

**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)

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

на тему **"РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО  
КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ СКЛАДСЬКОГО ПРИМІЩЕННЯ  
МИТНОГО ТЕРМІНАЛУ"**

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

**Гарант освітньої програми**

Д.Т.Н., проф. \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

Заєць Н.А.  
(П.І.Б.)

**Керівник кваліфікаційної бакалаврської роботи**

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

Опришко О.О.  
(П.І.Б.)

**Виконала**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Племянник В.Р.  
(П.І.Б.)

**КИЇВ – 2025**

**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 кваліфікаційної бакалаврської роботи студентці**

**Плем'яник Валерії Русланівні**

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

1. Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи: **"Розроблення системи автоматичного керування мікрокліматом складського приміщення митного терміналу"**,

затверджена наказом ректора НУБіП України від "18" 11 2024 р. № 2056"С"

2. Термін подання завершеної роботи на кафедру "29" травня 2025 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної бакалаврської роботи:

- 3.1. Завдання кафедри на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи.
- 3.2. Нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації.
- 3.3. Наукова література з тематики кваліфікаційної бакалаврської роботи.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

- 4.1. Вентиляційна система митного терміналу як об'єкт автоматизації.
- 4.2. Розробка та дослідження математичної моделі керування температурою та вологістю у приміщенні митного терміналу.
- 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 митного терміналу із системою віддаленого моніторингу.
- 4.7. Техніко-економічне обґрунтування.

5. Перелік графічних документів:

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

5.2. Система автоматичного керування вентиляційною установкою приміщень митного терміналу. Схема електрична принципова.

5.3. Система автоматичного керування вентиляційною установкою приміщень митного терміналу. Схема електрична підключень.

5.5. Система автоматичного керування вентиляційною установкою приміщень митного терміналу. Зовнішній вид шафи керування.

Дата видачі завдання "21" листопада 2024 року

**Керівник  
кваліфікаційної  
бакалаврської роботи**

\_\_\_\_\_

(підпис)

Опришко О.О.  
(П.І.Б.)

**Завдання прийняла до  
виконання**

\_\_\_\_\_

(підпис)

Племянник В.Р.  
(П.І.Б.)

## ЗМІСТ

Вступ .....	6
РОЗДІЛ 1. Вентиляційна система митного терміналу як об'єкт автоматизації .....	10
1.1. Митний термінал як ключовий ланцюг у процесі здійснення міжнародних операцій з перетину кордонів та митного оформлення товарів .....	10
1.2. Вентиляція як один із способів боротьби із пандемією коронавірусу в митних терміналах як місцях великого скупчення гостей із різних країн .....	13
1.3. Вимоги до параметрів мікроклімату митних терміналів .....	19
1.4. Огляд і аналіз існуючих вентиляційних систем митних терміналів і складів .....	21
1.5. Функціональна схема автоматизації припливно-витяжної вентиляційної установки із рекуператором для митного терміналу .....	26
РОЗДІЛ 2. Розробка та дослідження математичної моделі керування температурою та вологістю у приміщенні митного терміналу .....	28
2.1. Загальна характеристика об'єкта автоматизації .....	28
2.2. Теплотехнічний розрахунок огорожуючих конструкцій будівлі митного терміналу .....	30
2.2.1. Будова і розрахунок зовнішньої стіни .....	31
2.2.2. Будова і розрахунок підлоги .....	33
2.2.3. Будова і розрахунок горищного перекриття .....	34
2.2.4. Розрахунок вікон .....	36
2.3. Розрахунок теплових втрат по поверххах та будівлі в цілому .....	37
2.4. Розробка математичної моделі температурного режиму митного терміналу .....	39
РОЗДІЛ 3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань .....	48
3.1. Вибір алгоритму керування та засобів його реалізації .....	48
3.2. Вибір комплексу технічних засобів автоматизації .....	54
РОЗДІЛ 4. Розробка цифрової системи керування .....	68
4.1. Визначення періоду квантування сигналів ЦСК .....	68
4.2. Дослідження цифрового ПІ-регулятора .....	70
4.3. Дослідження цифрової системи на стійкість та якість .....	74
РОЗДІЛ 5. Схеми системи автоматизації .....	76
5.1. Розробка схеми електричної принципової САК параметрами мікроклімату на митному терміналі .....	76
5.2. Вибір апаратури захисту і керування .....	77
5.3. Вибір проводів та кабелів .....	82
5.4. Вибір щита керування .....	84

РОЗДІЛ 6. Система контролю та управління кліматом митного терміналу із системою віддаленого моніторингу .....	85
РОЗДІЛ 7. Техніко-економічне обґрунтування .....	94
Висновки .....	99
Література .....	100
Додатки .....	103

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Пандемія вірусу COVID-19 протягом 2019–2021 років встигла поширитись на всі світові континенти. Україна відчула перші зміни, що принесло захворювання з Китаю в кінці 2019-го. За три роки коронавірус зміг вплинути на всі складові державної політики України. Найбільших збитків він приніс *митній* справі. Тож доцільно проаналізувати стан митної політики України за 2019–2021 роки, виявити проблеми, завдані вітчизняній економіці загалом та митній сфері зокрема і розглянути методи їх подолання, зокрема з технічної точки зору [1].

Питанням розвитку митної політики України під час пандемії вірусу COVID-19 займалися такі вітчизняні вчені та науковці: Дубич К.В., Калуга Н.В., Караваєв Т.А., Ковальчук О.В., Прус Л.Р. та інші. Дослідження показників зовнішньоекономічної діяльності в коронавірусний період проводили Державна митна служба України та українські ЗМІ.

Найбільшою загрозою кінця 2019 року стало захворювання, що почало поширюватись в місті Ухань, Китайської Народної Республіки. Поширення його в Азії спершу викликало занепокоєння лише у медиків та керівництва держав-сусідів Китаю. Тоді спалах вірусу в одному місті насторожував лише близькі за розташування до нього країни та їхнє населення. У 2019 р. ніхто й подумати не міг, що окрім надзвичайно великих людських втрат, недостатнього рівня медицини для подолання захворювання, слабкого забезпечення медичними ресурсами громадян, вірус зможе стати причиною ще однією світової-економічної кризи.

Протягом 2019–2021 років коронавірус зачепив усі галузі життя населення: від питань економіки та політики країни, до особистих справ кожної людини. Однією зі сфер, яка зазнала найбільше потрясінь від уханської недуги, стала *митна політика*. Кожна країна зазнала різних змін у митній системі:

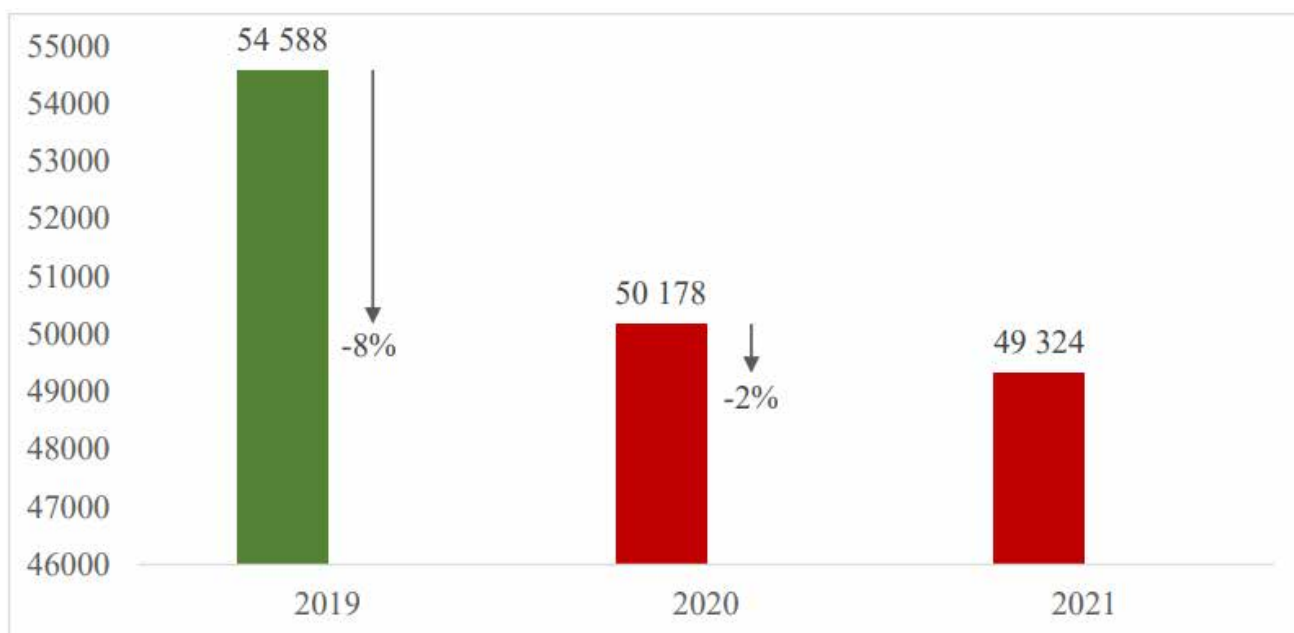
одним це принесло невеликі негативні наслідки, інші ж до сьогодні шукають методи вирішення митних проблем, викликаних захворюванням.

Тож пандемія зумовила виникнення таких проблем у внутрішньому стані митної політики України:

- зменшення прибутковості бізнесу через закриття деяких митних постів та введення карантинних обмежень;
- посилення вимог для юридичних та фізичних осіб при проходженні митного контролю і ускладнення його;
- неготовність митної служби перейти у дистанційний режим обслуговування громадян;
- відсутність належного фінансового забезпечення, яке б дозволило швидко переорієнтуватись митниці, відповідно до погіршення економічного стану в країні;
- збільшення скарг учасників митного процесу на діяльність митної системи;
- зростання випадків контрабанди та корупції в органах митної служби;
- недостатній рівень інформування населення та власників підприємств про правила проведення митного процесу у період карантину;
- погана обізнаність працівників митниці щодо виконання посадових обов'язків у період пандемії;
- повільний етап проведення вакцинації серед працівників митниці;
- низький рівень епідеміологічного захисту працівників митниці, що призвів до захворюваності вірусної інфекцією серед них.

Так, наприклад, на рис. В.1 зображені зміни, які відбулись у експорті нашої країни за 2019-2021 роки. У 2019 році Україна продала товарів закордон на суму 54 588 млн. дол., у 2020 році – на 50 178 млн. дол. (-8%), у 2021 році – на 49 324 млн. дол. (-2%). Зменшення обсягу експорту товарів відбулось через введення карантинних обмежень від торговельних країн-партнерів України, призупинення діяльності багатьох підприємств, що займались постачанням продукції закордон, зменшення потреби закупівлі сировини з-за кордону через

складну ситуації у світі, зниження міграційних процесів населення та ускладнення митного контролю [11].



\*дані 2021 року вказані за період січень-листопад

Рис. В.1. Експорт України за 2019–2021 роки, млн. дол. [24]

*Враховуючи, що Державна митниця (митні термінали) є вхідною брамою країни, яку перетинають люди і товари, підвищення епідеміологічного захисту працівників митниці, організація надійного карантину для товарів з інших країн, улаштування «чистих кімнат» для товарів медичного призначення і т.п. є зокрема і інженерною задачею, однією із складових частин якої є улаштування ефективної вентиляційної системи приміщень митного терміналу.*

З огляду на сказане, сформовані такі мета і задачі досліджень.

**Мета і задачі досліджень.** Метою кваліфікаційної бакалаврської роботи є розробка системи автоматичного керування параметрами мікроклімату на митному терміналі для забезпечення оптимального температурно-вологісного режиму роботи митного персоналу, запобіганню потраплянню іноземних вірусів і хвороб у країну, покращення умов зберігання митних товарів, із операторським інтерфейсом системи контролю та керування.

**Задачі досліджень:**

– дослідження особливостей формування мікрокліматичного режиму на території митних терміналів, принципів побудови припливно-витяжних систем вентиляції із рекуперацією тепла в таких приміщеннях;

– розробка функціональної схеми системи керування припливно-витяжною вентиляційною системою митного терміналу 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 митних терміналів.

**Предметом дослідження** є взаємозв'язки і закономірності впливу процесів і режимів керування обладнанням для створення мікроклімату на території митного терміналу на проникнення хвороб у країну та якість зберігання митних товарів.

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

## РОЗДІЛ 1

### ВЕНТИЛЯЦІЙНА СИСТЕМА МИТНОГО ТЕРМІНАЛУ ЯК ОБ'ЄКТ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 1.1. Митний термінал як ключовий ланцюг у процесі здійснення міжнародних операцій з перетину кордонів та митного оформлення товарів

*Митний термінал* (англ. *customs terminal*) – комплекс адміністративних складських приміщень, призначених для проведення в повному обсязі процедур митного контролю та оформлення вантажів, які переміщуються експрес-перевізниками й знаходяться під митним контролем [19].

Термін "*митний термінал*" виник у зв'язку з розвитком міжнародної торгівлі та збільшенням обсягів переміщення товарів через кордони. Митні термінали були створені для забезпечення зручної та ефективної обробки товарів при їх переміщенні через митний кордон.



Рис. 1.1. Приміщення митного терміналу Київської митниці

Перші митні термінали з'явилися в кінці 1950-х років в США та Канаді, де вони використовувалися для обробки товарів, що переміщалися на залізничі та автомобільному транспорті. У 1960-х роках митні термінали розширилися на морський транспорт, і вони стали невіддільною частиною міжнародної логістики. У 1970-х роках митні термінали стали відкриватися в інших країнах,

де вони були також використані для обробки товарів, що переміщуються через кордон. З появою нових технологій та інформаційних систем, митні термінали почали використовувати комп'ютерні програми та електронні системи для зберігання та обробки інформації про товари та митні документи.



Рис. 1.2. Приміщення митного складу

У 1991 році Україна стала незалежною державою. Цей момент прийнято вважати початком формування сучасної митної системи України. Зазначений період можна охарактеризувати зростанням економічної активності населення. У цьому ж 1991 році були прийняті Закон України «Про митну справу в Україні» та Закон України «Про введення в дію Митного кодексу України», в яких було закріплене право держави самостійно будувати власну митну систему та здійснювати митну справу (рис. 1.3).

Сьогодні митні термінали мають сучасну інфраструктуру та технічні засоби, які дозволяють забезпечувати швидку та ефективну обробку товарів, що переміщуються через митний кордон. Вони використовуються для різних видів транспорту – від автомобільних до повітряних та морських

Сучасний митний термінал – це спеціалізований об'єкт логістичної інфраструктури, який використовується для проведення митних процедур під час здійснення зовнішньоекономічної діяльності, зокрема митного оформлення вантажів, які перетинають митний кордон між різними митними територіями (наприклад, країнами або митними зонами).



Рис. 1.3. Структура Державної митної служби України

*Сутність митного терміналу* полягає в тому, що він є місцем, де здійснюється митне оформлення товарів, виконуються митні процедури, такі як огляд, оцінка, декларування та розрахунок митних платежів, та забезпечується додержання митних правил та регуляцій. Митні термінали можуть бути розташовані на території *морських портів, аеропортів, залізничних вузлів, автомобільних магістралей, спеціальних митних зон* або на кордонах між країнами.

**Функції митних терміналів:** експорт, імпорт, транзит та транспортування вантажів.

Вони можуть бути у власності митниці, приватних компаній або державних органів. Митні термінали також можуть бути обладнані спеціалізованою митною технікою, засобами забезпечення безпеки, системами електронного митного оформлення та іншими технічними засобами для забезпечення ефективної роботи митних процедур.

### **Основні види митних терміналів:**

**Морські порти** – термінали, розташовані на морському узбережжі, де здійснюється митний контроль товарів, що перевозяться морським транспортом.

**Аеропорти** – термінали, розташовані на аеродромах, де здійснюється митний контроль товарів, що перевозяться повітряним транспортом.

**Залізничні станції** – термінали, розташовані на залізничних станціях, де здійснюється митний контроль товарів, що перевозяться залізничним транспортом.

**Автомобільні митниці** – термінали, розташовані на міжнародних автомобільних дорогах, де здійснюється митний контроль товарів, що перевозяться автомобільним транспортом.

**Різні інші митні термінали** – наприклад, митний склад та митний пост, де проводиться митний контроль товарів, що переміщуються з-за кордону шляхом пошти, кур'єрських служб, а також товарів, що пересуваються від однієї митниці до іншої.

## **1.2. Вентиляція як один із способів боротьби із пандемією коронавірусу в митних терміналах як місцях великого скупчення гостей із різних країн**

**Ризик зараження коронавірусом можна прогнозувати за рівнем вуглекислого газу CO<sub>2</sub> [37].**

У засобах масової інформації надається багато рекомендацій щодо протидії поширенню коронавірусу, зокрема правила особистої гігієни, дотримання дистанції, захисні маски, обмеження спілкування тощо.

На жаль, пропонуючи людям залишатися вдома і не виходити на вулицю, недостатньо роз'яснюється питання про те, як знизити ризик зараження вірусом у приміщенні. Спробуємо заповнити цю прогалину на прикладі вентиляції приміщень.

Науково доведено, що якість повітря, яким ми дихаємо в приміщенні, безпосередньо впливає на ймовірність захворювання інфекціями, що передаються повітряно-крапельним шляхом, такими як туберкульоз, кір, грип і риновірусні інфекції. До останніх належить і коронавірус (COVID-19), пандемія якого розпочалася у Китаї у грудні 2019 року і швидко поширилася по всьому світу.

Для прогнозування ризику передачі інфекційних захворювань, які поширюються повітряно-крапельним шляхом у приміщеннях, у сучасній науці використовується рівняння Веллса–Райлі (1978 р.).

$$P = \frac{D}{S} = 1 - \exp\left(-\frac{I \cdot p \cdot q \cdot t}{Q}\right), \quad (1.1)$$

де  $P$  – ймовірність зараження;

$D$  – кількість випадків захворювання;

$S$  – кількість контактуючих людей у приміщенні;

$I$  – число хворих людей у приміщенні;

$p$  – частота дихання людини ( $\text{м}^3/\text{с}$ );

$q$  – швидкість квантової генерації інфекції хворою людиною (квант/с);

$t$  – загальний час перебування у приміщенні (с);

$Q$  – кількість свіжого повітря, що надходить у приміщення за одиницю часу ( $\text{м}^3/\text{с}$ ).

Однак на практиці використання цього рівняння ускладнене, оскільки воно передбачає наявність стабільних умов і потребує точного вимірювання кількості подачі зовнішнього повітря. На жаль, у більшості квартир, магазинів, шкіл, офісів і лікарень або взагалі немає організованого припливу свіжого повітря через припливну вентиляцію, або приміщення мають малоефективну вентиляцію, яка не може забезпечити необхідну кількість повітря. У більшості випадків свіже повітря потрапляє до приміщень за рахунок природної інфільтрації, яку дуже складно контролювати.

У науковому дослідженні [36], результати якого викладені у статті «*Risk of indoor airborne infection transmission estimated from carbon dioxide*

*concentration*», автори пропонують альтернативний підхід до прогнозування ризику інфікування хворобами, що передаються повітряно-крапельним шляхом.

В основному рівнянні нової теорії для оцінки кількості свіжого повітря у приміщенні автори пропонують використовувати рівень CO<sub>2</sub> як індикатор якості повітря. Отримане у дослідженні рівняння є нестационарною версією рівняння Веллса–Райлі, яке тепер можна застосовувати для розрахунків навіть у погано вентильованих приміщеннях. Також визначається співвідношення між середньою кількістю інфікувань та якістю повітря, що демонструє можливість досягнення критичної частки вдихуваного повітря у приміщенні, нижче якої повітряне поширення респіраторних інфекцій та грипу не відбудуватиметься.

Для оцінки ймовірності поширення інфекції серед людей S. N. Rudnic та D. K. Milton використовують показник R<sub>0</sub> – основне репродуктивне число. Це кількість вторинних інфекцій, які виникають, коли один інфікований знаходиться у суспільстві інших людей, сприйнятливих до цієї інфекції. Якщо значення R<sub>0</sub> > 1, інфекція поширюватиметься. Чим більше значення R<sub>0</sub>, тим вища ймовірність розвитку епідемії.

Репродуктивне число для інфекційних захворювань, що поширюються у приміщеннях (R<sub>A0</sub>), можна виразити наступним чином:

$$P_{A0} = (n - 1) \left[ 1 - \exp\left(-\frac{f \cdot q \cdot t}{n}\right) \right], \quad (1.2)$$

де R<sub>A0</sub> – репродуктивне число для інфекційних захворювань у приміщеннях

n – кількість людей у приміщенні

f – частка повітря у приміщенні, що видихається присутніми людьми

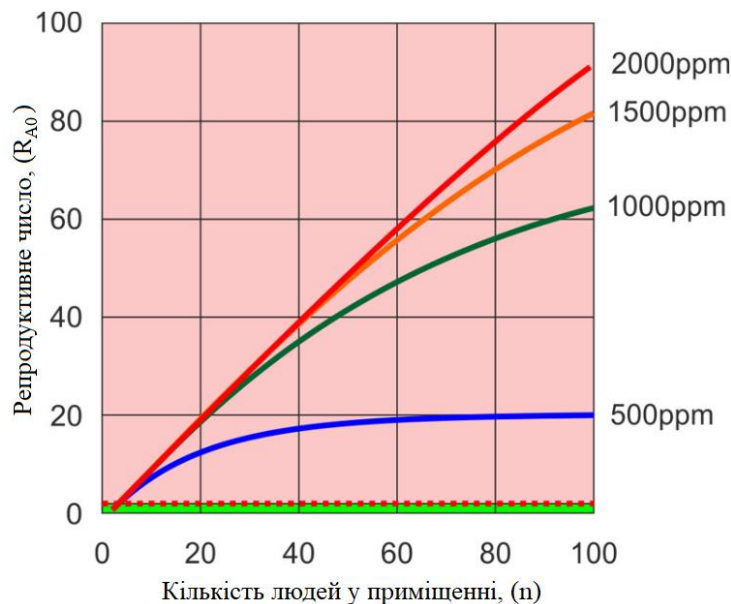
q – швидкість квантової генерації інфекції хворою людиною (квант/с)

t – загальний час перебування у приміщенні (с)

Для оцінки частки повітря, що видихається людьми, та швидкості квантової генерації інфекції хворою людиною, науковці пропонують використовувати рівень CO<sub>2</sub> як найбільш адекватний показник.

У результаті автори дослідження наводять графіки ймовірності зараження залежно від концентрації CO<sub>2</sub> у повітрі приміщення для трьох різних видів інфекцій.

Сімейство кривих, показаних на графіку (рис. 1.4), описує можливість зараження при гіпотетичному спалаху кору зі швидкістю квантової генерації інфекції кору  $q = 570$  (1/год.). У цьому випадку репродуктивне число ( $R_{A0}$ ) збільшується майже лінійно зі зростанням кількості людей за високих концентрацій CO<sub>2</sub>. Однак репродуктивне число ( $R_{A0}$ ) не зростає прямо пропорційно зі збільшенням чисельності людей за низьких концентрацій CO<sub>2</sub>. У останньому випадку збільшення ймовірності захворювання зі зростанням кількості людей відбувається значно повільніше.



ppm ("частин на мільйон" (*Parts per million*, ppm): це одиниця вимірювання, яка виражає кількість частинок речовини (наприклад, міліграм) на мільйон частинок розчинника або суміші. Наприклад, 1 ppm кислоти у воді означає, що на 1 мільйон частинок води є 1 частинка кислоти.

Рис. 1.4. Графіки, що описують можливість зараження при гіпотетичному спалаху кору зі швидкістю квантової генерації інфекції кору  $q = 570$  (1/год.)

Але навіть за найнижчих концентрацій CO<sub>2</sub> репродуктивне число значно перевищує 1. Це свідчить про те, що кір поширюватиметься дуже швидко навіть у будівлях із дуже хорошою вентиляцією.

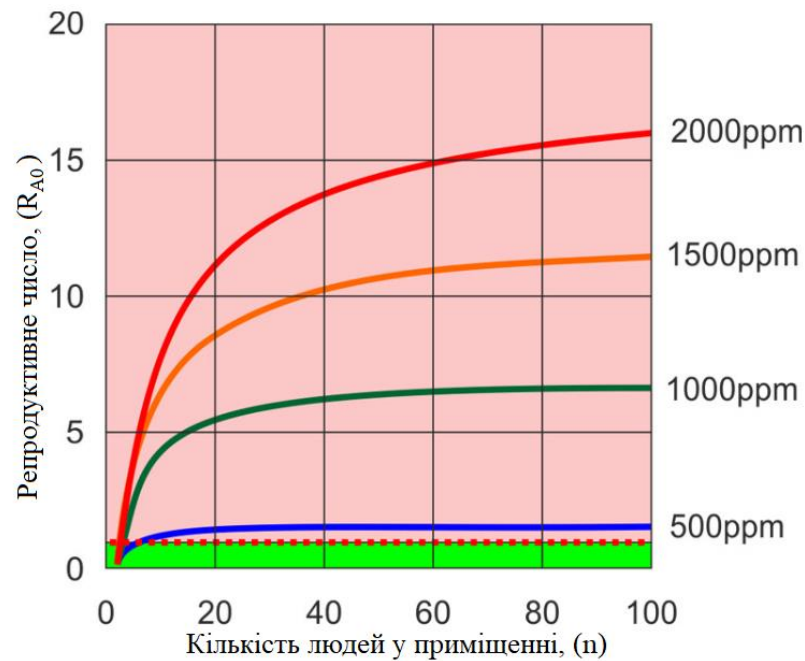


Рис. 1.5. Зміни репродуктивного числа ( $R_{A0}$ ) для гіпотетичного спалаху грипу, що характеризується швидкістю квантової генерації 100 (1/год.)

На рис. 1.5 наведені графіки зміни репродуктивного числа ( $R_{A0}$ ) для гіпотетичного спалаху грипу, що характеризується швидкістю квантової генерації 100 (1/год.), де передбачається, що інфікована людина перебуватиме у будівлі протягом 4 годин. Знову видно вирівнювання величини репродуктивного числа ( $R_{A0}$ ), хоча цього разу воно відбувається навіть за високих концентрацій  $CO_2$ . За низьких концентрацій  $CO_2$  величина репродуктивного числа ( $R_{A0}$ ) падає нижче 1.

Критична повторно вдихувана фракція становить 0,25%, що еквівалентно концентрації  $CO_2$  приблизно 500 ppm. Таким чином, дуже високі показники подачі зовнішнього повітря при обмеженні кількості людей у приміщенні можуть бути ефективними для обмеження поширення грипу.

На рис. 1.6 наведено сімейство кривих репродуктивного числа ( $R_{A0}$ ) для риновірусних інфекцій, до яких належить і коронавірус (COVID-19). У цьому випадку швидкість квантової генерації інфекції хворою людиною була прийнята на основі експериментальних даних на рівні  $q = 4$  (1/год.). Також передбачається, що протягом усього часу інфікована людина перебуває в будівлі загалом 24 год.

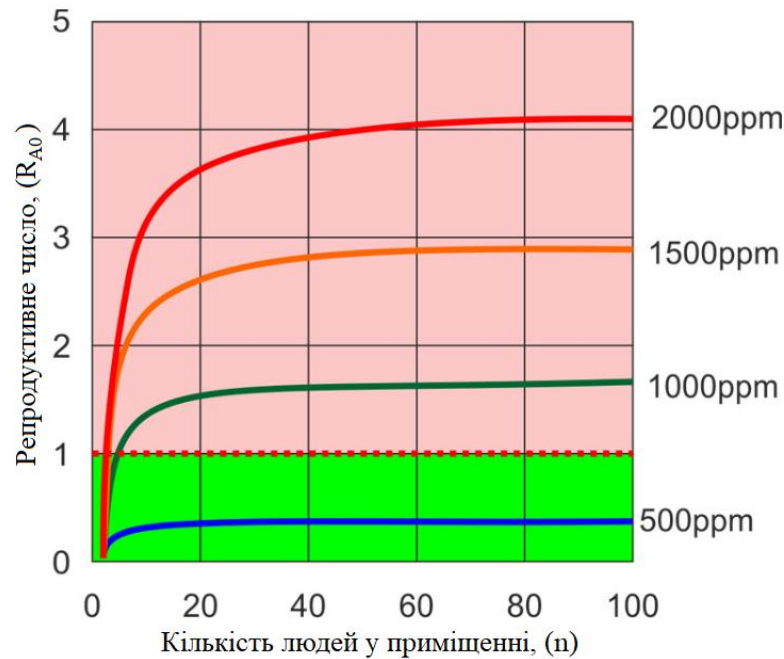


Рис. 1.6. Сімейство кривих репродуктивного числа ( $RA_0$ ) для риновірусних інфекцій

На всіх кривих спостерігається стабілізація рівня для кількості людей більше 20. Якщо припливна вентиляція забезпечить рівень  $CO_2$  не вище 600-700 ppm, можна очікувати запобігання поширенню інфекції.

*Згідно з результатами дослідження, стає очевидним, що одним з ефективних способів зменшення ризику поширення риновірусної інфекції, до якої належить коронавірус, є організація якісної припливно-витяжної вентиляції, що забезпечить рівень  $CO_2$  не вище 600-700 ppm.*

Якщо у приміщенні відсутня система припливно-витяжної вентиляції, цього ефекту можна досягти за допомогою регулярного провітрювання з постійним моніторингом рівня  $CO_2$ .

### 1.3. Вимоги до параметрів мікроклімату митних терміналів

Мікроклімат *митного терміналу* (*customs terminal*) – це не просто температура та вологість, а й сукупність факторів, які визначають комфорт та умови роботи у приміщеннях, де проводиться митний контроль. Важливі фактори мікроклімату: *температура, вологість, швидкість руху повітря, наявність пилу, наявність сторонніх запахів*. Зважаючи на матеріали попереднього пункту, виникає необхідність контролю концентрації вуглекислого газу CO<sub>2</sub>.

До складу митних терміналів можуть входити такі приміщення, як *митний склад* – це митний режим, відповідно до якого іноземні або українські товари зберігають під митним контролем за певних умов, які визначені *Митним Кодексом України (МКУ)*.

У митний режим митного складу можна поміщати будь-які товари, за винятком (ч. 1 ст. 122 МКУ):

- 1) товарів, заборонених для ввезення в Україну, вивезення з України й транзиту територією України;
- 2) товарів, строк придатності для споживання або використання яких закінчився;
- 3) товарів, що надходять в Україну як гуманітарна допомога;
- 4) живих тварин;
- 5) електроенергії, що переміщується лініями електропередачі.

На території сучасних митних терміналах і складів повинні підтримуватися контрольовані умови мікроклімату, визначені нормативами МКУ з метою:

- для забезпечення комфортного мікроклімату роботи персоналу митниці, відсутності втоми, підвищення працездатності та запобігання можливих проблем зі здоров'ям;

- для зберігання різних видів товарів відповідно до їх фізико-хімічного складу, властивостей, впливу на навколишнє середовище або впливу

навколишнього середовища на них, а також для підтримки високої якості продукції.

У митних терміналах не допускаються різкі перепади температур повітря і надмірна дія сонячного випромінювання, проникнення із зовнішнього середовища пилу, шкідливих газів та випарів. Правила зберігання митних товарів та організмів передбачають також захист персоналу від підвищеної концентрації вірусів і бактерій (наприклад, в карантинних зонах).

Температура повітря у приміщеннях митних терміналів, де зберігаються різні види товарів, повинна складати близько  $+18...+22^{\circ}\text{C}$ , в спеціальних холодних зонах – до  $+4^{\circ}\text{C}$ .

Деякі митні товари не допускають надмірну вологість повітря і відсутність контролю за її рівнем.

Система вентиляції, і в окремих приміщеннях – система вентиляції і кондиціонування, повинні перешкоджати розвитку та поширенню мікробів і вірусів через надмірну вологість, змішуванню і проникненню повітряних мас з карантинної зони (або зони вивантаження) в зону роботи митного персоналу. Санітарні норми та медичні стандарти регламентують граничні рівні вологості повітря і показники гігрометрів у приміщеннях митниці.

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

Нормативні дані по рівню вологості для зберігання різних видів товарів:

- для готових, але не упакованих – 20-35% RH;
- для товарів, фасованих у картону тару 30-45% RH;
- для рослин у карантинній зоні ЛЗ – 50-70% RH;
- для тварин – 40-50% RH [11].

## 1.4. Огляд і аналіз існуючих вентиляційних систем митних терміналів і складів

На даний час використовуються різноманітні рішення для забезпечення параметрів мікроклімату промислових приміщень, до складу яких входять і митні термінали, але найбільшої ефективності набули припливно-витяжні системи вентиляції з рекуперацією тепла ПВСВР (рис. 1.7) [12].

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

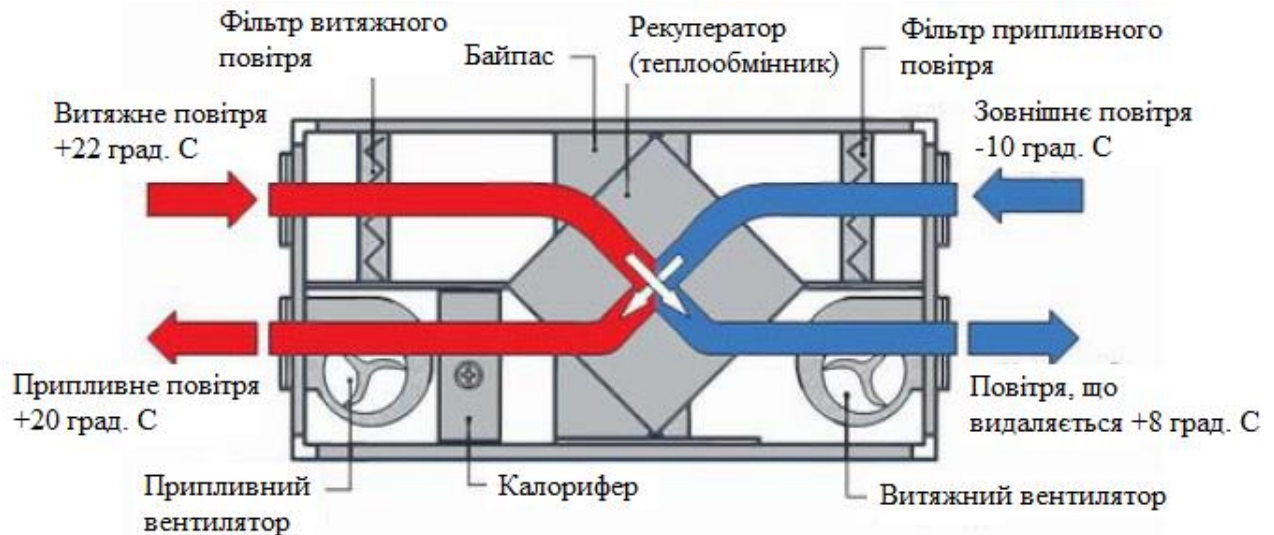


Рис. 1.7. Узагальнена схема припливно-витяжної системи вентиляції з рекуперацією тепла

### 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. 1.8).

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 [2].

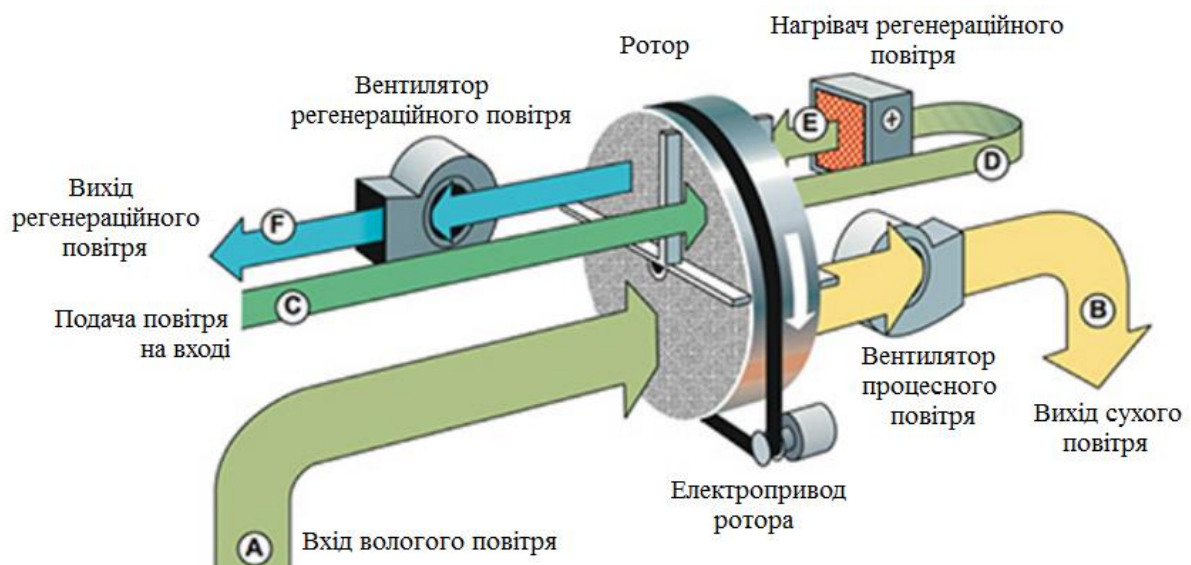


Рис. 1.8. Схема роботи припливно-витяжної системи вентиляції із адсорбційним роторним теплообмінником

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 [2]. 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. 1.9.

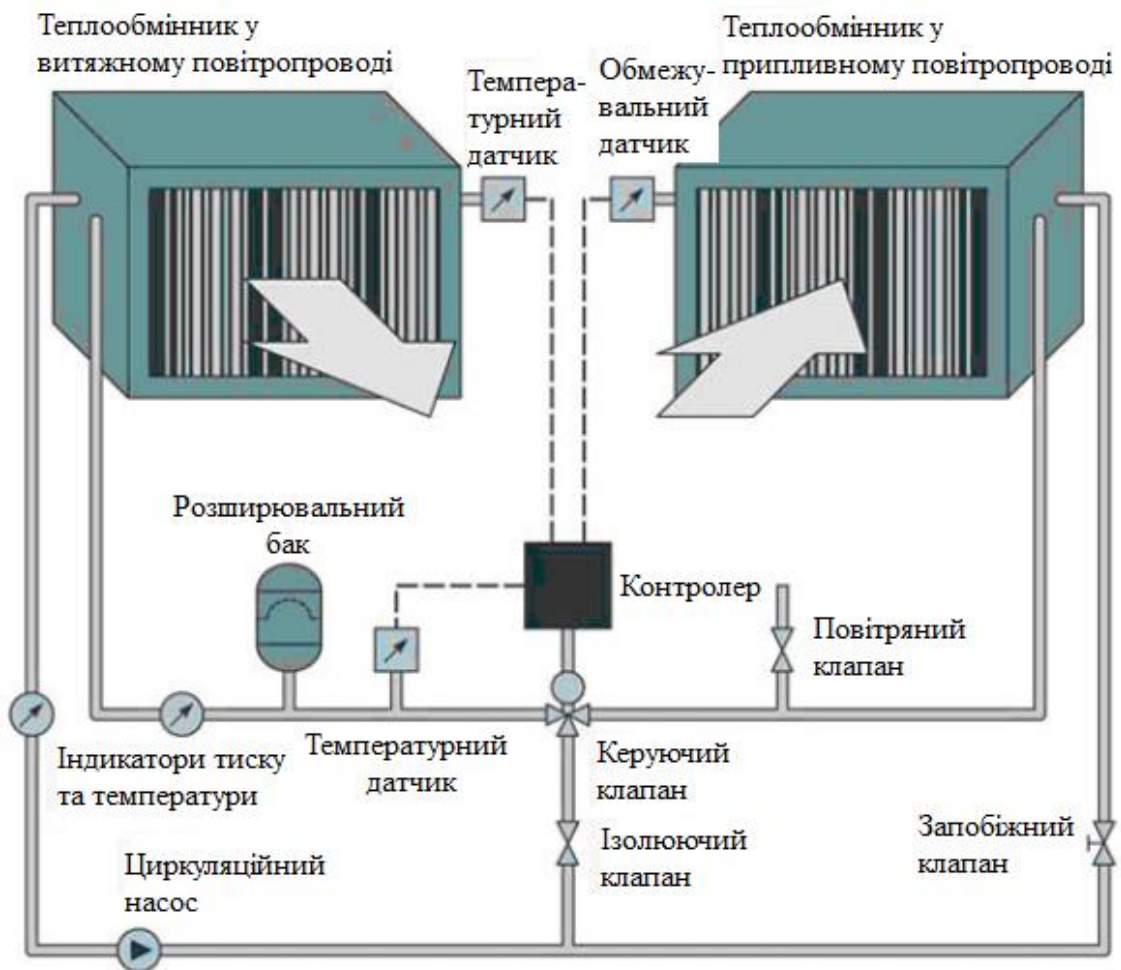


Рис. 1.9. Схема роботи гліколевого рекуператора

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. 1.7, 1.10, 1.11), у фільтрі відбувається фільтрація повітря, далі воно проходить через теплообмінник і за допомогою припливного вентилятора по повітроводам подається у приміщення терміналу [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. 1.10 зображена система з електричним калорифером нагрівання повітря, та рис. 1.11 – система з водяним калорифером. Крім того, до таких систем останнім часом додають фреонові охолоджувачі (кондиціонери) повітря для охолодження повітря на території митних терміналів з метою зменшення кількості локальних холодильників у приміщенні.

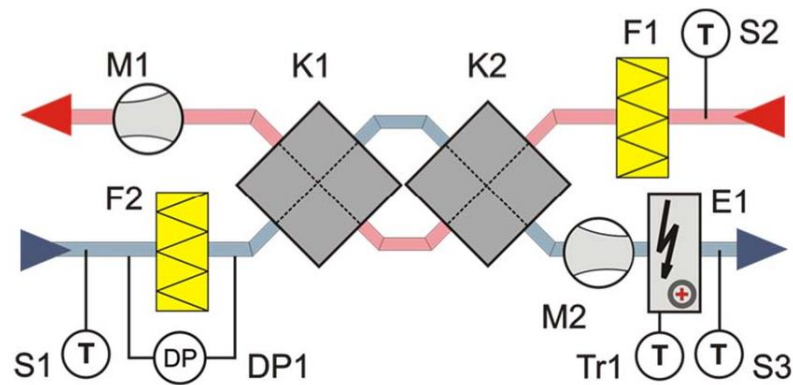


Рис. 1.10. Схема роботи припливно-витяжної системи вентиляції з електричним калорифером нагріву повітря

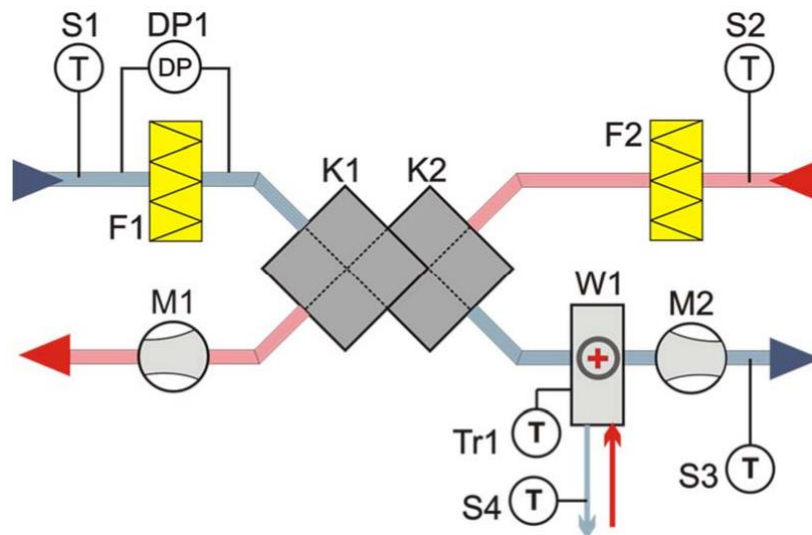


Рис. 1.11. Схема роботи припливно-витяжної системи вентиляції з водяним калорифером

Оскільки на території митних терміналів і складів висуваються підвищені вимоги не тільки температурно-вологісного режиму, але і чистоти повітря (часто

наявні "чисті кімнати", "карантинні зони"), 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 митного терміналу**

Функціональна схема автоматизації припливно-витяжної вентиляційної установки із рекуператором для митного терміналу наведена на аркуші №1 графічної частини кваліфікаційної бакалаврської роботи.

Основний контроль температури здійснюється у трьох позиціях:

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

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

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

Для отримання додаткової інформації встановлені датчики:

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

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

- **QE (1-4)** концентрації вуглекислого газу в приміщенні (**див. п.1.2**).

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

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

**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 МИТНОГО ТЕРМІНАЛУ

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

У кваліфікаційній бакалаврській роботі проводиться удосконалення системи автоматичного керування параметрами мікроклімату будівлі, де розташовується типовий митний термінал (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 митного терміналу

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

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

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	Митний склад	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 (додаткове прим.)	30-45	16

Система опалення будівлі митного терміналу передбачається комбінована: водяна система опалення для допоміжних приміщень і припливно-витяжна система вентиляції із рекуператором для приміщень роботи митного персоналу, карантинних приміщень, митного складу. Її складовими елементами є:

1. Нагрівальні прилади – сталеві радіатори із нижньою розводкою Kermi FTV із терморегулюючими вентилями  $d_y = 15$  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 митного терміналу

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

Таблиця 2.3.

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

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

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

### 2.2.1. Будова і розрахунок зовнішньої стіни

Штукатурка (розчин цементно-піщаний):

$$\lambda_1 = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С});$$

1 шар:

$$S_1 = 8,69 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С});$$

$$\mu_1 = 0,12 \text{ мГ}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па});$$

$$\delta_1 = 0,02 \text{ м.}$$

Цегла глиняна звичайна на цементно-піщаному розчині

$$\lambda_2 = 0,7 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С});$$

2 шар:

$$S_2 = 9,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С});$$

$$\mu_2 = 0,15 \text{ мГ}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па});$$

$$\delta_2 = 0,380 \text{ м.}$$

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

$$\lambda_3 = 0,05 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С});$$

3 шар:

$$S_3 = 0,46 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С});$$

$$\mu_3 = 0,05 \text{ мГ}/(\text{м} \cdot \text{год} \cdot \text{Па});$$

$$\delta_3 = 0,15 \text{ м.}$$

4 шар:

Штукатурка (розчин цементно-піщаний)

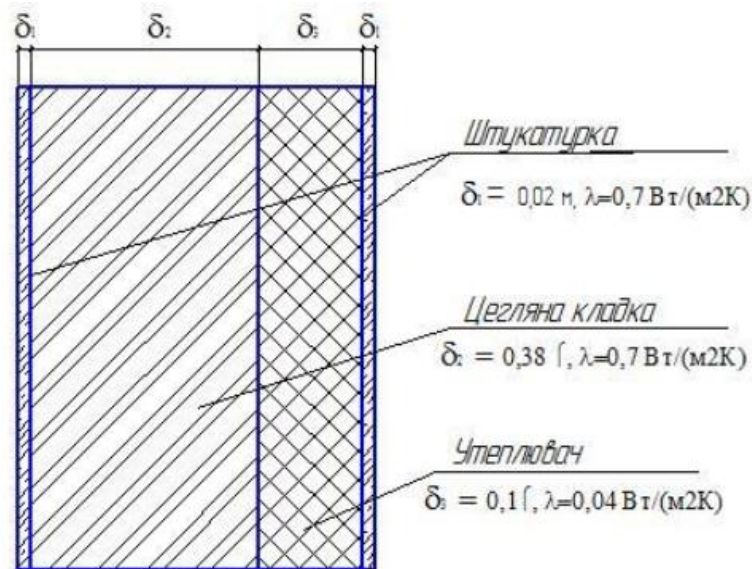


Рис. 2.1. Конструкція зовнішньої стіни

Визначаємо термічний опір штукатурки

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

Термічний опір цегляної кладки

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

Далі визначаємо необхідний опір теплопередачі утеплювача.

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

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

$$\Sigma R = \frac{1}{\alpha_в} + 2R_1 + R_2 + R_3 + \frac{1}{\alpha_з} \quad (2.3)$$

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

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

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

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

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

Отже, розрахунковий термічний опір стіни становить

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

тому конструкція стіни задовольняє вимогам по теплопровідності.

### 2.2.2. Будова і розрахунок підлоги

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

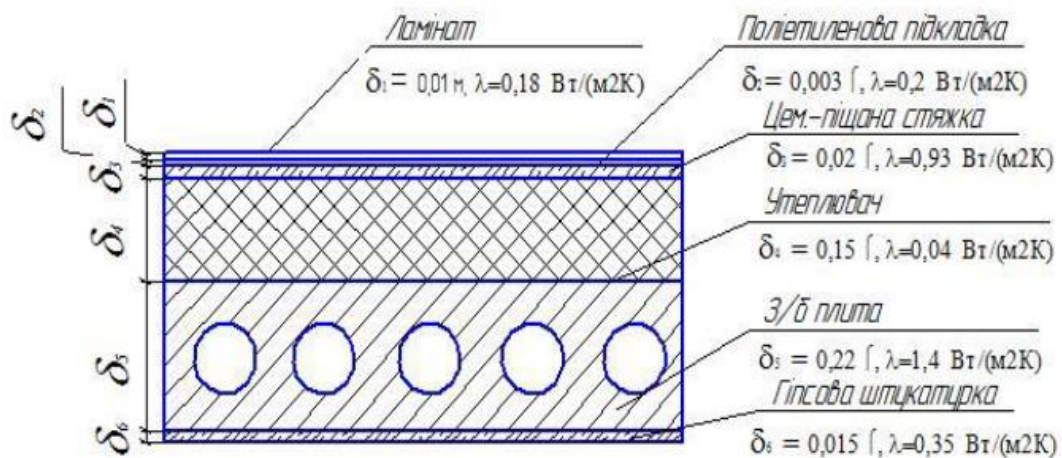


Рис. 2.2. Конструкція перекриття над підвалом

Розрахунок проводиться аналогічно розрахунку горищного перекриття.

Теплотехнічні характеристики будівельних матеріалів згідно з [8]:

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

Визначаємо термічний опір всієї конструкції без утеплювача

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

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

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

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

Приймаємо товщину утеплювача 15 см і перераховуємо

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

### 2.2.3. Будова і розрахунок горищного перекриття

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

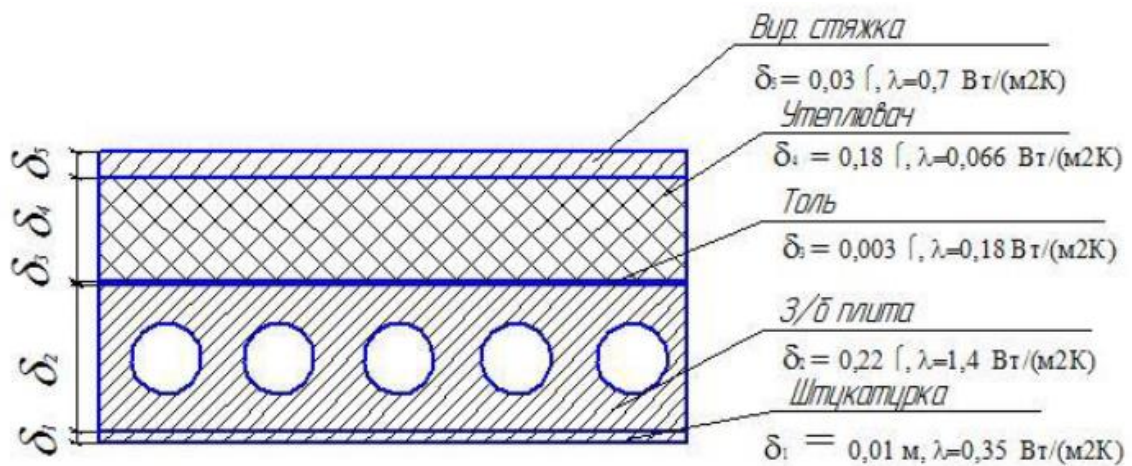


Рис. 2.3. Конструкція горищного перекриття

Термічний опір штукатурки гіпсової

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

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

Термічний опір залізобетонної плити при потоці тепла знизу вгору

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

Термічний опір пароізоляції (толь)

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

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

Термічний опір цементно-піщаної стяжки

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

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

Визначаємо термічний опір без утеплювача

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

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

Визначаємо необхідну товщину утеплювача (мін. Вата)

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

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

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

Вибираємо плити мінеральної вати товщиною 30 см і перераховуємо

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

#### 2.2.4. Розрахунок вікон

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

Внутрішня розрахункова температура становить:

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

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

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

2. для зали

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

2. для робочих приміщень

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

3. для сходової клітини

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

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

Знаходимо коефіцієнт теплопередачі вікна

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

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

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

Теплові втрати приміщення обчислюються як сума тепловтрат зовнішніх огорожуючих конструкцій.

Тепловтрати конструкцій обчислюються за виразом

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

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

$t_e$  – розрахункова температура внутрішнього повітря,  $\text{°С}$ ;

$t_z$  – розрахункова температура зовнішнього повітря,  $\text{°С}$ ;

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

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

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

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

Тепловтрати на вентиляцію знаходимо за виразом [3]

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

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

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

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

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

Розрахунок тепловтрат для приміщень наведені в додатку А.

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

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

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

$$Q_{\text{Г}} = k \cdot F \cdot (t_{\text{в}} - t_3) \cdot n, \quad (2.19)$$

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

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

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

$t_3$  – розрахункова температура зовнішнього повітря,  $^\circ\text{C}$ ; як було зазначено, приймається середня температура найбільш холодних 5 діб;

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

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

Загальні тепловтрати на першому поверсі становлять

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

Загальні тепловтрати на другому та третьому поверхах разом становлять

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

Загальні тепловтрати на четвертому поверсі становлять

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

Загальні тепловтрати по усій будівлі становлять

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

## 2.4. Розробка математичної моделі температурного режиму митного терміналу

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 підігрівуючої води і ланка повітря в опалюваних приміщеннях (рис. 2.4) [16].

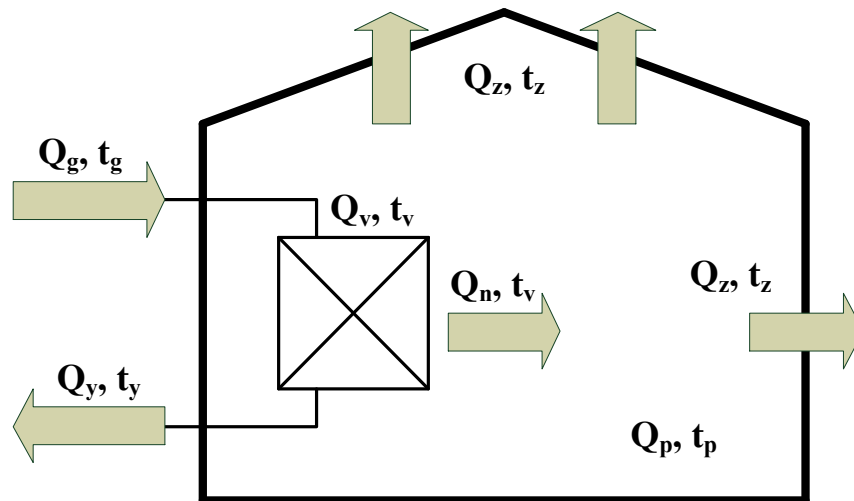


Рис. 2.4. Схема теплових потоків у будівлі митного терміналу

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  $\rho_v$  і відповідної температури води, а значення кількості тепла, що знаходиться в системі опалення також залежить від об'єму води в системі  $V_v$ .

Відповідно до цього

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

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

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

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

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

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

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

Коефіцієнти теплопередачі визначаються за формулою

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

Густина повітря, кг/м<sup>3</sup>

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

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

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

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

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

Критерій Прандтля для повітря

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

Коефіцієнт об'ємного розширення повітря, 1/°К

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

Для знаходження критерію Нуссельта для тепловіддачі від горизонтальної труби до повітря 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

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

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

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

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

Коефіцієнт теплопередачі визначається за виразом

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

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

Коефіцієнт тепловіддачі від повітря будівлі до огорожувальної поверхні 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/м<sup>3</sup>

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

Теплоємність води, Дж/кг · °С

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

Від статичної моделі перейдемо до динамічної. Враховуючи рівняння статички 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.

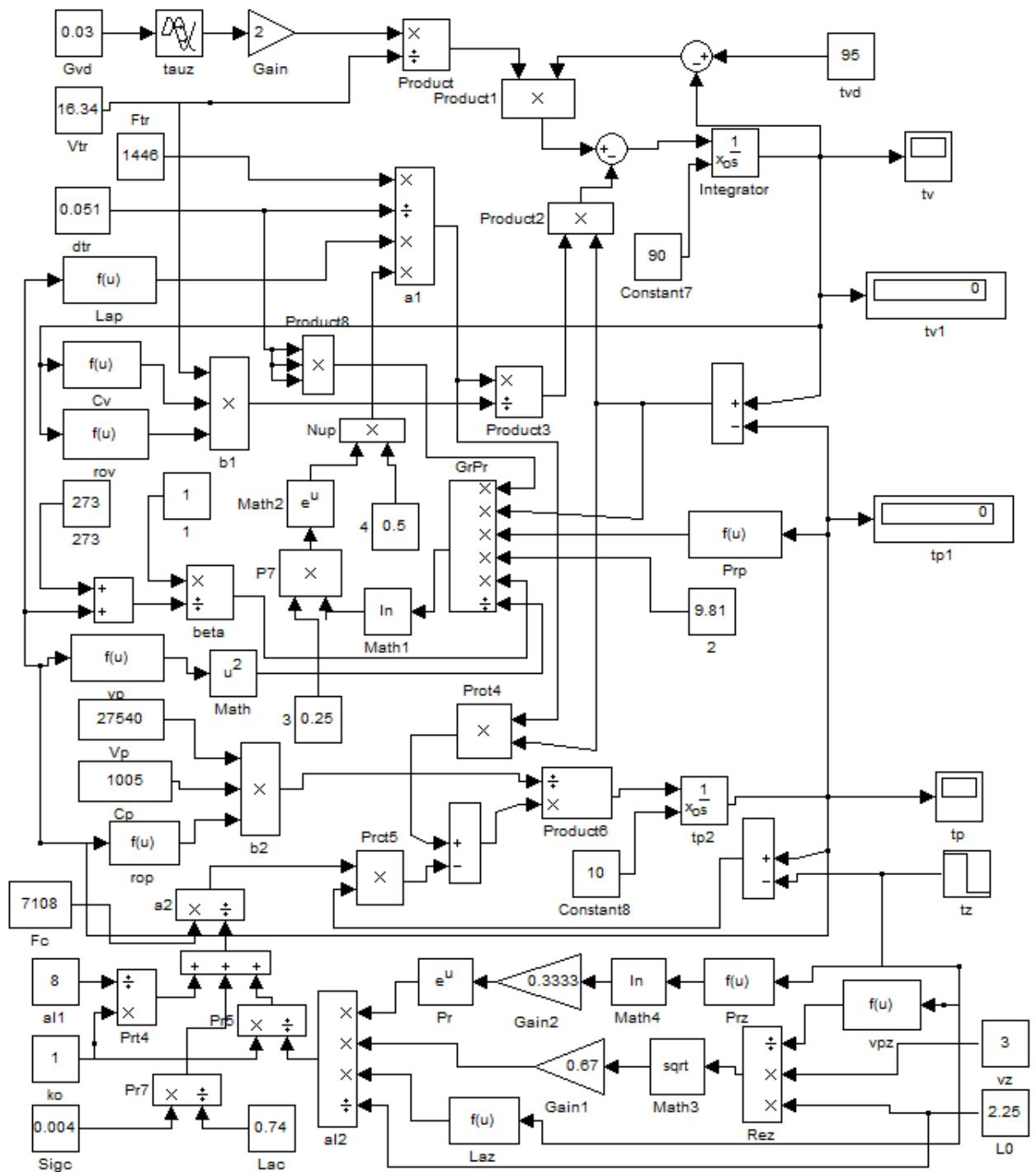


Рис. 2.5. Блок-схема імітаційної моделі енерговитрат у системи опалення будівлі з використанням пакету MATLAB Simulink

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

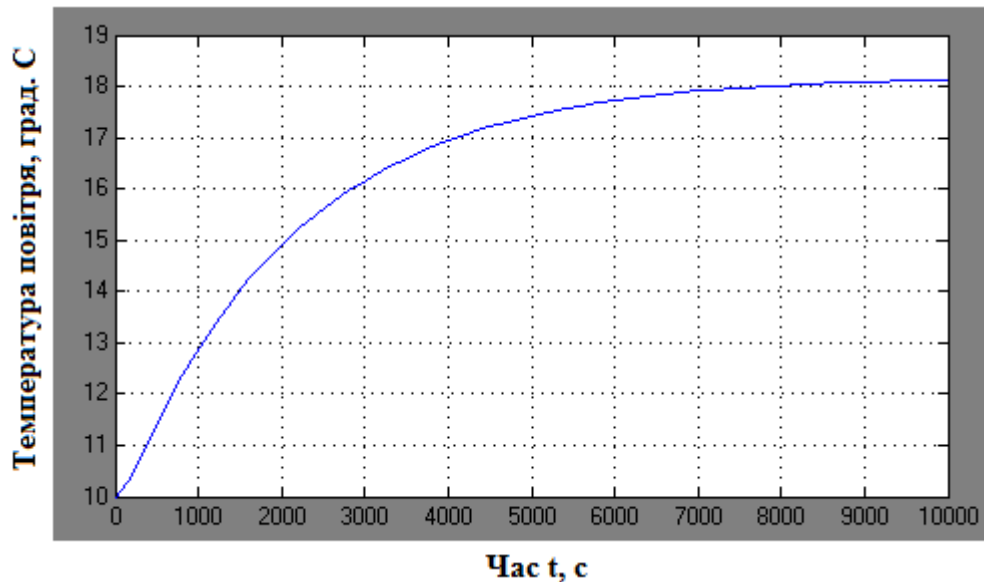


Рис. 2.6. Розгінна характеристика будівлі для каналу регулювання температури повітря

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 [15]. 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

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

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

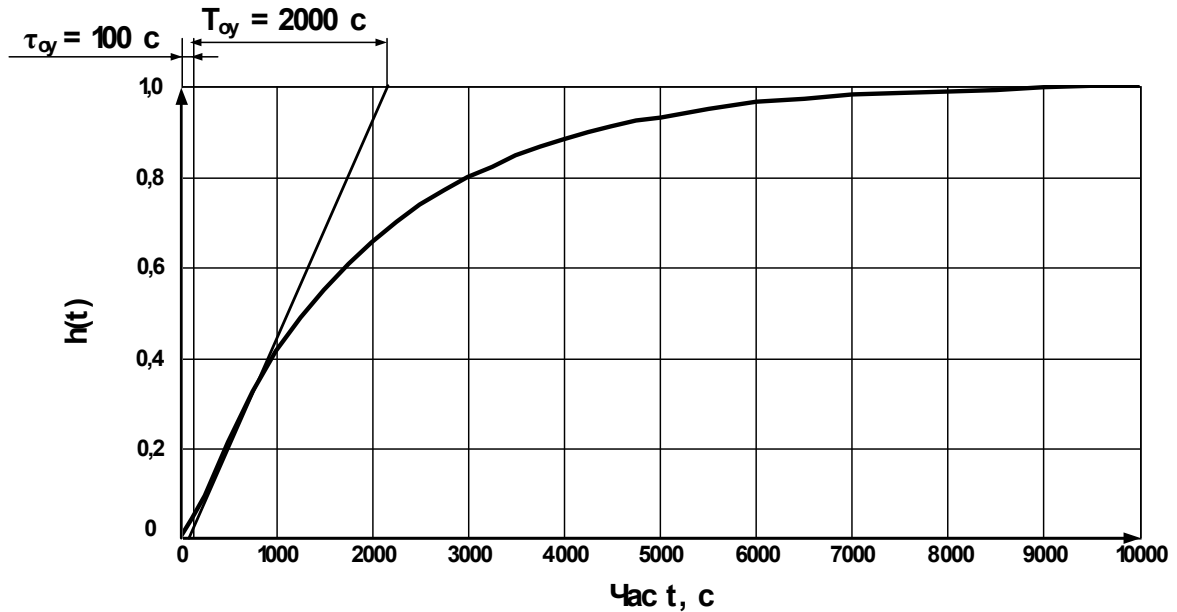


Рис. 2.7. Нормована розгінна характеристика будівлі для каналу регулювання температури повітря

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

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

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

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

Коефіцієнт передачі об'єкта управління визначаємо за формулою

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## РОЗДІЛ 3

### ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Для статичних об'єктів:

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

де  $y_1$  – максимальне динамічне відхилення

$K_0$  – коефіцієнт передачі об'єкта керування

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

За даними нашого об'єкта визначаємо динамічний коефіцієнт регулювання:

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

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

Обираємо для даного об'єкта аперіодичний перехідний процес.

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

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

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

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

Для технічної реалізації системи автоматичного регулювання температурного режиму в будівлі митного терміналу пропонується використати програмований логічний контролер **ОВЕН ПЛК110** (рис. 3.1).

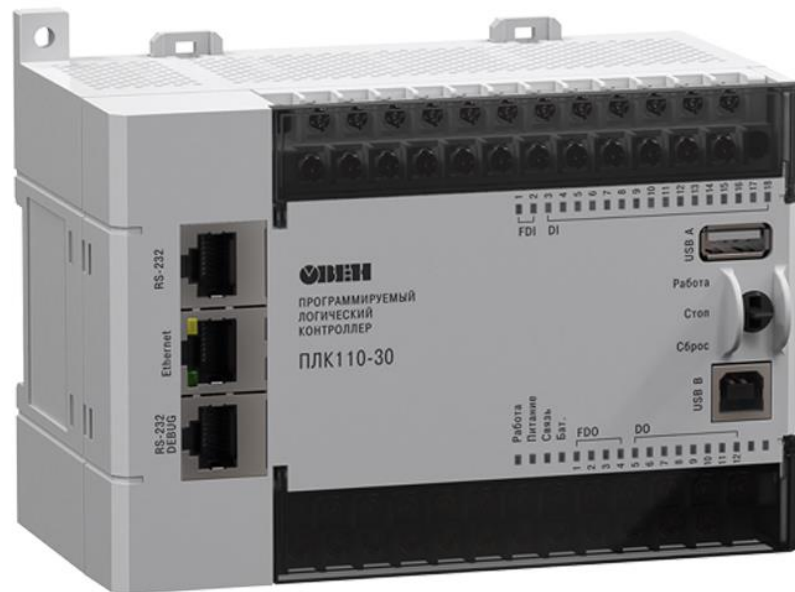


Рис. 3.1. Програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК110 (М02)

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

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

Відмінними особливостями лінійки контролерів ПЛК110 є:

- потужні обчислювальні ресурси та великий об'єм пам'яті;
- наявність дискретних та аналогових входів/виходів на борту контролера;
- наявність послідовних портів (RS-232, RS 485) на борту контролера;
- наявність порту Ethernet для увімкнення у локальні або глобальні мережі верхнього рівня;

- підтримання протоколів обміну Modbus (RTU, ASCII), OVEN, DCON;
- можливість роботи безпосередньо з портами контролера, що дозволяє підмикати зовнішні пристрої з нестандартними протоколами.

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

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

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

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

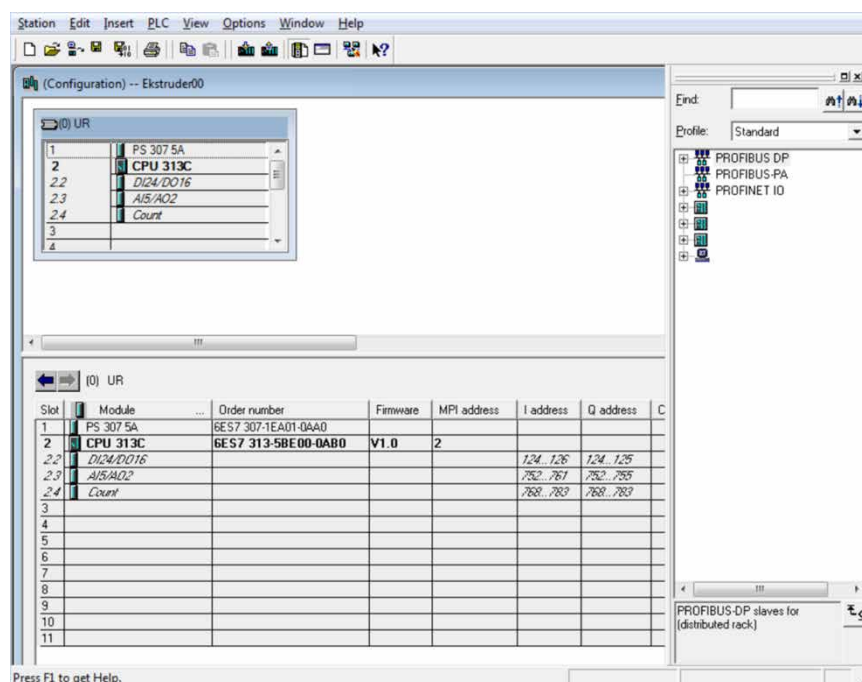
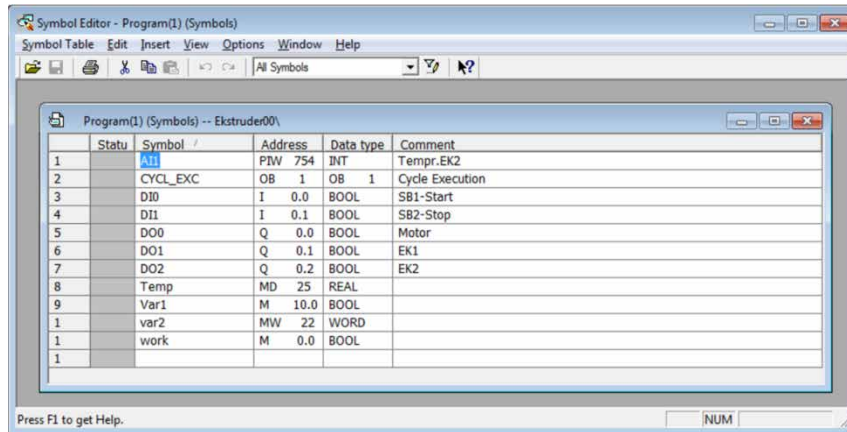


Рис. 3.2. Загальний вигляд вікна CoDeSys v.2.3 Hardware Config

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	All	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	
1				

Рис. 3.3. Загальний вид вікна CoDeSys v.2.3 Symbol Editor

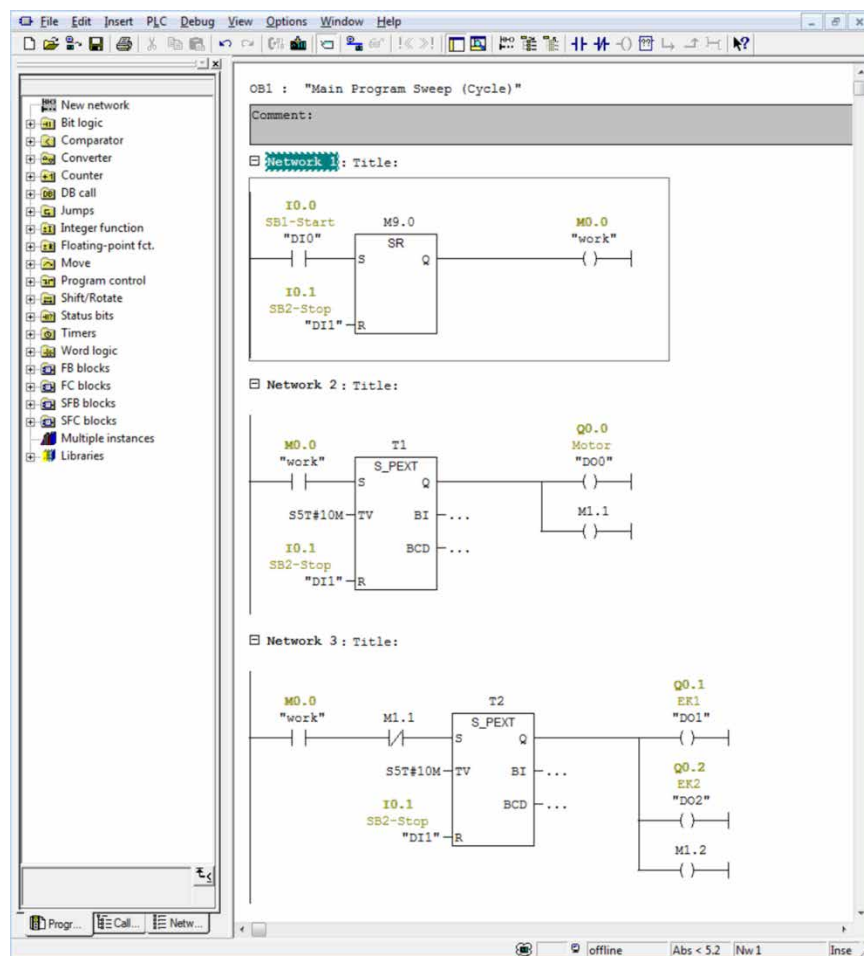


Рис. 3.4. Фрагмент програми керування температурою в будівлі терміналу у середовищі CoDeSys v.2.3

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

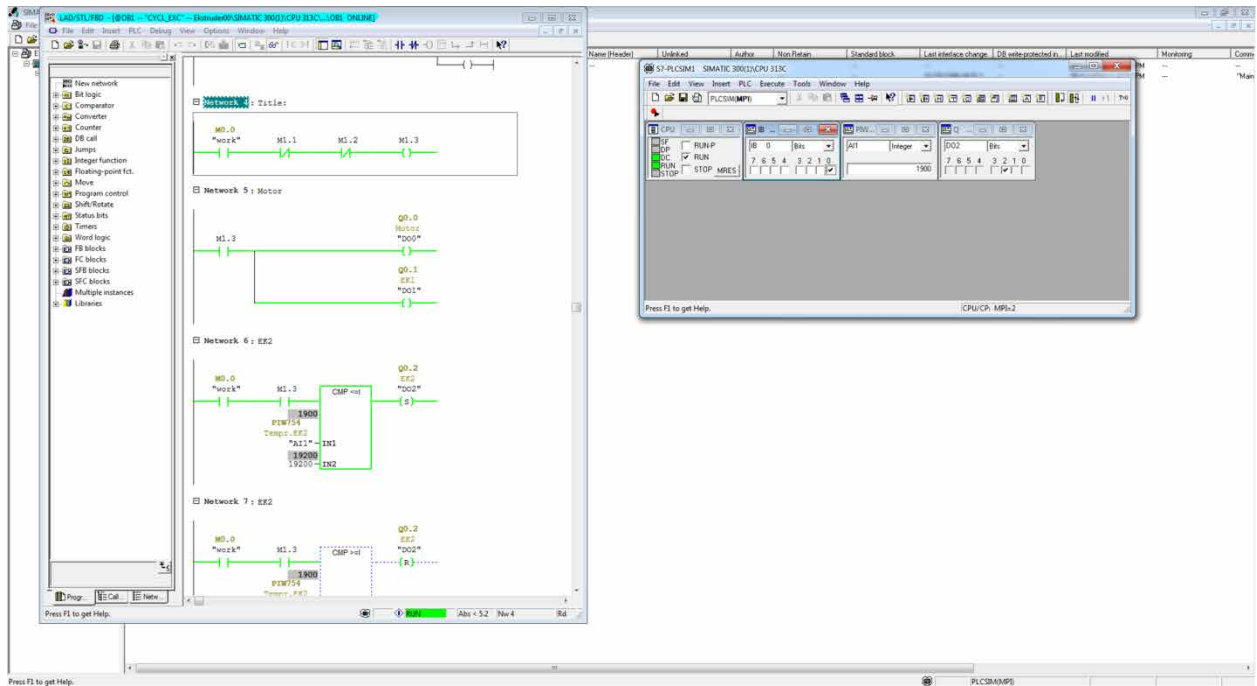


Рис. 3.5. Вікно CoDeSys v.2.3: симуляція логічного контролера  
ПЛК110 із завантаженою програмою

Симуляція виконання розробленої програми керування температурним режимом в будівлі митного терміналу 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 митного терміналу 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 ОВЕН ДТС125, технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2.

Характеристика термометра опору ОВЕН ДТС125

Тип	Номінальна статична характеристика	Діапазон вимірювання, °С	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 ОВЕН 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  $0^\circ\text{C}$ . Оскільки цей вимірювальний перетворювач має номінальну статичну характеристику 50М (рис. 3.6), то для нього  $R_o = 50 \text{ Ом}$ ;  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору.

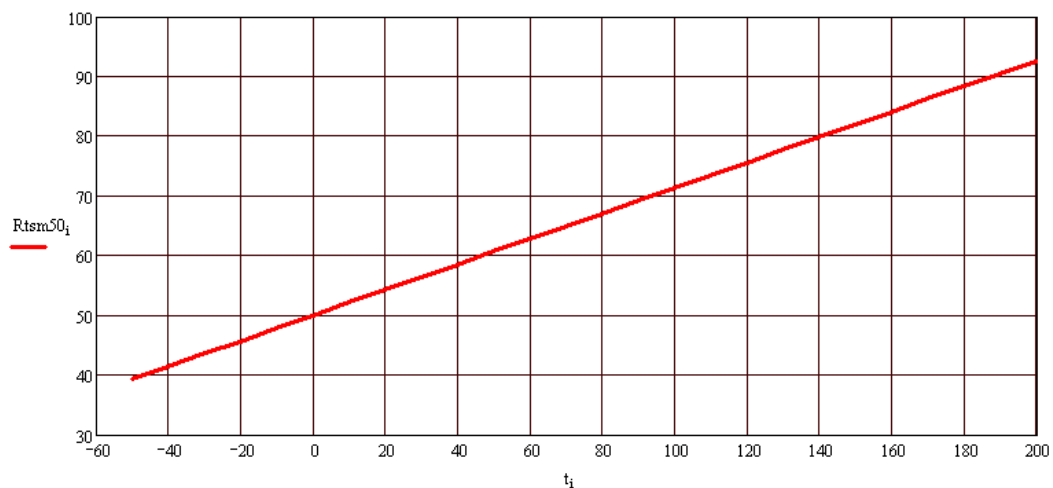


Рис. 3.6. Статична характеристика мідного термоопору із НСХ 50М (значення опору при  $t = 0^\circ\text{C}$  дорівнює  $R_o = 50 \text{ Ом}$ )

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

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

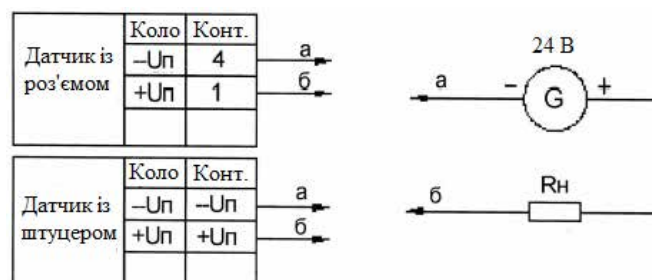


Рис. 3.7. Схема зовнішніх з'єднань датчиків типу ОВЕН ДТС125 із вихідним сигналом 4-20 мА

### 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;

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

Під час вибору регулюючих органів є певна послідовність розрахунків:

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

Обчислюємо максимальну пропускну здатність РО:

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

Регулювальний орган вибирають за умови, що

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

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

За довідниковими даними [13] 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 пропускної здатності [13]

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

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

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

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

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

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

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

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

Уточнюємо перепад тиску на виконавчому пристрої:

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

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

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

Знаходимо відносну максимальну та мінімальну витрату рідини:

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

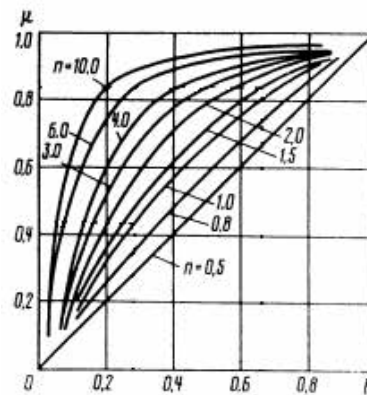


Рис. 3.8. Робочі витратні характеристики для регулювальних клапанів

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

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

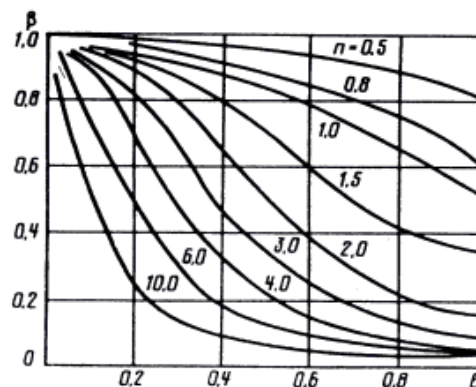


Рис. 3.9. Зміни перепадів тисків на ВМ для регулювальних клапанів

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 [15]:

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

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.;

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

$\Delta t$  - проміжок часу, с;

$\Delta\varphi_{OB}$  - кут повороту вихідного валу за проміжок часу  $\Delta t$ , 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, °С	Ступінь захисту	Маса, кг
SM24A	10	58	0...+60	IP65	3,5

Напруга живлення 220 В, 50 Гц.

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

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

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

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

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.

### **Вибір датчика концентрації вуглекислого газу CO<sub>2</sub> в приміщеннях митного терміналу.**

Датчик на основі твердого електроліту для визначення концентрації CO<sub>2</sub> в повітрі TGS4160 японської фірми Figaro має гібридну структуру, що утворюється чутливим елементом і термістором (рис. 3.13). Сенсор складається з твердого електроліту, розміщеного між двома електродами. Носіями заряду є катіони натрію Na<sup>+</sup>. Нагрівний елемент виконаний в вигляді платинової підкладки. Катод (електрод порівняння) виготовляється з карбонату літію та золота, анод (вимірювальний електрод) – із золота. Термістор служить для компенсації температурної залежності сенсора. В середовищі з вуглекислим газом на електродах датчика протікають електрохімічні реакції, в результаті яких на елементі створюється різниця потенціалів (ЕДС), що і є відкликом датчика.

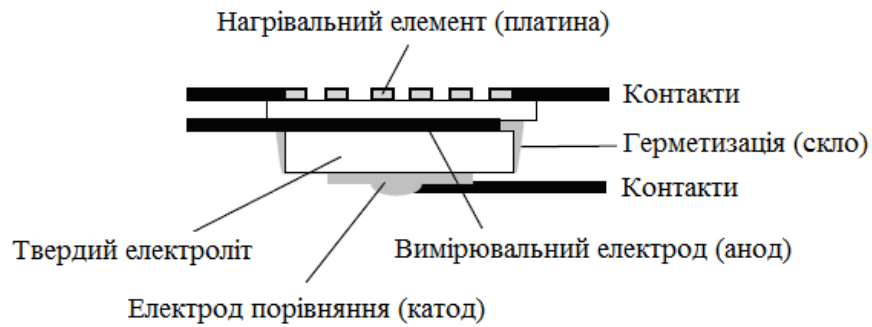


Рис. 3.13. Конструкція чутливого елемента датчика на основі твердого електроліту

Для підтримання оптимальної температури сенсора на нагрівний елемент подається напруга.

На рис. 3.14 приведена залежність чутливості датчика від концентрації вуглекислого газу.

Параметр, що реєструється – різниця між значеннями ЕДС, що відповідають концентрації вуглекислого газу 350 ppm (0,45 мг/л)  $E_{DC_{350}}$  та фактичному значенню концентрації  $CO_2$   $E_{DC_{\Phi}}$ :

$$\Delta E_{DC} = E_{DC_{350}} - E_{DC_{\Phi}} \quad (3.17)$$

Як бачимо, датчик TGS4160 має лінійну статичну характеристику (в логарифмічному масштабі).

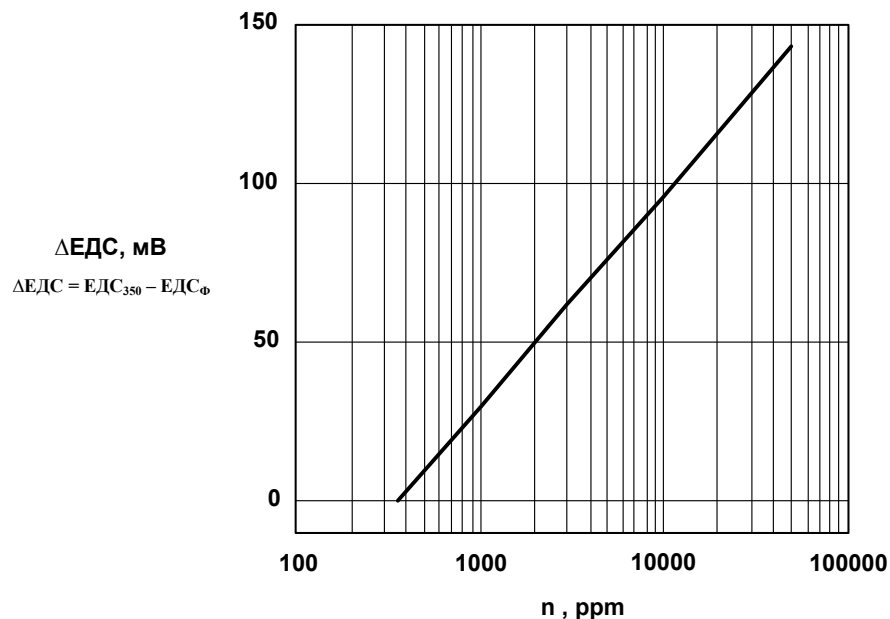


Рис. 3.14. Статична характеристика датчика TGS4160

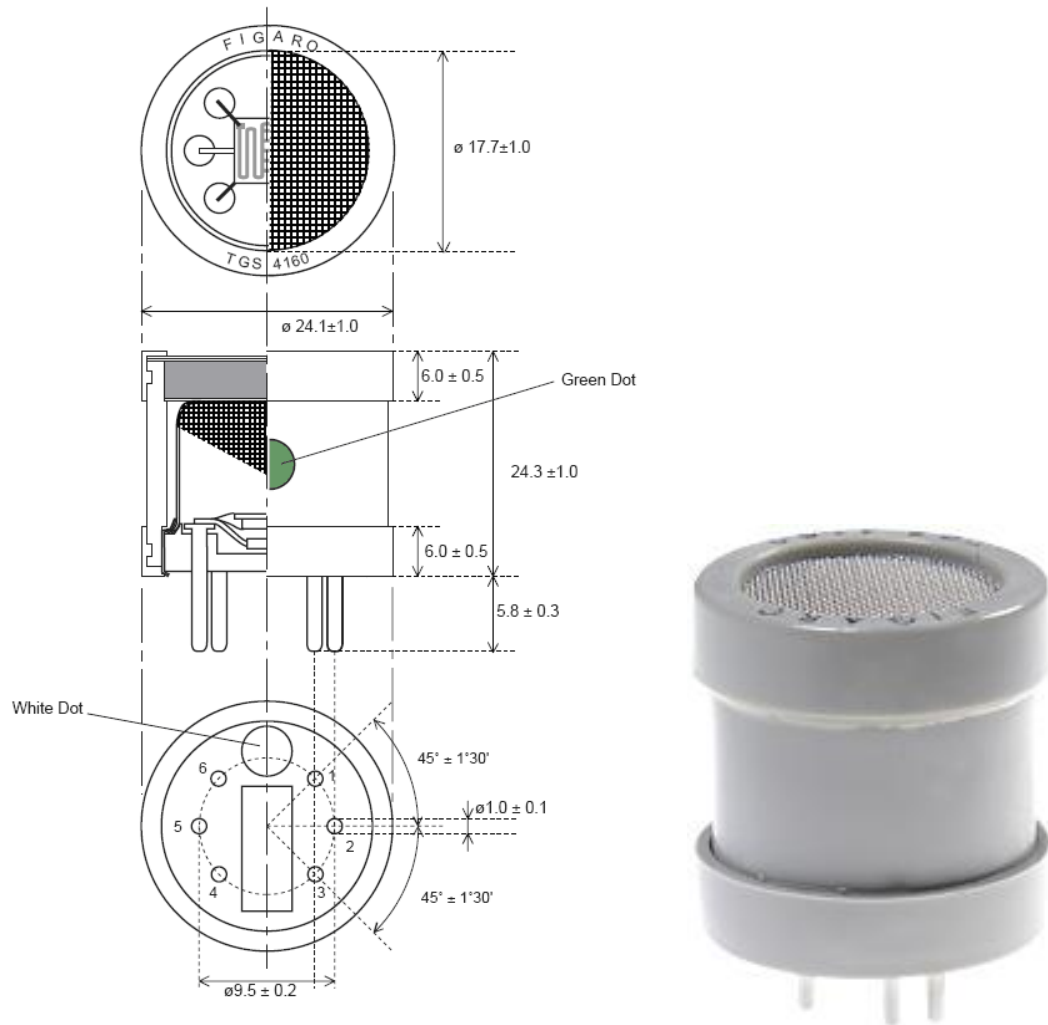


Рис. 3.15. Габаритні розміри та зовнішній вигляд датчика TGS4160

Таблиця 3.5.

Технічні характеристики датчика TGS4160

Діапазон робочих температур, °C	-10...+50 (відн. вол. 95%)
Діапазон вимірювання, ppm (мг/л)	350 (0,45)...5000 (6,45)
Напруга, що подається на нагрівний елемент, В	5 (DC)
Струм на нагрівному елементі, мкА при 5 VDC	250
Опір нагрівного елемента, Ом	11,5±1,1
Інерційність, с	30
Вимірюване середовище	Повітряне

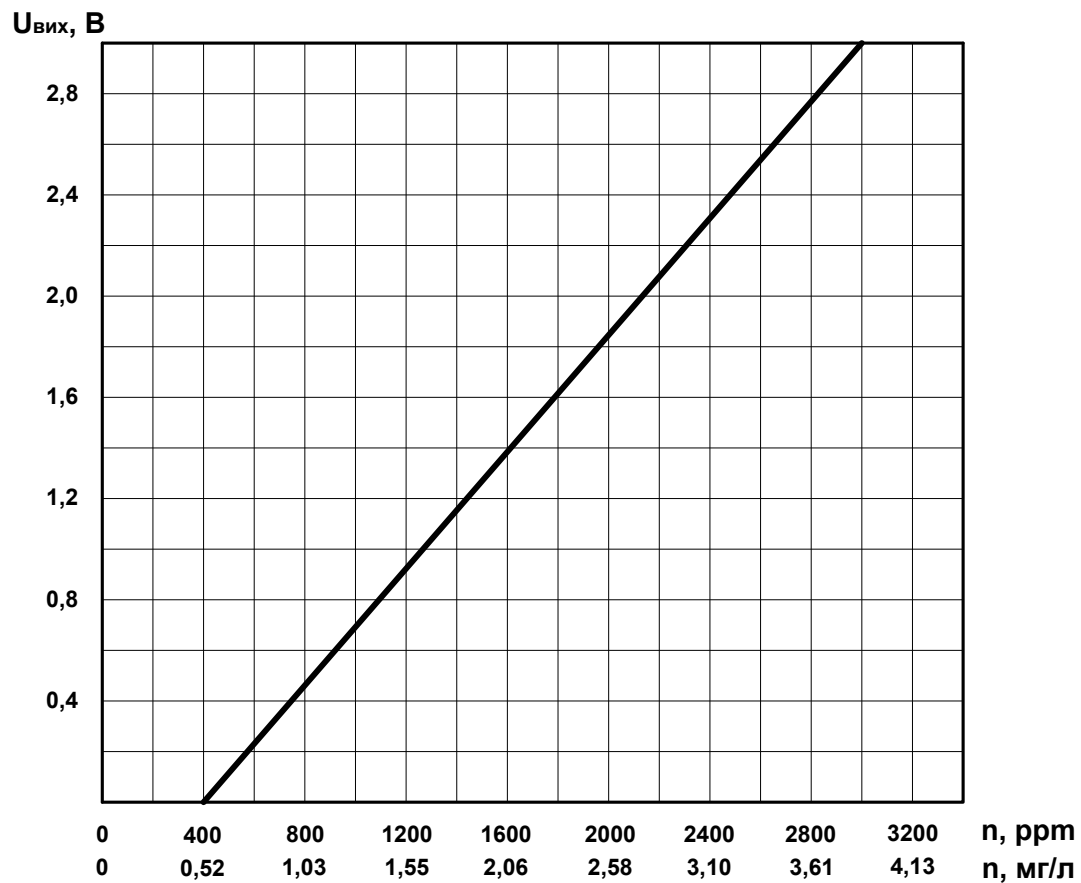


Рис. 3.16. Статична характеристика вимірювального модуля на основі датчика TGS4160 та мікропроцесора FIC98648

Для забезпечення максимальної точності вимірювання датчиком TGS4160, виробником створений вимірювальний модуль на основі мікропроцесора FIC98648 для цифрової обробки сигналу, який має уніфікований вихід – постійну напругу 0..3 В (схема електрична принципова вимірювального модуля наведена на рис. 3.17, для роботи в діапазоні 400 ppm (0,52 мг/л) – 3000 ppm (3,87 мг/л).

При цьому напруга 0 В відповідає концентрації 400 ppm (0,52 мг/л), напруга 3 В – концентрації 3000 ppm (3,87 мг/л), тобто лінійну залежність (рис. 3.16).

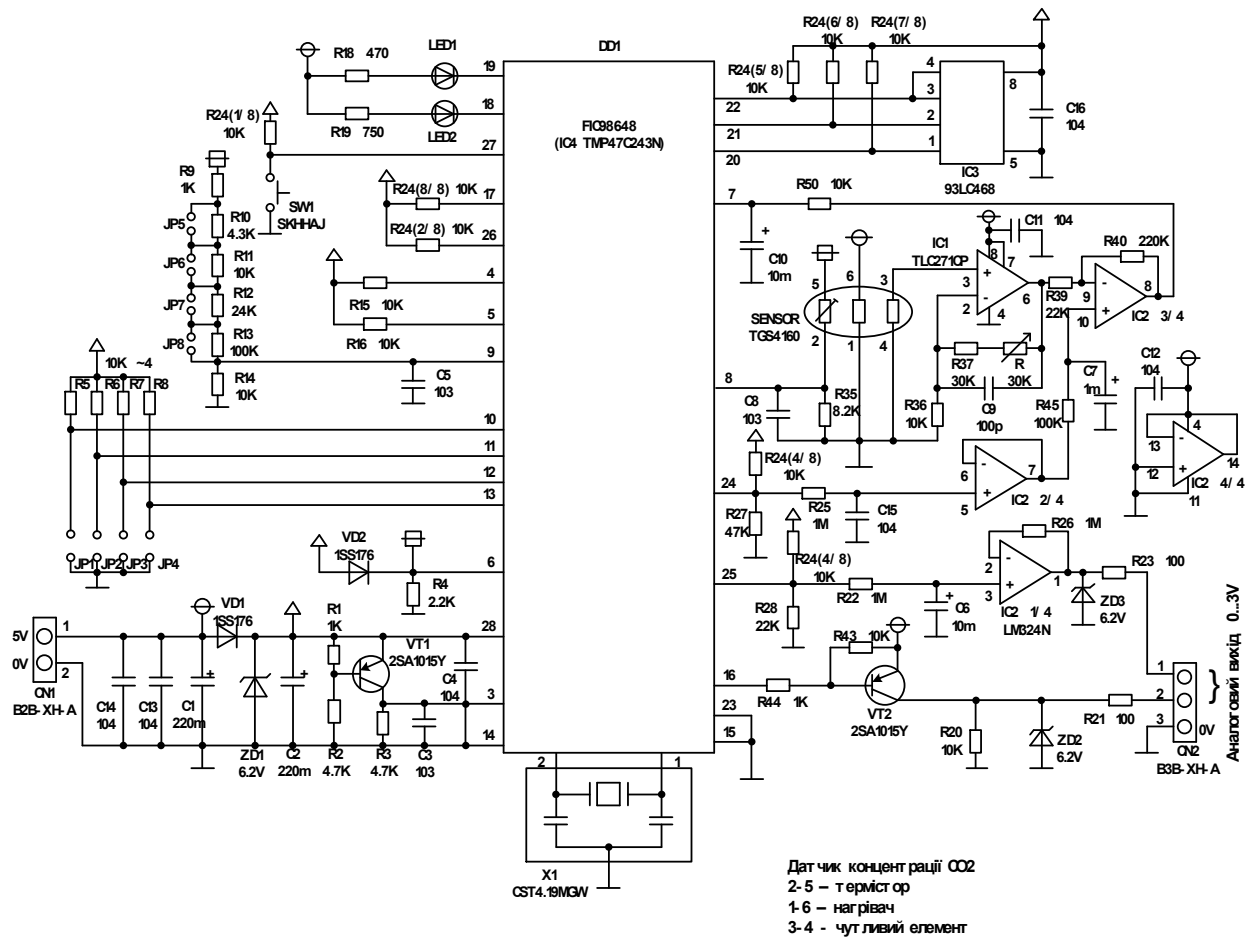


Рис. 3.17. Вимірювальний модуль концентрації CO<sub>2</sub> в теплиці

## 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 завантаження мікроЕОМ. При збільшенні часу квантування втрачається важлива інформація про сигнал, що може призвести до неможливості відтворення вихідного сигналу за дискретними вибірками. Тому виникає проблема пошуку раціонального часу квантування  $T_k$ , який задовольнив би такі суперечливі вимоги.

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

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

Визначення передатної функції неперервної частини розімкнутої системи:

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

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

Визначаємо передатну функцію неперервної частини замкненої системи:

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

Визначення амплітудно-частотної характеристики неперервної частини замкненої системи:

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

У результаті розв'язання рівняння

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

Отримаємо значення частоти за рис. 4.1.

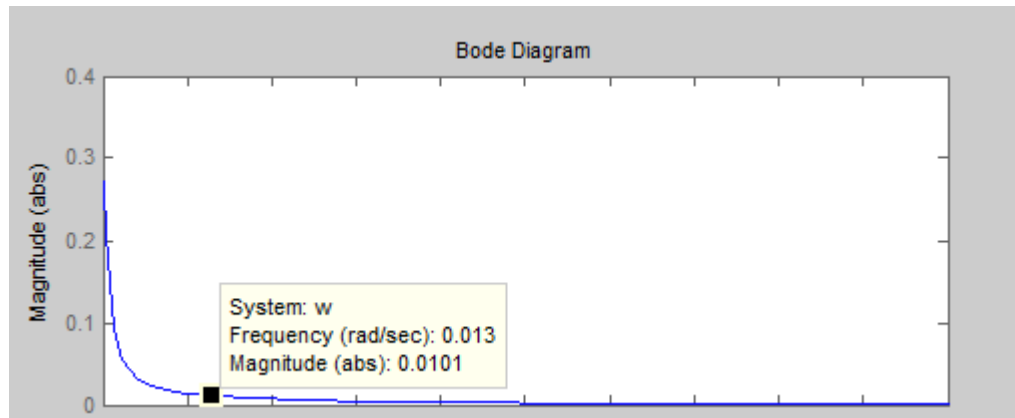


Рис. 4.1. АФЧХ системи керування

$$w_c = 0.013$$

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.).

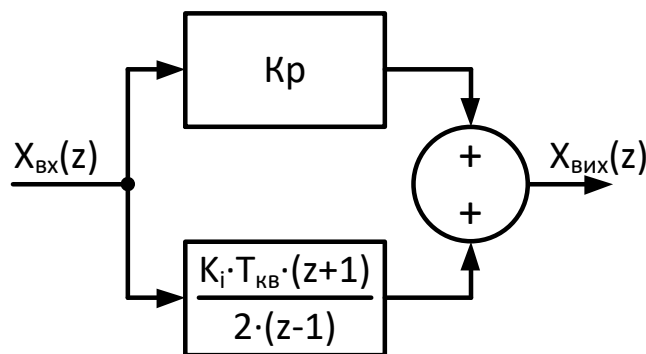


Рис. 4.2. Структурно-алгоритмічна схема цифрового ПІ-регулятора:  
 $K_p$ ,  $K_i$  – параметри відповідно пропорційної та інтегральної складових ПІ-регулятора,  $T$  – період квантування.

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...10
~10	0,3...1
~100	0,01...0,04
~1000	0,004...0,012

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

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

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

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

та Z-перетворення неперервної передатної функції на дискретну

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

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

$T$  – крок квантування.

При синтезі 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

$$K_i := \frac{0.008}{\left( \frac{0.0208 \cdot 1 + 0.009133 - 0.0000000000000000000507}{1^3 - 0.8903 \cdot 1^2 + 0.0000000000000000009885 \cdot 1 + 0} \right)} = 0.029$$

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

Передаточна функція ПІ-регулятора має вигляд:

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

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

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

$$\text{Find}(K_p) = 8.031$$

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

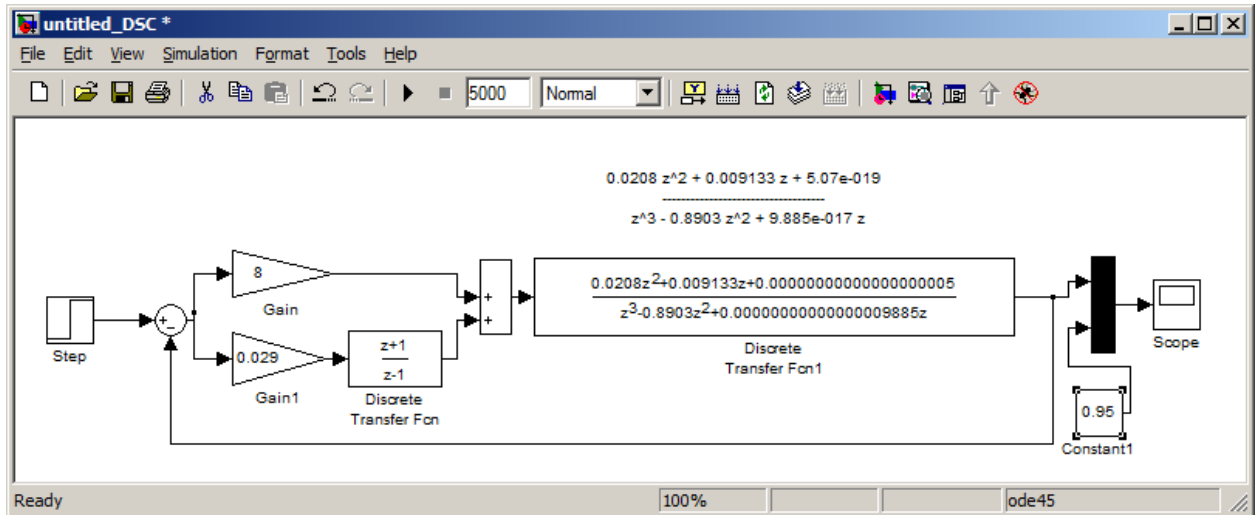


Рис. 4.3. Структурна модель цифрової системи

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

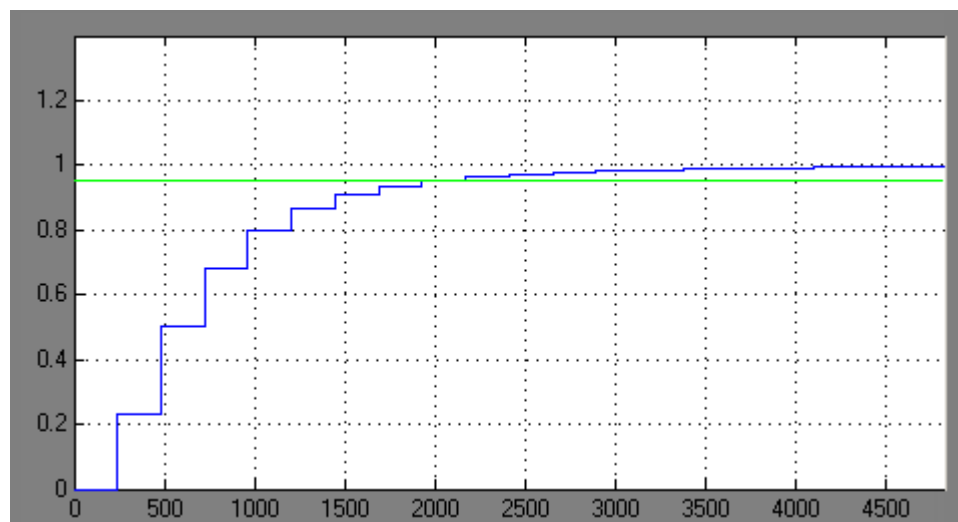


Рис. 4.4. Перехідний процес цифрової системи з ПІ-регулятором

Згідно перехідного процесу визначаємо:

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

### 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.

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

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

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

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

$$W(z) := \frac{-0.082117242999999988345z^2 + -0.034519123z^2 + 19.7670000000000000001z + -17.965z^2 + -3.802z^3 + 2z^4 - 1.014e-18}{19.7670000000000000001z + -17.965z^2 + -3.802z^3 + 2z^4 - 1.014e-18} = 0$$

У результаті було отримано наступне характеристичне рівняння:

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

Коренями характеристичного рівняння будуть:

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

$$z_3 = 0.$$

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

$Re^2(z_k) + Im^2(z_k) < 1$  – для комплексних.

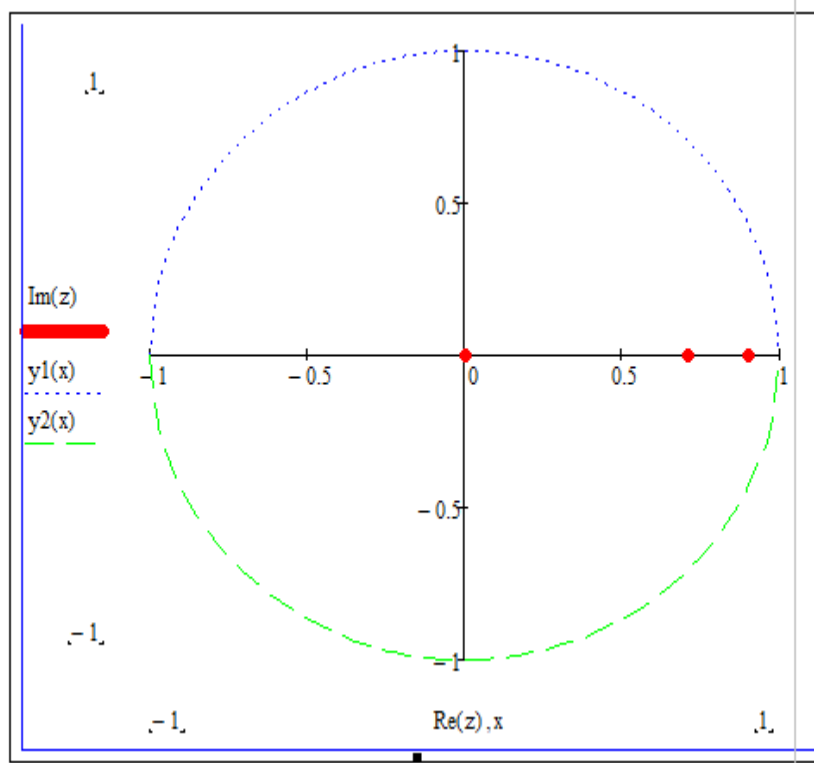


Рис. 4.5. Корені характеристичного рівняння на комплексній площині

## РОЗДІЛ 5

### СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 5.1. Розробка схеми електричної принципової САК параметрами мікроклімату на митному терміналі

Схема електрична принципова системи автоматичного керування параметрами мікроклімату приміщення митному терміналі зображена на аркуші №2 графічної частини кваліфікаційної бакалаврської роботи. На ній зображені складові частини припливно-витяжної системи вентиляції із пластинчастим рекуператором та електротехнічне обладнання керування установкою.

Для технічної реалізації обраного алгоритму керування параметрами мікроклімату використовується програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК110 (**D1**).

Інформація про стан технологічних параметрів системи надходить до контролера від датчиків температури ОВЕН ДТС125 **D5**, **D6**, **D7** (відповідають датчикам ТЕ (1-1), ТЕ (1-2), ТЕ (1-3) на функціональній схемі автоматизації); датчика концентрації вуглекислого газу CO<sub>2</sub> в приміщенні **D8** (QE (1-4)); датчиків температури **D9**, **D10** (ТЕ (1-5), ТЕ (1-6) на функціональній схемі); датчиків тиску XMLG010D21 **D11**, **D12** (PE (1-7), PE (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 терміналу (**M1**) АИР80А2У3 використовується частотний перетворювач ATV 312HU55N4 (**U1**), який, в свою чергу, отримує сигнали керування через інтерфейсу RS-485 від програмного логічного контролера ОВЕН ПЛК110 (**D1**). Аналогічним чином здійснюється керування електродвигуном витяжного відцентрового вентилятора за допомогою такого самого частотного перетворювача ATV 312HU55N4 (*на принциповій схемі цей контур керування не показаний*).

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

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

## 5.2. Вибір апаратури захисту і керування

Для електроприводу відцентрового вентилятору подачі повітря у приміщення митного терміналу 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	$\eta$ , %	$\cos\varphi$	$S_H$ , %	$\frac{I_{пущк}}{I_H}$	$\frac{M_{пущк}}{M_H}$	$\frac{M_{макс}}{M_H}$	$\frac{M_{мин}}{M_H}$	$J_{дв}$ , кг·м <sup>2</sup>
1,5	2880	3,2	82	0,85	4,0	6,5	2,2	2,6	1,8	0,0015

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

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

$$U_{н.ав} \geq U_{ж}; \quad (5.1)$$

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

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

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

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

- струм відсічки електромагнітного та теплового розчіплювача в даному випадку

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

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

В даному випадку, окремий автоматичний вимикач захищає окремий електродвигун.

Згідно з принциповою схемою системи керування параметрами мікроклімату митного терміналу 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.

Таблиця 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 $I_{H.ROZЧ}$ , А	6
Номинальний струм теплових розчіплювачів $I_{H.ROZЧ}$ , 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

$$I_{H.AB} > I_{K.KEP}, \quad (5.6)$$

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

$$I_{H.ROZCH} > I_{K.KEP}; \quad (5.7)$$

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

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

Згідно з принциповою схемою керування та умовами (5.5) - (5.8), для захисту ПЛК та кола керування вибираємо автоматичний вимикач ІС60С-К 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 ІС60С-К

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 $I_{H.ROZCH}$ , А	10
Уставка за струмом відсічки електромагнітного розчіплювача $I_{ВДС.РОЗЧ}$ , А	$I_{ВДС.РОЗЧ} = 12 \cdot I_{H.ROZCH}$
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

$$U_{H.AB} > U_{Ж} = 220 \text{ В};$$

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

$$I_{H.ROЗЧ} > I_{K.KEP}, 10A > 6A;$$

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

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



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 – неревверсивний, 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  $U_{н.ЕП} = 380 В$  силового кола  $I_{н.ЕП} = 10 А$ , номінальною напругою втягуючої катушки  $U_{н.КОТ} = 220 В (50 Гц)$ .

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

### 5.3. Вибір проводів та кабелів

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

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

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

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

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

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

$$I_{\text{РОЗР.ДВ}} = \frac{10^3 P_{\text{Н.ДВ}}}{\sqrt{3} U_{\text{Н}} \eta_{\text{Н}} \cos \varphi_{\text{Н}}} . \quad (5.13)$$

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

$$I_{\text{М.РОЗР}} = K_{\text{О}} \cdot \sum_{i=1}^m I_{\text{РОЗР.ДВ.}i} , \quad (5.14)$$

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

$\sum_{i=1}^m I_{\text{РОЗР.ДВ.}i}$  - 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 мм<sup>2</sup>, тривало допустимий струм якого дорівнює 19 А. Кабель прокладається в трубі [18].

**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 керування вибираємо провід ПВ 1х0,5 (ГОСТ 6323-79) – провід з мідною жилою перерізом 0,5 мм<sup>2</sup> в полівінілхлоридній оболонці, тривало допустимий струм якого дорівнює 11 А [18].

**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 мм<sup>2</sup>, тривало допустимий струм яких дорівнює 30 А, перерізом жили нульового проводу 2,5 мм<sup>2</sup>. Кабель прокладається в трубі [18].

#### 5.4. Вибір щита керування

Щити і пульти – це пости керування, контролю, сигналізації електрифікованих і автоматизованих об'єктів. На них розміщують апаратуру керування, контрольовано-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 різноманітних нормативних документів (ДСТУ).

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

Шафові щити використовують: 1) у виробничих приміщеннях, що характеризуються запиленістю, великою вологістю та можливістю механічного пошкодження апаратури й внутрішньощитових проводів; 2) для розміщення допоміжної апаратури (реле, джерел живлення) всередині щита; 3) для захисту обслуговуючого персоналу від дотиків до відкритих струмоведучих частин апаратури та затискачів.

Враховуючи габаритні розміри всіх пристроїв схеми керування технологічним обладнанням системи керування параметрами мікроклімату митного терміналу, що розміщуються на передній і задній панелях, вибираємо щит шафовий типу ЩШМ (600x400x250)V4P30 (ОСТ 36.13-76) [18].

## РОЗДІЛ 6

### СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ КЛІМАТОМ МИТНОГО ТЕРМІНАЛУ ІЗ СИСТЕМОЮ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ

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 про процес і надає графічний інтерфейс оператору для контролю і керування.

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

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

пропонує величезний набір простих у використанні графічних функцій для побудови систем візуалізації.

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

**Опис об'єкта керування.** Митний термінал представляє собою комплекс приміщень різного призначення: зберігання митних товарів, приміщень карантинної зони, чистого приміщення для зберігання медичних і ветеринарних препаратів, вентиляційної камери, де знаходиться вентиляційна система з функціями: двома ступенями фільтрації, рекуперацією, охолодженням, нагрівом та зволоженням повітря.

***Завдання системи автоматизації:***

1.) Контролювати температуру, відносну вологість та концентрацію вуглекислого газу CO<sub>2</sub> у приміщеннях митного терміналу в заданих межах.

2.) Керувати вентиляційною системою та відображати параметри її роботи.

3.) Контролювати температуру та відносну вологість у холодильних камерах митного терміналу.

4.) Виконувати запис показників у вигляді файлів, та при необхідності створювати звіти. Час запису необмежений (обмежений величиною жорсткого диску).

5.) Інформувати операторів, інженерів про аварійні ситуації на екрані монітора, світло-сигнальною сигналізацією та за допомогою SMS інформування.

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

7.) 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, відносної вологості, концентрації CO<sub>2</sub> мали мережевий інтерфейс RS485 Modbus RTU.
- Зв'язок між віддаленими датчиками, які знаходились у холодильному приміщенні терміналу 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 приміщень митного терміналу, розділеного на три зони, в яких вимірюються температура, відносна вологість та концентрація CO<sub>2</sub>, а також розміщена холодильна камера (ХК склад) в якій вимірюються температура та вологістю. Пара датчиків у холодильній камері потрібна для заміру температури в різних частинах камери, а також для дублювання в разі виходу з ладу одного з них.

Також на головному вікні програми відображаються графіки з показниками усереднених значень технологічних параметрів.

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, вологості, концентрації CO<sub>2</sub> з межами, які встановлені оператором. При виході параметрів за межі, програма сигналізує про це.

**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.

**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 (рис. 6.1) можливо відображення архівних даних у вигляді графіків чи у табличному вигляді. Також можливо селекційно вибрати відображення параметрів, які необхідні. Ці параметри також можна роздрукувати, чи зберегти у файлі. Можна ще в цьому вікні форматувати відображення параметрів графіків по горизонталі, та по вертикалі змінивши проміжки часу та діапазону величин параметрів відповідно.

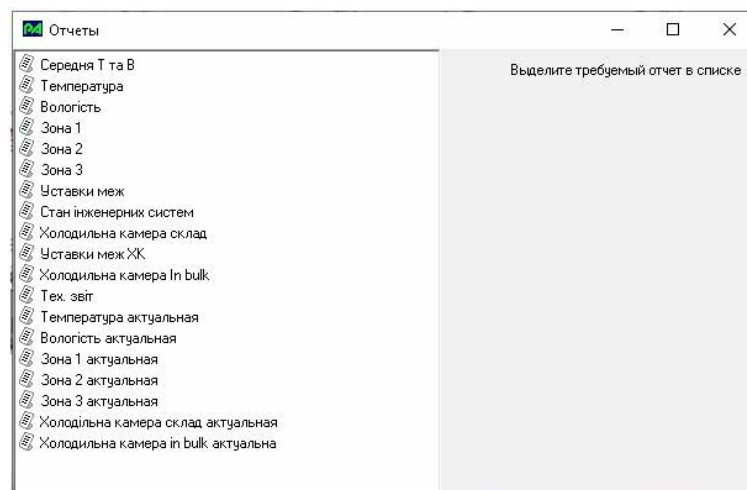


Рис. 6.1. Вікно відображення списку підготовлених звітів

На рис. 6.2 наведене вікно відображення протоколу роботи програмного комплексу, дій операторів, тривоги, авторизації, робота обладнання, та інші.

Протокол

Модуль протоколирования 1 [L]

Отображать категории событий

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

Интервал времени, за который отображать события

Дата: 09.05.2022

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

Выбор интервала отображения

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

Рис. 6.2. Вікно відображення протоколу роботи програмного комплексу

## РОЗДІЛ 7

### ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

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

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

Зведені витрати визначають за виразом:

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

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

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

$K$  – капітальні витрати, грн.;

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

До складу експлуатаційних витрат входять:

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

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

Витрати на утримання основних засобів виробництва  $C_v$  складаються з відрахувань на амортизацію  $C_A$  (визначають у відсотках від балансової вартості обладнання приладів і засобів автоматизації, приймають  $C_A = 14,2\%$ )

та відрахувань на поточний ремонт  $C_{IP}$  (також визначають у відсотках від балансової вартості обладнання приладів і засобів автоматизації, приймають  $C_{IP} = 18\%$ ).

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

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

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

$Г$  – кількість годин роботи споживачів на рік.

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

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

При визначенні капітальних вкладень необхідно враховувати:

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

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

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

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

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

Витрати на електропроводки складаються з вартості кабелів (проводів) та вартості їх прокладання. В практичних розрахунках приймають, що вартість

прокладання 1м кабелю (проводу) відкритим способом складає 26–54 грн., в трубі - 150 грн.

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

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

Загальна вартість технічних засобів автоматизації складає

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

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

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

Вартість технічних засобів автоматизації визначається із загального кошторису системи керування.

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

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

Загальна вартість технічних засобів автоматизації складає

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

Торгівельно-транспортні та складські витрати

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

Витрати на монтажні роботи

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

Інші капітальні витрати, пов'язані зі здійсненням автоматизації

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

Капітальні вкладення складають

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

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

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

- утримання основних засобів виробництва

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

- витрати на електроенергію

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

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

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

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

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

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

Інші прямі витрати

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

Тоді річні експлуатаційні витрати становитимуть

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

Зведені витрати становитимуть

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

Чистий прибуток, років, можна визначити за виразом

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

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

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

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

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

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

Термін окупності установки складатиме

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

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень

$$E = \frac{1}{T_{\text{окуп}}} = 0,77.$$

Після проведених розрахунків можна зробити висновок, що термін окупності при впровадженні розробленої САК параметрами мікроклімату митного терміналу складе 1,3 року, що вказує на доцільність її використання у виробництві.

## ВИСНОВКИ

При виконанні кваліфікаційної бакалаврської роботи згідно із завданням розроблено систему автоматичного керування параметрами мікроклімату приміщень митного терміналу із використанням комплексу технічних засобів ОВЕН і отримані наступні результати:

1. Проведено аналіз сучасного стану автоматизації систем забезпечення параметрів мікроклімату приміщень митного терміналу, розроблена функціональна схема автоматизації системи керування припливно-витяжної системи вентиляції з рекуператором.

2. Для визначення динамічних властивостей приміщень терміналу 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 ОВЕН ДТС125, концентрації вуглекислого газу TGS4160, тиску XMLG010D21, сервоприводів BELIMO SM24A, частотного перетворювача ATV 312HU55N4, програмно-логічного контролера ОВЕН ПЛК110 із необхідним додатковим обладнанням.

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

5. Розроблені електричні схеми САК параметрами мікроклімату, обґрунтований вибір електротехнічного обладнання, проводів і кабелів.

6. Економічні розрахунки показали, що термін окупності при впровадженні розробленої САК параметрами мікроклімату в приміщеннях митного терміналу дорівнюватиме 1,3 року, що вказує на доцільність її використання у виробництві.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Вплив пандемії вірусу COVID-19 на митну політику України / Дубовик В.Я., Замрій О.М. // Економіка та суспільство, Випуск №23/2021, DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-33-3>
2. Герасимчук Ю.В. Математична модель рекуперативного теплоутилізатора вентиляційних викидів тваринницьких приміщень. Науковий вісник НУБіП України. 2014. Вип. 194, №2. С.93-99.
3. ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель [Чинний від 2007-01-01]. – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2007 р. – 72 с.
4. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування [Чинний від 2014-01-01]. – К.: Держбуд України, 2014. – 113 с. (Державні будівельні норми).
5. ДБН А.3.1-5-2009. Організація будівельного виробництва [Чинний від 2010-01-01]. – К.: Міністерство регіонального розвитку і будівництва України, 2010. – 61 с.
6. Драганов Б.Х., Міщенко А.В., Борхаленко Ю.О. Основи теплотехніки і гідравліки: Навчальний посібник / За ред. Б.Х. Драганова. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 495с.
7. Драганов Б.Х. Оптимізація енергозберігаючих систем / Б.Х. Драганов, В.В. Козирський. – К: ФОП "Пилипенко О.М.", 2010. – 176 с.
8. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія [Чинний від 2011-01-01]. К.: Міністерство регіонального розвитку і будівництва Країни, 2011 р.–127 с.
9. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк; За ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.: іл.
10. Караваєв Т. А., Калуга Н. В. Митна справа в умовах COVID-19. ВІСНИК КНТЕУ. 2020. № 5. Електронний ресурс. Режим доступу: URL: <http://visnik.knute.edu.ua/files/2020/05/06.pdf>
11. Ковальчук О. В., Дубич К. В. Проблеми реформування державної служби в митних органах. Інвестиції: практика та досвід. 2021. № 15/202. Електронний ресурс. Режим доступу: URL: [http://www.investplan.com.ua/pdf/15\\_2021/20.pdf](http://www.investplan.com.ua/pdf/15_2021/20.pdf)
12. 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.
13. 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.

14. Мартиненко І. І. Автоматика в сільськогосподарському виробництві / І. І. Мартиненко, Б. Л. Головінський, Р. Д. Проценко. – К.: Урожай, 1989. – 168 с.
15. Мартиненко І.І., Лисенко В.П., Тищенко Л.П., Болбот І.М., Олійник П.В. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: підручник. – К.: "Інтас", 2008. – 330 с.
16. 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.
17. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни "Супервізорні системи керування та збору даних" для студентів напряму підготовки "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" денної форми навчання / А.М. Стеценко. – Рівне: НУВГП, 2011. – 28 с.
18. Мілозеров О.В., Панков І.Г. Електротехніка: Навч. посібник для ВНЗ. – К.: Урожай, 2006. – 288с.
19. Митний термінал. Електронний ресурс. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/митний\\_термінал](https://uk.wikipedia.org/wiki/митний_термінал)
20. Основи автоматичної теорії і практики (ч.1) / Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. – К.: Освіта України, 2012. – 540 с.
21. Основні методи і методики підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра / В.П. Лисенко, А.О. Дудник, В.О. Мірошник, А.А. Руденський, Н.А. Заєць. – Київ: "Компринт". 2023. – 303 с. для студентів зі спеціальності 151 – "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" Навчальний посібник.
22. Парков В.В. Особливості проектування сучасних систем водяного опалення / В.В.Парков – Київ://ДП "Такі справи", 2003. – 176 с.– іл.
23. 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.
24. Показники зовнішньої торгівлі України // Державна митна служба України. Електронний ресурс. Режим доступу: URL: <https://bi.customs.gov.ua/uk/trade/>
25. Показники зовнішньої торгівлі України // Державна митна служба України. Електронне видання. Режим доступу: URL: <https://bi.customs.gov.ua/uk/trade/>
26. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України, Київ, 2017 р. Електронне видання. Режим доступу: <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/pue.pdf>
27. Прус Л. Р. Особливості здійснення державної митної справи в умовах пандемії COVID-19. Науководослідний інститут фіскальної політики. 2020. URL: <https://www.ndifp>.

28. Обробка і передача інформації. Сучасні комп'ютерні технології. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://subject.com.ua/article/article2018/152.html>
29. Вартість електроенергії для підприємств. Як затримати ріст цін? [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://inteleng.com.ua/blog-uk/vartist-elektroenergii-dlya-pidpriie/>
30. Припливно-витяжна вентиляція в частому домі своїми руками – установка, розрахунок та проектування. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://teplogrup.ru/ventilyatsiya/tipovye-shemy-i-pravila-sostavleniya-proektasistemy-ventilyacii-v-chastnom-dome.html> (дата звернення 03.02.2024).
31. Рекуператори з проміжних теплоносієм. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://rekuperation.ru/rekuperator-s-promezhutochnym-teplonositelem/> (дата звернення 03.02.2024)
32. Що таке адсорбційний осушувач повітря. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://energomir.su/blog/chto-takoe-adsorbtsionnyi-osushitel> (дата звернення 03.02.2024).
33. Кнопка керування РВ0-АА21. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://principal.ua/p507102148-knopka-upravleniya-dlya.html>
34. Вимикач автоматичний іС60N 2Р 3А В. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://schneider.kiev.ua/avtomatichnij-vimikach-ic60n-2p-3a-b-schneider-electric-a9f73203>
35. Проводи і кабелі. Електронний ресурс. Режим доступу: [https://elektrika.ua/catalog/kabel\\_i\\_provod/](https://elektrika.ua/catalog/kabel_i_provod/)
36. S. N. Rudnic (Department of Environmental Health, Harvard School of Public Health, Boston, MA, USA) та D. K. Milton (Department of Medicine, The Channing Laboratory, Brigham and Women's Hospital and Harvard Medical School, Boston, MA, USA)
37. Вентиляція, як один із способів боротьби із пандемією корона вірусу. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://arduino.ua/art101-ventilyaciya-kak-odin-iz-sposobov-borbi-s-pandemiei-koronavirysa>

№ кімнати	Назва	Позначення	Орієнтація	Розміри, м		Площа, м <sup>2</sup>	K, Вт/м <sup>2</sup> К	Δt, °C	n	Додаткові теплоізляти					Тепловтрати конуркуції, Вт	Темп. прим., Вт	Площа прим. м <sup>2</sup>	Висота примщ.,	Тепловтрати на Вентиляцію, Вт	Зар. тепловтр., Вт	Радіатори																								
				ширина	висота					орієнтація	вітер	стіни	звери	Σ							типорозм	кількість																							
103	Зала ресепції +15	В	Пд	2(1,6x2,5)	9,3	0,26	36	1	10	-	5	5	5	5	16	5751,8	237,6	3,3	9512,4	15264,2	FTV 12-500x1712	шт. 6																							
																							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
																							3Ст	3х	5,6	3,3	18,5	0,26	37	1	5	-	-	-	-	-	1,1	195,8	34,76	3,3	1430,3	2243,4	FTV 22-500x1158	шт. 2	
																							3Ст	В	1,8	2,9	5,2	1,9	37	1	-	-	5	-	-	-	1,05	385,3	34,76	3,3	1430,3	2243,4	FTV 22-500x1158	шт. 2	
																							3Ст	Пд	3,9	3,3	13,0	0,26	37	1	-	-	5	-	-	-	1,05	131,3	34,76	3,3	1430,3	2243,4	FTV 22-500x1158	шт. 2	
																							П	-	-	-	34,76	0,23	21	0,6	-	-	-	-	-	-	-	100,7	34,76	3,3	1430,3	2243,4	FTV 22-500x1158	шт. 2	
																							3Ст	3х	17,5	3,3	57,8	0,26	36	1	5	5	5	5	5	5	1,15	622,1	34,76	3,3	1430,3	2243,4	FTV 22-500x1158	шт. 2	
																							3Ст	Пд	9,2	3,3	30,4	0,26	36	1	-	-	5	-	-	-	1,1	312,9	34,76	3,3	1430,3	2243,4	FTV 22-500x1158	шт. 2	
																							3Ст	Сх	22,3	3,3	73,6	0,26	36	1	10	5	5	5	5	5	1,2	826,7	34,76	3,3	1430,3	2243,4	FTV 22-500x1158	шт. 2	
																							В	Пд	2(1,6x2,5)	9,3	1,9	36	1	-	-	-	5	-	-	-	1,1	699,7	34,76	3,3	1430,3	2243,4	FTV 22-500x1158	шт. 2	
В	Сх	6(1,6x2,5)	27,5	1,9	36	1	10	5	5	5	5	5	5	1,2	2257,2	34,76	3,3	1430,3	2243,4	FTV 22-500x1158	шт. 2																								
В	Сх	1,6x2,5	4,6	1,9	36	1	10	5	5	5	5	5	5	1,2	377,58	34,76	3,3	1430,3	2243,4	FTV 22-500x1158	шт. 2																								
П	-	-	-	237,6	0,23	20	0,6	-	-	-	-	-	-	-	655,7	34,76	3,3	1430,3	2243,4	FTV 22-500x1158	шт. 2																								

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

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

## ДОДАТОК А2

Тепловтраги приміщення, 1-й поверх (продовження)

№ кімнати	Назва	Позначення	Орієнтація	Розміри, м		Площа, м <sup>2</sup>	K, Вт/м <sup>2</sup> К	Δt, °С	n	Додаткові теплоізотри					Тепловтраги конструкції, Вт	Т-пл. прим., Вт	Площа прим. м <sup>2</sup>	Висота приміщ.,	Тепловтраги на вентиляцію, Вт	Зар. тепловтр., Вт	Радіатори								
				ширина	висота					опієнтація	вітер	стіни	двері	Σ							типороз	кількість							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23							
202		3Ст	3х	4,8	3,3	15,8	0,26	40	1	5	5	5	-	1,15	188,9		356,05	3,3	15838,5	26858,3	FTV 22-500×2702	10шт							
						17,8	0,26	40	1	10	5	-	1,2	222,1															
						20,4	0,26	40	1	10	5	-	1,2	254,6															
						4,9	0,26	40	1	10	5	-	1,2	61,8															
						57,8	0,26	40	1	5	5	-	1,15	691,3															
						30	1,9	40	1	5	5	-	1,15	8652,6															
						3(1,6×2,5)	1,9	40	1	10	5	-	1,2	948,5	11019,8								65,4	2,77	3,3	120,1	185,5	FTV 11-400×379	1 шт.
						10,4	0,26	39	1	10	5	-	1,15	65,4															
						5,6	0,26	39	1	10	5	-	1,15	65,4															
						1,7	3,3	5,6	1	10	5	-	1,15	65,4															
3Ст	Сх	1,7	3,3	5,6	1	10	5	-	1,15	65,4																			
Приміщення персоналу	3Ст	Сх	1,7	3,3	5,6	1	10	5	-	1,15	65,4																		

### ДОДАТОК АЗ

Тепловтраги приміщення, 2-й та 3-й поверх (2-й та 3-й поверхи однакові)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
204	Салют +20	ЗСт	Сх	1,6	3,3	5,2 8	0,26	41	1	10	5	-	-	1,15	64,7	64,7	2,55	3,3	116,3	180,9	FTV 11- 400×379	1шт.	
205	Гардероб +25	ЗСт	Пв	3,5 6	3,3	11, 6	0,26	46	1	10	5	5	-	1,2	166,5	476,3	8,94	3,3	457,3	933,6	FTV 11- 500×1032	1шт.	
		Т	Сх	2,5 1	3,3	8,2 8	0,26	46	1	5	5	5	-	1,15	113,9		113,9	8,94	3,3	457,3	933,6	FTV 11- 500×1032	1шт.
		В	Сх	1,3 1,5	1,5	1,9 5	1,9	46	1	5	5	5	-	1,15	195,9		195,9	8,94	3,3	457,3	933,6	FTV 11- 500×1032	1шт.

#### ДОДАТОК А4

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

№ кімнати	Назва	Позначення	Орієнтація	Розміри, м		Площа, м <sup>2</sup>	K, Вт/м <sup>2</sup> К	Δt, °C	n	Додаткові тепловтрати					Тепловтрати конуркції, Вт	Т-ш. прим., Вт	Площа прим. м <sup>2</sup>	Висота приміщ.,	Тепловтрати на Вентиляцію, Вт	Зар. теплопр., Вт	Радіатори																																																																																																			
				ширина	висота					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																																																																																																		
402		3Ст	3х	4,8	3,3	15,8	0,26	40	1	5	5	5	-	1,15	188,9	13138,8	309,8	3,3	13781,14	26919,9	FTV 22-500×2702	11шт																																																																																																		
																							3Ст	Сх	5,4	3,3	17,8	0,26	40	1	10	5	5	-	1,2	222,1																																																																																				
																																					3Ст	Сх	6,2	3,3	20,4	0,26	40	1	10	5	5	-	1,2	254,6																																																																						
																																																			3Ст	Пд	1,5	3,3	4,9	0,26	40	1	10	5	5	-	1,2	61,8																																																								
																																																																	3Ст	3х	17,5	3,3	57,8	0,26	40	1	5	5	5	-	1,15	691,3																																										
																																																																															В	-	30	2,9	87	1,9	40	1	5	5	5	-	1,15	8652,6																												
																																																																																													В	Сх	3(1,6×2,5)	10,4	1,9	40	1	10	5	5	5	-	1,2	948,5														
																																																																																																											Покр	-	-	309,80	0,18	38	1	-	-	-	-	-	-	2119,0

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

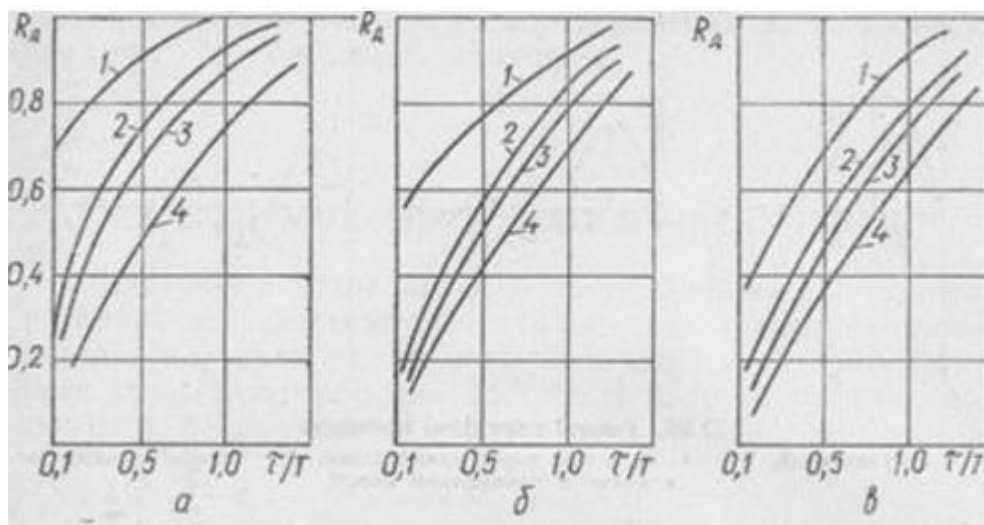
## ДОДАТОК Б1

Розрахункові дані для побудови нормованої розгінної характеристики приміщення митного терміналу 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



## Додаток В1

### Технічні характеристики програмно-логічного контролера ОВЕН ПЛК110

#### Загальні відомості

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

#### Живлення

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

#### Цифрові (дискретні входи)

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

## ВХОДОМ

– для звичайних входів	1 мс
– для швидкодіючих	0,02 мс
Вхідні пристрої, які підмикаються	– комутаційні пристрої (контакти кнопок, вимикачів, герконів, реле, тощо); – датчики, які мають на виході транзистор n-p-n або p-n-p– типу з відкритим колектором; – дискретні сигнали $24 \pm 3$ В
Гальванічна розв'язка	Групова
Електрична міцність ізоляція між групою дискретних входів та:	
– колами живлення	1780 В
– групами кіл дискретних виходів	1780 В
– групами інших кіл	560 В

**Дискретні виходи (контакти електромагнітних реле)**

Кількість релейних вихідних каналів	12
Гальванічна розв'язка	Індивідуальна (для DO1-DO8), групова (DO9-DO10), групова (DO11-DO12)
Електрична міцність ізоляції між групами дискретних виходів та групами інших кіл	1780 В
Максимальний струм, який комутований контактами реле, не більше	3 А (для змінної напруги не більше 250 В, частотою 50 Гц та $\cos \varphi > 0,4$ – навантаження для категорії використання АС-15 за ГОСТ р 50030.1-2000) 3 А (для постійної напруги не більше 30 В – навантаження для категорії використання DC-13 за ГОСТ р 50030.1-2000)
Час перемикання контактів реле із стану «лог. 0» у «лог. 1» та назад, не більше	50 мс (виходи DO1-DO12)
Механічний ресурс реле	- не менше 300 000 циклів перемикань при максимальному комутованому навантаженні; - не менше 500 000 циклів

перемикання при комутації  
навантаження менше половини від  
максимального

#### Аналогові входи

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

#### Аналогові виходи

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

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

### Інтерфейси зв'язку

#### RS-485

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

#### Ethernet 100 Base-T

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

#### RS-232 \*\*

Кількість	1
Гальванічна розв'язка	Відсутня

#### RS-232-Debug \*\*

Кількість	1
Гальванічна розв'язка	Відсутня

#### USB-пристрій \*

Кількість	1
Гальванічна розв'язка	Відсутня

\* – точність вказана без застосування програмної корекції.

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

Електрична міцність ізоляції між групою зазначених кіл:

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

### Ресурси та додаткове обладнання

Центральний процесор	RISC-процесор на базі ядра ARM-9, 32 розряду, 180МГц
Об'єм оперативної пам'яті (тип пам'яті)	8 Мб (SDRAM), із них 1 Мб для коду користувальницької програми, 128 кб для змінних користувальницької програми
Об'єм енергонезалежної пам'яті	4 Мб (DataFlash), із них 3 Мб доступно для зберігання файлів та

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

## Додаток В2

Інтерфейси зв'язку та програмування  
контролера ОВЕН ПЛК110

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