

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 681.5:664.1:636.082.474

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження
(назва ННІ)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри автоматики
та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка
(назва кафедри)

_____ В.В. Каплун
(підпис) (ПІБ)

_____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

«__» _____ 2024 р.

«__» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

02.06.-КМР.1664"С".2024.09.26.015.ПЗ

на тему **«КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА
АВТОМАТИЗАЦІЇ ХЛІБОПЕКАРСЬКОЇ ПЕЧІ ТУНЕЛЬНОГО
ТИПУ»**

Спеціальність:

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

Освітньо-професійна програма:

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

Гарант освітньої програми

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

Виконав

_____ С.В. Стратоненко
(підпис) (П.І.Б студента)

Керівник магістерської роботи

_____ Н.А. Заєць, д.т.н., професор
(підпис) (П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

КИЇВ-2024

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
автоматики та робототехнічних
систем ім. акад. І.І. Мартиненка
О.О. Опришко

« » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
(бакалаврської, дипломної)

Стратоненку Сергію Володимировичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність:

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

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Тема магістерської роботи **«КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ХЛІБОПЕКАРСЬКОЇ ПЕЧІ ТУНЕЛЬНОГО ТИПУ»**,

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

Термін подання студентом магістерської роботи 15.11.2024 року

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

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів як об'єкта автоматизації.
2. Розробка математичної моделі керування технологічними параметрами тунельної хлібопекарської печі.
3. Обґрунтування вибору алгоритму керування об'єктом та засобів його реалізації.
4. Аналіз якості функціонування САК.
5. Схеми системи автоматизації.
6. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора-технолога.
7. Техніко-економічне обґрунтування системи автоматичного керування вологістю в печі.

Дата видачі завдання «27» вересня 2024 року

Керівник магістерської роботи _____

(Підпис)

Заєць Н.А.

(Прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(Підпис)

Стратоненко С.В.

(Прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ	4
РОЗДІЛ 1. Аналіз технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів як об'єкта автоматизації	8
1.1. Характеристика продукції, сировини і напівфабрикатів	8
1.2. Способи виробництва тіста з пшеничного і житнього борошна	10
1.3. Класифікація промислових хлібопекарських печей	14
1.4. Тунельні каркасно-металічні печі з циклотермічним обігріванням	18
1.5. Вимоги до автоматизованої системи керування тунельною хлібопекарською піччю	23
РОЗДІЛ 2. Розробка математичної моделі керування технологічними параметрами тунельної хлібопекарської печі	25
2.1. Розробка функціональної схеми автоматизації тунельної хлібопекарської печі	25
2.2. Загальний підхід до створення математичних моделей ОК	30
2.3. Розробка математичної моделі ОК	32
РОЗДІЛ 3. Обґрунтування вибору алгоритму керування об'єктом та засобів його реалізації	39
3.1. Вибір алгоритму керування	39
3.2. Реалізація алгоритму керування	40
3.2.1. Вибір датчика вологості	40
3.2.2. Вибір регулюючого органу та виконавчого механізму	41
3.2.3. Вибір програмованого логічного контролера	46
3.2.4. Хмарний сервіс OwenCloud	47
РОЗДІЛ 4. Аналіз якості функціонування САК	53
РОЗДІЛ 5. Схеми системи автоматизації	62
5.1. Розробка схеми електричної принципової системи автоматичного керування тунельною хлібопекарською піччю	62
5.2. Вибір апаратури захисту та керування	62
5.3. Вибір проводів та кабелів	70
5.4. Розробка електричних схем з'єднань та підключень системи керування	72
5.5. Вибір щита керування	74
РОЗДІЛ 6. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора-технолога	76
РОЗДІЛ 7. Техніко-економічне обґрунтування системи автоматичного керування вологістю в печі	80
Висновки	86
Література	87
Додатки	89

ВСТУП

Актуальність теми. Хліб є одним з найвидатніших відкриттів в історії людства. Він існує тисячі років.

Вчені вважають, що людина почала вживати зерна злакових ще в часи “мезоліту” (15 тис. років тому). З тих часів і починає свою історію хліб. Приблизно 6-8 тис. років тому люди навчилися подрібнювати злаки, почали готувати з них каші, з яких пізніше на розпеченому камінні пекли прісні коржі. Як стверджують археологи, ці каші й були пращурами сучасного хліба.

Минуло ще кілька тисячоліть, і люди навчилися готувати хліб із зброженого тіста. Вважається, що вперше такий хліб почали виготовляти у Єгипті 5-6 тисячоліть тому. Саме у Єгипті були поєднані в один процес три великих відкриття давнини: вирощування пшениці, застосування жорен для помелу зерна і використання мікроорганізмів для розпушення тіста, які започаткували технологію виготовлення хліба. Так був створений хліб, обрис якого не змінюється вже протягом 5 тисячоліть.

Мистецтво випікати хліб зі зброженого тіста перейшло до Греції, а звідти – у Рим і деякі інші європейські країни.

Як вважає багато вчених, слово "хліб" походить від грецького слова "клібанос" – горщик спеціальної форми, в якому грецькі майстри випікали хліб [18]. Значний розвиток хлібопечення знайшло у древньому Римі, де майстерність пекаря цінувалась дуже високо. У Римі встановлено єдиний у світі пам'ятник пекарю Вергілію Еврісаку (30 століття до н.е.).

Після винайдення 5 тис. років тому технології виготовлення хліба за допомогою мікроорганізмів сутність подальшої історії розвитку хлібопечення полягала в удосконаленні процесів приготування борошна, тіста, випічки хліба, покращанні його асортименту та якості, механізації трудомістких процесів.

Велика майстерність виготовлення хліба удосконалюється і сьогодні, в умовах механізованого виробництва.

У наш час в умовах України найважливішими актуальними проблемами у хлібопекарській промисловості є:

- впровадження раціональних ресурсо- і енергозберігаючих технологій виробництва хлібобулочних виробів як в умовах високомеханізованих підприємств, так і в умовах пекарень;

- технічне переоснащення діючих підприємств, оснащення сучасним обладнанням нових виробництв, що створюються при хлібозаводах, а також пекарень різних форм власності;

- покращання якості сировини, розширення сировинної бази за рахунок використання нетрадиційних видів сировини. Забезпечення виробництва високорисними культурами молочнокислих бактерій і хлібопекарськими дріжджами з високою бродильною активністю;

- підвищення споживчої цінності хлібних виробів, надання їм властивостей функціонального продукту шляхом використання нетрадиційної сировини і біологічно активних добавок;

- удосконалення асортименту продукції. Розширення виробництва поліпшених видів хлібобулочних виробів, зокрема без вмісту глютену, створення і впровадження у виробництво хлібних виробів для оздоровчого, профілактичного і дієтичного харчування;

- забезпечення необхідної якості продукції, що виготовляється з борошна зі зниженими хлібопекарськими властивостями;

- подальше вирішення проблеми подовження терміну зберігання, свіжості виробів, випікання хлібних виробів із заморожених тістових заготовок, захисту їх від мікробіологічного псування, захворювання на картопляну хворобу, пліснявіння.

Має знайти активний розвиток пакування виробленої продукції. Важливою проблемою залишається забезпечення безпеки виробів шляхом підвищення контролю якості сировини і готової продукції, уважне ставлення до проблеми застосування генетично модифікованої сировини.

Потребують вирішення екологічні проблеми хлібопекарського виробництва науково обґрунтований контроль та облік викидів і скидів.

При вирішенні проблем удосконалення усіх зазначених ланок функціонування хлібопекарських підприємств важливого значення набуває розробка і впровадження оперативних методів контролю та керування технологічними процесами, що стає можливим із застосуванням сучасних технічних засобів автоматизації та впровадженням програмних комплексів для візуалізації та диспетчеризації технологічних процесів – SCADA-систем (від англ. *Supervisory Control And Data Acquisition*) із використанням НМІ-інтерфейсів (НМІ від англ. *Human Machine Interface*), тобто людино-машинних інтерфейсів – інструментів, які подають дані про хід процесу людині-операторові, що дозволяє йому контролювати і керувати процесом [21].

Об'єктом дослідження є процес промислового виробництва хліба у печах тунельного типу.

Предметом досліджень є взаємозв'язки і закономірності режимів функціонування пекарського обладнання та їх вплив на енергоефективність процесу виробництва хлібобулочних виробів.

Мета і задачі досліджень. Мета роботи полягає у вдосконаленні системи автоматичного керування процесом виробництва хлібобулочних виробів у печі тунельного типу для поліпшення якості кінцевого продукту та зменшення енергетичних витрат на процес.

Для досягнення цієї мети сформульовані такі задачі:

– проведення аналізу технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів;

- розробка функціональної схеми автоматизації системи керування тунельною піччю для виробництва хліба та алгоритму її роботи;
- розробка і дослідження імітаційної моделі об'єкта автоматизації із використанням програмного пакету імітаційного моделювання MatLAB;
- обґрунтування вибору алгоритму керування, комплексу технічних засобів автоматизації, визначення показників якості роботи системи керування;
- розробка електричних схем системи автоматизації та системи дистанційного керування і контролю із операторським інтерфейсом;
- техніко-економічне обґрунтування прийнятих інженерних рішень.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Характеристика продукції, сировини і напівфабрикатів

Хліб виробляють у вигляді штучних виробів, випечених з борошняного тіста, яке піддано бродінню. Поверхня виробів покрита твердою кірочкою, а всередині міститься м'який, пористий, подібний до гуми м'якуш.

Основною сировиною для виробництва хліба є пшеничне і житнє борошно, а також питна вода. В якості додаткової сировини використовують дріжджі, сіль, цукор, жири і різноманітні харчові добавки. Хлібопекарська борошно виготовлене з борошнистих зерен м'якої пшениці. Структура такого борошна є сипучою порошкоподібною. Всю додаткову сировину перетворюють в проміжні рідкі напівфабрикати: розчини, емульсії або суспензії.

Хлібопекарське тісто в результаті замісу і бродіння набуває необхідної для даного виду хліба кислотності і фізичних властивостей: пружність, формоутримуючу і газоутримуючу здібності, які забезпечують максимальний обсяг тістових заготовок, що надходять на випічку.

Асортимент хлібобулочних виробів. У нашій країні асортимент цієї продукції складає кілька сотень різних на зовнішній вигляд і смак виробів.

Хлібобулочні вироби розподіляються на основні групи:

– хліб з житнього борошна; з оббивного борошна; з обдирного і сіяного борошна;

– житньо-пшеничний хліб виготовляють із суміші борошна, співвідношення яких може бути різним. Як правило, застосовують оббивне борошно 50/50 % (український); 60/40 % (Дарницький);

– пшеничний хліб випікають з борошна оббивного, а також другого, першого і вищого сортів;

- бубличні вироби - бублики, сушка;
- булочні вироби випікають з борошна другого, першого і вищого сортів;
- здобні хлібобулочні вироби - містять цукру і жиру понад 7%;
- сухарі - гірчичні, московські, особливі та ін.;
- пироги, пиріжки, пончики - належать до здоби, але випускаються підприємствами громадського харчування.

Хлібом називають виріб масою понад 0,5 кг; булочні вироби мають масу менш ніж 500 г і виготовляють їх з пшеничного борошна. Дрібні штучні вироби мають масу 200 г і менше.

Сировина для виробництва хліба. У хлібопеченні використовується різноманітна сировина, її поділяють на дві групи: основна і додаткова. Основна - це сировина, яка необхідна для отримання тіста і хліба: борошно, вода, розпушувачі (дріжджі, закваска), сіль. Додаткову сировину вводять у рецептуру для поліпшення харчових якостей хліба – молоко і молочні продукти, жири, цукор, патока, яйцепродукти, вітаміни, насіння ефіроолійних рослин (кориця, ванілін, шафран та ін.). Чималу частину додаткової сировини вводять у дозріле тісто, в якому розпустилися дріжджі.

Борошно – основна сировина, від якої залежить сорт і якість хліба. Хлібопекарські властивості визначаються його вуглеводно-амілазним і білково-протеїназним комплексами. Вуглеводно-амілазний комплекс характеризується наявністю крохмалю й інших вуглеводів, активністю амілолітичних ферментів, що розщеплюють крохмаль. Білково-протеїназний комплекс характеризується клейковиною, протеолітичними ферментами і активаторами протеїнази.

Хлібопекарські властивості визначають за такими найважливішими показниками, як підйомна сила і осмочутливість. Підйомна сила – це здатність дріжджів засвоювати вуглеводи борошна. Осмочутливість характеризує стійкість клітин дріжджів до підвищення осмотичного тиску в середовищі.

У хлібопеченні використовують *дріжджі* різних товарних форм: пресовані, сухі, дріжджове молоко. Сухі дріжджі бувають активними і розчинними (instant). На Україні в основному використовуються пресовані дріжджі, сухі – за кордоном і в окремих регіонах.

Вода повинна відповідати вимогам нормативної документації і задовольняти санітарним нормам за вмістом бактерій. Якість води для потреб хлібопечення і можливість використання того чи іншого джерела визначають органи санітарної інспекції. *Сіль* повинна відповідати вимогам нормативної документації. Перед застосуванням сіль обов'язково розчиняють і проціджують.

1.2. Способи виробництва тіста з пшеничного і житнього борошна

Для приготування пшеничного тіста найчастіше застосовують два способи: *безопарний* і *опарний*.

Безопарний спосіб виробництва тіста. При безопарному способі усі компоненти, що входять до рецептури тіста, у повному обсязі вносять одночасно. В результаті замісу отримують тісто густої консистенції. Розвиток дріжджів у ньому утруднений, тому норма введення дріжджів становить понад 1,5% до маси борошна. Тривалість процесу бродіння тіста 3 – 3,5 год. Якість хліба нижча, ніж в опарному способі.

Опарний спосіб виробництва тіста. Підготовка сировини складається з наступних стадій: просіювання борошна, виготовлення дріжджової суспензії і приготування розчину солі.

На рис. 1.1 наведена апаратно-технологічна схема виробництва хліба.

Заміс опари проводять 4-6 хв. до утворення однорідної маси. Заміс тіста триває 5-8 хв. Під час замісу опари і тіста починається процес бродіння. Дріжджі зброджують моно- і дисахариди, що є у борошні, і дисахарид

мальтозу, що утворюється при гідролізі крохмалю. Мета бродіння – накопичення в опарі і тісті смакових і ароматичних речовин, а також приведення тіста за такими показниками, як газотримуюча здатність і фізичні властивості, у стан, що найбільш підходить до проведення розподілу тіста і випічки.

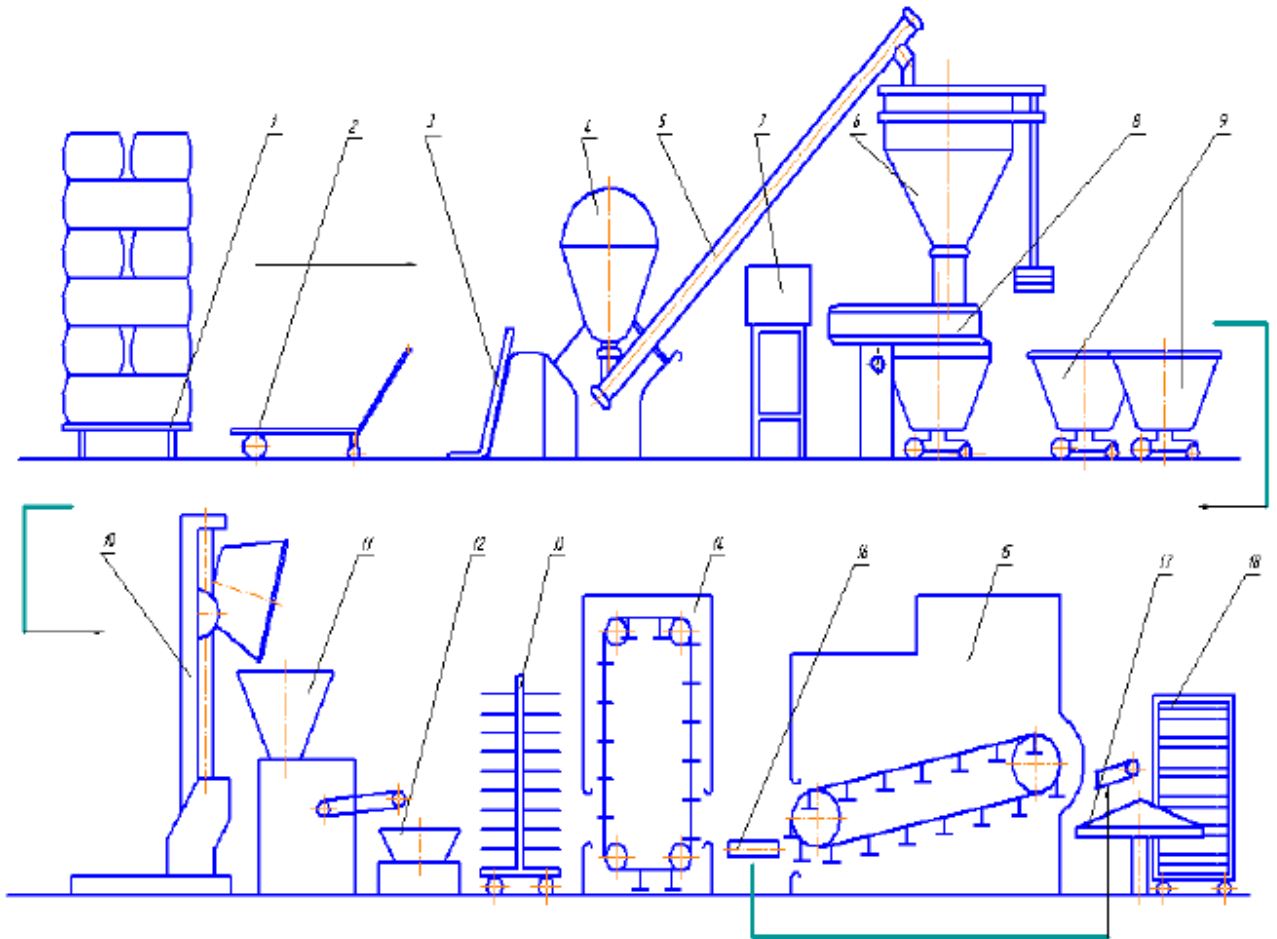


Рис. 1.1. Апаратно-технологічна схема виробництва хліба:

1 – піддон з мішками борошна; 2 – візок; 3 – підйомник; 4 – ємність; 5 – шнековий живильник; 6 – просіювач-дозатор; 7 – пульт керування; 8 – тістомісильна машина; 9 – підкатна діжа; 10 – підйомник діж; 11 – тістоділильна машина; 12 – формувальний стіл; 13 – стелаж; 14 – розстоечна шафа; 15 – піч; 16 – транспортер; 17 – охолоджувач; 18 – стелаж

При бродінні опари і тіста проводять обмини. В цей момент видаляється надлишкова кількість двооксиду вуглецю. Великі бульбашки двооксиду вуглецю перетворюються на дрібні, що сприяє утворенню

дрібнопористого м'якушу. До цього також призводить розтягування клейковинного каркасу тіста, що відбувається під час обминів.

Обмини виконують способом короткочасного перемішування опари і тіста місильними агрегатами (1-2 хв.). Температура бродіння 28-30°C. Визначення кінця визрівання тіста полягає у титруванні кислотності чи органолептичному способі.

Тісто, що вибродило, направляється на розподіл, тобто поділ тіста на шматки, маса яких повинна бути на 10-15% більшою, ніж маса готових виробів з урахуванням упікання і усушування на наступних стадіях. Отримані шматки тіста на округлюючих машинах округлюють до форми шару. Після цього тісто одразу потрапляє на попередню розстойку – витримування округлених заготовок пшеничного тіста у стані спокою 5-8 хв. Цього часу достатньо, аби у шматках тіста розм'якли внутрішні затверділості, що виникли в результаті механічного впливу на тісто при розподілі і округленні (проявлення релаксації).

Під час розстойки шматки тіста збільшуються в об'ємі, покращуються фізичні властивості і структура тіста. Попереднє розстойку здійснюється зазвичай на стрічкових транспортерах, повз шафи остаточного розстойки на рівні 2,5-3 м від підлоги, при температурі виробничого приміщення.

При виробництві подових круглих і формових виробів попереднє розстоювання є єдиним і основним, після нього вироби направляються на випікання. При формуванні складних за формою виробів шматки тіста направляють на формуючі і закаточні машини. Після надання напівфабрикату потрібної форми, його направляють на остаточну розстойку. Необхідність остаточної розстойки пов'язана з тим, що при формуванні з заготовок тіста кисень майже повністю витісняється двоокисом вуглецю, порушується пориста структура тіста. Для отримання хліба з гарною пористістю і об'ємним виходом необхідно, щоб заготовки тіста збільшились в об'ємі і здобули рівномірну пористу структуру.

Остаточна розстойка здійснюється у спеціальних розстоечних шафах при температурі 35-40°C і відносній вологості 75-85%. Аби уникнути завітрювання і утворення затверділої шкірки, вироби не повинні обдуватися повітрям. Підвищена вологість зберігає поверхню виробів еластичною, тому збільшення об'єму, яке тут має місце за рахунок інтенсивного бродіння, не призводить до розриву поверхні. Тривалість остаточної розстойки (25-120 хв.) залежить від рецептури і особливостей технології. Останньою стадією виробництва хліба є випічка, яка проводиться у хлібопекарських печах різної конструкції.

Виріб відправляють на випічку, яку проводять при температурі 220-260°C. Режими випічки хліба встановлюються для різних видів виробів залежно від сорту борошна, вологості тіста, маси і форми виробів, способу випічки (подовий чи формовий), параметрів газового середовища пекарської камери та ін.

При випіканні хліба завжди мають місце втрати маси тіста. Ці втрати називають упіком хліба. Кількісно упік виражають як відношення різниці між масою тіста і гарячого хліба: від 6 до 14% залежно від різних факторів. Гарячий хліб потребує обережності, тому що він може зминатися, що погіршує зовнішній вигляд і пористу структуру м'якушки. Тому після випічки хліба, перед відправкою у торгову мережу, його передають у хлібосховище для охолодження і реалізують не раніше, ніж через три години після випічки. Дрібні вироби можна відпускати гарячими. У процесі охолодження проходить перерозподіл вологи між різними частинами виробу. Частина вологи йде у навколишнє середовище. Вологість шкірки стабілізується на рівні рівноважної, вологість пластів вирівнюється. У результаті такого вологообміну маса виробів зменшується на 2-4% від маси гарячого хліба. Цей процес називають усушкою. При зберіганні хліба обов'язково відбувається процес його старіння (за рахунок старіння біополімерів – білка та крохмалю).

1.3. Класифікація промислових хлібопекарських печей

Сучасні промислові хлібопекарські печі класифікуються за наступними показниками.

За продуктивністю (за площею поду) печей. Промислові печі умовно можна розподілити на групи залежно від площі робочого поду, оскільки одна і та ж піч на різному асортименті має різну продуктивність:

- печі надмалої (з площею поду до 3 м²) та малої продуктивності (площу поду до 16 м²);
- печі середньої продуктивності (площа поду до 50 м²);
- печі великої продуктивності (площу поду від 50 м²).

За технологічним призначенням:

- універсальні печі, які дозволяють випікати вироби широкого асортименту (формовий хліб, булочні вироби, подовий хліб, бубличні вироби тощо);
- спеціалізовані печі призначені для випікання борошняних виробів певної групи (тільки формовий або подовий хліб, батони або дрібноштучні вироби чи борошняні кондитерські тощо).

За способом генерації теплоти:

- печі з індивідуальним генератором теплоти – топкою;
- печі з центральним обігріванням (від одного генератора теплоти, наприклад парового котла високого тиску, живляться парою кілька кільцевих печей).

За конфігурацією пекарної камери:

- печі з тупиковою робочою камерою (шафні, ротаційні, ярусні);
- печі з тунельною робочою камерою, коли завантаження і розвантаження здійснюється з різних боків тунелю;
- печі кільцеві Марсакова мають пекарну камеру у вигляді горизонтального кільцевого тунелю, але з одним вікном для завантаження і розвантаження виробів;

- печі з прохідною робочою камерою (єдиний приклад – піч марки АЦХ, яка має в пекарній камері кілька гілок конвеєра, при цьому завантаження і розвантаження його відбувається з різних сторін).

За конструкцією поду і ступеню механізації:

- безподові печі (ротаційні);
- конвеєрні печі з електроприводом руху конвеєра:
 - карусельний (кільцевий);
 - роторно-колисковий;
 - ланцюгово-пластинчастий;
 - ланцюгово-трубчастий з листами;
 - ланцюгово-колисковий;
 - сітчатий реверсивний;
 - стрічковий (суцільнометалевий, перфорований та ін.).
- немеханізовані печі;
 - стаціонарний нерухомий під (череневий або етажерочний);
 - поди з ручним приводом (у вигляді висувних, дискових, типу "більчаного колеса" тощо).

Безподові печі шафного типу мають стелажний візок, що обертається в пекарній камері.

За ступенем механізації до найвищої групи відносяться печі, які є головною ланкою комплексно-механізованої потокової лінії чи вистійно-пічного агрегату із спільним ланцюговим конвеєром вистійної шафи і печі (при виробництві формового хліба). При цьому передбачається механізація і взаємодія між всіма операціями в потоці: автоматичне укладання тістових заготовок на конвеєр шафи вистою, пересадка тістових заготовок в піч, автоматичне надрізування, якщо необхідно, автоматичне розвантаження печі від готових виробів, їх укладання та ін.

Спосіб обігрівання пекарної камери. За *головною ознакою класифікації* – способом обігрівання пекарної камери розрізняють:

- регенеративні (жарові печі), в пекарній камері яких випікання відбувається за рахунок акумульованої теплоти при спалюванні палива в топці, яка слугує і пекарною камерою;
- печі з пароводяним обігріванням за допомогою нагрівальних пароводяних трубок Перкінса;
- печі з комбінованим обігріванням при одночасному використанні пароводяних трубок і каналів;
- печі з паровим обігріванням, коли замкнута нагрівальна система заповнюється дистильованою водою або спеціальним рідким високотемпературним теплоносієм (термоойлем), яка циркулює під дією природного напору, випаровується за рахунок теплоти топки і віддає теплоту при конденсації через радіатори, що знаходяться в пекарній камері;
- печі з газовим обігріванням, коли безпосередньо відбувається внутрішньокамерне спалювання газу в пекарній камері. Можливе застосування спеціальних керамічних насадок на пальники для безполум'яного згоряння газу з ІЧ-випромінюванням. Використовуються для випікання кондитерських виробів;
- печі з каналним обігріванням є самою великою групою. Теплота в пекарню камеру печей передається через стінки нагрівних каналів, що є частиною її огорожі. Канали можуть бути металевими (прямокутного чи круглого перерізу), а також цегляними, так званими каналами з великим термічним опором, що працюють в межах високих температур і виконуються з вогнетривких матеріалів;
- циклотермічні каналні печі утворюють окрему групу, широко розповсюджену. В металевих каналах, що охоплюють пекарню камеру, примусово рухаються продукти згоряння газу чи рідкого палива завдяки наявності вентилятора рециркуляції, частково викидаються в димову трубу, а частково надходять в камеру змішування, де з'єднуються з новими продуктами згоряння палива і поступають в систему циклотермічного обігрівання;

- в печах з конвективним обігріванням пекарної камери гарячим повітрям здійснюється рециркуляція середовища пекарної камери по замкнутому контуру через калорифер для нагрівання (електричний або топку), що інтенсифікує процес випікання;

- печі з комбінованим радіаційно-конвективним обігріванням пекарної камери, коли наявні дві системи: система каналного обігрівання з рециркуляцією димових газів (циклотермічна) та система рециркуляції середовища пекарної камери (конвективна);

- печі з електричним обігріванням пекарної камери, де джерелом теплоти слугують найчастіше трубчасті електронагрівачі ТЕНи, іноді нагрівальні елементи опору;

- печі з використанням в комбінації інфрачервоного випромінювання зверху, що інтенсифікує випікання, оснащуються кварцовими трубчастими ІЧ-випромінювачами, рідше дзеркальними ламповими ІЧ-випромінювачами, які називають "світлими";

- печі з використанням в комбінації надвисокочастотного або мікрохвильового прогрівання, що значно прискорює процес випікання.

За способом керування тепловим режимом:

- печі з ручним керуванням;
- печі з напівавтоматичною системою керування;
- печі автоматичні, які мають систему автоматичного керування та систему безпечної роботи;
- комп'ютеризовані найсучасніші пічні агрегати.

1.4. Тунельні каркасно-металічні печі з циклотермічним обігріванням

З другої половини ХХ ст. застосування циклотермічного обігрівання, а саме примусової рециркуляції продуктів згоряння в каналних системах обігрівання пекарних камер хлібопекарських печей, отримало широке розповсюдження в усьому світі завдяки великому ряду переваг цих печей.

До переваг можна віднести наступні:

- каркасно-металеві огороження замість цегляних;
- легку ефективну теплоізоляцію з мінеральної вати;
- використання газоподібного та рідкого палива, що не дає відкладень золи на стінках гріючих каналів;
- тривалість розігріву печей (1...1,5 год.), в кілька разів меншу порівняно з цегляними печами;
- низьку теплову інерцію печей;
- можливість застосовувати порівняно просту автоматичну систему регулювання теплового режиму печі;
- можливість роботи в одну-дві зміни;
- економічність
- можливість встановлення на будь-якому поверсі споруди (не тільки на першому, як цегляні);
- можливість використання металевих тонких каналів з малим термічним опором при рециркуляційній схемі обігрівання;
- паралельний розподіл продуктів згоряння по каналах (і зонах), що дозволяє здійснювати налаштування теплового режиму кожним каналом (зоною), в тому числі в нижніх і верхніх окремо;
- створення умов для оптимізації теплового режиму випікання;
- компактність топкових пристроїв;
- інтенсифікацію конвективного теплообміну в каналах при рециркуляції димових газів;

- придатність для випікання виробів широкого асортименту;
- можливість організації комплексно-механізованих потокових ліній з механізованим завантаженням і розвантаженням виробів;
- високий коефіцієнт заводської монтажної готовності печі за рахунок секційної (блочної) конструкції;
- короткий термін пуско-налагоджувальних робіт;
- можливість створювати ряд типорозмірів печей за рахунок нарощування секцій;
- використання сітчастих конвеєрних стрічок в тунельній пекарній камері замість громіздких ланцюгово-колискових конвеєрів, що значно полегшує умови праці і обслуговування печей;
- вищий санітарний стан робочих місць тощо.

Але крім позитивних якостей цих печей слід відзначити і суттєві недоліки: значну металомісткість печей; високу ціну; неможливість використання твердого палива; вищі показники коефіцієнтів витрати повітря у відхідних газах через нещільності системи обігрівання і присмоктування повітря; високу потребу виробничих площ (в 2-4 рази більшу) порівняно з багатонитковими цегляними печами, де вище показники вироблення продукції з одиниці зайнятої площі при відсутності холостої гілки конвеєра та ін.

Оснащення хлібозаводів тунельними печами з рециркуляцією продуктів згоряння здійснювалося з використанням як печей закордонних фірм марок БН, "Термоелектро", ПТГ, ППП, "Гостол", "Мінел", "Максофлекс", "Стандарт" та ін., а також тими, що раніше випускалися ШМЗ - ПХС, ПХК, РЗ-ХПУ та ін.

Циклотермічне каналне обігрівання отримало загальне визнання і широке розповсюдження. Зазвичай, один пальниковий пристрій використовується для одного нагрівального контуру, який обслуговує до 25 м поду.

Залежно від розмірів площі поду піч може мати від одного до чотирьох самостійних контурів. Обігрівання пекарної камери здійснюється за

допомогою металевих каналів, по яких циркулює суміш продуктів згоряння з відпрацьованими димовими газами, температура яких в каналах не перевищує приблизно 550°C. Це гарантує довгострокову роботу металевих каналів, більша частина яких виготовляється із звичайної нежароміцної сталі.

Ці печі у загальному випадку мають металеві каркасні конструкції, які складаються з (рис. 1.2, 1.3, додаток А1):

- прохідної пекарної камери тунельного типу;
- каналної системи рециркуляційного обігрівання камери;
- пристрою для її парозволоження та системи відведення пароповітряної суміші з неї;
- приводної та натяжної станцій конвеєра печі;
- системи контрольно-вимірювальної техніки і автоматики.

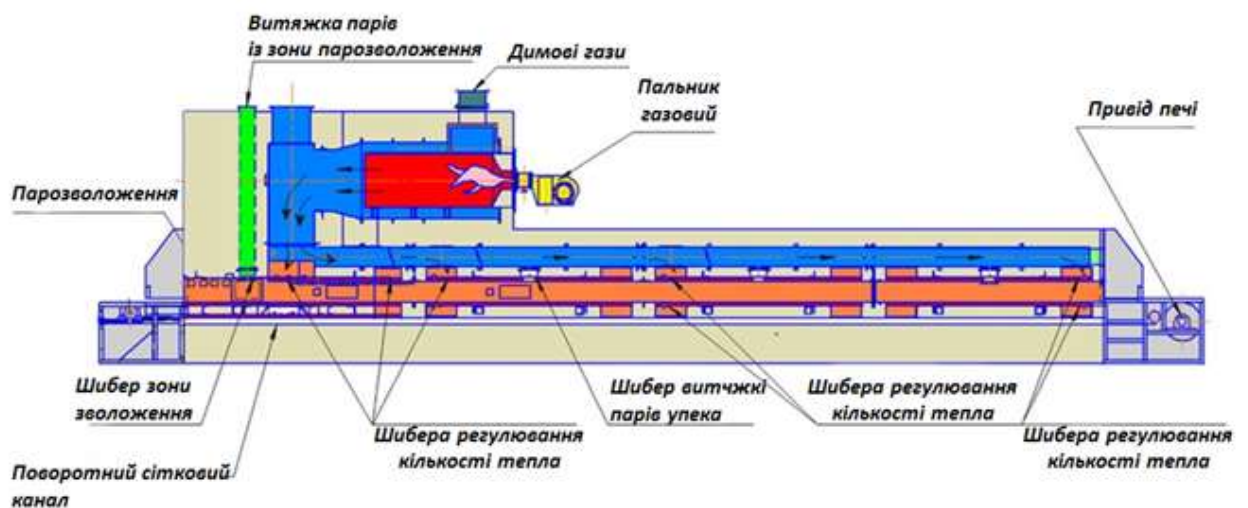


Рис. 1.2. Тунельна піч (в розрізі)

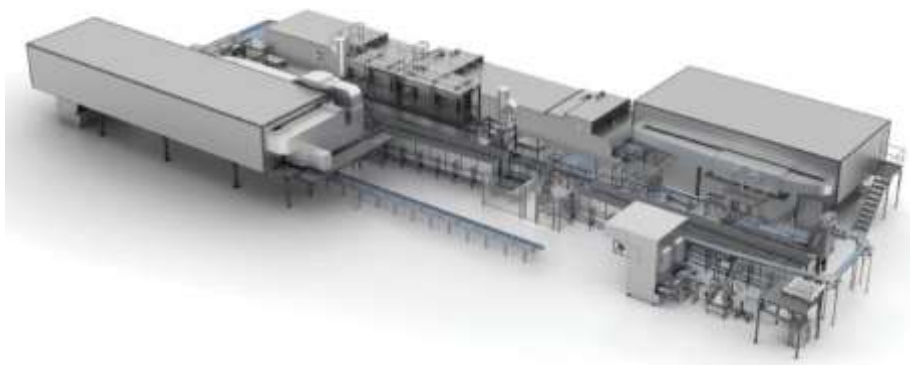


Рис. 1.3. Хлібопекарська піч тунельного типу марки Gostol

Технічні характеристики різноманітних тунельних хлібопекарських печей наведені у додатку А2, А3.

Розглянемо будову і схему обігрівання тунельної печі з рециркуляційним обігріванням типу ПТГ.

Тунельна піч ПТГ 600/800/1000 (рис. 1.4) розроблена для випікання різноманітних сортів хліба, хлібобулочних виробів, пряників, печива та інших при різних температурних режимах.



Рис. 1.4. Зовнішній вигляд печі для випікання хлібобулочних виробів типу ПТГ Elcal (Польща)

Піч даної моделі може використовуватись в технологічній лінії разом з іншим обладнанням – декораторами, охолоджуючими тунелями, формувальними машинами. Це дозволяє створити повністю автоматизовану лінію виробництва того чи іншого продукту.

Піч забезпечує ефективне та рівномірне розподілення тепла, що гарантує високу якість випічки.

Кожний секція печі має довжину 4 метри, тому піч може бути спроектована потребами відносно площі виробничого приміщення.

Особливості печей марки ПТГ:

1. Печі складаються з секцій, виготовлених на машинобудівному заводі, де вони ретельно перевіряються на герметичність, а на хлібозаводі виконується їх стиківка, що дозволяє забезпечити зменшення коефіцієнта надлишку повітря α до 2-2,5. Секційна конструкція печей дає можливість виробляти печі з підвищеним ступенем готовності і забезпеченням герметичності газових трактів.

2. Топка печі і вентилятор рециркуляції встановлені під пекарною камерою, що дає можливість забезпечити однакову висоту всієї печі (до 2 м) і зручне розташування шафи вистою.

3. Збільшено об'єм топочної камери для зниження теплових навантажень.

4. Сітчаний конвеєрний під по боках з'єднаний з втулочними ланцюгами, що забезпечує плавний хід конвеєра, його довговічність, можливість створення підйому і опускання сітчаного поду по довжині пекарної камери для організації необхідних теплових зон і зниження вентиляційних втрат. Крім цього переміщення ланцюгів по зірочках (на барабанах) і напрямних збільшує корисну ширину і площу поду при механізованому укладанні тістових заготовок.

5. Зона гіротермічної обробки тістових заготовок (окрема секція) відокремлена від основної пекарної камери. В ній передбачено регульоване підігрівання поду знизу і інтенсивна обробка паром заготовок під ковпаком, що дозволяє забезпечити оптимальні умови для виробів різного асортименту.

6. Система газорозподілення, яка забезпечує малі аеродинамічні опори і зниження температури гріючих газів, дозволяє автоматизувати роботи пальникового пристрою.

Технічні характеристики тунельної печі типу ПТГ наведені у таблиці 1.1.

Основні технічні характеристики печей типу ПТГ

Показник	Модель печі	
	PTG 016 (600)	PTG 016 (800)
Потужність, кВт	1,6	2,0
Напруга живлення, В	3*380, 50 Гц	3*380, 50 Гц
Продуктивність, кг/год.	290	380
Температура випікання, °С	180...300	180...300
Нагрів	4 газові пальники потужністю 30 кВт кожен	4 газові пальники потужністю 45 кВт кожен
Габаритні розміри, мм	1450x1326x21220	1490x1550x21220

1.5. Вимоги до автоматизованої системи керування тунельною хлібопекарською піччю

Система автоматизації хлібопекарської печі повинна забезпечувати:

- автоматичний вимір і реєстрацію значень температур середовища пекарної камери в трьох зонах випічки і відпрацьованих газів на виході з муфеля;

- автоматичну стабілізацію температур середовища пекарної камери в трьох зонах випічки;

- автоматичне регулювання вологості в першій зоні пекарної камери;

- регулювання співвідношення "газ – повітря";

- захист і оповіщення з припиненням подачі газу: а) при згасанні факела в муфелі; б) при відхиленні розрідження в муфелі від норми; в) при зниженні тиску газу; г) при підвищенні температури газу на виході з муфеля вище норми; д) при відсутності рециркуляції газів; е) при зниженні тиску вторинного повітря; оповіщення: а) про зрушення сітки конвеєра; б) про продування газоходів і його закінчення; в) про невдале розпалювання; г) про роботу електроприводів вентиляторів і конвеєра печі.

- підготовку і передачу результатів обробки інформації на різні рівні ієрархії.

Основні задачі системи автоматизації:

- забезпечення стабілізацію температур середовища пекарної камери в трьох зонах випічки;

- регулювання вологості в першій зоні пекарної камери;

- забезпечення антипомпажного режиму;

- підвищення якості ведення технологічного процесу і його безпеки;

- підвищення оперативності дій обслуговуючого персоналу;

- підвищення надійності системи управління об'єктами.

Система контролю і управління (АСУ ТП) повинна забезпечувати наступні функції:

- дистанційний контроль технологічних параметрів;

- дистанційне і автоматичне керування температурою в трьохзонній пекарній камері та вологістю в першій зоні пекарної камери;

- дистанційний контроль стану електроприводів конвеєра та вентиляторів;

- захист технологічних апаратів від перегріву, виявлення відмов обладнання;

- контроль вибухонебезпечної концентрації газу;

- оповіщення персоналу про зміну стану технологічного обладнання і аварійних ситуаціях

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ТУНЕЛЬНОЇ ХЛІБОПЕКАРСЬКОЇ ПЕЧІ

2.1. Розробка функціональної схеми автоматизації тунельної хлібопекарської печі

Дослідивши функціональні завдання автоматизації тунельної печі для виробництва хлібобулочних виробів (ХБВ) відповідно до технічного завдання (див. п. 1.5), а також, відповідні галузеві та державні стандарти для визначення норм контролюваних параметрів в системі, розробимо схему матеріально-енергетичних потоків, яка представлена на рис. 2.1.

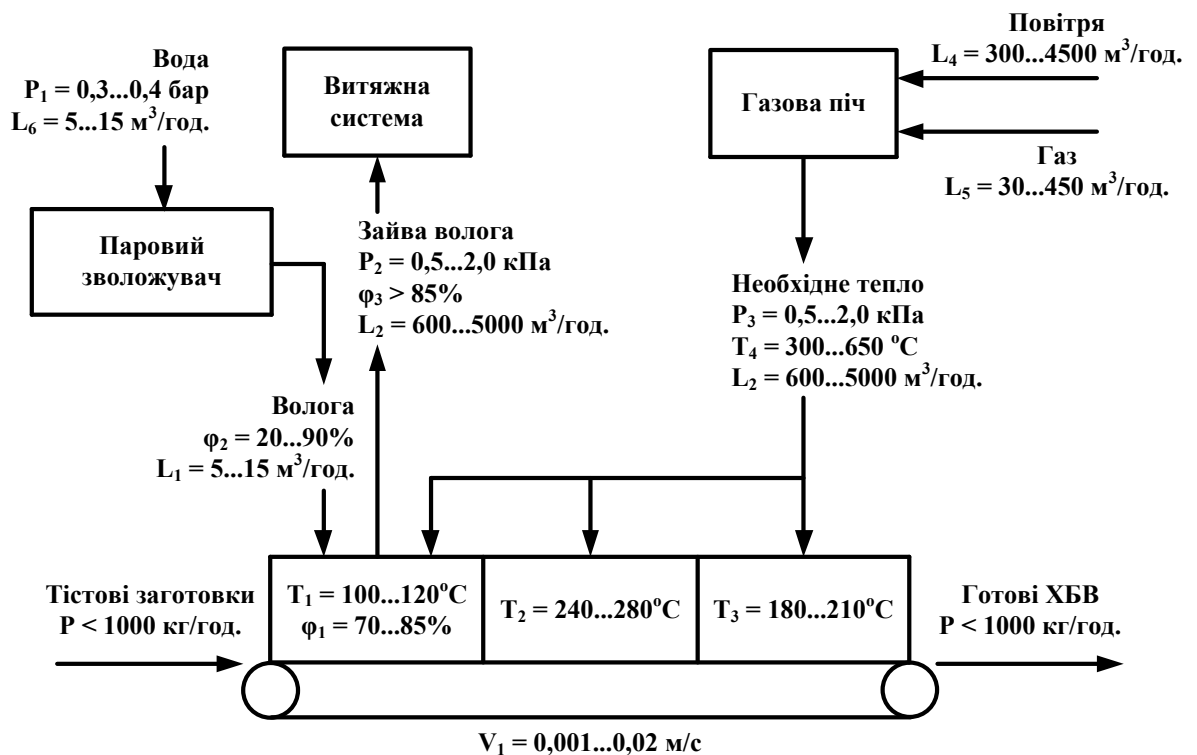


Рис. 2.1. Схема матеріально-енергетичних потоків тунельної печі для виробництва ХБВ

На підставі наведених функціональних задач та розробленої схеми матеріально-енергетичних потоків, розробимо функціональну схему автоматизації.

Функціональною схемою автоматизації хлібопекарської печі передбачені наступні контури контролю та регулювання:

- 1) роботи газового пальника;
- 2) температури по зонах пекарної камери;
- 3) корекції часу випічки за рахунок зміни швидкості конвеєра.
- 4) вологості в першій зоні пекарної камери.

Робота 2 та 3 контурів функціональної схеми автоматизації тісно пов'язані між собою.

1. Контур керування роботою газового пальника та співвідношення подачі "газ-повітря". До складу контуру входять датчики:

- датчик тиску **PE (1-1)** природнього газу в магістралі подачі газу в пальник;
- датчик витрат **FE (1-2)** природнього газу для контролю мат. ресурсів;
- датчик контролю полум'я **RE (1-3)** пальника;
- датчик тиску **PE (1-4)** теплоносія (продуктів згорання) у каналах тунельної печі;
- датчик концентрації **QE (1-5)** кисню O_2 у продуктах згорання.

Виконавчі механізми 1 контуру – регулюючий клапан подачі газу в пальник та електродвигун **M1** приводу відцентрового вентилятора подачі повітря в камеру згорання.

Оскільки при повному згорянні палива існує однозначний зв'язок між коефіцієнтом витрати повітря і вмістом кисню O_2 в продуктах згорання, то в цьому випадку в блоці керування **FFIC (1-6)** передбачають задавач процентного вмісту кисню і відбувається безперервне порівняння поточного значення вмісту кисню з заданим.

Розроблена функціональна схема автоматизації системи керування тунельною піччю для виробництва ХБВ зображена на рис. 2.2.

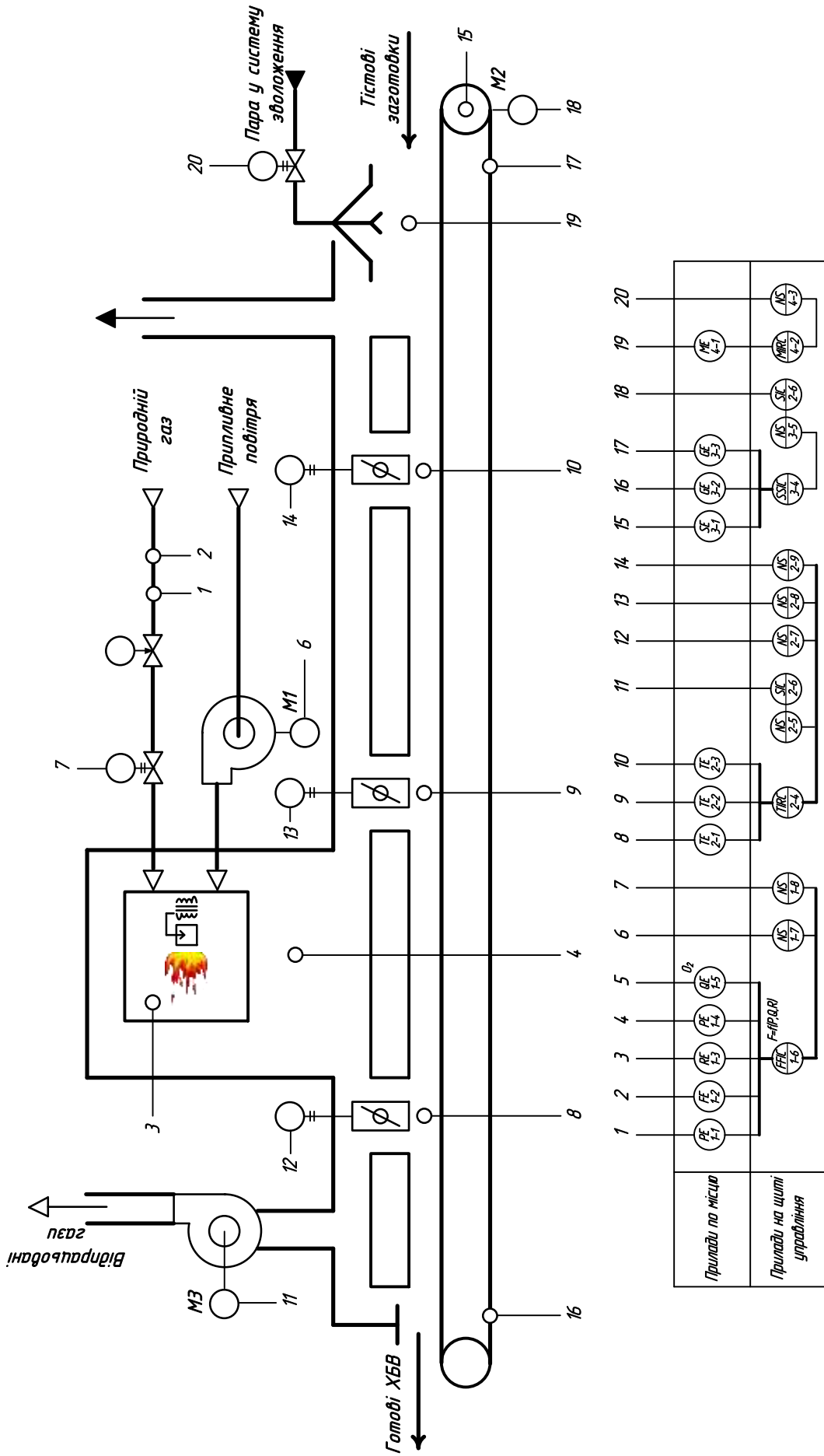


Рис. 2.2. Функціональна схема автоматизації системи керування тунельною піччю

Збурення, пов'язані зі змінами витрати палива, компенсуються регулятором співвідношення **FFIC**. Якщо ж, наприклад, через прогар рекуператора збільшаться втрати повітря в димовому тракті, то це викличе зменшення фактичних витрат повітря, що подається до пальників, і відхилення вмісту кисню в продуктах згоряння від заданого значення. Коригувальний блок, що входить до регулятора роботи пальника, подасть команду на збільшення завдання регулятору **FFIC** для того, щоб компенсувати втрати повітря в рекуператорі камери згоряння. Аналогічно система спрацює і при інших збуреннях, пов'язаних з відхиленнями фактичного коефіцієнта витрати повітря від заданого.

При такій побудові система регулювання є двоконтурної, так як включає в себе контур регулювання співвідношення і коригувальний контур. Таким чином, двоконтурна система регулювання співвідношення паливо - повітря зберігає хороші динамічні властивості і забезпечує якісне пропорціонування палива-повітря.

2. Контур регулювання температури по-зонах печі та роботи витяжної системи. Складається із датчиків температури **TE (2-1)**, **TE (2-2)** та **TE (2-3)**, які встановлені у відповідній зоні тунельної печі; повітряних заслінок; електродвигуна витяжного відцентрового вентилятора **M3**; керуючого пристрою **TIRC (2-4)**.

Витяжна система забезпечує видалення гарячих газів з обігрівної камери, через стінки якої тепло передається до пекарної камери, на підставі інформації отриманої від датчиків температури **TE**, встановлених безпосередньо в пічній камері. Видалені гази можуть використовуватися на інших об'єктах підприємства, наприклад, для опалення службових приміщень, або для обігріву зони відстоювання тістових заготівок.

Видалення газів відбувається за рахунок витяжного відцентрового вентилятора, керуючим сигналом якого слугує перетворювач частоти **SIC (2-6)**, під'єднаним, безпосередньо, до регулятора температури **TIRC (2-4)**. Видалення газу відбувається тільки з камери із перевищеною температурою за

рахунок відкриття відповідних заслінок вентиляційних каналів, кожної окремої камери обігріву, на підставі керуючого сигналу.

3. Контур корекції часу випічки за рахунок зміни швидкості конвеєра. Складається з датчиків обертання **SE (3-1)** привідного валу стрічки конвеєру тунельної печі (енкодер), та датчиків сходу стрічки конвеєра **GE (3-2)** та **GE (3-3)**, електродвигуна приводу стрічки конвеєру **M2**, частотного перетворювача **SIC (3-5)** керування швидкістю обертання валу та керуючого пристрою **SSIC (3-4)**.

Для контролю роботи конвеєра встановлюють зазначені датчики. Зупинка стрічки, поперечний її розрив і пробуксовка на приводі контролюються давачем швидкості **SE (3-1)**, який встановлюють у приводній головці так, щоб ролик датчика стикався зі стрічкою по її чистій стороні. Давач являє собою тахогенератор або енкодер, ролик якого притиснутий пружиною до стрічки. При обертанні ролика тахогенератор виробляє струм з певними параметрами, які змінюються при зміні швидкості стрічки. Це слугує джерелом сигналу **SE (3-1)** для регулятора швидкості **SSIC (3-4)**, який, в свою чергу, подає коригувальний сигнал на перетворювач частоти **SIC (3-5)** для асинхронного двигуна. Давачі контролю сходу стрічки **GE (3-2)** та **GE (3-3)** встановлюють по обидва боки стрічки у приводній і натяжній головці та контролює її стан і при аварійному сході стрічки в бік подає сигнал.

4. Контур регулювання вологості в першій зоні пекарної камери.

Контур складається із датчика вологості **ME (4-1)**, керуючого пристрою **MIRC (4-2)** та регулюючого клапану.

Інтенсивність розпилення регулюється за рахунок регулюючого сигналу, що подається на регулюючий клапан парозволожувача. Для коректної роботи парозволожувача необхідно забезпечити подачу води певного тиску.

2.2. Загальний підхід до створення математичних моделей ОК

Завданням цього розділу є розробка і вдосконалення математичної моделі об'єкта керування з урахуванням впливу контрольного параметра, а потім створення його на основі динамічного рівняння моделі ОК. Вивчення моделі, дає змогу отримати постійний час об'єкта, обчислити транспортну затримку та знайти коефіцієнт передачі об'єкта.

Матеріальний баланс процесу. Розрахуємо потужність печі для виробництва баранкових виробів із такими параметрами.

З першого розділу візьмемо:

- ширина поду печі – 2500 мм;
- довжина поду печі – 25000 мм;

а також запам'ятаємо, що діаметр виробу 230 мм, відстань між ними становить близько – 50 мм.

Кількість рядів по довжині поду:

$$n_1 = \frac{25000-50}{230+50} = 89 \text{ рядів} \quad (2.1)$$

Кількість рядів по ширині поду:

$$n_2 = \frac{2500-50}{230+50} = 9 \text{ рядів} \quad (2.2)$$

Час, який витрачається на випікання баранкових виробів – 40 хвилин.

Розрахуємо годинну потужність печі.

$$P_{\text{год.}} = \frac{89 \cdot 9 \cdot 0,95 \cdot 60}{40} = 1141,4 \text{ кг/год} \quad (2.3)$$

Потужність печі за одну зміну з урахуванням 20 хвилин на перезмінку (8 год. – 20 хв. = 4,66 год.).

$$P_{\text{зм}} = 1141,4 \cdot 4,66 = 8743,3 \text{ кг/зміну} \quad (2.4)$$

Відповідно за одну добу потужність буде становити:

$$P_{\text{добу}} = 8743,3 \cdot 3 = 26229 \text{ кг} \quad (2.5)$$

Тепловий баланс печі. Як паливо у пекарній установці, що розглядається в даній бакалаврській кваліфікаційній роботі, використовується природний газ. За даними виробника, потужність одного пальника становить 320 кДж/с. У печі використовуються два пальника, потужність – 640 кДж/с. Якщо припустити, що час випічки становить 40 хвилин, визначимо споживання тепла на одну випічку:

$$Q = 640 \cdot 40 \cdot 60 = 1536000 \text{ КДж} \quad (2.6)$$

Теплотворна здатність для природного газу складає:

$$\Delta H_{н.г.} = 32,68 \text{ КДж/м}^3.$$

Визначимо витрату газу для одної випічки:

$$Q_{kv} = \frac{Q}{\Delta H_{н.г.}} = \frac{1536000 \cdot 10^3}{32,68 \cdot 10^6} = 47 \text{ м}^3 \quad (2.7)$$

Визначимо витрату газу для однієї зміни:

$$Q_{kz} = 47 \cdot 11,49 = 540 \text{ м}^3, \quad (2.8)$$

де 11,49 – кількість випічок.

Контур регулювання вологості у пекарній камері.

Отримуємо, що на вологість в пекарній камері впливають: температура в печі та витрата пари (рис. 2.3).

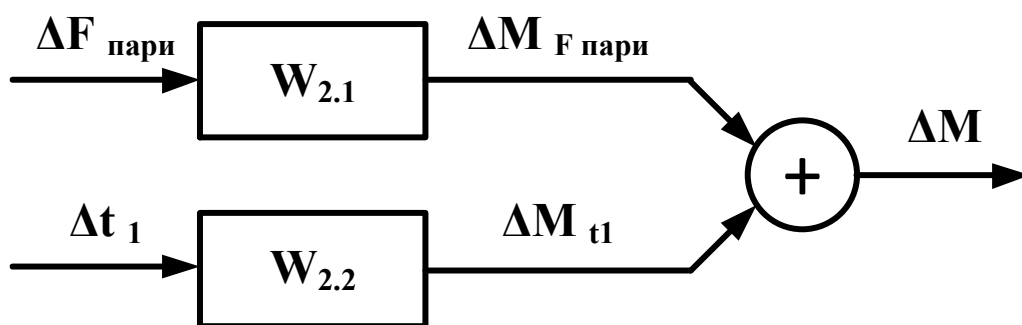


Рис. 2.3. Структурна схема по каналу регулювання вологості

2.3. Розробка математичної моделі ОК

Випікання передбачає зміни температури, вмісту вологи та об'єму, які тісно пов'язані між собою. Було розроблено багато математичних моделей для випікання з урахуванням окремих явищ, що відбуваються під час випікання. Деякі дослідники запропонували детальні математичні моделі, засновані на фізичних властивостях інгредієнтів, які беруть участь у процесі розквашування. Наприклад, модель, яка відображує процес розширення бульбашок газу в дріжджових продуктах загального призначення та може точно передбачити м'якість, твердість (вміст води) і кислотність дріжджового продукту. Існує математична модель для розширення тіста під час подальшого підйому в духовці, яка показала, що об'єм тіста збільшується майже лінійно з часом до 65°C, після чого воно розширюється зі зниженою швидкістю.

Модель також показала, що ріст бульбашок контролюється розподілом CO₂ і води між водною та бульбашковою фазами на початкових стадіях випікання, а постійне збільшення в'язкості збільшує опір росту бульбашок. Іноді зміна вологи розглядається як простий процес дифузії, але насправді випаровування води та потік, керований тиском, співіснують. Дуже добре відомо, що теплофізичні та діелектричні властивості їжі дуже сильно залежать від вмісту вологи та температури, особливо для гігроскопічних матеріалів.

На основі цих основних положень розробили комп'ютерну модель для прогнозування температури та вмісту вологи під час мікрохвильового нагрівання випеченого тіста за допомогою кінцево-різницевого методу Кренка–Ніколсона. Але вони враховували лише транспортні явища і нехтували деформацією, яка відбувається під час випікання. Цю роботу, напевно, можна розширити, включивши розширення обсягу.

Подібним чином дослідження розглядає лише деформацію, припускаючи, що транспортні явища можуть бути розв'язані незалежно. Вони змодельовали тепло- і вологообмін та формування гігростресу для шаруватих

цеглин, виготовлених із гідратів порошоків крохмалю та суміші порошоків крохмалю та сахарози 3:1, підданих примусовій сушінні на повітрі.

Результати моделювання узгоджуються з результатами експерименту. Обидва результати підтвердили, що розташування шарів має сильний вплив на передачу вологи та формування напруги та менший вплив на теплопередачу. Але важливо вивчати ці процеси в цілому.

$$\frac{H_t}{H_0} = 1.07 + (9.2 \times 10^{-4}t) \text{ якщо } t \leq 1140 \text{ с,}$$

$$\frac{H_t}{H_0} = 2.61 - (4.5 \times 10^{-4}t) \text{ якщо } t > 1140 \text{ с.}$$

Розроблено модель, що враховує перенесення тепла та вологи, яка повністю поєднується з великою зміною об'єму. Розробили керівні рівняння для багатофазного транспорту в пористому середовищі на основі збереження енергії та трьох видів маси рідкої води, водяної пари та газу CO_2 таким чином:

- для енергозбереження

$$\frac{\partial(\sum \rho_i \cdot c_{\rho i}) \cdot T}{\partial \cdot t} + \sum \rho_i \cdot c_{\rho i} \cdot \nabla \cdot (v_i \cdot T) = \nabla \cdot (k \cdot \nabla \cdot T) - \lambda \cdot I_v$$

- для збереження рідкої води:

$$\rho_s \cdot \frac{\partial M}{\partial t} + \rho_M \cdot \frac{\partial(\nabla \cdot u)}{\partial t} = -\nabla \cdot n_w - I_v$$

- для збереження водяної пари:

$$\varepsilon(1 - S) \cdot \frac{\partial \left(p_v \cdot \frac{M_v}{RT} \right)}{\partial t} + (1 - S) \cdot \rho_v \cdot \frac{\partial(\nabla \cdot u)}{\partial t} = -\nabla \cdot n_v + I_v$$

- для збереження CO_2 :

$$\varepsilon(1 - S) \cdot \frac{\partial \left(p_c \cdot \frac{M_c}{RT} \right)}{\partial t} + (1 - S) \cdot \rho_c \cdot \frac{\partial(\nabla \cdot u)}{\partial t} = -\nabla \cdot n_c + I_c$$

потік пари n_v і потік CO_2 n_c обумовлені загальним тиском градієнта та бінарною дифузиею.

$$n_v = -\rho_v \frac{k_g}{\mu_g} (\nabla \cdot p_v + \nabla \cdot p_c) - M_v \cdot C \cdot D_{eff.g} \cdot \nabla \cdot x_v$$

$$n_c = -\rho_c \frac{k_g}{\mu_g} (\nabla \cdot p_v + \nabla \cdot p_c) - M_a \cdot C \cdot D_{eff.g} \cdot \nabla \cdot x_c$$

Перенесення рідкої води відбувається через градієнт тиску води і може бути описано за допомогою закону Дарсі.

$$n_w = -\rho_w \frac{k_w}{\mu_w} \cdot \nabla \cdot p_w = -\rho_w \frac{k_w}{\mu_w} \cdot \nabla \cdot (p_v + p_c) - \rho_w \cdot D_w \cdot \nabla \cdot M$$

Також провели аналіз чутливості для певних властивостей матеріалу, щоб показати їх відносний вплив на випічку.

Існує можливість розв'язувати ці рівняння за допомогою методів кінцевих різниць або кінцевих елементів із застосуванням початкових і граничних умов.

Подібним чином більшість імітаційних моделей дифузії для сушіння харчових продуктів розглядають дифузію рідкої води та водяної пари як єдине явище. Розробивши уявний коефіцієнт дифузії, який є функцією градієнта концентрації в результаті зменшення вмісту води на поверхні. Тому градієнт концентрації виникає не тільки через висихання поверхні, але також в результаті дифузії водяної пари до центру.

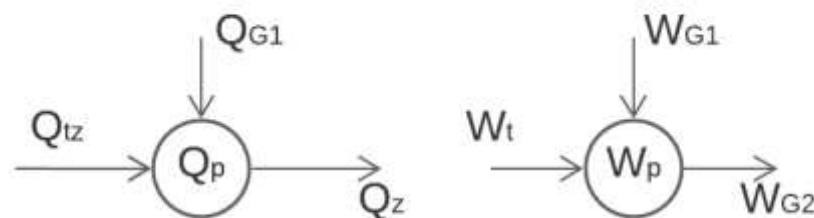


Рис. 2.4. Схема потоків тепла і вологи в камері печі

1. Тепловий потік від тіста до повітря в камері печі

$$Q_{tz} = \alpha_{tp} \cdot F_t \cdot (t_t - t_p), \text{ Вт}, \quad (2.9)$$

де F_t – площа поверхні тістової заготовки, м^2 ;

α_{tp} – коефіцієнт тепловиділення від тістової заготовки у повітря, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$;

t_t – температура тістової заготовки, °C ;

t_p – температура повітря в камері, °C ;

2. Потік тепла, що надходить з повітрям,

$$Q_{G1} = V_v \cdot \rho_p \cdot C_p \cdot t_z, \text{ Вт}, \quad (2.10)$$

де V_v – витрата повітря, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

ρ_p – густина повітря;

C_p – теплоємність повітря, $1005 \frac{\text{Вт}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$;

t_z – температура зовнішнього повітря, °C ;

3. Тепловий потік, що виходить з повітрям камери печі,

$$Q_{G2} = V_v \cdot \rho_p \cdot C_p \cdot t_p, \text{ Вт}, \quad (2.11)$$

де V_v – витрата повітря, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

ρ_p – густина повітря,

C_p – теплоємність повітря, $\frac{\text{Вт}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$;

t_p – температура повітря в камері, °C ;

4. Тепло яке знаходиться в повітрі камери

$$Q_p = V_p \cdot \rho_p \cdot C_p \cdot t_p, \text{ Вт}, \quad (2.12)$$

де V_p – об'єм повітря в камері, м^3 ;

ρ_p – густина повітря;

C_p – теплоємність повітря, $\frac{\text{Вт}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$;

t_p – температура повітря в камері, °C .

5. Тепло, що втрачається через стінки камери,

$$Q_z = \alpha_{cp} \cdot F_c \cdot (t_c - t_p), \text{ Вт}, \quad (2.13)$$

де F_c – поверхня стінок камери, м^2 ;

α_{cp} – коефіцієнт тепловіддачі повітря в камері до стінки, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$;

t_p – температура повітря в камері, °C;

t_c – температура стінки (середня), °C;

6. Вміст вологи в повітрі камери,

$$W_p = V_p \cdot \rho_p \cdot d_p, \% \quad (2.14)$$

де V_p – об'єм повітря в камері, м³;

ρ_p – густина повітря;

d_p – вологість повітря в камері, %.

7. Вологість, яка надходить з повітрям,

$$W_{G1} = V_v \cdot \rho_p \cdot (d_z - d_p), \text{Вт}, \quad (2.15)$$

де V_v – витрата повітря, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

ρ_p – густина повітря;

d_z – вологість зовнішнього повітря, %.

Система диференціальних рівнянь зміни вологості в камері печі:

$$\frac{dt_p}{d\tau} = \frac{1}{V_p \cdot \rho_p \cdot C_p} \cdot \alpha_{tp} \cdot F_t \cdot (t_t - t_p) + V_v \cdot \rho_p \cdot C_p \cdot (t_z - t_p) - \alpha_{cp} \cdot F_c \cdot (t_c - t_p) \quad (2.16)$$

$$\frac{dd_p}{d\tau} = \frac{1}{V_p \cdot \rho_p} \cdot V_v \cdot \rho_p \cdot (d_z - d_p) + W_t \quad (2.17)$$

Імітаційна модель контролю вологості в печі у середовищі Simulink MATLAB виглядає наступним чином (рис. 2.5)

За допомогою імітаційної моделі отримана розгінна крива тунельної печі як об'єкта керування (рис. 2.6).

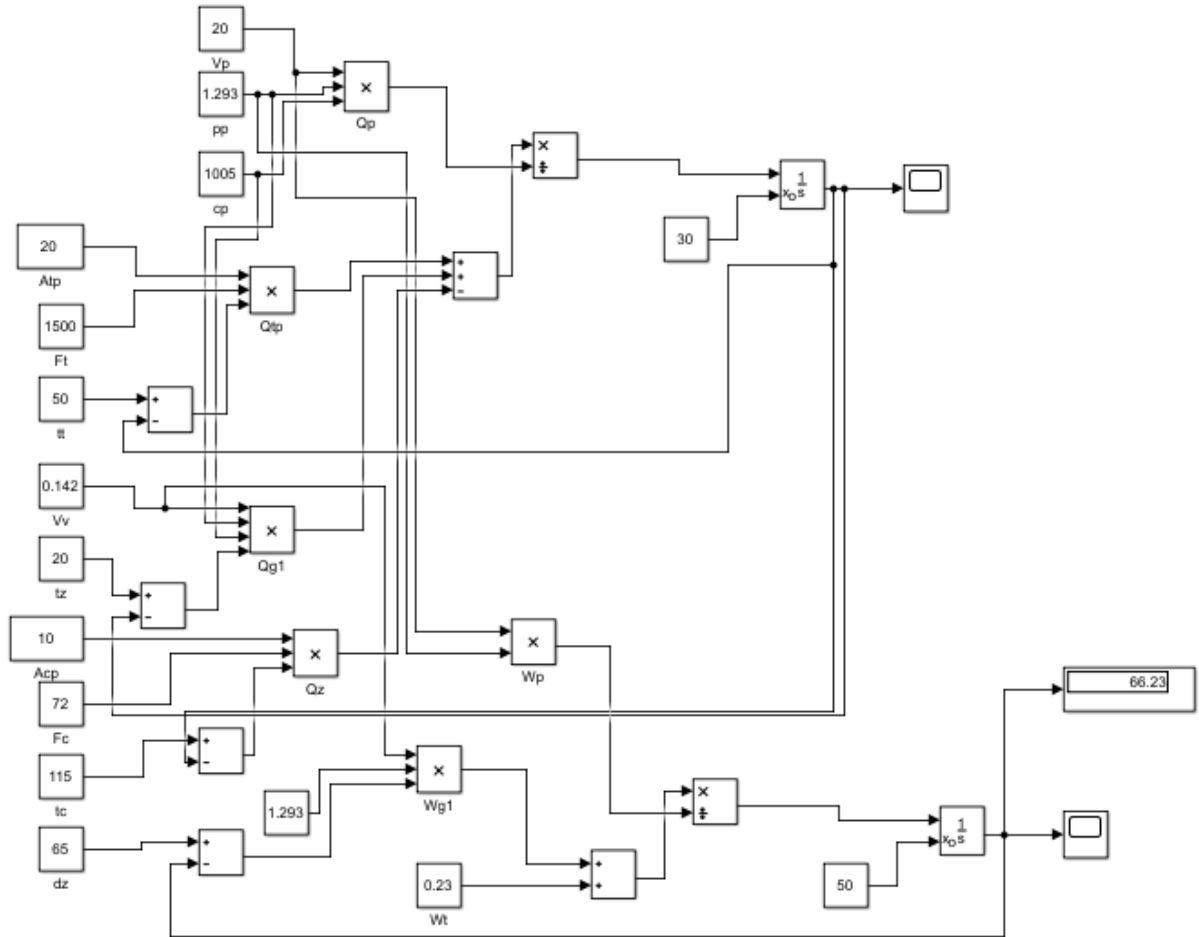


Рис. 2.5. Імітаційна модель температурно-вологісного режиму у тунельній пічі у середовищі Simulink MATLAB

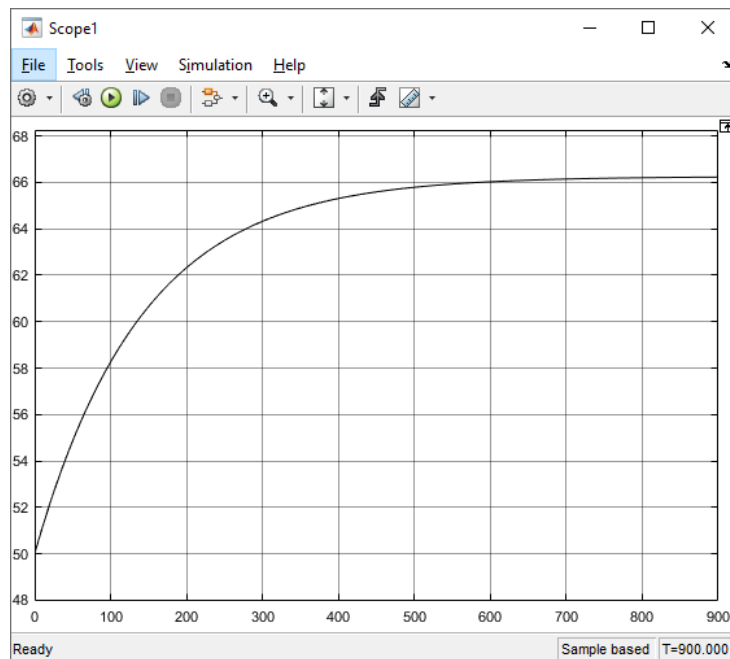


Рис. 2.6. Розгінна крива зміни вологості в печі, отримана по даних моделі Simulink

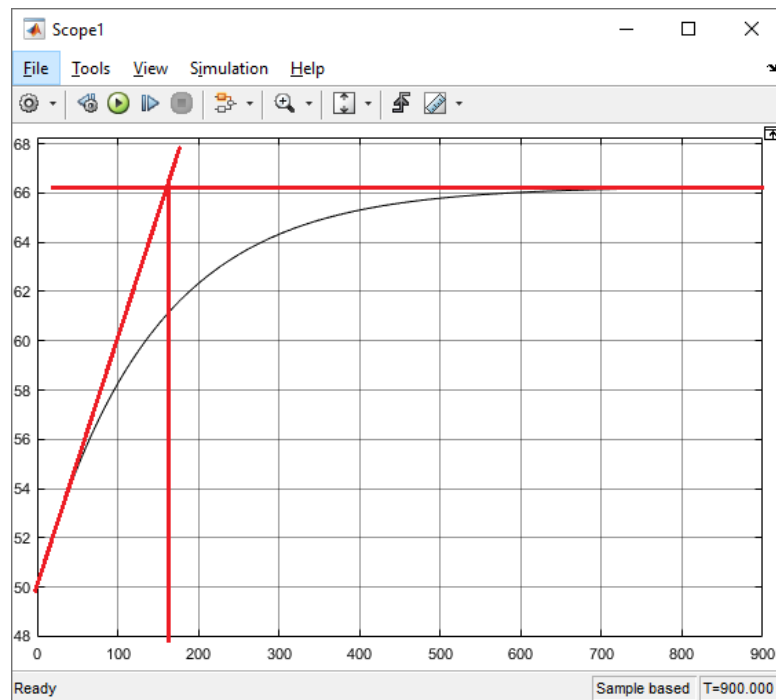


Рис. 2.7. Графічні побудови для визначення передатної функції
об'єкта керування

Для статичних об'єктів передатна функція, отримана по кривій розгону матиме аперіодичну структуру:

$$W_0(s) = \frac{K_0}{T_0 \cdot s + 1} \quad (2.18)$$

За допомогою розгінної характеристики, проводимо дотичну з початкової точки до лінії усталеного значення, і запишемо постійну часу

$$T_0 = 165 \text{ с.}$$

Коефіцієнт підсилення об'єкта K_0 знаходимо за формулою :

$$K_0 = \frac{\Delta y}{\Delta x} = 0,696$$

де $\Delta y = 16$, $\Delta x = 23$.

В даному випадку передатну функцію печі як об'єкта керування вологості повітря можна апроксимувати інерційною ланкою, яка виглядатиме так :

$$W_0(s) = \frac{K_0}{T_0 \cdot s + 1} = \frac{0,696}{165 \cdot s + 1}$$

РОЗДІЛ 3

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТОМ ТА ЗАСОБІВ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

3.1. Вибір алгоритму керування

Будь-яка система автоматичного керування складається з регулятора та об'єкта керування. Динамічні властивості останнього відіграють вирішальну роль при виборі найбільш ефективного алгоритму керування. Встановлено, що критерієм для правильного вибору алгоритму керування може служити значення відношення часу чистого запізнення об'єкта до його постійної часу, тобто $\frac{\tau_{oy}}{T_{oy}}$. Для цього передатна функція для статичного об'єкта повинна бути представлена у вигляді виразу (2.18). При виборі типу регулятора рекомендується орієнтуватися на величину відношення часу запізнення до постійної часу об'єкта керування $\frac{\tau_{oy}}{T_{oy}}$:

- якщо $\frac{\tau_{oy}}{T_{oy}} < 0,2$, перевагу віддають позиційному (релейному)

алгоритму керування, але можливе використання і неперервного алгоритму. Рішення приймається в залежності від технологічних вимог до процесу управління.

- якщо $0,2 < \frac{\tau_{oy}}{T_{oy}} < 1,0$, перевагу віддають неперервному або

цифровому алгоритму керування (П-, ПІ- або ПІД-алгоритм керування)

- якщо $\frac{\tau_{oy}}{T_{oy}} > 1,0$, вибирають спеціальний цифровий регулятор з

екстраполятором, який компенсує запізнювання в контурі керування.

Крім того, для обґрунтування алгоритму керування і вибору регулятора, який відповідає цьому алгоритму, необхідно знати не тільки властивості об'єкта та вимоги до технологічного процесу, але й деякі конструктивні особливості самих регуляторів. Промислові регулятори реалізують алгоритм керування з певною похибкою, що обов'язково повинно враховуватись при виборі усіх технічних засобів, що входять до складу системи автоматичного керування.

В даному випадку за умовами технологічного процесу необхідно вибрати неперервний алгоритм керування.

3.2. Реалізація алгоритму керування

3.2.1. Вибір датчика вологості

Для вимірювання вологості вибираємо датчик вологості **RIXEN MTR-740A** (рис. 3.1), технічні характеристики якого наведені у таблиці 3.1.



Рис. 3.1. Датчик вологості RIXEN MTR-740A

Коефіцієнт передачі датчика вологості $k = 1$.

Оскільки інерційність датчика складає 5 с, то його передатна функція

$$W_{CE} = \frac{1}{5 \cdot s + 1}$$

Таблиця 3.1.

Технічні характеристики датчика вологості RIXEN MTR-740A

Параметр	Значення
Вимірюване середовище	Повітря, водяна пара
Діапазон вимірювання	Від 0 до 100%
Нелінійність	Менше 1%
Дрейф	Менше 2% від діапазону вимірювання між інтервалами технічного обслуговування
Швидкість відбору зразків	1 с
Час відклику	5 с
Відтворюваність	±0,25% від виміряного значення

3.2.2. Вибір регулюючого органу та виконавчого механізму



Рис. 3.2. Клапан регулюючий КПСР-200

1. Знаходимо максимальну пропускну здатність РО:

$$K_{\gamma} = Q_{max} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P}} = 4 \cdot \sqrt{\frac{0,1}{0,1}} = 4 \frac{m^3}{год}$$

де $Q_{max} = 4 \text{ м}^3/\text{год}$ об'ємна витрата, $\gamma = 0,1 \text{ кг}/\text{см}^3$ об'ємна маса води, $\Delta P = P_1 - P_2$ перепад тиску на РО.

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 3 - 2,9 = 0,1 \text{ кг}/\text{см}^2$$

де $P_1 = 3 \text{ кг}/\text{см}^2$ тиск до регулюючого органу,

$P_2 = 2,9 \text{ кг}/\text{см}^2$ тиск після регулюючого органу.

2. Визначаємо індекс в'язкості :

$$Z = \frac{420 \cdot Q_{max}}{v \cdot \sqrt{K_{\gamma max}}} = \frac{420 \cdot 1}{0,6531 \cdot \sqrt{4}} = 321,54 > 100,$$

де $v = 0,6531$ в'язкість води.

3. Знаходимо за такими характеристиками регулюючий орган:

$$K_{\gamma PO} = 2,5 \frac{\text{м}^3}{\text{год}} \text{ і } D_{\gamma} = 10 \text{ мм.}$$

Проводимо перевірку виконання умови :

$$K_{\gamma PO} \geq 1,1 K_{\gamma max}$$

$$2,5 \text{ м}^3/\text{год} > 1 \cdot 1,1 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$2,5 \text{ м}^3/\text{год} > 1,1 \text{ м}^3/\text{год}$$

4. Визначаємо пропускну здатність лінії:

$$K_{\gamma л} = Q_{max} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{л max}}} = 4 \cdot \sqrt{\frac{0,1}{0,4}} = 2 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$\Delta P_{л} = P_2 - P_3 = 2,9 - 2,5 = 0,4 \text{ кг/см}^2,$$

де $P_3 = 2,5 \text{ кг/см}^2$ тиск після лінії.

5. Знаходимо на лінії відношення пропускну здатностей РО:

$$n = \frac{K_{\gamma PO}}{K_{\gamma л}} = \frac{2,5}{2} = 1,25.$$

6. Визначаємо на регулюючому органі перепад тиску:

$$\Delta P_c = P_1 - P_3 = 3 - 2,5 = 0,5 \text{ кг/см}^2.$$

7. Витрати регулюючого середовища через регулюючий орган:

$$Q_{po} = K_{\gamma PO} \cdot \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta P_{po}}} = 2,5 \cdot \sqrt{\frac{0,1}{0,044}} = 3,77 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

8. Відносні витрати регулюючого середовища через РО:

$$\mu_{max} = \frac{Q_{max}}{Q_{po}} = \frac{4}{3,77} = 1,06,$$

$$\mu_{min} = \frac{Q_{min}}{Q_{po}} = \frac{2}{3,77} = 0,531,$$

де $Q_{min} = 2 \text{ м}^3/\text{год.}$ об'ємна витрата рідини

9. Знаходимо по графіках відносний хід плунжера:

$$l_{max} \approx 0,1$$

$$l_{min} \approx 0,05$$

10. Визначаємо відношення перепадів тиску на регулюючому органі до перепадів тиску по графіках:

$$\beta_{min} \approx 1,5$$

$$\beta_{max} \approx 1$$

11. Знаходимо на регулюючому органі максимальний перепад тиску:

$$\Delta P_{po \text{ max}} = \beta_{max} \cdot \Delta P_c = 1,5 \cdot 0,5 = 0,75 \text{ кг/см}^2$$

$$\Delta P_{po \text{ min}} = \beta_{min} \cdot \Delta P_c = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ кг/см}^2$$

З характеристик РО розрахуємо коефіцієнт передачі:

$$K_{PO} = \frac{0,32}{2,5} = 0,128.$$

Таким чином, визначено параметри регулюючого органу (таблиці 3.2), які необхідні для обґрунтування вибору виконавчого механізму.

Щоб вибрати виконавчий механізм необхідно розрахувати залежність величини обертального моменту ВМ для переміщення плунжера РО:

$$M_{BM} = 2 \cdot (M_p + M_M),$$

де M_p – реактивний момент, спричинений намаганням потоку речовини закрити заслінку; M_M – момент опору. Щоб знайти обертальний момент виконавчого механізму нам потрібно визначити реактивний момент M_p і момент опору M_M .

Технічні характеристики клапана

Номинальний діаметр, мм	50
Номинальний тиск, МПа (кгс/см ²)	2,5 (16)
Пропускна характеристика	лінійна
Робочий хід плунжера, мм	10
Умовна пропускна здатність Kvv, м ³ /ч	2,5 3.2 4.0
Відносний витік в затворі, % от Kvv	0,1 при ΔP _{исп} = 0,4МПа (4кгс/см ²)
Робоче середовище	Вода, пара, повітря та ін. Рідкі і газоподібні середовища
Температура робочого середовища T, °C	Від -15 до +300
Температура навколишнього середовища, °C	Від -15 до +50
Вага клапана, кг	140

$$M_p = 0,07 \cdot \Delta P_{po\ max} \cdot D_y^3$$

$$M_M = 0,75 \cdot \Delta P_{po\ min} \cdot D_y^2 \cdot \lambda$$

де $\Delta P_{po\ max}$ – максимальний перепад тиску на регулюючий орган;
 $\Delta P_{po\ min}$ – мінімальний перепад тиску на регулюючий орган; λ – коефіцієнт
тертя в опорах регулюючого органу; D_y – діаметр регулюючого органу.

Момент обертання валу виконавчого механізму повинен бути не менший за момент, що потрібний для відкриття заслінки.

$$M_H \geq M_{BM}$$

Розрахунок BM:

Знаходимо реактивний момент M_p і момент опору M_M

$$M_p = 0,07 \cdot \Delta P_{po\ max} \cdot D_y^3 = 0,07 \cdot (0,75 \cdot 10^4) \cdot (10^{-3} \cdot 10)^3 = 0,16 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_M = 0,75 \cdot \Delta P_{po\ min} \cdot D_y^2 \cdot \lambda = 0,75 \cdot (0,5 \cdot 10^4) \cdot (10^{-3} \cdot 10)^2 \cdot 0,15 = 0,12 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тоді момент виконавчого механізму дорівнюватиме:

$$M_{BM} = 2 \cdot (0,12 + 0,16) = 0,56 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Перевіряємо, чи забезпечує обраний виконавчий механізм задану нерівність:

$$M_H \geq M_{BM}$$

$$0,63 \geq 0,56.$$

Обираємо електричний виконавчий механізм "ГЗ-ОФВ" (рис. 3.3), у якого : $T_{BM}=7,5$ с.



Рис. 3.3. Електричний виконавчий механізм ГЗ-ОФВ

Отже передатна функція ВМ буде виглядати:

$$W_{BM} = \frac{K_{BM}}{7.5s} = \frac{0,14}{s}.$$

Оскільки у виконавчому механізмі реалізований зворотній зв'язок за положенням, його передатна функція матиме наступний вигляд

$$W'_{BM}(s) = \frac{W_{ПК}(s)}{(1 + W_{ПК}(s) \cdot W_{ЗЗ}(s))} = \frac{\frac{K_{BM}}{s}}{1 + \frac{K_{BM}}{s}} = \frac{1}{\frac{1}{K_{BM}} \cdot s + 1} = \frac{1}{7,14 \cdot s + 1}$$

Інтегруюча ланка при цьому перетворилася на інерційну.

3.2.3. Вибір програмованого логічного контролера

Як керуючий елемент регулятора для даної кваліфікаційної магістерської роботи був вибраний програмований логічний контролер фірми ОВЕН ПЛК110 (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Програмно-логічний контролер ОВЕН ПЛК110 (M02)

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

Рекомендується для використання у системах для керування харчопереробними та пакувальними апаратами, керування кліматичним обладнанням, у системах HVAC, у сфері ЖКГ (ІТП, ЦТП), в АСК водоканалів (водопідготовка, насосні станції), 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 Б1, Б2.

3.2.4. Хмарний сервіс OwenCloud



Хмарні технології стали незамінними в повсякденному житті. Неважливо, якщо збій комп'ютера призведе до втрати даних або знищення важливих документів – дані зберігаються в надійних і безпечних хмарних сервісах.

Уявімо: у пристрої стався збій під час віддаленої установки. Інформація про те, що сталося, надійде лише тоді, коли її розкриють. Щоб вирішити проблему, потрібно знайти конфігурацію аварійного пристрою та налаштувати новий. Навіть якщо значення параметрів конфігурації завантажуються та зберігаються відразу після встановлення, немає гарантії, що вони не змінилися

під час роботи. Виявляється, необхідно не тільки замінити і налаштувати пристрій, але і перевірити його роботу в різних ситуаціях, щоб виключити помилки конфігурації, що вимагає витрат, часу і зусиль. значні гроші.

Ситуація кардинально змінюється при підключенні пристрою до хмарного сервісу OwenCloud. Сервіс повідомляє про збій пристрою або датчика, а при необхідності екстрене сповіщення електронною поштою або SMS. Пристрій може бути замінений персоналом середньої кваліфікації в домашніх умовах. Потім новий пристрій налаштовується віддалено: остання оновлена конфігурація пристрою зберігається на хмарному сервері, що полегшує його відновлення. І нарешті: перевіряється працездатність нового пристрою.

Послуга скорочує витрати часу, економить кошти та підвищує ефективність АСУ ТП.

Хмарний сервіс OwenCloud відкриває нові можливості, раніше недоступні навіть при використанні дорогих систем SCADA, коли пристрої підключаються до них через OPC-сервери.

Перегляд даних АСУ. Ви можете зручно переглядати дані про результати вимірювань, розрахунки або вихідний стан пристрою у вигляді графіків і таблиць і архівувати їх на сервері до 90 днів. У майбутньому планується додаткова функція відображення мнемонічних даних об'єкта керування.

Контроль аварійних та позаштатних ситуацій. На основі одного або кількох параметрів хмарна служба діагностує ненормальний стан або аварію на заводі та може відображати повідомлення на електронну пошту, коротке повідомлення на мобільний пристрій або дані на веб-сайті служби. Після встановлення мобільного додатку користувачеві доступні push-повідомлення.

Віддалений контроль та управління. Запустити процес або змінити уставку можна з будь-якої точки світу через web-інтерфейс хмарного сервісу.

Віддалене конфігурування приладів Siemens. На сервері періодично змінюється конфігурація пристрою, підключеного до «хмари». Доступно до

п'яти остаточних конфігурацій. Ви можете побачити різницю між ними, змінити дату конфігурації, ви можете змінити значення параметрів конфігурації та записати їх на пристрій. Якщо ви змінюєте пристрій або хочете налаштувати інший пристрій, просто скористайтеся функцією копіювання.

Передача даних у SCADA-системи та інші програми.

OwenCloud OPC Server дозволяє отримувати дані з хмарного сервісу TIA Portal і передавати їх в іншу систему ACS або більш високу систему для реалізації загального інтерфейсу керування без зайвих витрат.

Відображення на карті. Ця функція сервісу стане в нагоді для моніторингу розподілених об'єктів, щоб оцінити ситуацію на аварійних об'єктах.

Збір даних. Для збору даних від віддалених об'єктів до центру управління зазвичай необхідно обладнати центр управління сервером, який працює 24 години на добу, 7 днів на тиждень, призначити статичну «білу» IP-адресу та платний OPC-сервер. придбати . Систему ще потрібно налаштувати та підтримувати. Використання OwenCloud все спрощує, оскільки більшість описаних завдань вирішуються в хмарі. Необхідно налаштувати OPC-сервер для отримання та передачі даних з OwenCloud до систем SCADA.

Зручність та мобільність. Інтерфейс сервісу підходить для практичної роботи з будь-якого комп'ютера чи мобільного пристрою. На додаток до функцій OwenCloud, згаданих вище, є багато інших функцій, запланованих на майбутнє.

Прилади ОВЕН, що підключаються до OwenCloud. До сервісу OwenCloud можуть підключатися прилади з інтерфейсами Ethernet та RS-485 (сервіс підтримує протоколи Modbus RTU/ASCII).

Прилади з інтерфейсом Ethernet (програмовані логічні контролери) підключаються до OwenCloud без додаткових пристроїв: достатньо підключити пристрій до мережі Ethernet з виходом до Internet. Передача даних здійснюється за протоколом Modbus TCP.

Для приладів з RS-485 розроблено три шлюзи з різними вихідними інтерфейсами, що дозволяють організувати двосторонній зв'язок польових пристроїв ОВЕН із «хмарою».

Шлюз ОВЕН ПЛК110 із вбудованим модулем GSM дозволяє пристроям, встановленим у віддалених місцях, де немає дротового Інтернету, підключатися до хмари OwenCloud. У шлюз встановлюється SIM-карта мобільного оператора. Передача даних здійснюється через GPRS і не потребує значних витрат на оплату послуг.

Шлюзи не вимагають складного налаштування, не потребують статичної IP-адреси, тобто можуть працювати з так званої сірої мережі. Шлюзи ОВЕН призначені для промислового застосування та експлуатації у жорстких умовах.

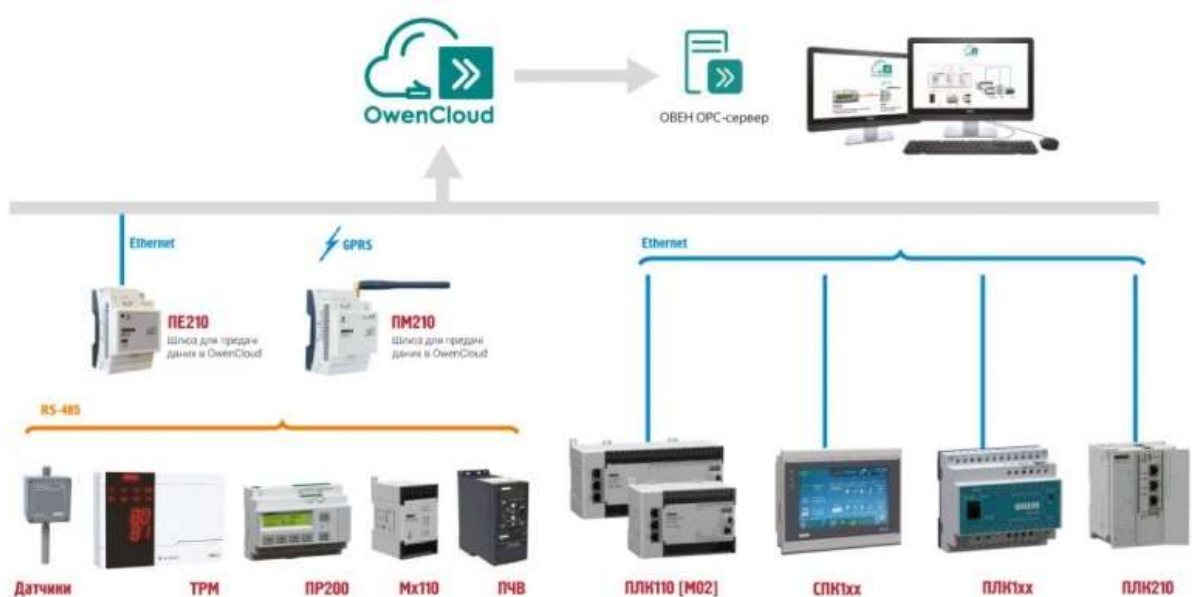


Рис. 3.5. Перелік обладнання ОВЕН з можливістю підключення до Owen Cloud OVEN OPC

Робота з OwenCloud не вимагає особливої кваліфікації чи спеціальних знань. Веб-інтерфейс сервісу практичний та інтуїтивно зрозумілий. Після простої реєстрації на початку роботи користувач заходить в особистий кабінет, додає вибрані пристрої та може працювати з даними та конфігураціями. Якщо цим пристроєм або іншими пристроями мають

керувати певні співробітники, послуга налаштовується з різними рівнями доступу.

Веб-інтерфейс сервісу адаптується для роботи з екранами різних розмірів і однаково корисний на широкоформатних настільних моніторах, ноутбуках і мобільних пристроях. Для зручності розробляється мобільний додаток для платформи Android, що полегшує роботу з OwenCloud на мобільних пристроях.

Надійність. Окрім зручності, OwenCloud пропонує високий ступінь надійності та безпеки. Дані надсилаються в зашифрованому вигляді та зберігаються на захищених серверах у центрі обробки даних, їх не можна змінити чи підробити під час атаки MITM.

При необхідності дії користувача сервісу можуть бути обмежені. Для особливо важливих дій, які можуть вплинути на роботу пристрою, ви можете налаштувати їх підтвердження за допомогою кодів, надісланих через SMS. Цей механізм використовується банками для підтвердження операцій, здійснених через онлайн-сервіси. Сервери забезпечують високий рівень стійкості до відмов і резервування, що знижує майже до нуля ймовірність втрати даних.

OwenCloud OPC. Сервер OPC можна підключити до служби OwenCloud. Завдяки серверу OPC ви можете читати або записувати параметри пристроїв, підключених до хмарного сервісу. Це зручно, коли потрібно перенести дані з "хмари" в систему SCADA або організувати віддалену диспетчерську систему. Комбінація OPC-сервера та SCADA дозволяє створити локальний архів на комп'ютері.

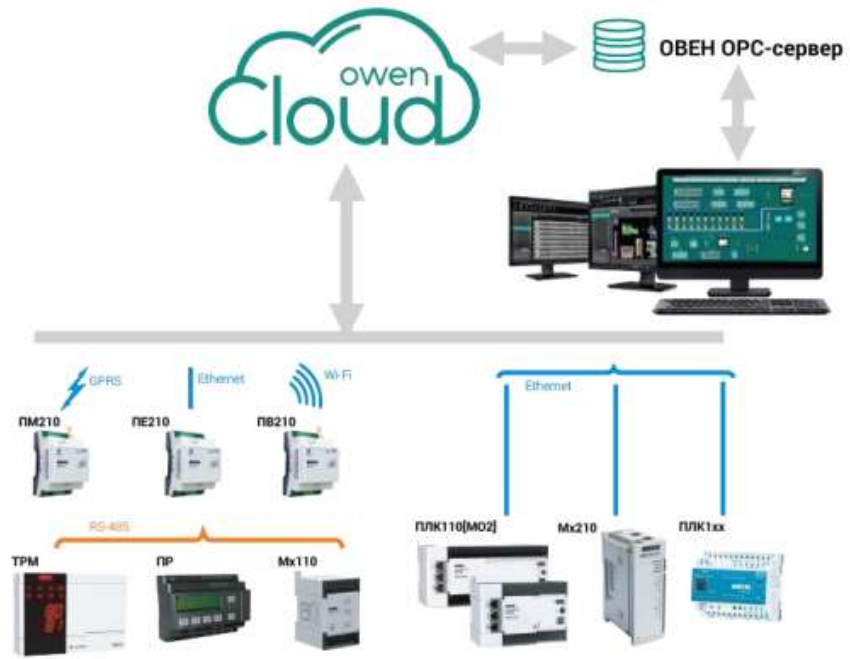


Рис. 3.6. Перелік обладнання ОВЕН з можливістю підключення до OPC-сервера

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ САК

Структурно-алгоритмічна схема САК вологістю у печі зображена на рис. 4.1.

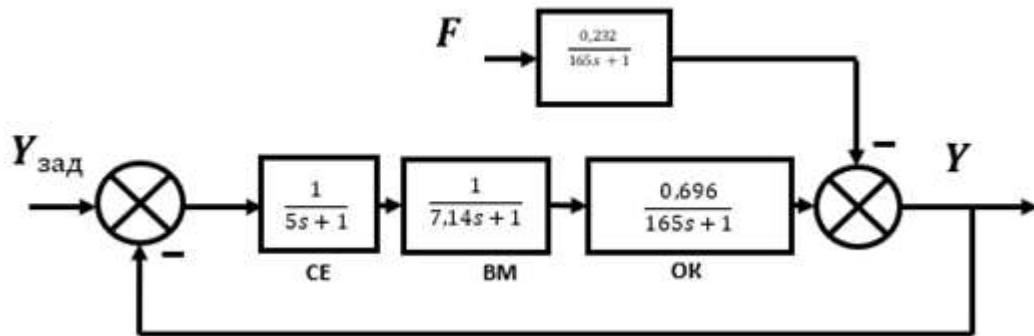


Рис. 4.1. Структурно-алгоритмічна схема САК

$$K_0 = 0,696, T_0 = 165 \text{ с}, K_F = 0,232.$$

Знайдемо передатні функції системи автоматичного керування: розімкненої системи, замкненої системи за керуванням.

Передатною функцією елемента називається відношення зображень по Лапласу його вихідної величини до вхідної при нульових початкових умовах.

Передатна функція розімкнутої системи

$$\begin{aligned} W_{\text{роз}(s)} &= \frac{1}{5s+1} * \frac{1}{7,14s+1} * \frac{0,696}{165s+1} \\ &= \frac{0,696}{(5 * 7,14 * 165)s^3 + (5 * 7,14 + 5 * 165 + 7,14 * 165)s^2 + (5 + 7,14 + 165)s + 1} \\ &= \frac{0,696}{5890,5s^3 + 2038,8s^2 + 177,14s + 1} \end{aligned}$$

Передатна функція замкненої системи за керуванням

$$W_{\text{зам}}(s) = \frac{W_{\text{роз}}(s)}{1 + W_{\text{роз}}(s)} = \frac{0,696}{5890,5s^3 + 2038,8s^2 + 177,14s + 1 + 0,696}$$

$$K=0,696$$

Далі необхідно виконати:

1. Одержання формули та побудова АЧХ неперервної замкнутої системи.
2. Визначення допустимого періоду дискретизації цифрового регулятора при заданій похибці квантування $\theta = 1\%$.

Під час проектування цифрової системи керування постає питання про необхідність обмеження частоти квантування. Зі збільшенням частоти квантування збільшується точність керування цифровою системою, але збільшується і навантаження програмованого логічного контролера. При зменшенні частоти квантування втрачається важлива інформація про сигнал, що унеможливує відтворення вихідного сигналу з дискретними вибірками.

Відомо, що найменша частота квантування має бути не менше $2\omega_c$, де ω_c - найвища суттєва частота у спектрі неперервного сигналу. Оскільки амплітуди високочастотних складових значно ослаблені, враховуючи точність відтворення сигналу, можна припустити, що він має обмежений спектр. Ця межа спектра ω_c визначається формулою:

$$|W_{\text{зам.н.ч.}}| \leq \theta_{\text{зад}}, \quad (4.1)$$

Оскільки частота квантування $\omega_s = \frac{2\pi}{T}$, і повинна виконуватись нерівність $\omega_s \leq 2\omega_c$, то допустимий період квантування визначається за формулою

$$T_{\text{ц}} \leq \frac{\pi}{\omega_c}, \quad (4.2)$$

Неперервний сигнал може бути описаний із заданою точністю своїми значеннями, вимірними в дискретні моменти часу з інтервалом $T_{\text{ц}}$.

Нехай неперервна частина цифрової системи керування має передатну функцію

$$W_{\text{роз.н.ч.}}(s) = \frac{0,696}{5890,5 \cdot s^3 + 2038,8 \cdot s^2 + 177,14 \cdot s + 1}$$

Потрібно розрахувати допустимий період квантування, що забезпечує максимальну похибку відтворення первинного безперервного сигналу $\theta_{\text{зад}} = 1\%$.

Передатна функція неперервної частини замкненої системи:

$$W_{\text{зам.н.ч}}(s) = \frac{0,696}{5890,5 \cdot s^3 + 2038,8 \cdot s^2 + 177,14 \cdot s + 1 + 0,696}$$

Амплітудно-фазова частотна характеристика (АФЧХ) неперервної частини замкненої системи:

$$\begin{aligned} W_{\text{зам.н.ч}}(j\omega) &= \frac{0,696}{5890,5 \cdot (j\omega)^3 + 2038,8 \cdot (j\omega)^2 + 177,14 \cdot (j\omega) + 1,696} \\ &= \frac{0,696}{-j \cdot 5890,5 \cdot \omega^3 - 2038,8 \cdot \omega^2 + j \cdot 177,14 \cdot \omega + 1,696} \\ &= \frac{0,696}{(1,696 - 2038,8 \cdot \omega^2) + j \cdot (177,14 \cdot \omega - 5890,5 \cdot \omega^3)} \end{aligned}$$

Амплітудно-частотну характеристику неперервної частини замкненої системи знайдемо як модуль АФЧХ цієї системи:

$$A(\omega) = |W_{\text{зам.н.ч}}(j\omega)| = \frac{0,696}{\sqrt{(1,696 - 2038,8 \cdot \omega^2)^2 + (177,14 \cdot \omega - 5890,5 \cdot \omega^3)^2}}$$

Прирівняємо АЧХ до заданої похибки $A(\omega) = 0,01$ та у результаті розв'язання рівняння

$$\frac{0,696}{\sqrt{(1,696 - 2038,8 \cdot \omega^2)^2 + (177,14 \cdot \omega - 5890,5 \cdot \omega^3)^2}} = 0,01$$

З допомогою програми MathCad знаходимо амплітудно-частотна характеристику неперервної частини системи (рис. 4.2.)

$\omega := -1$

Given

$$\frac{0.696}{\sqrt{(1.696 - 2038.8 \cdot \omega^2)^2 + (177.14 \cdot \omega - 5890.5 \cdot \omega^3)^2}} = 0.01$$

Find(ω) = 0.187

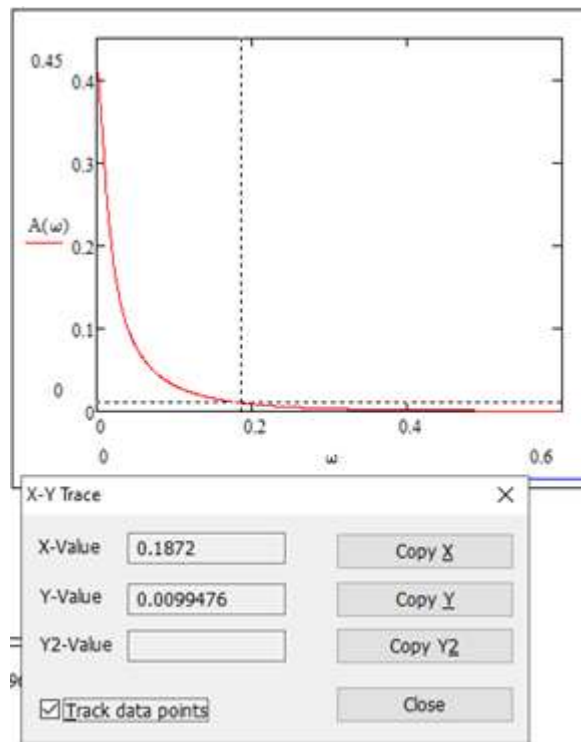


Рис. 4.2. АЧХ неперервної частини системи

Найбільша суттєва частота:

$$\omega_c = 0,187$$

Максимально допустимий період квантування, що забезпечує максимальну похибку $\theta_{\text{зад.}} = 1\%$

$$T_{\text{ц}} = \frac{\pi}{\omega_c} = \frac{3.14}{0,187} = 16,79 \approx 17 \text{ с.}$$

Розрахунок параметрів налаштування регулятора

Якщо наявний у функціональній схемі системи автоматичного керування виконавчий механізм або інші елементи через велике значення постійної часу або через свої інтегруючі властивості мають значний вплив на частотні та динамічні характеристики системи, складність застосування графо-аналітичних методів синтезу регулятора може значно зрости. У цьому випадку рекомендується застосування аналітичних методів, один з яких пропонується у даному розділі.

Аналітична методика визначення параметрів регулятора базується на поданні передатної функції розімкнутої системи у вигляді

$$W_{\text{роз}}(s) = W_{\text{рег}}(s) \cdot W_{\text{нч}}(s), \quad (4.3)$$

До незмінної частини входить:

- об'єкт керування з передатною функцією $W_{OK}(s) = \frac{0,696}{165s+1}$

- виконавчий механізм з передатною функцією $W_{BM}(s) = \frac{1}{7,14s+1}$.

Передатною функцією сприймаючого елемента нехтуємо. Розраховуємо параметри налаштування ПД-регулятора.

Передатна функція незмінної частини:

$$W_{\text{нч}}(s) = \frac{0,696}{(165s+1)(7,14s+1)(5s+1)} \approx \frac{0,696}{(165s+1)(7,14s+1)(5s+1)}$$

У випадку ПД-регулятора компенсуються дві постійні часу $T_1 = 165$ с. та $T_2 = 7,14$ с. Параметри налаштування регулятора:

$$K_p = \frac{T_1 + T_2}{K2T_\mu} = \frac{165 + 7,14}{0,696 \cdot 2 \cdot 5} = 24,73;$$

$$K_i = \frac{1}{K2T_\mu} = \frac{1}{0,696 \cdot 2 \cdot 5} = 0,144;$$

$$K_d = \frac{T_1 \cdot T_2}{K2T_\mu} = \frac{165 \cdot 7,14}{0,696 \cdot 2 \cdot 5} = 169,267;$$

$$W_{\text{роз}}(s) = W_{\text{рег}}(s) \cdot W_{\text{нч}}(s), \quad (4.4)$$

де $W_{\text{рег}}(s) = K_p + K_i/s + K_d s$ - для ПД регулятора;

$W_{\text{нч}}(s)$ - передатна функція незмінної частини системи, яка вміщує у загальному вигляді об'єкт керування, первинний вимірювальний перетворювач та виконавчий механізм.

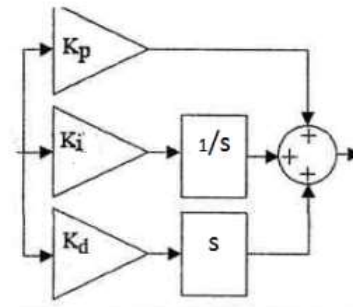
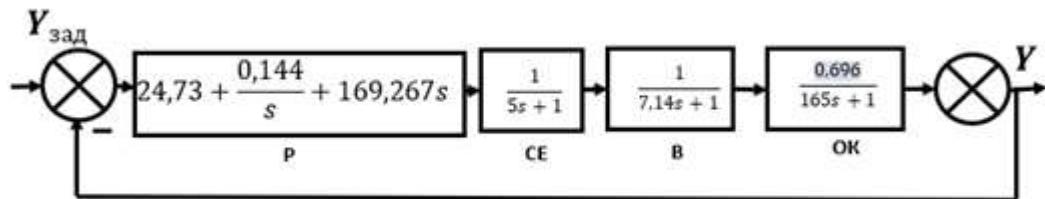


Рис. 4.3. Структурна алгоритмічна схема ПІД-регулятора

Рис. 4.4. Структурна алгоритмічна САК вологістю
в хлібопекарській печі

Якщо наперед задатися бажаною передатною функцією $W_{\text{роз}}(s)$, що визначається з технологічних вимог, то, знаючи передатну функцію незмінної частини, яка включає об'єкт, виконавчий механізм та первинний перетворювач, тип регулятора, можна визначити необхідну передатну функцію регулятора та його параметри налаштування за виразом

$$W_{\text{рег}}(s) = \frac{W_{\text{роз}}(s)}{W_{\text{нч}}(s)}. \quad (4.4)$$

Складемо в пакеті імітаційного моделювання MATLAB Simulink-модель нашої системи із ПІД-регулятором (рис. 4.5)

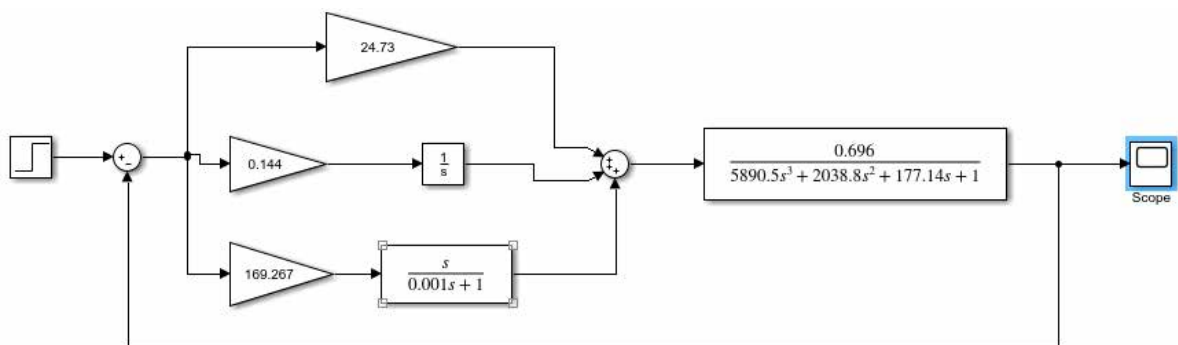


Рис. 4.5. Імітаційна Simulink-модель САК у пакеті MATLAB

За допомогою імітаційної Simulink-моделі САК у пакеті MATLAB отримаємо перехідний процес САК вологості у хлібопекарській печі (рис. 4.6).

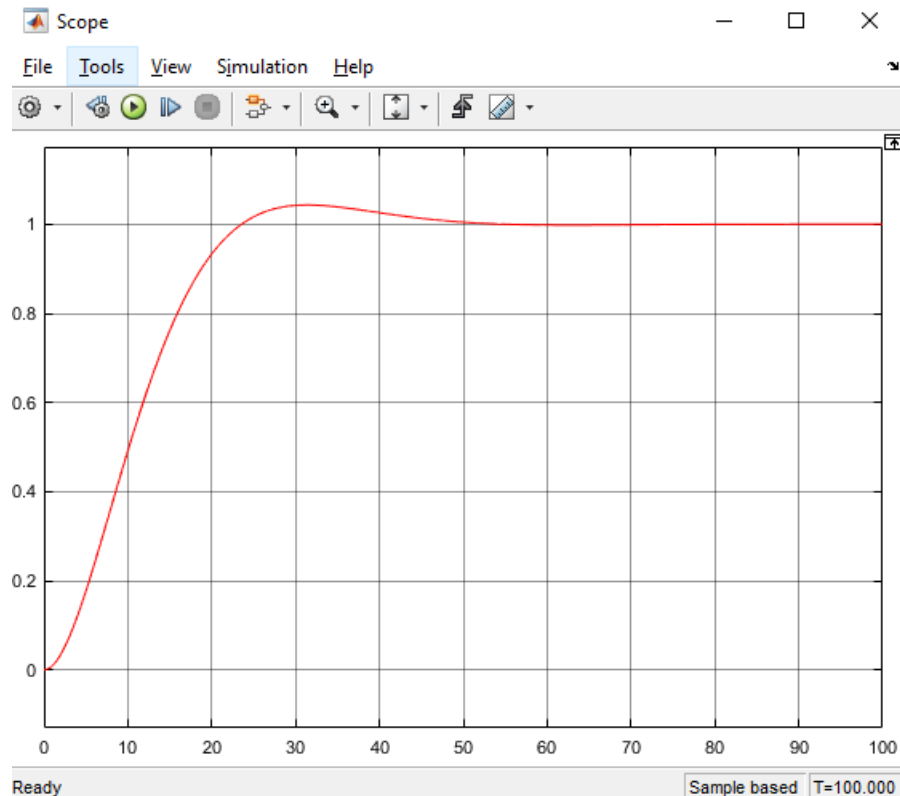


Рис. 4.6. Перехідний процес САК

Визначимо показники якості регулювання:

- статична похибка $\delta = \frac{(1 - y_{уст})}{1} * 100\% = \frac{1-1}{1} * 100\% = 0\%$;

- час регулювання $t_p = 47$ с.;

- перерегулювання $\sigma = \frac{Y_{max} - Y_{уст}}{Y_{уст}} * 100\% = \frac{1,043-1}{1} * 100\% = 4,3\%$;

- коливальність $n=1$.

Отримані показники якості регулювання повністю задовольняють технологічні вимоги до керування вологістю у хлібопекарській печі.

Створимо Simulink-модель цифрової САК. У відповідності до вибраного алгоритму керування визначимо дискретну передатну функцію цифрового ПД-регулятора (рис. 4.7).

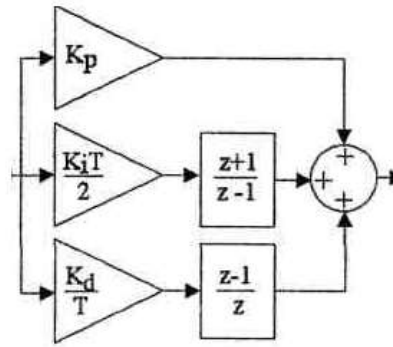


Рис. 4.7. Структурна алгоритмічна схема цифрового ПІД-регулятора

$$W_{\text{пер}}(z) = K_p + \frac{K_i T (z+1)}{2(z-1)} + \frac{K_d (z-1)}{Tz}; \quad (4.5)$$

За період квантування T треба взяти значення, що у 10 разів менше, ніж максимально допустимий період $T_{\text{ц}}$, що визначається за пунктом 2.5: $T = \frac{T_{\text{ц}}}{10}$.

$$K_p = 24,73$$

$$\frac{K_i \cdot T}{2} = \frac{0,144 \cdot 1,7}{2} = 0,1224$$

$$\frac{K_d}{T} = \frac{169,267}{17} = 99,57$$

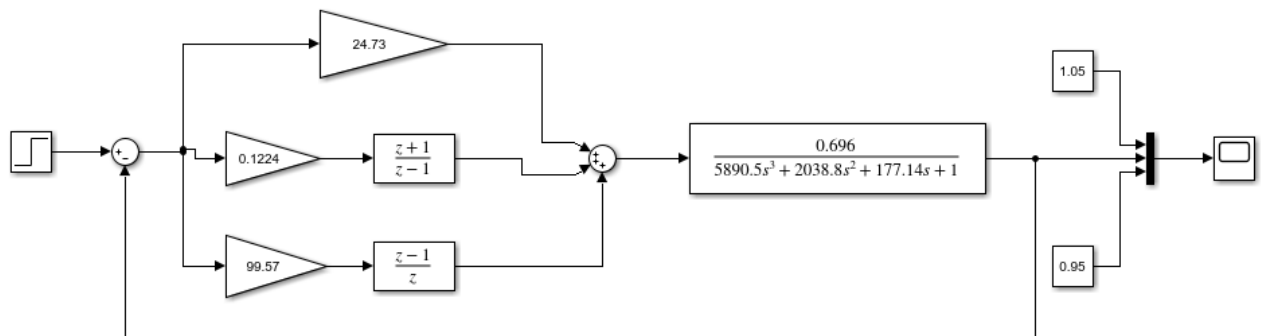


Рис. 4.8. Імітаційна Simulink-модель цифрової САК у пакеті MATLAB

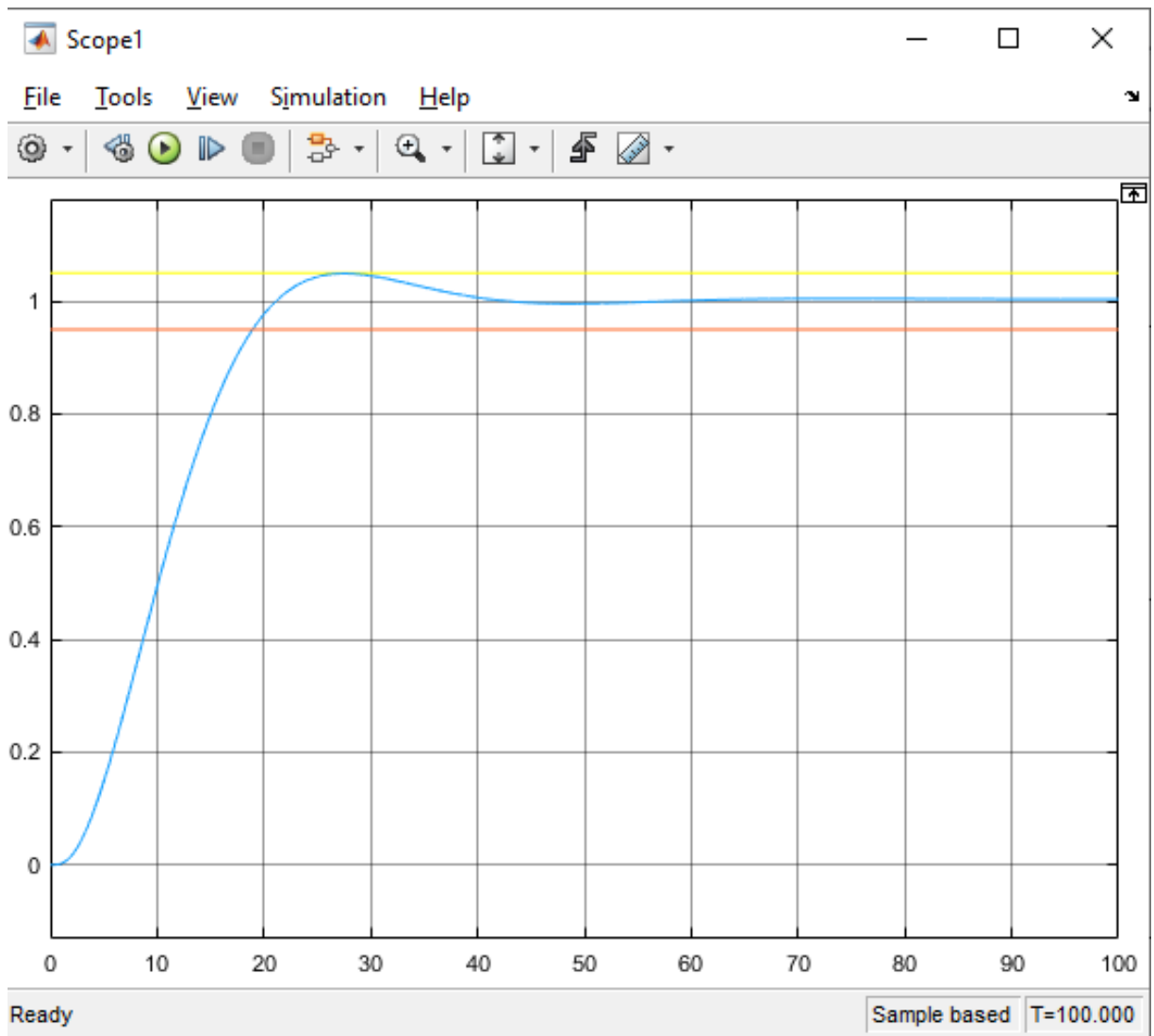


Рис. 4.9. Перехідна характеристика цифрової САК із ПД-регулятором

РОЗДІЛ 5

СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Розробка схеми електричної принципової системи автоматичного керування тунельною хлібопекарською піччю

Схема електрична принципова основного контуру системи автоматичного керування хлібопекарською піччю зображена на рис. 5.1.

Автоматичне керування роботою печі здійснюється за вологістю (датчик вологості *BGI*), з якого йде сигнал на програмований логічний контролер *AI*. При включенні у мережу вмикається електродвигун *M1*, який приводить в рух заслінку. Коли вологість у камері опуститься нижче заданої, вмикається магнітний пускач *KM1*. При збільшенні вологості замикається *KM2*, який закриває заслінку.

Перемикачем *SA1* здійснюється перехід на ручний режим роботи, і забезпечується кнопками *SB1-SB3*, де *SB1* і *SB2*, відповідно відповідають за відкриття і закривання заслінки, а за допомогою *SB3* – зупинка установки.

5.2. Вибір апаратури захисту та керування

З попереднього розділу отримуємо вихідні дані виконавчого механізму для подальших розрахунків:

Серводвигун ГЗ-ОФВ приводу регулюючого органу з наступними технічними характеристиками:

$$P_{\text{ед}} = 370 \text{ Вт}; I_{\text{н}} = 2,5 \text{ А}; \cos\varphi_{\text{н}} = 0,27; K_i = 5; I_{\text{п}} = 8,84 \text{ А}$$

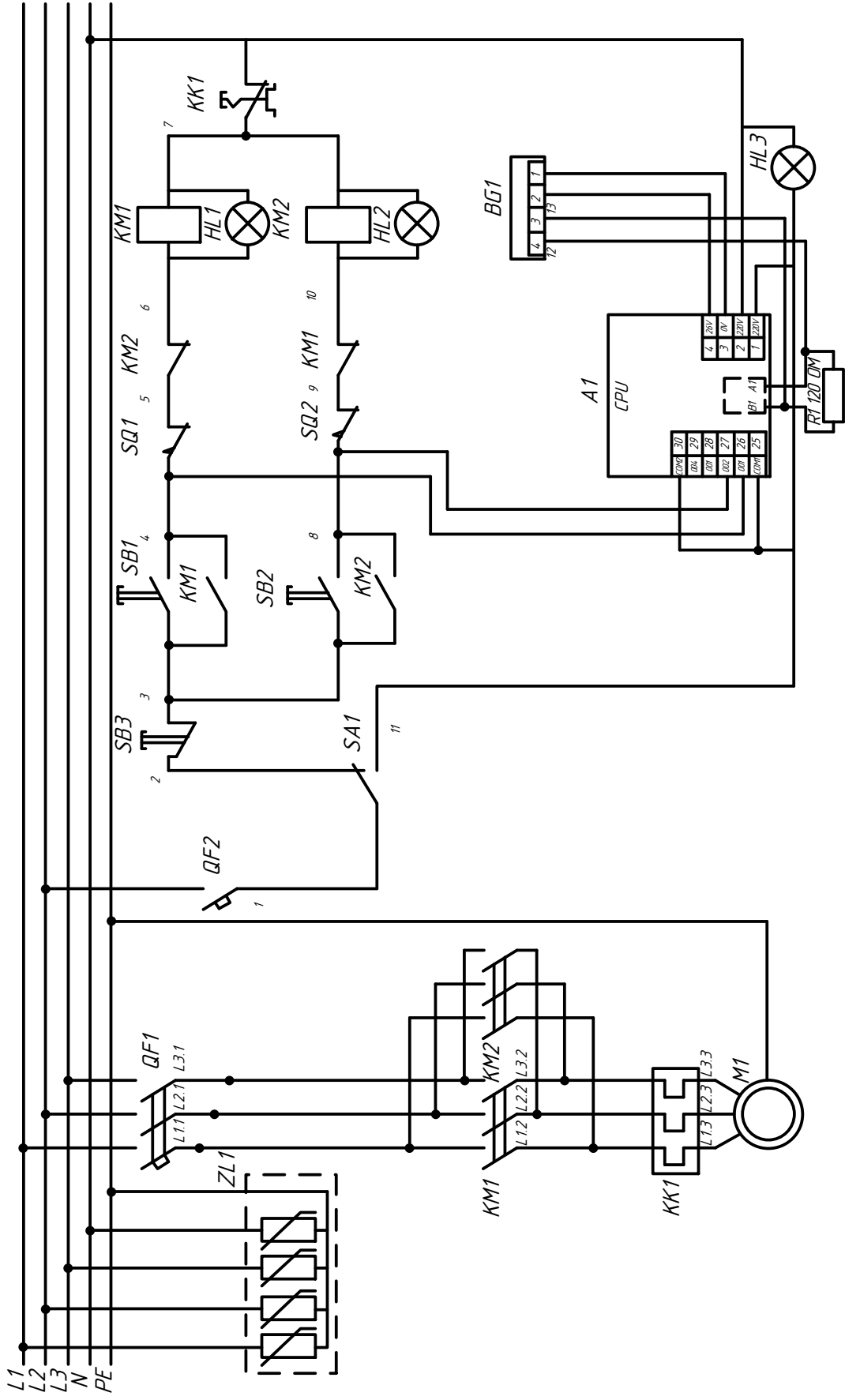


Рис. 5.1. САК технологічними параметрами хлібопекарської печі. Фрагмент схеми електричної принципової

Вибір автоматичного вимикача QF1.

Вибір автоматичного вимикача виконують за умовами:

а) за типом або серією;

б) номінальна напруга за умовою:

$$U_{н.в} \geq U_{м.}, \quad (5.1)$$

де $U_{н.в}$ - номінальна напруга автоматичного вимикача, В;

$U_{м}$ - номінальна напруга електромережі, В;

в) за номінальним струмом:

$$I_{н.в} \geq I_{н.е}, \quad (5.2)$$

де $I_{н.в}$ - номінальний струм автоматичного вимикача, А;

$I_{н.е}$ - номінальний струм електродвигуна, А;

г) за номінальним струмом теплового розчіплювача:

$$I_{нр} \geq 1,25 \cdot I_{н.е}, \quad (5.3)$$

де $I_{нр}$ - номінальний струм теплового розчіплювача автоматичного вимикача, А; 1,5 - коефіцієнт, враховуючий роздріб за струмом спрацювання теплового розчіплювача; за яким проходить струм, та перебувають в середині корпусу, від потрапляння в корпус сторонніх твердих тіл і потрапляння в нього води, згідно ГОСТ 14254-69;

е) за кліматичним виконанням та категорією розміщення, згідно з ГОСТ 11543-70 і ГОСТ 15150-69.

Вихідні дані для вибору автоматичного вимикача QF:

Для електродвигуна ГЗ-ОФВ з такими характеристиками: $P_{ЕД} = 370$ Вт;

$I_{н} = 2,5$ А; $\cos\varphi_{н} = 0,27$;

Тому для вибору автоматичного вимикача QF1 використовуємо наступні дані:

$U_{н.м.} = 380$ В;

$I_{н.} = I_{н.ед.} = 2,5$ А;

$I_{н.р.} = 2,5 \cdot 1,25 = 3,125$ А;

Залежно від умов, що розглядаються, можна підібрати автоматичний вимикач.

Обираємо автоматичний вимикач Siemens 3p C 6A 6кА 400V 5SL6306-7 за такими технічними характеристиками $U_{н.вм.}=380В$; $I_{н.вм.}=6А$; $I_{н.р.}=7,5 А$;
 $380В = 380В$; $6А > 2,5 А$; $7,5А > 3,125А$.



Рис. 5.2. Автоматичний вимикач захисту виконавчого механізму

Умови виконуються, а тому автоматичний вимикач вибраний правильно.

Автоматичний вимикач QF2:

Обираємо автоматичний вимикач QF2

Вибираємо Schneider Electric ВА63 50/1/С за такими технічними характеристиками $U_{н.вм.}=280В$; $I_{н.вм.}=6А$.



Рис. 5.3. Автоматичний вимикач захисту схеми керування

Вибір електромагнітного пускача .

Електромагнітні пускачі застосовуються для дистанційного пуску, зупинки і реверсування трифазних асинхронних електродвигунів, а також можуть використовуватися для автоматичного керування електродвигунами та іншим електрообладнанням. Електромагнітні пускачі вибираються виходячи з наступних умов:

а) за типом та серією;

б) за номінальною напругою:

$$U_{н.м.} \geq U_{м.}, \quad (5.4)$$

де $U_{н.м.}$ - номінальна напруга магнітного пускача, В;

$U_{м.}$ - номінальна напруга електромережі, В;

в) за номінальним струмом:

$$I_{н.м.} \geq I_{н.}, \quad (5.5)$$

де $I_{н.м.}$ - номінальний струм магнітного пускача, А;

$I_{н.}$ - номінальний струм навантаження, А.

г) за номінальною напругою котушки електромагнітного пускача:

$$U_{к.м.} \geq U_{кк.}, \quad (5.6)$$

де $U_{к.м.}$ - номінальна напруга котушки магнітного пускача, В; $U_{кк.}$ - напруга кола керування, В.

д) за ступенем захисту;

є) за кліматичним виконанням і категорією розміщення.

Вихідні дані щоб вибрати електромагнітний пускач КМ1, КМ2:

$$U_{н.с.}=380\text{В}; I_{н.д.}=2,5\text{А}; U_{н.м.}=220\text{В}$$

Згідно розглянутих умов здійснюємо вибір пускача виконавчого механізму. Вибираємо електромагнітний пускач Siemens 3RT1015-1BB41 з технічними характеристиками: $U_{н.м.п.}=660\text{В}; I_{н.м.п.}=7\text{А}; U_{н.к.}=220\text{В}.$

$$660\text{В}>380\text{В}; 7\text{А}>2,5\text{А}; 220=220\text{В}.$$



Рис. 5.4. Електромагнітний пускач

Вибір теплового реле КК1.

Теплові реле захищають трифазні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором від неприпустимих струмів перевантаження.

Вибір теплового реле виконують за умовами :

а) за типом та серією;

б) за номіальною напругою:

$$U_{n.tr} \geq U_M, \quad (5.7)$$

де $U_{n.tr}$ - номіальна напруга теплового реле, В; U_M - номіальна напруга електромережі, В;

в) за номіальним струмом:

$$I_{n.tr} \geq I_{n.dv.}, \quad (5.8)$$

де $I_{n.tr}$ - номіальний струм теплового реле, А; $I_{n.dv.}$ - номіальний струм електродвигуна, А;

г) за номіальним струмом неспрацьовування:

$$I_{nn.tr.} \geq I_{n.dv.}, \quad (5.9)$$

де $I_{nn.tr.}$ - номіальний струм неспрацьовування теплового реле, А; $I_{n.dv.}$ - номіальний струм електродвигуна, А;

Вихідні дані для вибору: $U_M = 380 \text{ В}$; $I_{н.дв.} = 2,5 \text{ А}$

Згідно розглянутих вище умов вибираємо теплове реле (рис. 5.5) Siemens 3RU2116-1DB0 за такими технічними характеристиками:

$$U_{н.тр.} = 660 \text{ В}; I_{н.тр.} = 40 \text{ А}; I_{н.нтр.} = 2,2 - 3,2 \text{ А}$$

за наступними налаштуваннями на номінальний струм $I_{н.нтр.} = 2,5$



Рис. 5.5. Теплове реле

Перемикач режимів роботи.

- за напругою($U_{н.} > U_{т.}$), $U_{н.} \geq 220$;

- за струмом($I_{н.} > I_{н.т.}$), $I_{н.} \geq 2,5$.

З приведених умов вибираємо перемикач SA1 типу Harmony XB5 за такими технічними характеристиками: $U_{н.з.} = 240 \text{ В}$; $I_{н.з.} = 3 \text{ А}$.



Рис. 5.6. Перемикач режимів роботи

Сигнальні лампи.

Обираємо сигнальні лампи HL1, HL2, HL3 типу L2RR-L3.

Технічні характеристики:

- виступаючий тип розміщення з плоским круглим плафоном,
- висота виступаючої частини не більше 14 мм,
- діаметр монтажної частини – 22,5 / 25,5 мм,
- діаметр плафона – 28,5 мм,
для мереж напругою 110...240 В АС або 12...24В АС / DC в залежності від обраного блоку індикації,
- захист корпусу стандарту IP52,
- для робочої температури в діапазоні -15°C ... + 55°C.



Рис. 5.7. Сигнальна лампа L2RR-L3

Кнопки. Обираємо кнопки SB1, SB2 марки АсКо XB2-ЕН121

Технічні характеристики:

$U_{н.л.} = 230 \text{ В}; I_{н.зап.} = 1 \text{ А}$



Рис. 5.8. Кнопка АсКо XB2-ЕН121

5.3. Вибір проводів та кабелів

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

Площа поперечного перерізу жил проводів, шнурів і кабелів повинна вибиратися за довготривалими допустимими значеннями струму:

$$I_{tr.dop} \geq I_{roz}, \quad (5.10)$$

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

Для розгалуження до окремих електроспоживачів за максимальні тривалі робочі струми беруть їх номінальні струми, які визначаються за формулами:

а) для однофазних споживачів:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{U_{ном} \cdot \cos\phi_{ном}} \quad (5.11)$$

б) для трифазних споживачів:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном} \cdot \cos\phi_{ном}} \quad (5.12)$$

в) для трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим ротором:

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot P_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном} \cdot \eta_{ном} \cdot \cos\phi_{ном}} \quad (5.13)$$

Розрахунковий струм магістралей, від яких живиться кілька споживачів, розраховуються за формулою:

$$I_{м.роз.} = K_o \cdot \sum I_{ном(роз)} \quad (5.14)$$

де K_o - коефіцієнт одночасної роботи споживачів електроенергії,
 $\sum I_{ном(роз)}$ - сума номінальних всіх сил струму, А.

Монтаж у щиті робимо за допомогою одного типу проводу. Провід вибираємо за найбільшим струмом. Беручи це до уваги провід обираємо так щоб виконувалась умова: $I_{tr.dop} \geq I_{роз}$, де $I_{роз} = 6$ А.

Найбільш підходящим проводом є ПВ-1(1x1), із площею поперечного перерізу $S=0,5\text{мм}^2$, $I_{tr.dop}=6$ А.

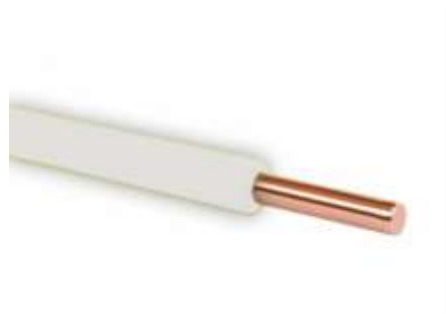


Рис. 5.9. Кабель типу ПВ-1(1x1)

Виконавчий механізм ГЗ-ОФВ за такими технічними характеристиками: $P_{ед} = 370$ Вт; $I_n = 2,5$ А; $\cos\varphi_n = 0,27$; $K_i = 5$; $I_{п} = 8,84$ А; $\eta_{ном} = 0,83$.

$$I_{ном} = \frac{10^3 \cdot 370}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,83 \cdot 0,27} = 2,5 \text{ А} \quad (5.15)$$

Вибираємо ПвВГ (3 x 2,5 (одножильн.)), площа поперечного перерізу $S = 2,5\text{мм}^2$.

Згідно із схемою електричних підключень, використовуємо відповідні провода і кабелі:

- $I_{тр.доп.} I_{ном.} QF1 = 17$ А.
- $U_{ном.} = 380$ В.
- кількість жил – 4.



Рис. 5.10. Кабель типу ПВВГ (3 x 2,5)

Обираємо ВВГ 4 x 16, площа поперечного перерізу $S = 16 \text{ мм}^2$



Рис. 5.11. Кабель типу ВВГ 4 x 16

Кабель до датчика.

- $I_{\text{тр. доп.}} = 0,8 \text{ А}$.
- $U_{\text{ном.}} = 220 \text{ В}$.
- кількість жил – 2+вита пара.

Обираємо КППЕ-ВП(100), $4*2*0,51+2*0,75 \text{ мм}^2$, площа поперечного перерізу $S=1 \text{ мм}^2$

5.4. Розробка електричних схем з'єднань та підключень системи керування

Схеми з'єднань виконують на підставі таких загальних правил:

- схеми з'єднань розробляють на один щит, пульт, статор, станцію керування;
- усі типи апаратів, приладів та арматури, що передбачені принциповою електричною схемою, мають бути повністю відображені на схемі з'єднань;

- позиційне позначення приладів та засобів автоматизації, а також маркування ділянок кіл, що прийняті на принципових схемах, потрібно зберегти на схемі з'єднань.

Застосовують три способи виконання схем з'єднань: адресний, графічний і табличний. Для перших двох, крім зазначених вище правил, слід виконувати ще декілька:

- щит або шафу керування розвертають в одну площину, показуючи лише ті їхні конструкції, на яких розміщуються прилади та засоби автоматизації при цьому зберігають взаємне розміщення приладів та засобів автоматизації;

- прилади та засоби автоматизації показують спрощено без збереження масштабу у вигляді прямокутників, над якими розміщують кола, розподілені рисою навпіл; цифри над рисою вказують порядковий номер виробу (номера присвоюються по-панельно зліва направо і зверху вниз), а під рисою – позиційне позначення цього виробу (відповідно до принципової електричної схеми). За потребою показують внутрішню схему апаратів.

- для кількох реле, що розміщені в одному ряду, внутрішню схему показують один раз, якщо вона у них одна й та сама.

- вивідні затискачі зображують колами, у середині яких показують їхнє заводське маркування; якщо у вивідних апаратів заводського маркування немає, то їх маркують умовно арабськими цифрами, що зумовлено пояснювальними надписами. Слід зазначити, що маркування проводів і позначення затискачів на схемах з'єднань є незалежними.

- платам, на яких розміщуються резистори, конденсатори та інші елементи, присвоюється лише порядковий номер (проставляється в колі над рисою); позиційне позначення елементів розміщують у безпосередній близькості від їхнього умовного графічного позначення.

Адресний спосіб є найбільш поширеним і полягає в тому, що лінії зв'язку між окремими елементами апаратів, які встановлюють на щиті або на

пульті, не показують, а замість цього у місці приєднання проводу на кожному апараті або елементі проставляють цифрову або літерно-цифрову адресу того апарата або елемента, з яким він електрично має бути зв'язаний (позиційне позначення згідно з принциповою схемою) або порядковий номер елемента. Це не загромождає схему лініями зв'язку, що дає змогу її легко читати.

Схема електрична з'єднань САК вологістю у хлібопекарській печі зображена в додатку В1, схема електрична підключень – в додатку В2.

5.5. Вибір щита керування

Панель керування являє собою металеву пластину з просвердленими в ній отворами для кріплення кнопок керування та перемикачів. Кількість та призначення команд визначається основним ланцюгом. Порядок команд відповідає логіці командних дій оператора, таких як запуск і зупинка сигналізації, вибір та керування двигуном, керування аварійними світлодіодами і т.д.

Великі розміри панелі визначаються габаритами використовуваних технічних засобів. Обладнання та пристрої, розміщені перед друкованими платами та пультами управління, розташовані відповідно до загальноприйнятих принципів справедливого та розумного розташування. Повинні бути забезпечені комфорт та ефективність роботи оператора, а також безпека обслуговування.

У щитах із зовнішнім керуванням (щити захищені задніми дверцятами).

(Для передніх і бічних дверей глибина або відстань між дверима і протилежною стіною не повинна перевищувати 600 мм) Обладнання з рухомими частинами в стіні. У пультах, як правило, в якості пристроїв для позиціонування повинні використовуватися тільки робоча поверхня (верхня

поверхня) пульта дистанційного керування і передня панель приладової дошки. Рекомендується встановлювати затискачі тільки на внутрішню стінку пульта дистанційного управління.

Прилади (або блоки приладів) на друкованих платах і пультах повинні групуватися за системою вимірювання, контролю і сигналізації наступним чином. Вид струму, напруги та тип пристрою. При розміщенні приладів і апаратури на друкованій платі або консолі відстань між відкритими між струмоведучими елементами різних фаз (полюсами) та між елементами і неізолюваними металевими частинами (корпусами) на ізолюваних поверхнях повинна бути не менше 20 мм, а в повітрі - 12 мм.

Пульт управління - шафового типу. Розміри панелі 600 x 800 x 260 мм були обрані експериментально.

Вимогам розміщення відповідають невеликі шафові панелі типу ШПК.
Зовнішній вигляд щита керування зображений в додатку В3.

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА ЛЮДИНО-МАШИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ ОПЕРАТОРА-ТЕХНОЛОГА

В якості програмного середовища для розробки інтерфейсу HMI / SCADA було обрано програмне середовище Zenon SCADA.

Zenon – це простий у використанні, але потужний програмний пакет для систем автоматизації, розроблений світовим лідером у HMI / SCADA-рішеннях COPA-DATA. Він використовується багатьма компаніями по всьому світу в області візуалізації процесів, машинних операцій та управління виробництвом.

Zenon пропонує простий об'єктно-орієнтований дизайн, повну сумісність та інтеграцію в єдину систему пристроїв, від окремих терміналів до пунктів управління, рівень безпеки відповідає міжнародним стандартам. Його відкритість дозволяє швидко та ефективно підключати будь-яке апаратне та програмне забезпечення (наприклад, програми ERP). Чудово працює на промислових ПК та пристроях Windows CE. Розробник пропонує найновіші програмні інтерфейси, такі як VSTA та VBA.

SCADA – програмний пакет, призначений для розробки або забезпечення систем реального часу для збору, обробки, відображення та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління. SCADA може входити до складу ACS TP, ASKOE, системи моніторингу навколишнього середовища, наукового експерименту, автоматизації будівель тощо. SCADA-системи використовуються у всіх галузях економіки, де потрібно забезпечити операторський контроль над технологічними процесами в режимі реального часу. Це програмне забезпечення встановлюється на комп'ютерах і використовує драйвери вводу-виводу або сервери OPC / DDE для зв'язку з об'єктом. Код програми може бути написаний однією з мов програмування та сформований у середовищі проектування.

Іноді системи SCADA оснащуються додатковим програмним забезпеченням для програмування промислових контролерів. Такі системи SCADA називаються інтегрованими, і до них додається термін SoftLogic.

Термін SCADA зазвичай позначає централізовані системи контролю та управління цілою системою або комплекси систем, що здійснюються за участю людини. Більшість контрольних дій виконуються автоматично RTU або PLC. Пряме управління процесом зазвичай забезпечується RTU або PLC, а SCADA контролює режими роботи.

Наприклад, PLC може контролювати потік охолоджуючої води в рамках частини виробничого процесу, а система SCADA може дозволяти операторам змінювати налаштування потоку, змінювати маршрути рідини, наповнювати певні резервуари та контролювати повідомлення про тривогу, такі як втрата потоку та високий температури. відобразитися, записуватись і на що оператор повинен своєчасно реагувати. Цикл управління зворотним зв'язком проходить через RTU або PLC, тоді як система SCADA контролює повне виконання циклу [18].

Перелік вхідних та вихідних сигналів та даних SCADA/HMI (таблиця даних SCADA/HMI) наведена на рис. 6.1.

Status	Name	Unit	M.	Net address	Data block	Start	Stop	Align	System	Driver	Data Type	Decimals	Start offset
	Клас			0	0	0	0	0		MOORTU32 - Mod...	BOOL		0
	T1_LTI			0	0	100	0	0		MOORTU32 - Mod...	INT	1	0
	T_SBI			0	0	15	0	0		MOORTU32 - Mod...	BDON	0	0
	Температура			0	0	0	0	0		MOORTU32 - Mod...	LREAL	0	0
	Температура[1]			0	0	0	0	0		MOORTU32 - Mod...	LREAL	0	0
	Температура[2]			0	0	1	0	0		MOORTU32 - Mod...	LREAL	0	0
	Температура[3]			0	0	2	0	0		MOORTU32 - Mod...	LREAL	0	0
	Температура[4]			0	0	3	0	0		MOORTU32 - Mod...	LREAL	0	0
	Flow			0	0	0	0	0		Inform - Driver for int...	Time		0
	Тиск			0	0	0	0	0		MOORTU32 - Mod...	LREAL	0	0
	Тиск[1]			0	0	0	0	0		MOORTU32 - Mod...	LREAL	0	0
	HEA_TC1_SP			0	0	202	0	0		MOORTU32 - Mod...	REAL	2	0
	Метр			0	0	0	0	0		MOORTU32 - Mod...	LREAL	0	0
	Метр[1]			0	0	0	0	0		MOORTU32 - Mod...	LREAL	0	0
	Ватра			0	0	0	0	0		MOORTU32 - Mod...	LREAL	0	0
	Ватра[1]			0	0	0	0	0		MOORTU32 - Mod...	LREAL	0	0
	Ватра[2]			0	0	1	0	0		MOORTU32 - Mod...	LREAL	0	0
	Швидкість			0	0	0	0	0		MOORTU32 - Mod...	LREAL	0	0
	Швидкість[1]			0	0	0	0	0		MOORTU32 - Mod...	LREAL	0	0

Рис. 6.1. Таблиця змінних використаних при розробці SCADA/HMI

Головне вікно дисплейних мнемосхем оператора зображене на рис. 6.2.

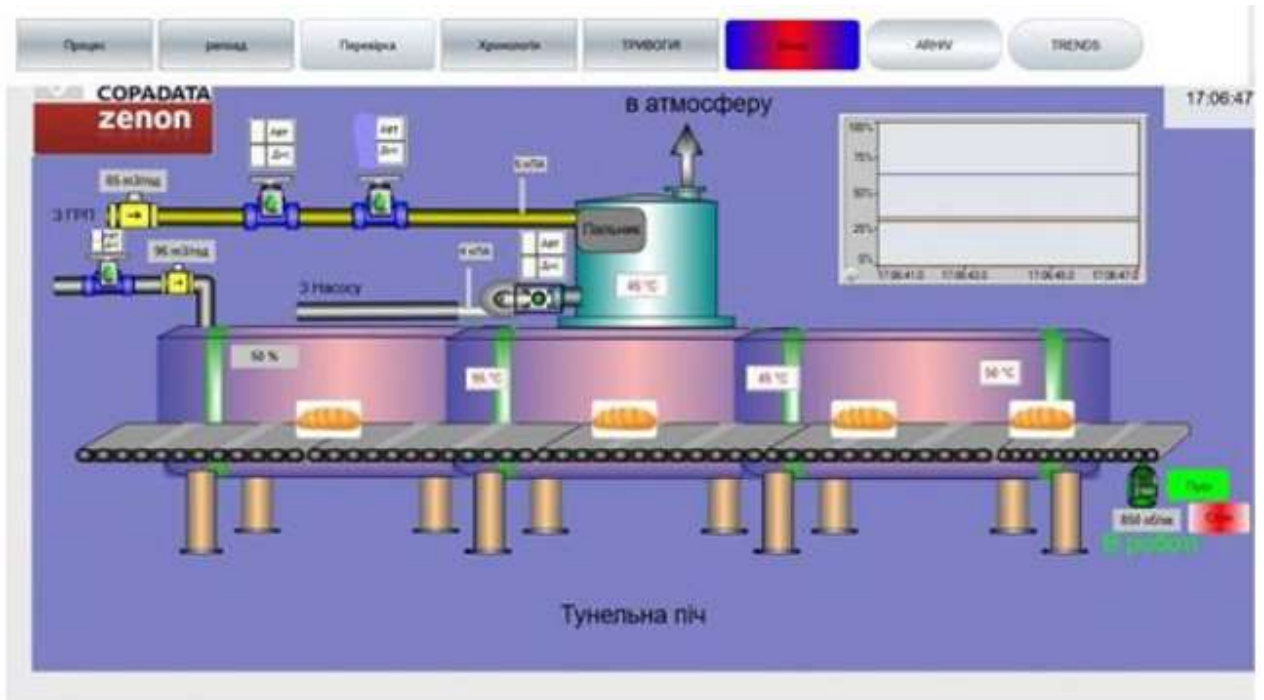


Рис. 6.2. Головне вікно дисплейних мнемосхем оператора (система автоматизації функціонує в нормальному режимі)

Вкладка "Хронологія системи автоматизації". На цьому вікні відображаються всі події в хронологічному порядку:

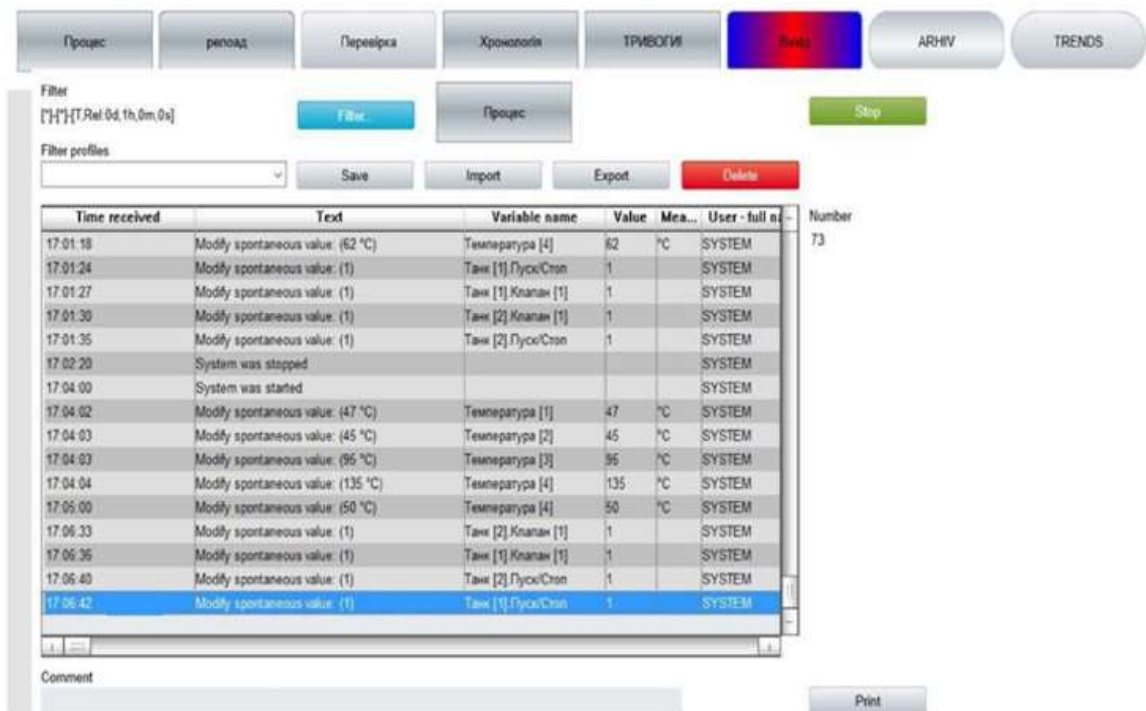


Рис. 6.3. Вкладка "Хронологія системи автоматизації"

Вкладка "Тренди системи автоматизації". На цьому вікні представленні у вигляді графіків всі зміни контролюючих параметрів.

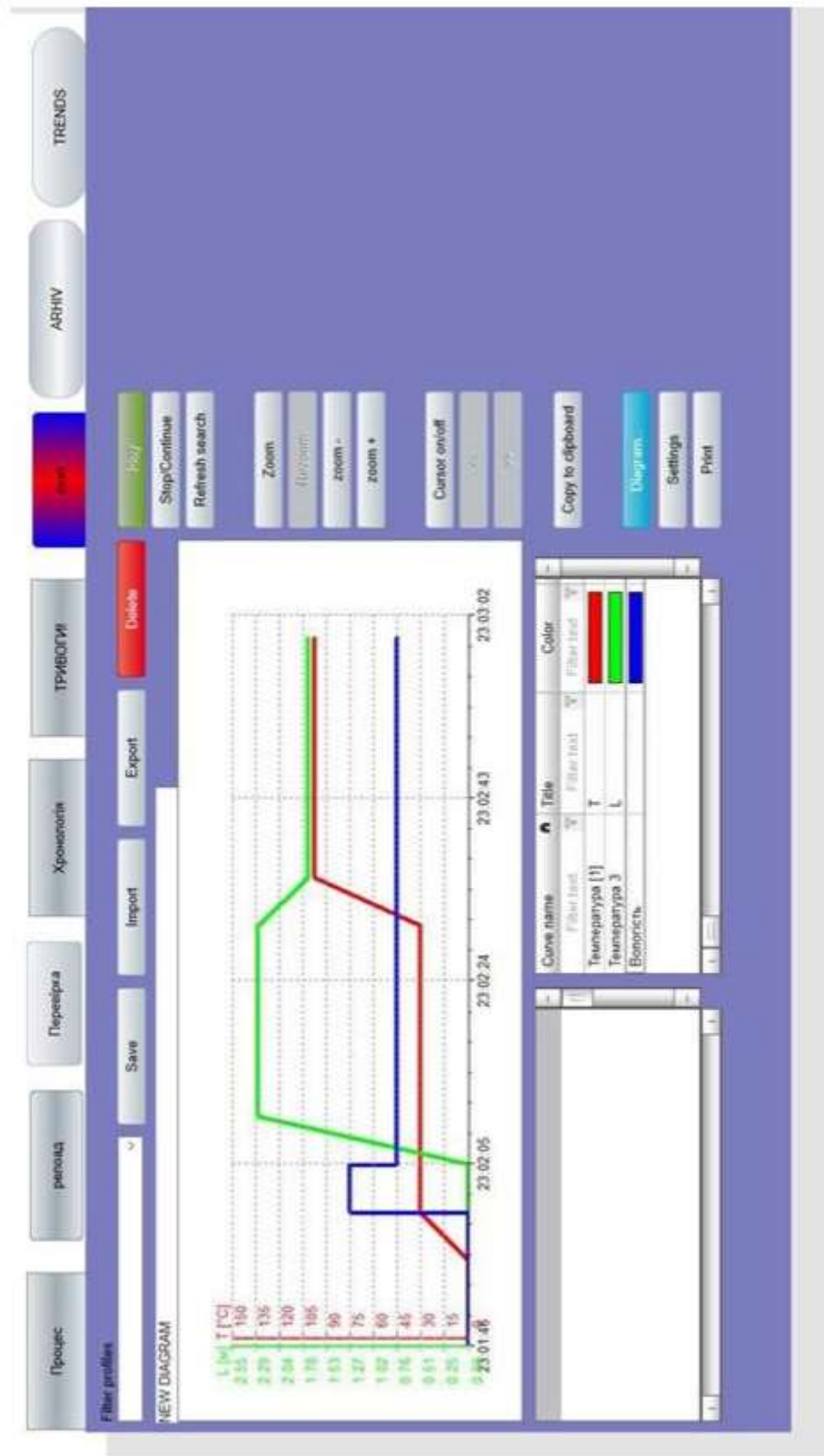


Рис. 6.4. Вкладка "Тренди системи автоматизації"

РОЗДІЛ 7

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ВОЛОГІСТЮ В ПЕЧІ

Автоматизація технологічних операцій спрямована на підвищення ефективності праці, збільшення виробництва продукції, зниження затрат праці, зниження цін на продукцію та енергоємності, скорочення терміну окупності інвестиційних витрат.

Найважливішим показником ефективності інвестицій у розвиток автоматизації є розрахункові загальні витрати. Враховується частка капіталовкладень на рік та річні експлуатаційні затрати.

Щоб зробити розрахунок зведених витрат можна за формулою:

$$B_z = C + E_n \cdot K \quad (7.1)$$

де B_z – зведені витрати, грн./рік; K – капітальні витрати, грн.; C – річні експлуатаційні витрати, грн./рік; E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

До експлуатаційних витрат відносять:

- затрати на оплату енергоресурсів (C_e);
- утримання основних засобів виробництва (C_y);
- оплату праці персоналу (C_3);
- інші прями затрати (C_d).

Затрати на заробітну плату персоналу, що експлуатуватиме системи автоматизації, приймаємо в розмірі $C_3 = 55$ грн./год.

Затрати на амортизацію беруть від балансової вартості обладнання та засобів автоматизації. Для даної роботи беремо $C_a = 14,2\%$.

Затрати на поточний ремонт обладнання визначають у відсотках балансової вартості.

Затрати на енергоресурси та електроресурси визначають з величини затрат електроенергії та її тарифам. Для виробничих цілей приймаємо 4,6 кВт·год.

$$C_c = P \cdot \Gamma \cdot 4,6 \text{ грн./рік}, \quad (7.2)$$

де: P- потужність виробничого об'єкта, кВт; Γ - кількість годин роботи на рік, год.

Час що зекономили при автоматизації дорівнюватиме $\Delta\Pi = 0,3 = 30\%$. Тобто річні експлуатаційні затрати дорівнюватимуть:

$$C = C_z + C_y + C_e + C_o, \quad (7.3)$$

Всі інші прямі затрати будуть рівними 1 % від загальної суми експлуатаційних витрат. Отож:

$$C = \sum C_i \cdot 1,01 \quad (7.4)$$

При визначенні капіталовкладень необхідно врахувати усі сумісні витрати, а саме:

- витрати на монтаж технічних засобів (K_M);
- торгівельно-транспортні і складські затрати ($K_{т.т.}$);
- ціну технологічних засобів автоматизації (K_3);
- прокладання внутрішньої електропроводки ($K_{пр}$);
- інші капітальні витрати, що пов'язані із здійсненням автоматизації (K_i).

Витрати на придбання визначають за номенклатурними довідниками та іншою довідниковою літературою.

Торгівельно-транспортні витрати будемо вважати рівними 11% від вартості технічних засобів:

$$K_{mm.} = 0,11 \cdot K_3 \quad (7.5)$$

Витрати на монтажні роботи знаходимо за актуальними цінами на монтажні роботи. Приблизно витрати на монтаж становлять 15...20 % від вартості технічних засобів, що необхідно змонтувати:

$$K_M = 0,15...0,20 \cdot K_3 \quad (7.6)$$

В нашому проекті беремо середнє значення – 17 %.

Також необхідно врахувати витрати на прокладку проводки. У наших розрахунках беремо, що ціна прокладання 1 м кабелю відкритим способом складає 14,3 – 29,7 грн., закритим способом (в трубі) 82,5 грн.

Усі інші витрати приймають рівними 2% від загальної суми капіталовкладень

$$K_i = 0,02 \cdot K_z$$

$$K = K_z + K_{m.m} + K_m + K_{np} + K_i \quad (7.7)$$

Загальна вартість технічних засобів автоматизації буде складати:

$$K_z = K_{сп} + K_{вп} + K_{кор}, \quad (7.8)$$

де $K_{сп}$ – кінцева вартість технічних засобів (таблиця 7.1)

Таблиця 7.1.

Кошторис на електротехнічне обладнання

№	Кількість	Найменування	Ціна 1шт, грн.	Ціна сумарна,
1	1	Siemens 5SL6306-7	534 грн.	534 грн.
2	1	Schneider Electric BA63	143,6 грн.	143,6 грн.
3	2	Аско ПМ 0-06-01	226 грн.	452 грн.
4	1	Siemens 3RU2116-1DB0	809 грн.	809 грн.
5	1	Harmony XB5	186 грн.	186 грн.
6	3	L2RR-L3	50 грн.	150 грн.
7	2	АсКо XB2-ЕН121	21 грн.	42 грн.
8	1	ETITEC-WENT TNC-S	6 289 грн.	6 289 грн.
9	1	ЩІТ керування	3 689 грн.	3 689 грн.

Сума: 12 294,6 грн.

$K_{сак}$ - загальна вартість системи автоматичного керування (таблиця 7.2),

$$K_{сак} = 9\,797,55 \text{ грн.};$$

$K_{вп}$ - загальна вартість ВМ та ПП (Таб. 7.2), $K_{вп} = 91\,150 \text{ грн.};$

Загальний кошторис системи автоматичного керування

№	Кіль- кість	Найменування	Ціна 1шт, грн..	Ціна сумарна, грн.
Система автоматичного керування				
1	1	ПЛК ОВЕН ПЛК 110	12400 грн.	12400 грн.
2	1	Вартість монтажу блоку	66 грн.	66 грн.
3	25	Кабель з'єднувальний	137,5 грн.	3 437,5 грн.
4	1	Кабель з'єднувальний RS-	46,75 грн.	46,75 грн.
5	5	Кабель мережевий	9,86 грн.	49,3 грн.
Виконавчі механізми та первинні перетворювачі				
1	1	Клапан КПСР 200	17500 грн.	17500 грн.
2	1	Електропривод ГЗ-ОФВ	16930 грн.	16930 грн.
3	1	Датчик вологості GPro 500	56720 грн.	56720 грн.

Отже маємо:

$$K_3 = 12\,294,6 + 9\,797,55 + 91\,150 = 113\,242,15 \text{ (грн.)}$$

Торгівельно-транспортні витрати розраховуються:

$$K_{mm} = 0,11 \cdot K_3 = 0,11 \cdot 113\,242,15 = 12\,456,64 \text{ (грн.)}$$

Затрати на монтаж технічних засобів розраховується:

$$K_m = 0,17 \cdot K_3 = 0,17 \cdot 113\,242,15 = 19\,251,17 \text{ (грн.)}$$

Інші кап. затрати становитимуть 2% від суми капітальних вкладень:

$$K_i = 0,02 \cdot 113\,242,15 = 2\,264,84 \text{ (грн.)}$$

Знайшовши суму капітальних вкладень, яка дорівнює:

$$K = K_3 + K_{mm} + K_m + K_i = 113\,242,15 + 12\,456,64 + 19\,251,17 + 2\,264,84 = 147\,214,8 \text{ (грн.)}$$

знайдемо відрахування на амортизацію:

$$C_a = 0,142 \cdot K = 0,142 \cdot 147\,214,8 = 20\,904,5 \text{ (грн.)}$$

Затрати на поточний ремонт становлять:

$$C_{np} = 0,18 \cdot K = 0,18 \cdot 147\,214,8 = 26\,498,66 \text{ (грн.)}$$

Утримання основних засобів виробництва становитимуть:

$$C_y = C_a + C_{np}; C_y = 20\,904,5 + 26\,498,66 = 47\,403,16.$$

Затрати на енергоресурси становитимуть:

$$C_e = P_{\text{ном}} \cdot \Gamma \cdot 2,7, \quad (7.9)$$

де $P_{\text{ном}}$ - потужність ВМ, кВт, $P_{\text{пот}} = 0,37$ кВт; Γ – загальна кількість годин роботи, $\Gamma = 300 \cdot 24 = 7200$ (год.) піч працює 300 днів на рік.

Таким чином:

$$C_e = 0,37 \cdot 7200 \cdot 2,7 = 7\,192,8 \text{ (грн.)}$$

Витрати на оплату праці персоналу, що пов'язаний з експлуатацією системи автоматики (у нашій роботі 1 оператор наладчик) становить:

$$C_3 = 1 \cdot 55 \cdot 300 \cdot 8 = 132\,000 \text{ (грн.)},$$

де: 1 - кількість операторів і наладчиків, чол.;

55 грн./год. - ставка оператора наладчика за годину;

300 - кількість днів роботи за рік;

8 - кількість робочих годин на добу.

Таким чином річні експлуатаційні затрати матимуть вигляд:

$$C = C_y + C_e + C_3 = 47\,403,16 + 7\,192,8 + 132\,000 = 186\,595,96 \text{ (грн.)}$$

Розрахувавши річні експлуатаційні затрати і капітальні вкладення, можна визначити зведені витрати:

$$B_{\text{зв}} = C + E_n \cdot K = 186\,595,96 + 0,15 \cdot 147\,214,8 = 208\,678,18 \text{ (грн.)}$$

Таким чином чистий прибуток визначатиметься за формулою:

$$\text{Ч} = \Delta C_3 + \Delta C_e$$

ΔC_3 - прибуток за рахунок економії заробітної платні, грн;

ΔC_e - прибуток за рахунок економії електричної енергії, грн.

$$\Delta C_3 = C_3 - (1,2 \cdot \Gamma \cdot n_{\text{роб}} \cdot 0,1) = 132\,000 - (1,2 \cdot 7200 \cdot 1 \cdot 2,7) = 108\,672 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta C_e = C_e - (P \cdot \Gamma \cdot 0,1 \cdot \Delta \Pi) = 7\,192,8 - (0,37 \cdot 7200 \cdot 2,7 \cdot 0,3) = 5\,034,96$$

Чистий прибуток становитиме:

$$\text{Ч} = 108\,672 + 5\,034,96 = 113\,706,96 \text{ (грн.)}$$

Визначимо термін за який установка повністю окупиться:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{K}{\text{Ч}} = \frac{147\,214,8}{113\,706,96} = 1 \text{ рік } 5 \text{ міс.}$$

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень дорівнюватиме:

$$E = 1/T_{окун} = 0,78 \quad (7.11)$$

$$E(0,78) > E_n(0,15) \quad (7.12)$$

таким чином, економічні показники, що ми розрахували показали, що чистий прибуток складає 108 672 грн., а строк, за який розроблена система автоматика повністю окупається, становить 1 рік і 5 місяців.

Можемо зробити висновок про доцільність впровадження розробленої системи автоматичного керування вологістю у хлібопекарській печі.

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської роботи було вдосконалено систему автоматизації технологічного процесу випікання продукції у хлібопекарській печі на базі програмованого логічного контролера ОВЕН.

В результаті дослідження визначені вимоги до формування системи керування, розроблено функціональну схему автоматизації системи керування хлібопекарською піччю та алгоритм роботи відповідного технологічного обладнання, обґрунтований вибір алгоритму керування об'єктом, розроблено імітаційну модель та досліджено вплив збурень.

Перевірка якості функціонування САК виявила, що система є стійкою, час регулювання складає 47 с, величина перерегулювання складає 4,3%, коливальність 1, відсутня статична похибка.

Для реалізації системи автоматичного керування хлібопекарською піччю тунельного типу обґрунтовано вибір сучасних технічних засобів автоматики з використанням програмованого логічного контролера ОВЕН ПЛК110, розроблені електричні схеми: принципова, з'єднань, підключень, а також засоби візуалізації та диспетчеризації технологічного процесу із людино-машинним інтерфейсом.

Економічні розрахунки обґрунтували доцільність впровадження розробленої системи керування хлібопекарською піччю, строк окупності складає 1 рік 5 місяців.

ЛІТЕРАТУРА

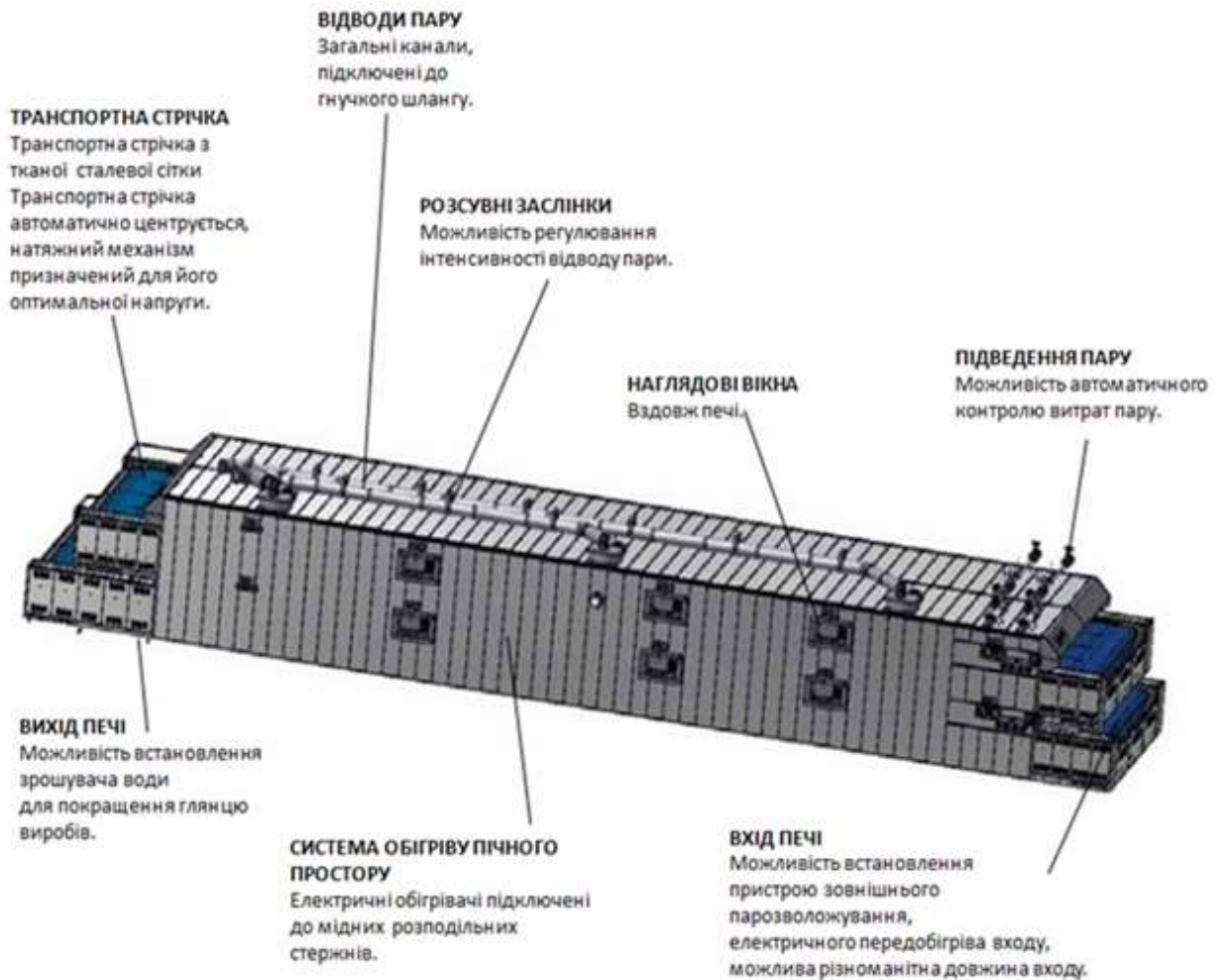
1. Бондаренко В.Г. Сучасне обладнання хлібопекарської галузі. Харчова і переробна промисловість. 2005. № 1. С.26-27.
2. Гончаренко Б.М., Ладанюк А.П. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій підручник. – 2014. – Київ: НУХТ. – 600 с.
3. Драганов Б.Х., Міщенко А.В., Борхаленко Ю.О. Основи теплотехніки і гідравліки: Навчальний посібник / За ред. Б.Х. Драганова. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 495с.
4. Дробот В.І. Технологія хлібопекарського виробництва. / В.І. Дробот. - К.: Логос, 2002. – 327 с.
5. 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.
6. Ельперін І.В. Промислові контролери: Навчальний посібник [Текст] / І.В. Ельперін. – К.: НУХТ. – 2003. – 320 с.
7. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів / В. Лисенко, Є. Чернишенко, В. Решетюк, В. Мірошник, Н. Заєць, І. Цигульов – К.:Аграр Медіа Груп, 2016. – 476 с.
8. Ковальов Н.І., Куткіна М.М., Кравцова В.А. Технологія приготування їжі. – К.: Видавничий дім "Ділова література", 2009. – 480 с.
9. Матвєєва І.В. Біотехнологічні основи приготування хліба / І.В. Матвєєва, І.Г. Білявська. – К.: Делі-принт, 2001. – 150 с.
10. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни «Загальна технологія переробних і харчових виробництв» для підготовки фахівців у ВНЗ III–IV рівнів акредитації. Галузь знань – 13 «Механічна інженерія». Спеціальність – 133 «Галузеве машинобудування». Освітній ступінь – «Бакалавр» / В.П.Янович, О.В. Цуркан, В.М. Пазюк ; Вінн. нац. аграр. ун-т. – Вінниця: ВНАУ, 2018. – 92 с.
11. Навчальне видання: Методичні вказівки щодо оформлення матеріалів курсової роботи з дисциплін: "Проектування систем автоматики", "Проектування систем електрифікації, автоматизації та енергопостачання АПК", "Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК" / В.П. Лисенко, І.М. Болбот, О.І. Задорожній. – Київ, Видавничий центр НАУ, 2007. – 48 с.
12. Нові технічні рішення в проектуванні обладнання для теплової обробки харчової сировини : монографія: в 3 ч. / Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі ; за заг. ред. О. І. Черевка, В. М. Михайлова. – Х. : ХДУХТ, 2012. – Ч. 3: Підвищення ефективності теплового обладнання з інфрачервоним нагріванням / В. П. Плевако, С. М. Костенко, І. П. Педорич. 2012. – 129 с.

13. Основи автоматики та автоматизації : навч. посіб. / Є. П. Пістун, І. Д. Стасюк; Нац. ун-т "Львів. політехніка". - Львів, 2014. - 333 с. - Бібліогр.: с. 303-304.
14. Потапов В. О. Моделювання процесів і обладнання харчових виробництв / В. О. Потапов, А. М. Поперечний, В. Г. Корнійчук. К. : Центр учбової літератури, 2012. 312 с.
15. Проектування технологічних процесів в переробній галузі : навч. посіб. / О. Я. Стрельчук, І. М. Бендера, В. І. Дуганець, В. В. Девін, М. І. Бендера, Я. М. Михайлович; Поділ. держ. аграр.-техн. ун-т. - Кам'янець-Поділ. : ФОП Сисин О.В.: Абетка, 2009. – 459 с.
16. Пучкова Л.І. Лабораторний практикум з технології хлібопекарського виробництва. – К: Харчова промисловість, 2001. – 192 с.
17. Технологічне устаткування хлібопекарського, макаронного і кондитерського виробництв / В. Ф. Петько, О. І. Гапонюк, Є. В. Петько, А. В. Ульяницький [та ін.; за ред. О. І. Гапонька. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 432 с.
18. Технологія хлібопекарського виробництва. Курс лекцій для учнів спеціальності "Пекар". [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://vpu7.com.ua/documents/e-library/spec-tech-kp/tehnologiya-hlibopekarskogo-vyrobnyctva.pdf>
19. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: навч. посібник [Текст]/ В.Г. Трегуб. – К. Видавництво: Ліра, 2015.
20. Хорольський В.П., Кореноць Ю.М., Возняк А.В., Омельченко О.В., [та ін.] за ред. В.П. Хорольського. Інтелектуальні системи управління виробництвом хлібобулочних виробів. – Кривий Ріг – ФОП Чернявський Д.О. – 2019. – 204 с.
21. SCADA. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/SCADA>
22. Технологія хлібопекарського виробництва. Курс лекцій для учнів спеціальності "Пекар". [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://vpu7.com.ua/documents/e-library/spec-tech-kp/tehnologiya-hlibopekarskogo-vyrobnyctva.pdf>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А1

Тунельна хлібопекарська піч (загальний вигляд)



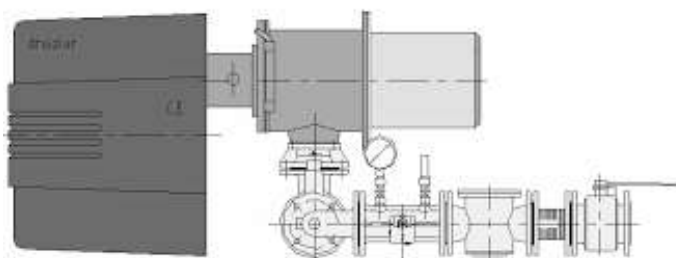
ДОДАТОК АЗ

Технічні характеристики тунельної хлібопекарської печі Gostol

Параметр	Величина
Довжина, м	27
Ширина, м	3,2
Висота, м	3,4
Довжина пекарної камери, м	25
Ширина поду печі, м	2,5
Продуктивність, т/добу	25
Площа поду печі, м ²	50
Витрата газу, м ³ /т	76,5
Потужність електроприводу, кВт	14,0
Витрати етану при випічці ХБВ, м ³ /год.	12,5
Споживання електроенергії, кВт·год.	7
Витрата пари при випіканні ХБВ, кг/год.	40
Тривалість розігрівання печі, год.	1-1,5
Маса печі, т	17,7
Вид палива	Природний газ низького тиску

Технічні характеристики газового пальника M121 ARZ Marathon печі Gostol

Параметр	Значення
Теплова потужність, кВт	25-185
Вид газу	Низького тиску
Категорія виду палива	П2R3R
Тиск газу, Бар	До 4
Вид регулювання	моделювання
Точність регулювання	До 1:10
Регулюючий сигнал, В, Гц	220/230, 50
Потужність вбудованого електроприводу, кВт	0,37
Напруга живлення, В, Гц	380, 50



Пальник M121 ARZ Marathon

ДОДАТОК Б1

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	від мінус 3-5 В (струм 15 мА)

(струм у колі)

Мінімальна тривалість імпульсу,
який сприймається дискретним
входом

- для звичайних входів
- для швидкодіючих

1 мс

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 ± 3 В

Групова

Гальванічна розв'язка

Електрична міцність ізоляція між групою дискретних входів та:

- колами живлення
- групами кіл дискретних виходів
- групами інших кіл

1780 В

1780 В

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 ДС-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;
АЦП	14 біт
Вхідний опір:	
У режимі вимірювання струму	Не більш ніж 170 Ом
У режимі вимірювання напруги	Не менше 200 кОм
Період опитування аналогових входів	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	
ЦАП	$\pm 0,5\%$
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,

Об'єм енергонезалежної пам'яті	128 кб для змінних користувальницької програми 4 Мб (DataFlash), из них 3 Мб доступно для зберігання файлів та архівів
Розмір Retain-пам'яті	не більше 16 кб (за умовчанням встановлено значення 4 кб.)
Час виконання одного циклу програми	<ul style="list-style-type: none"> – Мінімальний (що не стабілізується) -250 мкс; – встановлений за умовчанням (стабілізований) -1 мс (налаштовується у вікні "Конфігурація ПЛК (PLC Configuration) ПЗ CoDeSys
Додаткове обладнання	<ul style="list-style-type: none"> – 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 Б2

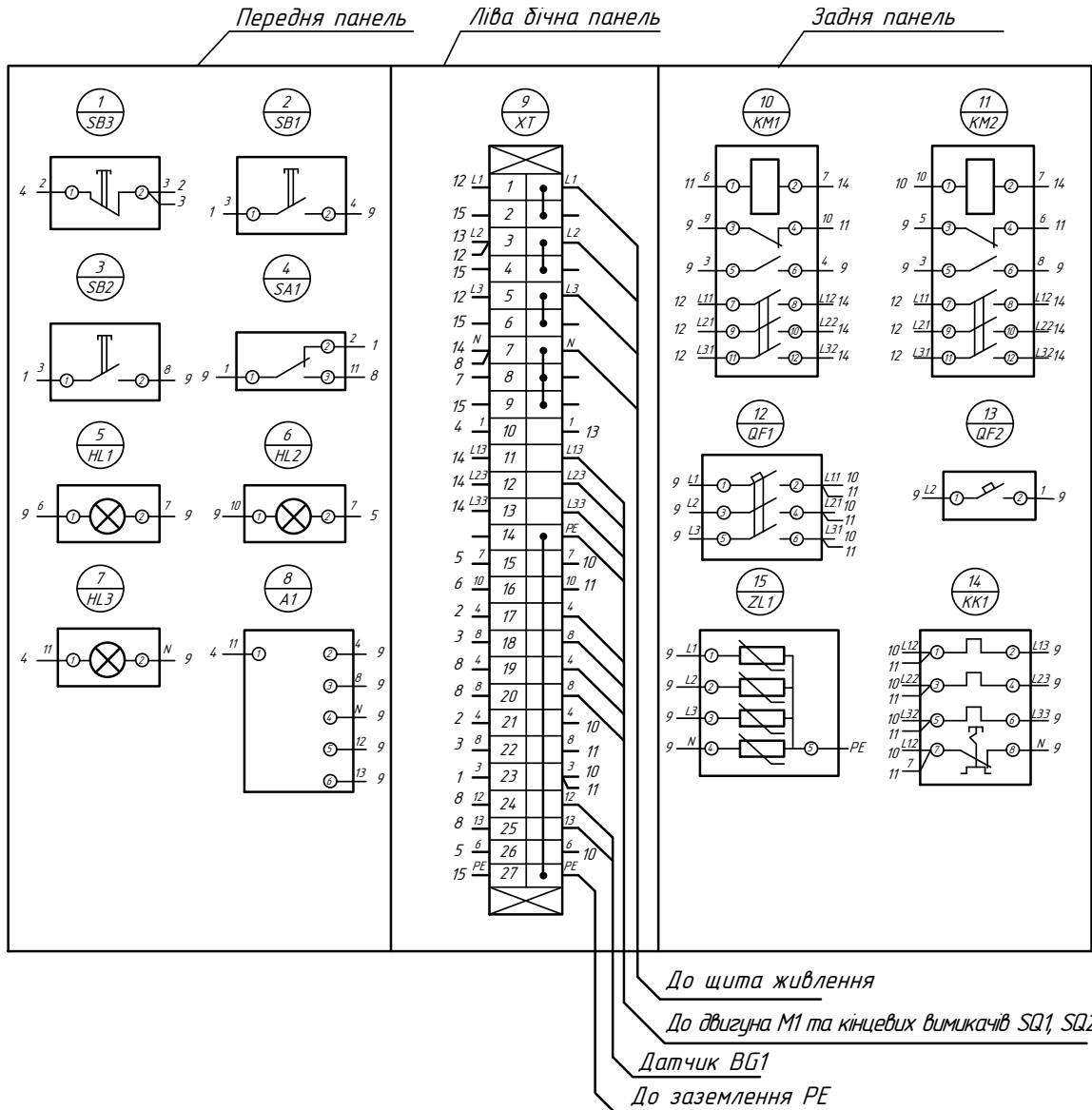
Інтерфейси зв'язку та програмування
контролера ОВЕН ПЛК110

Інтерфейс и зв'язку	Протоколи (тип зв'язку та особливості роботи)	Формат передавання даних	Швидкість передавання	Довжин а кабелю, м, не більше	Рекомендовани й тип кабелю
RS-485	Modbus-RTU, ModBus ASCII- DCON, ОВЕН	7 або 8 біт, парність є\немає\не використовуєтьс я, 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 використовуєтьс я, 1 або 2 стоп біти	1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200 , 28800, 38400 , 57600, 11520 0 біт/с	3	-
RS-232- Debug	ModBus-RTU (тільки slave), ModBus-ASCII, DCON, GateWa у (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 UTP (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

ДОДАТОК В1

САК технологічними параметрами в тунельній хлібопекарській печі.

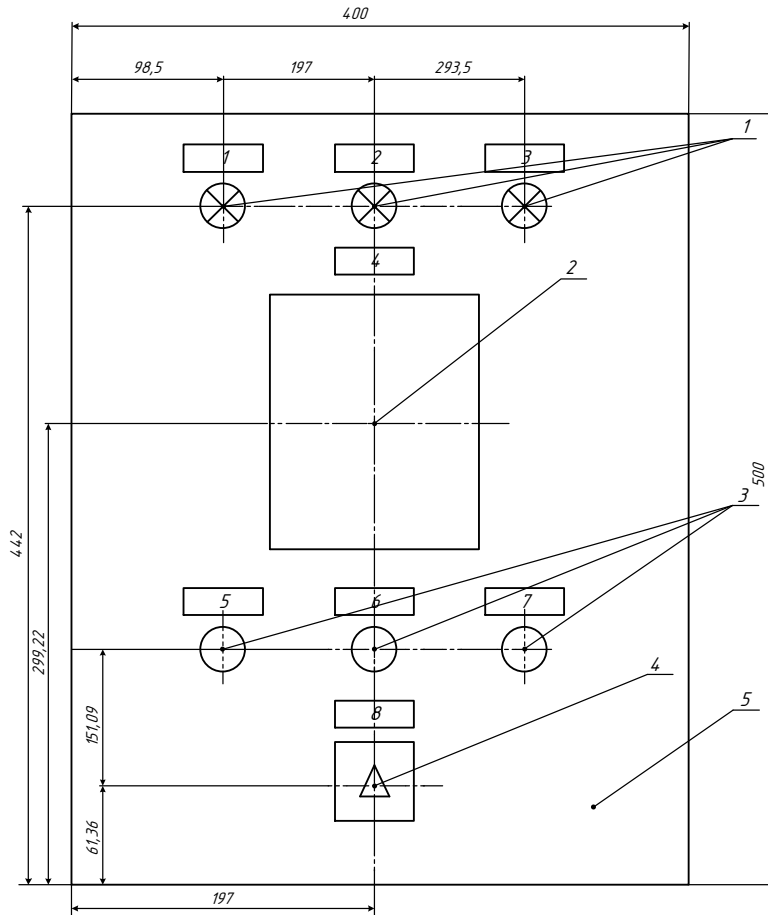
Фрагмент схеми електричної з'єднань



ДОДАТОК ВЗ

САК технологічними параметрами в тунельній хлібопекарській печі.

Зовнішній вид щита керування



Поз.	Найменування	Примітка
1	Сигнальні лампи HL1, HL2, HL3	
2	Контролер ОВЕН ПЛК110	
3	Кнопки SB1, SB2, SB3	
4	Двопозиційний перемикач SA1	
5	Щит шафний	

Поз.	Текст в рамках	Примітка
1	Автоматичний режим	
2	Клапан відкритий	
3	Клапан закритий	
4	ОВЕН ПЛК110	
5	Стоп	
6	Клапан відкритий	
7	Клапан закритий	
8	Ручний/Автоматичний режим	