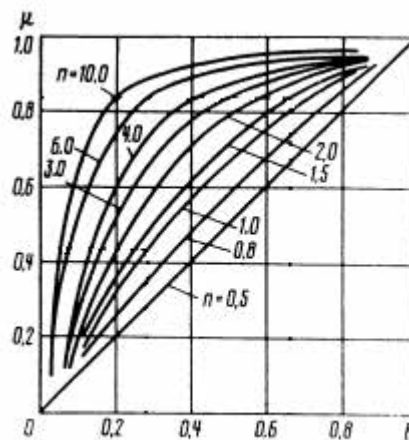


Рис. 3.8. Робочі витратні характеристики для регулювальних клапанів

За графіком (рис. 3.8) вибираємо витратну характеристику ВМ, згідно якої відносний хід затвора регулювального органу (плунжера):

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

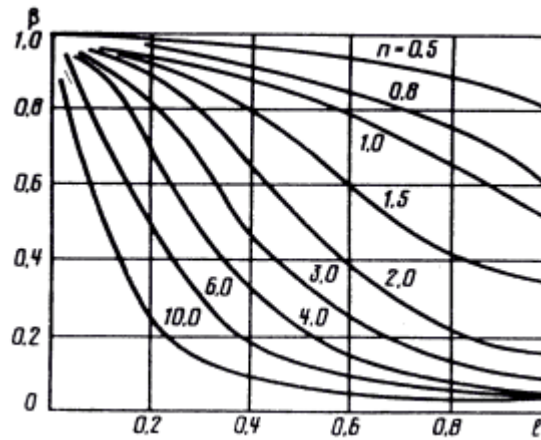


Рис. 3.9. Зміни перепадів тисків на ВМ для регулювальних клапанів

При цьому відношення перепаду тиску на РО до перепаду тиску в системі змінюється від $\beta_{\max}=0,95$ до $\beta_{\min}=0,68$ (рис. 3.9), 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]:

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

де M_p – реактивний момент:

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

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

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

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

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. 3.10), 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.;

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

Δt - проміжок часу, с;

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



Рис. 3.10. Виконавчий механізм BELIMO SM24A

Таблиця 3.4.

Технічні характеристики сервоприводу BELIMO SM24A

Тип	Максимальний момент навантаження, Н·м	Час повного ходу, сек/90°	Температура навколишнього середовища, °C	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

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

Для вимірювання тиску в трубопроводах системи опалення використовуються датчики тиску XMLG010D21 (рис. 3.11) із аналоговим виходом 4...20 мА, напругою живлення 12...24 В, розрахований на вимірювання тиску 0...10 бар.



Рис. 3.11. Датчик тиску XMLG010D21

Для керування електродвигунами приводу припливного і витяжного вентиляторів використовується частотний перетворювач ATV 312HU55N4 компанії Schneider Electric (рис. 3.12).



Рис. 3.12. 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 ПЛК. 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 $2w_c$, де w_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 w_c рад/с, він повністю описується своїми значеннями, виміряними у дискретні моменти часу за інтервалом $T_k = \pi w_c$.

Визначення передатної функції неперервної частини розімкнутої системи:

$$W_{\text{роз.}}^{\text{н.ч.}}(p) = \frac{K_\theta}{T_{\theta m}p + 1} \frac{K_o}{T_{oy}p + 1} = \frac{K_\theta K_o}{T_{\theta m}T_{oy}p^2 + (T_\theta + T_o)p + 1} \quad (4.1)$$

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

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 (АЧХ) неперервної частини замкненої системи:

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

У результаті розв'язання рівняння

$$A(w) = \frac{K_\theta K_o}{\sqrt{(-T_\theta T_o w^2 + 1 + K_\theta K_o)^2 + (T_\theta T_o)^2 w^2}} = 0.01$$

Отримаємо значення частоти за рис. 4.1.

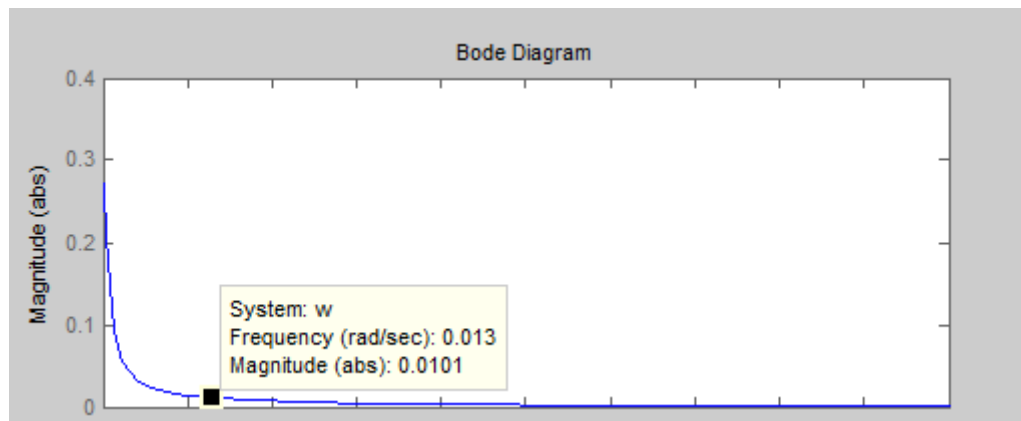


Рис. 4.1. АЧХ системи керування

$$w_c = 0.013$$

і значення часу квантування:

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

4.2. Дослідження цифрового ПІ-регулятора

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

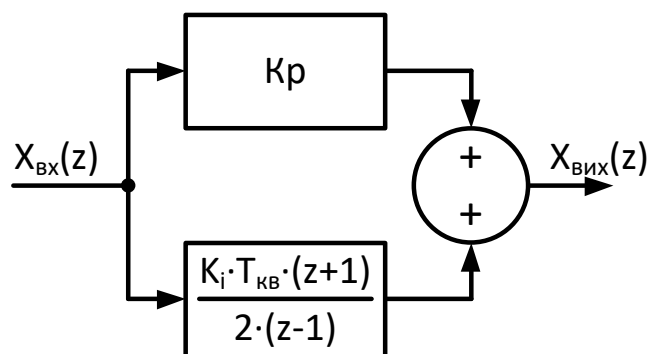


Рис. 4.2. Структурно-алгоритмічна схема цифрового ПІ-регулятора:
 K_p , K_i – параметри відповідно пропорційної та інтегральної складових
 ПІ-регулятора, T – період квантування.

Синтез ПІ-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	$3 \dots 10$
~ 10	$0,3 \dots 1$
~ 100	$0,01 \dots 0,04$
~ 1000	$0,004 \dots 0,012$

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

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

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

та Z-перетворення неперервної передатної функції на дискретну

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

де w – змінна, що отримала вираз неперервної передаточної функції;

T – крок квантування.

При синтезі ПІ-регулятора ми нехтуємо малою постійною часу W_M , оскільки ПІ-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:

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

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).

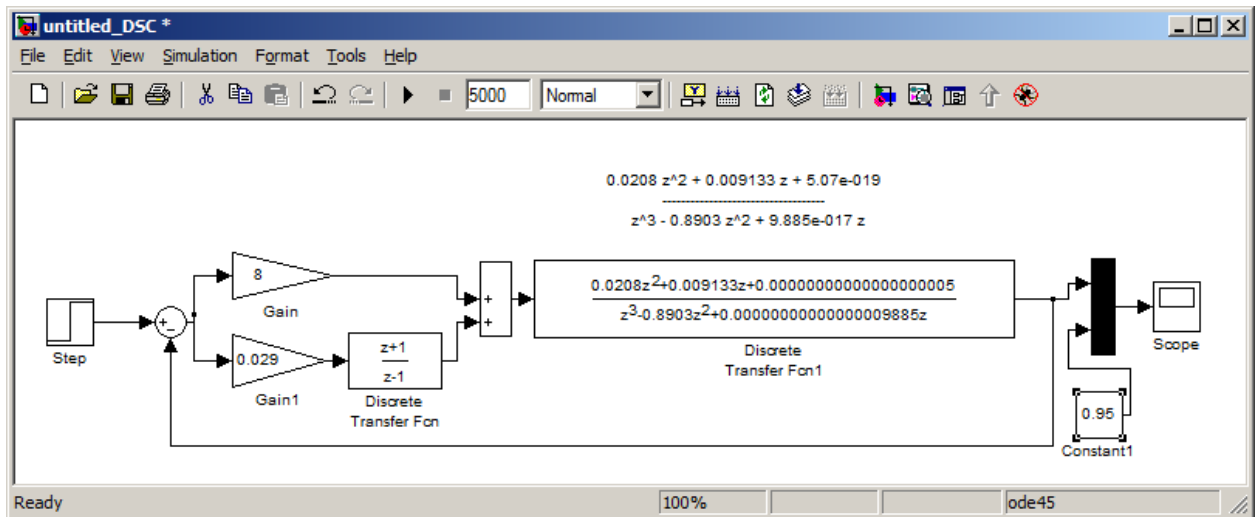


Рис. 4.3. Структурна модель цифрової системи

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

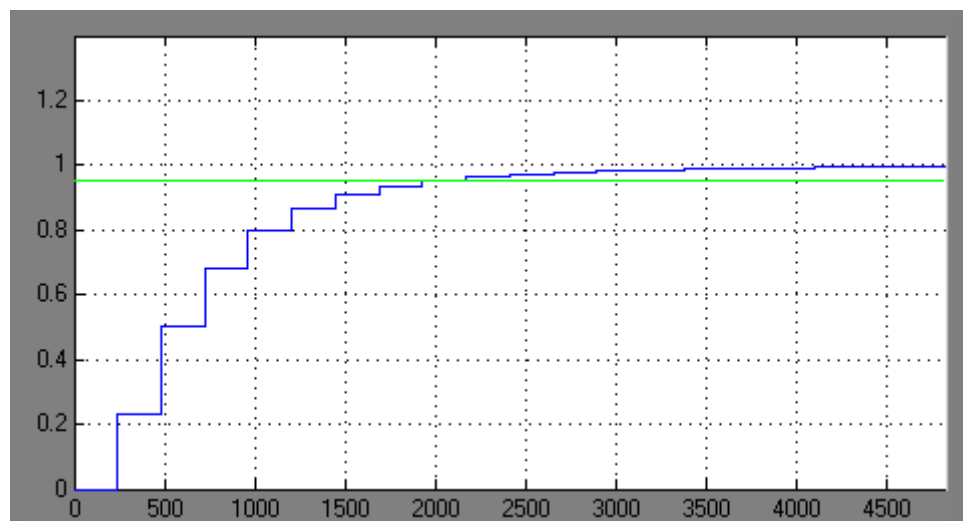


Рис. 4.4. Перехідний процес цифрової системи з ПІ-регулятором

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.

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

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

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

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

$$W(z) := \frac{-0.082117242999999988345 \cdot z + -0.034519123 \cdot z^2 + 19.76700000000000000001 \cdot z + -17.965 \cdot z^2 + -3.802 \cdot z^3 + 2 \cdot z^4 - 1.014e-18}{19.76700000000000000001 \cdot z + -17.965 \cdot z^2 + -3.802 \cdot z^3 + 2 \cdot z^4 - 1.014e-18}$$

У результаті було отримано наступне характеристичне рівняння:

$$19.76700000000000000001 \cdot z + -17.965 \cdot z^2 + -3.802 \cdot z^3 + 2 \cdot z^4 - 1.014e-18 = 0$$

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;

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

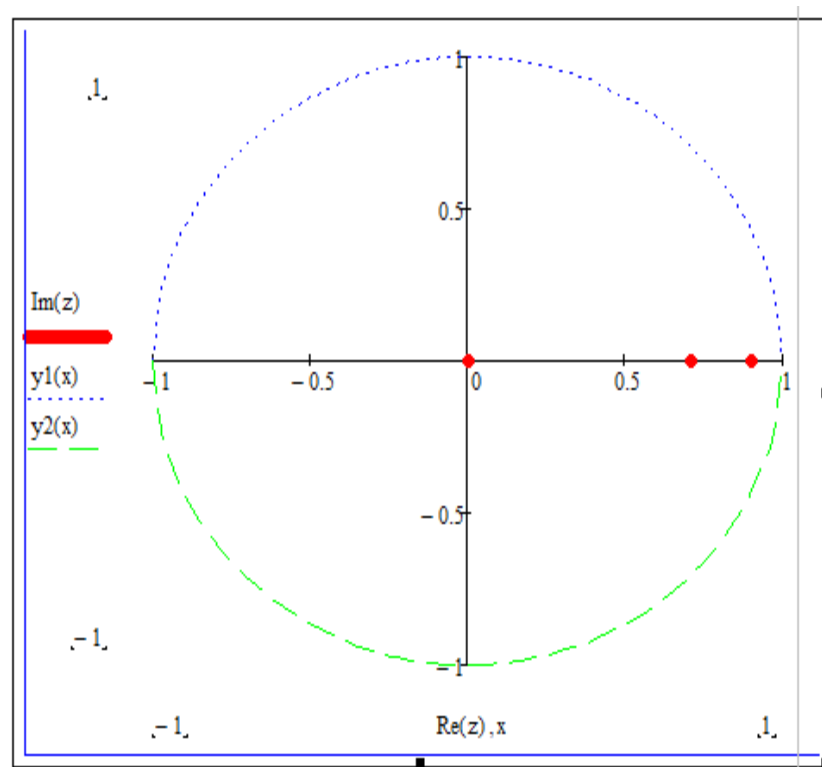


Рис. 4.5. Корені характеристичного рівняння на комплексній площині

РОЗДІЛ 5

СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1. Розробка схеми електричної принципової САК температурним режимом на фармацевтичному складі

Схема електрична принципова системи автоматичного керування температурним режимом на фармацевтичному складі зображена на аркуші 2 графічної частини роботи. На ній 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 AQteck ПЛК110 (**D1**).

Інформація про стан технологічних параметрів системи надходить до контролера від датчиків температури AQteck ДТС125 **D5**, **D6**, **D7** (відповідають датчикам ТЕ (1-1), ТЕ (1-2), ТЕ (1-3) на функціональній схемі автоматизації); датчика концентрації вуглекислого газу в приміщенні **D8** (QE (1-4)); датчиків температури **D9**, **D10** (ТЕ (1-5), ТЕ (1-6) на функціональній схемі); датчиків тиску XMLG010D21 **D11**, **D12** (РЕ (1-7), РЕ (1-8)). Вказані датчики передають свої значення через модуль аналогового вводу MB110-224.8A (**D2**). Для керування електродвигуном приводу відцентрового вентилятора подачі повітря у приміщення складу (**M1**) AIP80A2Y3 використовується частотний перетворювач ATV 312HU55N4 (**U1**), який, в свою чергу, отримує сигнали керування через інтерфейсу RS-485 від програмного логічного контролера AQteck 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).

Для керування виконавчими механізмами – сервоприводами BELIMO SM24A (**D13**, **D14**, **D15**) використовується модуль аналогового виведення MY110-224.6Y (**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 (**M1**) 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 (**M2** та **M3**) потужністю 1,5 кВт.

Таблиця 5.1.

Технічні характеристики електродвигуна АИР80А2 У3

$P_{н.дв}$, кВт	n , $\frac{об.}{хв.}$	I_H , А	η , %	$\cos \varphi$	S_H , %	$\frac{I_{пуск}}{I_H}$	$\frac{M_{пуск}}{M_H}$	$\frac{M_{макс}}{M_H}$	$\frac{M_{мин}}{M_H}$	$J_{дв}$, $кг \cdot м^2$
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

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

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

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

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

- струм відсічки електромагнітного та теплового розчіплювача в даному випадку

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

$I_{ПУСК.НАЙБ.}$ - 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. 5.1) – автоматичний вимикач з електромагнітним та тепловим розчіплювачем, без вільних контактів, без температурної компенсації, технічні характеристики якого наведені в таблиці 5.2.

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 7,5 при 500 V AC 50/60 Гц 9,0 при 690 V AC 50/60 Гц 11,0 при 690 V AC 50/60 Гц
Номинальний струм $I_{H.AB}$, А	6
Номинальний струм електромагнітних розчіплювачів $I_{H.RO3Ч}$, А	6
Номинальний струм теплових розчіплювачів $I_{H.RO3Ч}$, 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



Рис. 5.1. Зовнішній вигляд автоматичного вимикача

GV2ME Schneider Electric

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

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

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. 5.2) – 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

Номінальна напруга $U_{H.AB}$, В	440 V AC 50/60 Гц у відповідності з ІЕС 60947-2
Номінальний струм $I_{H.AB}$, А	10
Номінальний струм електромагнітних розчіплювачів $I_{H.РОЗЧ}$, А	10
Уставка за струмом відсічки електромагнітного розчіплювача $I_{ВІДС.РОЗЧ}$, А	$I_{ВІДС.РОЗЧ} = 12 \cdot I_{H.РОЗЧ}$
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

$$U_{H.AB} > U_{Ж} = 220 \text{ В};$$

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

$$I_{H.ROЗЧ} > I_{K.KEP}, 10A > 6A;$$

$$I_{ВДС.РОЗЧ} > (1,5...1,6) \cdot I_{K.KEP}, I_{відс.розч.} = 12 \cdot I_{H.розч.} = 12 \cdot 10 = 120 A;$$

$$120 > (1,5...1,6) \cdot 6 = 8,0...9,6 A.$$



Рис. 5.2. 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

$$U_{H.ЕП} \geq U_{Ж}; \quad (5.9)$$

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

$$I_{H.ЕП} \geq I_H; \quad (5.10)$$

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

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

- 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 – неререверсивний, 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 $U_{H.EP} = 380 \text{ В}$ силового кола $I_{H.EP} = 10 \text{ А}$, номінальною напругою втягуючої котушки $U_{H.KOT} = 220 \text{ В}$ (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 трубі (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

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

де $I_{розр}$ - 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

$$I_{PO3P.DB} = \frac{10^3 P_{H.DB}}{\sqrt{3} U_H \eta_H \cos \varphi_H}. \quad (5.13)$$

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

$$I_{M.PO3P} = K_O \cdot \sum_{i=1}^m I_{PO3P.DB.i}, \quad (5.14)$$

де K_O - коефіцієнт одночасності роботи електродвигунів;

$\sum_{i=1}^m I_{PO3P.DB.i}$ - 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 мм², тривало допустимий струм якого дорівнює 19 А. Кабель прокладається в трубі [17].

Вибір проводів живлення кола управління. Враховуючи, що номінальний струм живлення котушок магнітних пускачів, 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 мм² 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 мм²,

тривало допустимий струм яких дорівнює 30 А, перерізом жили нульового проводу 2,5 мм². 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, ДСТУ 3288-95 (ГОСТ 26032-96) "Система уніфікованих типових конструкцій агрегатних комплексів. Загальні технічні умови", ОСТ 36.13-76. 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°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 AQteck ПЛК 110 здійснюється за допомогою стандартного програмного пакету CoDeSys v.2.3 від компанії AQteck.

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), вплив 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 вологість. 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.

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.

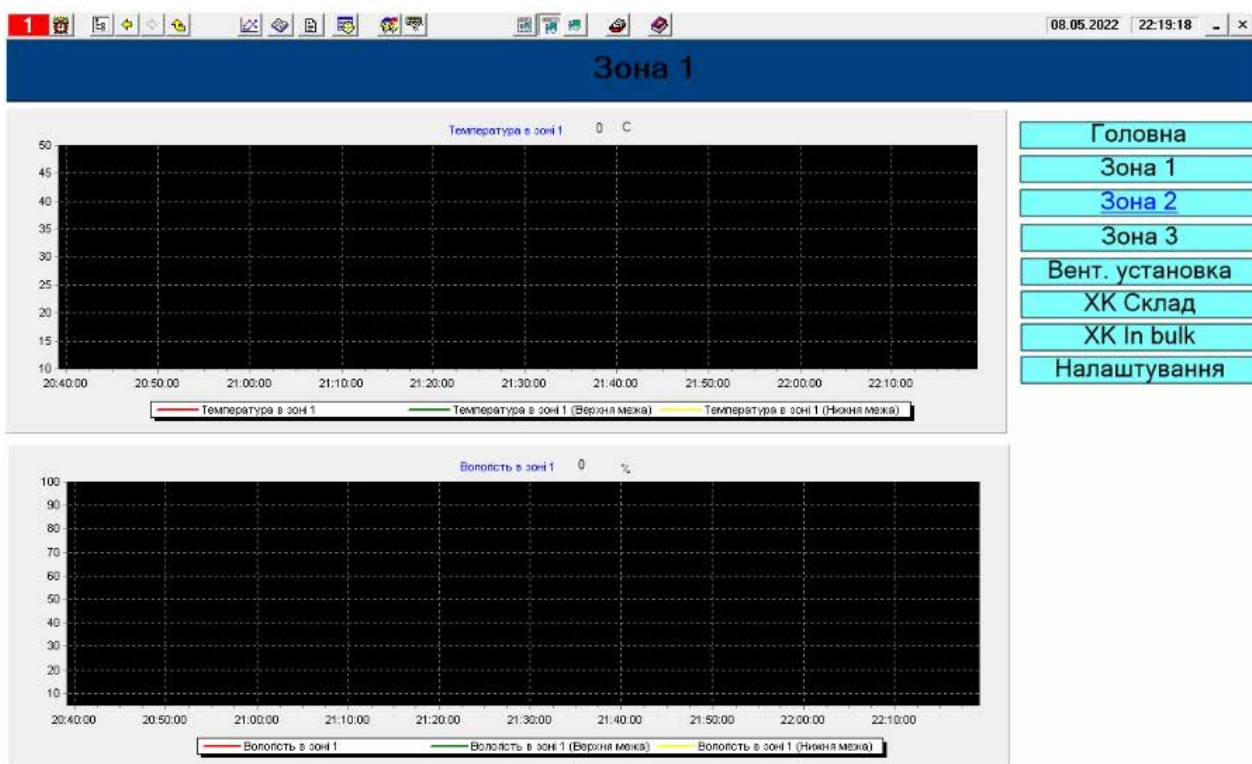


Рис. 6.1. Інтерфейс вікон "Зона 1", "Зона 2", "Зона 3"

Тревоги

Активних		Неактивних	
Не підтверджених	1	Не підтверджених	1
Підтверджених	0	Підтверджених	0

Список тревог

Название	Появилась	Подтверждена	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

Підтвердити
Сняти
Мнемосхема
Закрити

Рис. 6.2. 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.

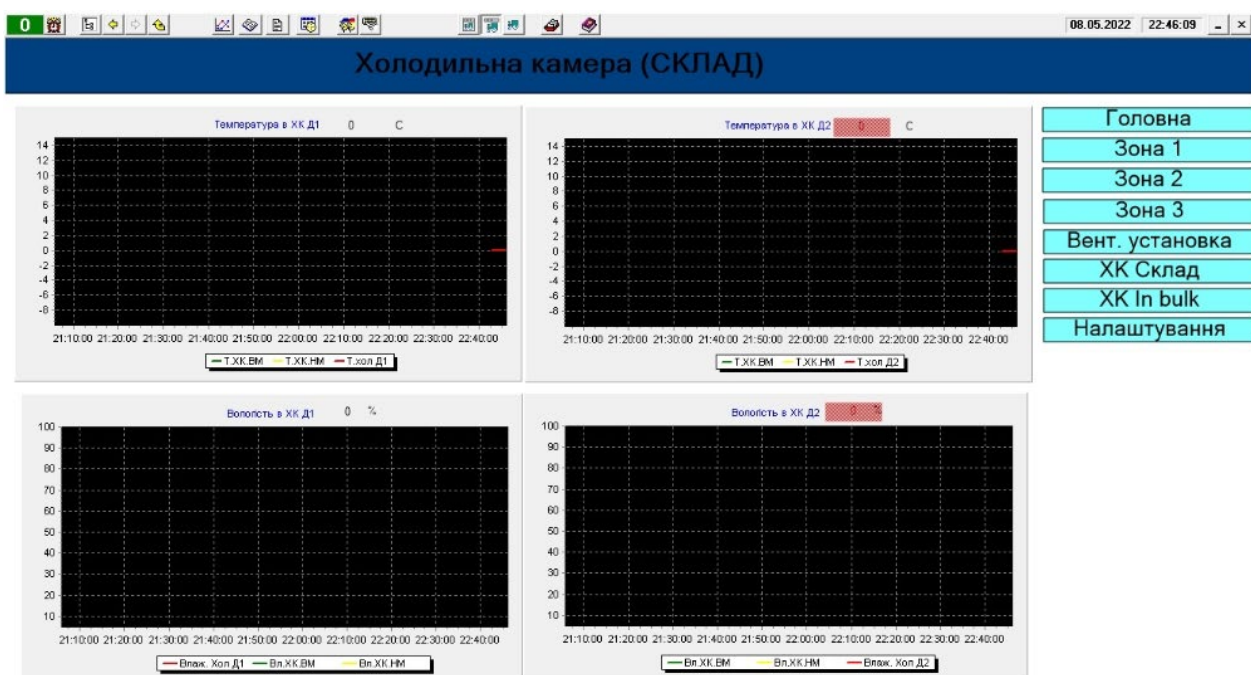


Рис. 6.3. Вікно холодильної камери

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

У вікні відображення архівних даних 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.

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 $C_3 = 22,5 \text{ грн./год.}$

Витрати на утримання основних засобів виробництва C_y 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 $C_{\text{ПР}}$ (також визначають у відсотках від балансової вартості обладнання приладів і засобів автоматизації, приймають $C_{\text{ПР}} = 18\%$).

Витрати на електроенергію визначаються за споживаною потужністю приладів і тарифами на електроенергію для виробничих цілей (приймається $4,50 \frac{\text{грн.}}{\text{кВт} \cdot \text{год.}}$):

$$C_E = P_{\text{СП}} \cdot \Gamma \cdot 4,50, \quad (7.2)$$

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

Γ – кількість годин роботи споживачів на рік.

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

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

При визначенні капітальних вкладень необхідно враховувати:

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

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

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

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

$$K_3 = K_{TZA} + K_{II}, \quad (7.7)$$

K_{TZA} – вартість технічних засобів автоматики у складі САК, *грн.*;

K_{II} – вартість плат та провідників, *грн.*

Вартість технічних засобів автоматизації визначається із загального кошторису системи керування.

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

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

Загальна вартість технічних засобів автоматизації складає

$$K_3 = K_{TZA} + K_{II} = 14620,00 + 2550,00 = 17170,28 \text{ *грн.*}$$

Торгівельно-транспортні та складські витрати

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

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

$$C_A = 0,142 \cdot K = 0,142 \cdot 22322,18 = 3170,01 \text{ грн.};$$

- відрахування на поточний ремонт

$$C_{PP} = 0,18 \cdot K = 0,18 \cdot 2232,47 = 4017,99 \text{ грн.};$$

- утримання основних засобів виробництва

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

- витрати на електроенергію

$$C_E = P_{СП} \cdot \Gamma_{ТО} \cdot 4,50.$$

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

$$C_E = 19 \cdot 1200 \cdot 4,50 = 102600 \text{ грн.}$$

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

$$B_{3B} = C + E_H \cdot K = 129272 + 0,15 \cdot 22322,18 = 132620 \text{ грн.}$$

Чистий прибуток, років, можна визначити за виразом

$$\mathcal{C} = \Delta C_3 + \Delta C_E, \quad (7.8)$$

де ΔC_3 – прибуток за рахунок економії заробітної плати, грн.;

ΔC_E – прибуток за рахунок економії електричної енергії, грн.

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

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

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

Термін окупності установки складатиме

$$T_{ОКУП} = \frac{K}{\mathcal{C}} = \frac{24000}{19000} = 1,3 \text{ року.}$$

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 бакалаврської кваліфікаційної роботи згідно із завданням розроблено систему автоматичного керування температурою на фармацевтичному складі із використанням комплексу технічних засобів AQteck 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 температурним режимом із використанням датчиків температури AQteck ДТС125, тиску XMLG010D21, сервоприводів BELIMO SM24A, частотного перетворювача ATV 312HU55N4, програмно-логічного контролера AQteck ПЛК110 із необхідним додатковим обладнанням.

4. Цифрова САК температурою в будівлі забезпечує стійку роботу з наступними показниками якості: коливальність $n = 0$; 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 В.2.2-10:2022 "Заклади охорони здоров'я. Основні положення".
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. Лисенко В.П., Болбот І.М., Наливайко В.А., Наконечна К.В., Лендел Т.І., Жук Д.Є. Проектування систем автоматизації для АПК: Підручник. – Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2022. – 626 с.
12. Лисенко В.П., Болбот І.М., Шворов С.А., Коваль В.В., Заєць Н.А., Лендел Т.І., Наконечна К.В., Болбот А.І. Основні методи та методики підготовки кваліфікаційної роботи магістрів: Навчальний посібник. – Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2023. – 462 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. Технічні засоби автоматизації (Частина 2) / М.В. Лукінюк, В.П. Лисенко, В.Є. Лукін, А.М. Гладкий, С.А. Шворов, А.А. Руденський, А.А. Заверткін. – Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2018. – 455 с.
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://teplogrup.ua/ventilyatsiya/tipovye-shemy-i-pravila-sostavleniya-proektasistemy-ventilyacii-v-chastnom-dome.html>.
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.ua/rekuperator-s-promezhutochnym-teplonositelem/> .
24. Що таке адсорбційний осушувач повітря. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://energomir.ua/blog/adsorbciyniy_osushuvach_1.
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. Належна аптечна практика у Нових Незалежних Державах. Настанова із розробки і впровадженню стандартів / Спеціальний проект ВОЗ по фармації у ННГ у співробітництві з Центром ВОЗ з лікарської політики та розвитку фармацевтичної практики. – Копенгаген, 2001 // Провізор. – 2002. №17,18; Good Pharmacy Practice (GPP) in developing countries. Supplementary guidelines for stepwise implementation. FIP Community Pharmacy Section, 1999; Standards for quality of pharmacy services. International Pharmaceutical Federation FIP, 1993.
28. Настанова «Належна практика зберігання фармацевтичної продукції» // Провізор. – 2004. - №18; Ніфант'єв О.Е., Ніфант'єв Е.О. Належна виробнича практика у відповідях і запитаннях. – Вип. 1. Складські зони. – К., 2002.
29. СТ-Н МОЗУ 42-5.0:2008 Настанова «Лікарські засоби. Належна практика дистрибуції» / І.Г. Левашова, А.Н. Мурашко, Ю.В. Підпружніков. – К.: МОРІОН, 2006.

№ кімнати	Назва	Позначення	Орієнтація	Розміри, м		Площа, м²	K, Вт/м²K	Δt, °C	n	Додаткові тепловтрати					Тепловтрати конструкцій, Вт	Темп. прим., Вт	Площа прим. м²	Висота приміщ.	Тепловтрати на вентильцію, Вт	Зар. тепловтр., Вт	Радіатори	
				ширина	висота					опістання	вітер	стіни	двері	Σ							типорозм	кількість
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
102	Сх.кімнати +16	ЗСТ	Зх	5,6	3,3	18,5	0,26	37	1	5	5	-	-	1,1	195,8	813,1	34,76	3,3	1430,3	2243,4	FTV 22-500×1158	шт. 2
		В	Пд	1,8	2,9	5,2	1,9	37	1	-	5	-	-	1,05	385,3							
		ЗСТ	Пд	3,9	3,3	13,0	0,26	37	1	-	5	-	-	1,05	131,3							
		П	-	-	-	34,76	0,23	21	0,6	-	-	-	-	-	100,7							
		ЗСТ	Зх	17,5	3,3	57,8	0,26	36	1	5	5	5	-	1,15	622,1							
103	Зара пещерати +15	ЗСТ	Пд	9,2	3,3	30,4	0,26	36	1	-	5	5	-	1,1	312,9	5751,8	237,6	3,3	9512,4	15264,2	FTV 12-500×1712	шт. 9
		ЗСТ	Сх	22,3	3,3	73,9	0,26	36	1	10	5	5	-	1,2	826,7							
		В	Пд	2(1,6x2,5)		9,3	1,9	36	1	-	5	5	-	1,1	699,7							
		В	Сх	6(1,6x2,5)		27,5	1,9	36	1	10	5	5	-	1,2	2257,2							
		В	Сх	1,6x2,5		4,6	1,9	36	1	10	5	5	-	1,2	377,58							
		П	-	-	-	237,6	0,23	20	0,6	-	-	-	-	-	655,7							
						9,6																

ДОДАТОК А1

Тепловтрати приміщення, 1-й поверх

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

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

№ кімнати	Назва	Позначення	Орієнтація	Розміри, м		Площа, м²	K, Вт/ м²K	Δt, °C	n	Додаткові тепловтрати					Тепловтрати конструкцій, Вт	Тс-пл. прим., Вт	Площа прим. м²	Висота приміщ.,	Тепловтрати на вентиляцію, Вт	Заг. тепловтр., Вт	Радіатори																														
				ширина	висота					орієнтація	вітер	стіни	дах	Σ							типорозм	кількість																													
202		3Cr	3x	4,8	3,3	15,8	0,26	40	1	5	5	5	-	1,15	188,9	11019,8					FTV 22-500×2702		1 шт.																												
																								3Cr	Cx	5,4	3,3	17,8	0,26	40	1	10	5	5	-	1,2	222,1														
																																						3Cr	Cx	6,2	3,3	20,4	0,26	40	1	10	5	5	-	1,2	254,6
		3Cr	3x	17,5	3,3	57,8	0,26	40	1	5	5	5	-	1,15	691,3	8652,6					948,5																														
		В	- Пд	30	2,9	87	1,9	40	1	5	5	5	-	1,15	8652,6																																				
		В	Cx	3(1,6×2,5)		10,4	1,9	40	1	10	5	5	-	1,2	948,5	65,4					65,4																														
203	Приміщення персоналу +18	3Cr	Cx	1,7	3,3	5,6	0,26	39	1	10	5	-	-	1,15	65,4								FTV 11-400×379					1 шт.																							
185,5	120,1	185,5	FTV 22-500×2702					356,05		3,3		120,1					185,5																																		

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

205	Гардероб +25		3СТ	3С	Т	В	3СТ	ПФ	3С	3С	11, 6	0,26	46	1	10	5	5	5	-	1,2	166,5	476,3	8,94	3,3	457,3	933,6	FTV 11- 500×1032	1шт.
			3СТ	Сх	2,5 1	3,3	8,2 8	0,26	46	1	5	5	5	-	1,15	113,9	64,7	2,55	3,3	116,3	180,9		FTV 11- 400×379	1шт.				
			3СТ	Сх	1,6	3,3	5,2 8	0,26	41	1	10	5	-	-	1,15	64,7		64,7	64,7	64,7	64,7		64,7	64,7	64,7			
			3СТ	Сх	1,6	3,3	5,2 8	0,26	41	1	10	5	-	-	1,15			64,7	64,7	64,7	64,7		64,7	64,7	64,7	64,7		
204	2	Санвузол +20	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23					

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

№ кімнати	Назва	Позначення	Орієнтація	Розміри, м		Площа, м²	K, Вт/ м²K	Δt, °C	n	Додаткові тепловтрати					Тепловтрати конструкцій, Вт	Т-пл. прим., Вт	Площа прим. м²	Висота приміщ.	Тепловтрати на Вентиляцію, Вт	Зар. тепловтр., Вт	Радіатори					
				ширина	висота					опістання	вітер	стіни	двері	Σ							типорозм	кількість				
402	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23			
			3Cr	3x	4,8	3,3	15,8	0,26	40	1	5	5	5	-	1,15	188,9	13138,8					309,8	3,3	FTV 22-500×2702		т. 11ш
			3Cr	Cx	5,4	3,3	17,8	0,26	40	1	10	5	5	-	1,2	222,1										
			3Cr	Cx	6,2	3,3	20,4	0,26	40	1	10	5	5	-	1,2	254,6										
			3Cr	Пн	1,5	3,3	4,95	0,26	40	1	10	5	5	-	1,2	61,8										
			3Cr	3x	17,5	3,3	57,8	0,26	40	1	5	5	5	-	1,15	691,3										
			В	Пц	30	2,9	87	1,9	40	1	5	5	5	-	1,15	8652,6										
			В	Cx	3(1,6×2,5)		10,4	1,9	40	1	10	5	5	-	1,2	948,5										
			Покр	-	-		309,80	0,18	38	1	-	-	-	-	-	2119,0										

ДОДАТОК А5 Тепловтрати 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 $T, ^\circ C$	$y(t_i)$	Час t_i, c	Температура $T, ^\circ C$	$y(t_i)$
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

