

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Довбиш А.С.

_____ 2019 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: «Автоматизована система керування піччю у складі лінії виготовлення
бісквітів»

Керівник роботи:

к. ф.-м. наук, доцент

Соколов С.В.

Дипломник:

Група СУ. м-81

Дубовик А.М.

Суми – 2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Довбиш А.С.

_____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на диплому роботу студенту

Дубовику Андрію Миколайовичу

1. Тема проекту: Автоматизована система керування піччю у складі лінії виготовлення бісквітів.
2. Затверджено наказом ректора університету. № 2342-III від "27" листопада 2019р.
3. Термін здавання студентом закінченого проекту "20" грудня 2019р.
4. Вихідні дані до проекту: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, технічна документація та перелік літературних джерел з матеріалами опису і автоматизації технологічного процесу відповідної установки.
5. Зміст пояснювальної записки: огляд існуючих систем керування піччю, переваги та недоліки газових тунельних печей, модернізація існуючої системи,

методи покращення існуючої системи, енергоефективність після модернізації, доведення економічності системи, розгляд охорони праці.

6. Перелік графічних матеріалів: 57 рисунки, 6 таблиці, 4 додатків.

7. Календарний план проектування

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання (початок - кінець)
1	Аналіз завдання кафедри. Підбір та аналіз літератури і першоджерел.	25.11.2019 – 26.11.2019
2	Огляд існуючих систем керування піччю.	27.11.2019 – 02.12.2019
3	Створення математичної моделі автоматизованої системи керування піччю.	03.12.2019 – 08.12.2019
4	Створення регуляторів для системи автоматизації	09.12.2019 – 13.12.2019
5	Розроблення основних схем автоматизації.	14.12.2019 – 15.12.2019
6	Проведення кошторису та розгляд питань щодо охорони праці.	16.12.2019 – 17.12.2019
7	Оформлення дипломної роботи та супровідної документації.	20.12.2019

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних наук
Секція комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

_____ Довбиш А.С.

_____ 2019 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА

на тему: «Автоматизована система керування піччю у складі лінії виготовлення
бісквітів»

Керівник роботи:

к. ф.-м. наук, доцент

Соколов С.В.

Дипломник:

Група СУ. м-81

Дубовик А.М.

Суми - 2019

РЕФЕРАТ

Дубовик Андрій Миколайович. Автоматизована система керування піччю у складі лінії виготовлення бісквітів. Кваліфікаційна робота магістра. Сумський державний університет. Суми 2019 р. Кваліфікаційна робота містить 86 аркушів пояснювальної записки, 57 рисунків, 6 таблиць; 1 конструкторську документацію, що містить 1 креслення, 1 специфікацію, 0 демонстраційних плакатів.

Об'єкт детального вивчення є піч випікання бісквітів. Розроблено вдосконалення до реальної лінії виготовлення бісквітів. Вивчена технічна документація по роботі даної виробничої лінії.

Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження автоматизованої системи керування піччю у складі лінії виготовлення бісквітів та ефективна модернізація, яка допоможе залишатися даній системі конкурентоспроможною з новим обладнанням.

Методом дослідження є створення математичної моделі даної системи та аналіз аварійних ситуацій, які спричиняють до зупинки та не дають даній системі працювати на повну потужність.

Новизна даної системи полягає в додаванні п'ятої секції, шляхом якої буде більш плавний перехід температури між секціями, та можливість переходу в чотирьох-секційний режим роботи у випадку виходу зі строю однієї з п'яти секцій, який не дасть зупинитися процесу.

Особливостями досліджуваного об'єкта є те, що піч використовує природний газ, який дає змогу швидкого нагріву, що допомагає постійно тримати потрібну температуру. Завдяки щільному з'єднанню конструкції з теплоізолюючих матеріалів і гарній звукоізоляції в межах зон нагріву допомагає досягти найбільшого коефіцієнта корисної дії.

Галузь застосування - харчові підприємства. Ця галузь має потужний потенціал і є однією з найрозвинутіших в промисловості України.

Економічна ефективність даної роботи полягає в вдосконаленні застарілого обладнання та встановлення нових більш енергоефективного та більш надійного обладнання.

Основним результатом роботи є отримання гнучкої системи, яка дозволяє уникнути простоїв, мати більш надійне та енергозберігаюче обладнання.

Ключові слова: автоматизована система управління технологічним процесом; піч; програмований логічний контролер; система управління; панель управління.

ЗМІСТ	
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СИСТЕМИ	12
1.1 Сучасний стан проблеми та актуальність вирішення	12
1.2 Опис загального технологічного процесу випікання	14
РОЗДІЛ 2 ЦІЛІ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ.....	15
2.1 Переваги модернізації та постановка завдання.....	15
2.2 Розрахунок для встановлення п'ятої секції.....	18
2.3. Розподіл температури в кожній секції.....	22
2.4. Дослідження енергоефективності нового мотор-редуктора.....	26
2.5 Інтеграція частотного перетворювача в систему керування	29
2.6 Розгінна характеристика. Ідентифікація. Вибір регулятора.	33
2.7 Надійність модернізованої системи.....	40
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ СИСТЕМИ	43
3.1 Аналіз об'єкту	43
3.2 Розробка контурів керування системи	43
3.2.1 Розробка контуру керування наявності лотка з продукцією на вході/виході з печі.....	44
3.2.2 Розробка контурів регулювання температури у відсіках печі	46
3.2.3 Контур двигуна.....	48
3.3 Керуючі прилади	53
3.4 Розробка функціональної схеми автоматизації	55
РОЗДІЛ 4 ВІЗУАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПЕЧІ	56
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	58
5.1 Ефективність вдосконалення	58
5.2 Глобальна ефективність автоматизації	61
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ	63
ВИСНОВКИ	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	66
ДОДАТОК А Таблиця вхідних-вихідних сигналів.....	68

ДОДАТОК Б Електрично принципова схема підключення електрообладнання	71
ДОДАТОК В Функціональна схема автоматизації.....	80
ДОДАТОК Г ОХОРОНА ПРАЦІ	81

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУ	-	Автоматизована система управління;
АСУТП	-	Автоматизована система управління технологічним процесом;
АТК	-	Автоматизований технологічний комплекс;
ВНЗ	-	Вищий навчальний заклад;
ГПП	-	Газовий повітродувний пальник;
ЕМС	-	Електромеханічна система;
ЕМСК	-	Електромеханічна система керування;
ІМП	-	Інформаційно-матеріальні потоки;
ОП	-	Обслуговуюче приміщення;
ПК	-	Персональний комп'ютер;
ПЛК	-	Програмований логічний контролер;
ПО	-	Панель оператора;
ПУ	-	Панель управління;
ПЧ	-	Перетворювач частоти;
СА	-	Система автоматики;
САУ	-	Система автоматичного управління;
СУ	-	Система управління;
ТП	-	Технологічний процес;
ЧП	-	Частотний перетворювач.

ВСТУП

Актуальність дослідження полягає в тому що на сьогодні, заводи, які використовують старе обладнання можна поділити на два типи. Перші, повністю викидають старе обладнання та встановлюють дуже дороге, але нове обладнання. Інші, переважна більшість українських заводів, не бажають йти нога в ногу з сучасністю та працюють по принципу «поки працює, хай працює до останнього».

Проблема полягає в тому, що інколи обидва типи помиляються. На мою думку, якщо у вас не має коштів щоб придбати нову виробничу лінію, ви може покращити, вдосконалити свою стару лінію або якщо у вас достатньо коштів для придбання нової лінії то чи завжди це є правильним рішення. Авжеж, кожен з вище перерахованих принципів має право на існування. Але дуже часто від даного рішення іноді залежать не тільки перспективи або подальша стратегія роботи підприємства, а й часто його майбутнє.

Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження автоматизованої системи керування піччю у складі лінії виготовлення бісквітів. Проаналізувавши слабкі місця об'єкту, запропонувати розв'язанням проблеми на основі моделювань та розрахунків системи керування та довести, що модернізація допоможе залишатися даній системі конкурентоспроможною з новим обладнанням.

Об'єктом дослідження виступає чотирьох секційна тунельна піч випікання бісквітів. Піч використовує природний газ в якості горючого, це дає змогу швидкого нагріву, що допомагає постійно тримати потрібну температуру. Всі зони знаходяться під контролем різних зон нагріву, і кожна з цих зон нагріву температури регулюється або виконує попередні налаштування, всі налаштування відображаються в цифровому вигляді, що спрощує роботу оператора. Завдяки щільному з'єднанню конструкції з тепло ізолюючих матеріалів і гарній звукоізоляції в межах зон нагріву допомагає досягти найбільшого коефіцієнта корисної дії.

Основним недоліком даної системи є те, що СУ такої печі, на даний момент, не враховують можливість виникнення позаштатної ситуації, пов'язаної з поломкою або виходу з ладу будь-якого обладнання, також присутні вузли які керуються застарілим виконуючими механізмами, що у свою чергу призводить до не ефективного використання електроенергії та за рахунок застарілості підтверджені частими помилками у своїй роботі, що у свою чергу призводить до простоїв та браку. Таким чином після проведення аналізу найчастіших поломок отримуємо проблему, що при будь-якій дрібній поломці для її усунення треба зупиняти всю піч, інколи навіть доводиться чекати її повного охолодження.

Щоб розв'язати дану проблему треба виконати *завдання*, які допоможуть вирішити та зрозуміти ефективність модернізації даної системи, а саме:

- розглянути дану систему та подібні до неї;
- проаналізувати процес, його недоліки та переваги;
- розробити найефективніший метод модернізації.

Новизна даної системи в додаванні п'ятої секції, за рахунок якої буде більш плавний переходу температури між секція та у випадку виходу зі строю однієї з п'яти секцій, досліджено та запропоновано можливість переходу в чотирьох секційний режим роботи, який не дасть зупинитися процесу, такий собі робочий резерв.

Після даного дослідження отримуємо гнучку систему, яка дозволяє уникнути простоїв, отримати більш економічне обладнання в плані витрати електроенергії і найголовніше, покращення продукції за рахунок більш точних налаштувань параметрів печі, тобто точним дотриманням технологічних процесів.

Головна *цінність* даної модернізації – це забезпечити систему елементами з більш високою надійністю з мінімальним терміном окупності, а також впровадити алгоритм який дозволить продовжувати виробництво, в разі виникнення будь-якої поломки.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД СИСТЕМИ

1.1 Сучасний стан проблеми та актуальність вирішення

Галузь застосування є харчові підприємства. Ця галузь постійно розвивається, має потужний потенціал і є одним з лідерів найрозвинутіших галузей в промисловості України. Необхідно відмітити, харчова промисловість має стабільний попит завжди, окрім того, загальний обсяг споживання виробів щорічно зростає.

На сьогоднішній день, старі заводи поділяються на два лагери. Одні повністю викидають старе обладнання та встановлюють дуже дороге але нове обладнання. Інші, переважна більшість українських заводів не бажають йти нога в ногу з сучасністю та працюють по принципу «поки працює, хай працює до останнього», що на мою думку є в корні не вірним принципом, якщо у вас не має коштів щоб придбати нову виробничу лінію, ви може покращити, вдосконалити свою стару лінію. Авжеж, кожен з вище перерахованих принципів має право на існування. Але дуже часто від даного рішення іноді залежать не тільки перспективи або подальша стратегія роботи підприємства, а й часто його майбутнє.

Можливо, нова лінія стане вигідніше старій по різних причинах, але це твердження справедливе лише у тому випадку коли старе обладнання зовсім не справляється зі своєю задачею, старе обладнання не можливо модернізувати, а в усіх інших випадках старе обладнання не завжди поступається новому, до того ж модернізувати старе обладнання в багато разів швидше і економніше ніж купувати нове інколи достатньо перекомутувати електричну шафу, додати сучасні електричні прилади і ми отримує зовсім нову машину (рис. 1.1 та 1.2).



Рисунок 1.1 - Перекомутація електричної шафи гільйотини



Рисунок 1.2 - Перекомутація електричної шафи печі випікання

Головною перевагою старого обладнання перед новим – це простота модернізації. Підчас заміни старого обладнання на нове виникає потреба в демонтажі та утилізації старого обладнання, а це як відомо додаткові затрати, і дуже часто не маленькі. У відсутності потреби демонтажу інколи занадто габаритних ліній, що призводить до зупинки інших ліній, а підчас модернізації старе обладнання найчастіше просто забезпечується якимось навісним обладнанням і продовжує функціонувати далі. Підприємство отримує нову установку за дуже вигідною ціною, а точніше в десятки, а інколи в сто разів вигідніше ніж ціна щойно виготовленого нового обладнання. Тому тема модернізації і покращення виробництва не може не бути актуальною.

Об'єктом, наведеної роботи є автоматизована система керування піччю у складі лінії виготовлення бісквітів, яка дійсно існує та працює на підприємстві «Mondelēz International».

1.2 Опис загального технологічного процесу випікання

Початок виготовлення бісквітів починається зі складу сипучих або як називають у народі «сирих» інгредієнтів. В кожного інгредієнту є власний резервуар куди оператор постійно додає та слідкує за наявністю, так як в кожного з інгредієнтів є власна кімната де вони зберігаються. З кімнати інгредієнти потрапляють до резервуару, а з резервуару по трубах в потрібній кількості надходять до міксеру. Після міксеру, тісто потрапляє до дозатора який в потрібній кількості наповнює треї (форми) тістом.

Далі треї з тістом проходять через 4 секції печі, в кожній секції своя температура яка розрахована чітко від даних продукту, завдяки чому на виході отримується бісквіт потрібного кольору та об'єму (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 - Перший етап виготовлення

Після випічки дозується начинка і потім потрапляє до холодильного тунелю. Після чого вже готовий бісквітний виріб пакується в індивідуальну упаковку, перевіряється на метал та вагу і лише потім готується до відвантаження для споживача (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 - Другий етап виготовлення

РОЗДІЛ 2 ЦІЛІ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ

2.1 Переваги модернізації та постановка завдання

На даний момент кожне сучасне виробництво прагне досягнути повної автоматизації, яка допоможе максимально мінізувати втручання людини. Особливо коли робочого персоналу не вистачає. Тому інколи старі підприємства України які не слідкують тенденції дуже часто не спроможні конкурувати з суперниками. Щоб триматися на ринку слід постійно покращувати ті хто не удосконалю свої підприємства найчастіше просто вибувають з гри. Харчові підприємства не є виключенням. Щоб краще розуміти навіщо модернізуватися можна винести найбільші переваги.

Переваги модернізації та автоматизації:

1. Автоматизація замінює людей, а отже зменшує фізичну роботу працівника;
2. Завдяки автоматизації є можливість більш чітко слідкувати за процесом, а отже зменшується кількість бракованої продукції, а зменшення браку це означає збільшення якості продукту що в результаті дасть зменшення собівартості;
3. Допомогає задовільнити власника великих підприємств, які прагнуть досягти непереривності процесу роботи їхнього підприємства;
4. Автоматизація допомагає слідкувати за витратами, що допомагає більш точно вести облік.

Список переваг можна продовжити але саме ці переваги допоможе задовільнити дослідження і модернізація в даній роботі.

Отже, автоматизація відповідає за збір інформації її обробку і відповідні корективи. У випадку даного об'єкту саме завдяки сучасній автоматизації отримується потрібна температура в секціях і може бути з мінімальною похибкою в 1 градус. Для виготовлення бісквітів цей критерій є найголовнішим.

Даний об'єкт забезпечує переміщення треїв в тунелі пічки. Пічка складається з міцних металевих частин (поперечних пластин). Рух здійснює мотор-редуктор який приводить в дію металеву конвеєрну стрічку яка проходить відразу через всі секції. На випадок екстреної ситуації, тяговий орган оснащений системою ручного просування. Зовнішній вигляд даної тунельної пічки наведено на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 - Приблизний зовнішній вигляд печі

Для того щоб отримати бісквіт потрібної якості необхідно слідкувати за головними показниками такими як температура в кожній секції, відповідно тиск подачі газу для підтримки потрібної температури, швидкості проходження треїв через піч відповідно часом перебування трея з тістом в потрібній секції необхідний час.

Дана піч працює на природньому газі в якості горючого, що допомагає швидко нагріти та тримати потрібні температуру. Завдяки з'єднанню секцій із тепло ізолюючих матеріалів які допомагають досягти найбільшого коефіцієнту корисної дії.

Основним недоліком даної системи є те, що система управління (СУ) такої печі, на даний момент, не враховують можливість виникнення позаштатної ситуації, пов'язаної з поломкою або виходу з ладу будь-якого обладнання, також

присутні вузли які керуються застарілим виконуючими механізмами, що в свою чергу призводить до не ефективного використання електроенергії та за рахунок застарілості підтверджені частими помилками в своїй роботі, що в свою чергу призводить до простоїв та браку. Таким чином після проведення аналізу найчастіших поломок отримуємо проблему, що при будь-якій дрібній поломці для її усунення треба зупиняти всю піч, інколи навіть доводиться чекати її повного охолодження.

Щоб вирішити дану проблему, мною запропоновано додати 5-ту секцію печі, яка допоможе більш плавно розподілити температуру в усіх секціях та у випадку виходу із ладу однієї із секцій перейти на 4-ох секційний режим роботи, тобто за рахунок такого резервування допомоги довести простої через поломки до 0.

Тому мною запропоновано вести вдосконалення в систему, а саме:

- встановлення додаткової секції (п'ятої секції) та розрахувати температуру яка потрібна в п'ятій секції при «холостому ході» та у випадку коли зі строю вийде інша секцій;
- заміна мотор-редуктора на більш новий та потужніший та встановити на ньому систему захисту від перегріву;
- встановити ланцюги безпеки (перевірка трейв, перевірка обертання двигуна і т. д.) що допоможе зменшити роботу оператору, так як збільшиться контроль зі сторони автоматики;
- дослідити та підібрати регулятор для контролю подачі газу у відсік печі в залежності від температури в секції.

Головна цінність даної модернізації – це забезпечити систему елементами з більш високою надійністю з мінімальним терміном окупності, а також впровадити алгоритм який дозволить продовжувати виробництво, в разі виникнення будь-якої поломки.

2.2 Розрахунок для встановлення п'ятої секції

В даному процесі для оптимізації на лінії випікання печива треба зважати на велику кількість факторів, які впливають на якість продукту, а саме таких як: підтримувати швидкість конвеєрної стрічки для максимальної ефективності випікання печива, необхідно підтримувати постійну швидкість конвеєрної стрічки, яка виконує цю задачу за допомогою частотного перетворювача, але через те що кількість продукту в печі може бути різною, то температура випікання постійно змінюється. А для того щоб виконувались вимоги технологічного процесу, потрібно підібрати такий регулятор, щоб корегував температуру при різній кількості продукту. Час перехідного процесу повинен бути мінімальним при перерегулюванні і становити 2% від температури у відсіку на протязі 1 хвилини за вимогами технологічного процесу.

Для цього потрібно отримати модель залежності температури від маси продукту під час процесу випікання. На основі якої буде сформовано критерій керування та буде виконуватись побудова регулятора.

Для отримати модель залежності температури від маси продукту під час процесу випікання потрібно дізнатися кількість продукту, так як продукт йде по конвеєрній стрічці на треях, то спочатку дізнаємось кількість продукту на одному трею, а потім кількість треїв у печі.

Кількість продукту на одному трею (N_1) знаходиться за формулою в одиницях:

$$N1 = n1 * n2, \quad (2.1)$$

де n_1 – кількість продукту по довжині трею, одиниць;

n_2 -кількість продукту по ширині трею, одиниць.

Кількість продукту по довжині і ширині трею знаходиться по формулі:

$$n1 = \frac{L-a}{l+a}, \quad n2 = \frac{B-a}{b+a}. \quad (2.2)$$

$$n1 = \frac{620-20}{80+20} = 6, \quad n2 = \frac{580-20}{50+20} = 8, \quad (2.3)$$

де L – довжина троя, мм;

B – ширина троя, мм;

l – довжина продукту, мм;

b – ширина продукту, мм;

a – відстань між продуктами, $a = 20$ мм.

$$N1 = 6 * 8 = 48. \quad (2.4)$$

Кількість трейв N_2 в тунельній печі знаходиться по формулі:

$$N2 = n1 * n2, \quad (2.5)$$

де n_1 – кількість трейв по довжині тунельної печі, одиниць;

n_2 – кількість трейв по ширині тунельної печі, одиниць.

Кількість трейв по ширині тунельної печі і довжині знаходиться по формулі в одиницях:

$$n1 = \frac{L-a}{b+a}, \quad n2 = \frac{B-a}{l+a} \quad (2.6)$$

$$n1 = \frac{12500-5}{580+5} = 21,35, \quad n2 = \frac{1300-5}{620+5} = 2,07, \quad (2.7)$$

де L – довжина печі, мм;

B – ширина печі, мм;

l – довжина троя, мм;

b – ширина троя, мм;

a – відстань між трями, $a = 5$ мм.

$$N2 = 21 * 2 = 42. \quad (2.8)$$

Отже, кількість продукту в тунельній печі знаходиться за допомогою наступної формули в одиницях:

$$N = N1 * N2. \quad (2.9)$$

$$N = 48 * 42 = 2016, \quad (2.10)$$

де N1 – кількість продукту на треї в одиницях;

N2 – кількість треїв в печі.

Вага однієї одиниці становить 100 г.

Загальну кількість продукту ділимо на кількість секцій:

$$\frac{2016}{5} = 403. \quad (2.11)$$

І множимо на вагу та отримуємо кг в одній секції:

$$403 * 100 = 40\,000\text{г} = 40\text{ кг}. \quad (2.12)$$

Час повного циклу проходження 1 трею становить 5 хв, тобто 1 хв на 1 секцію.

Розрахунок продуктивності тунельної печі при виготовленні одного продукту знаходиться за формулою $P_d =$ (в кг\год):

$$P_d = \frac{N * D * 60}{T}. \quad (2.13)$$

$$P_d = \frac{2016 * 0,1 * 60}{5} = 2\,419,2\text{ кг\год}, \quad (2.14)$$

де N – кількість продукту в печі в одиницях;

D – вага одиниці продукту, кг;

60 – кількість хв в годині;

T – час випікання, хв;

P_d – кількість продукту за годину.

Добова продуктивність печі знаходиться за формулою $t_{\text{доб.}}$:

$$P_d = \frac{P_d * 23}{1000}. \quad (2.15)$$

$$P_d = \frac{2419,2 * 23}{1000} = 55,6416 \text{ т\доб}, \quad (2.16)$$

де 23 – кількість годин печі в робочому режимі;

1000 – кількість кілограм в тонні.

Регулятор будемо будувати з критерію який обумовлений технологічним процесом випікання. Для того, щоб побудувати такий регулятор потрібно формалізувати процес випікання печива створивши математичну модель системи (рис.2.2).

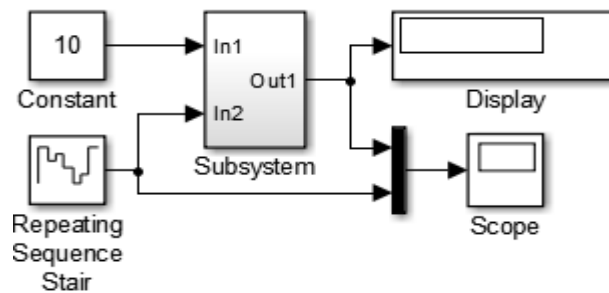


Рисунок 2.2 - Модель САР нагрівача

Модель об'єкта можна описати за допомогою аперіодичної ланки першого порядку, коефіцієнтами якої виступають температура в системі, маса продукту в системі та інші.

$$T \frac{dx_2}{dt} + x_2 = kx_1, \quad (2.17)$$

де x_1 - вхідна величина;

x_2 - вихідна величина;

k — коефіцієнт підсилення;

T — стала часу.

На основі даної ланки можемо побудувати передавальну функцію (рис.2.3):

$$W(p) = \frac{k}{T_p} + 1. \quad (2.18)$$

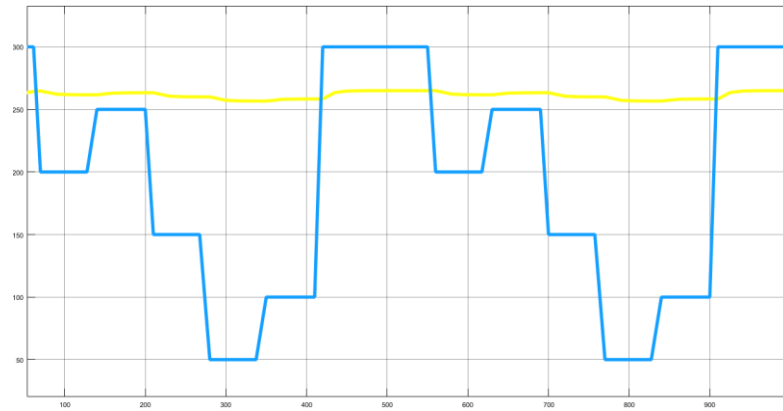


Рисунок 2.3 - Графік перехідного процесу регулювання

Даний регулятор допоможе нам регулювати температуру в залежності від наявності ваги продукту в секції печі.

2.3. Розподіл температури в кожній секції

На даний момент система управління температурними зонами тунельної печі для 4-ох ділянок, має такий вигляд (рис.2.4):

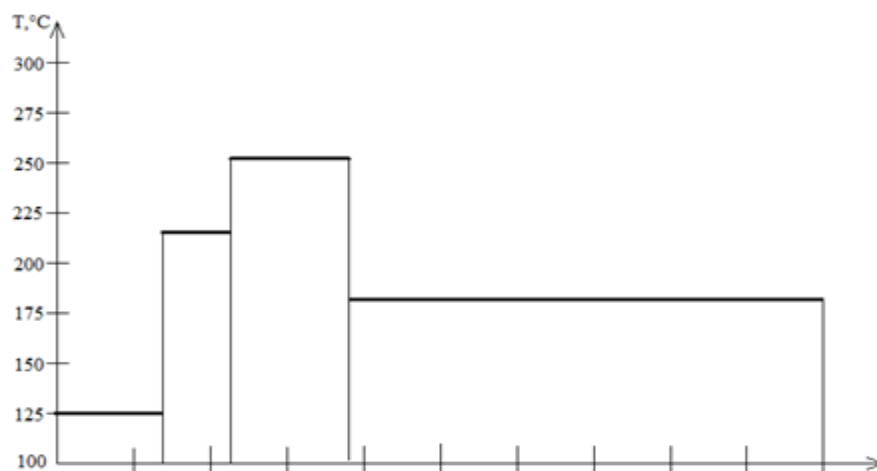


Рисунок 2.4 - Розподіл температур по 4 ділянках тунельної печі

Температурний розподіл по секціям має такий вигляд:

перша секція = 125°C , трей з тістом проходить дану секцію протягом 1 хвилини.
друга секція = 220°C , трей з тістом проходить дану секцію протягом 1 хвилини.
третья секція = 260°C , трей з тістом проходить дану секцію протягом 2 хвилини.
четверта секція = 175°C , трей з тістом проходить дану секцію протягом 1 хвилини.

У випадку коли ми встановимо 5-ту секцію система управління температурними зонами тунельної печі для 5-ох ділянок, матиме такий вигляд (рис.2.5):

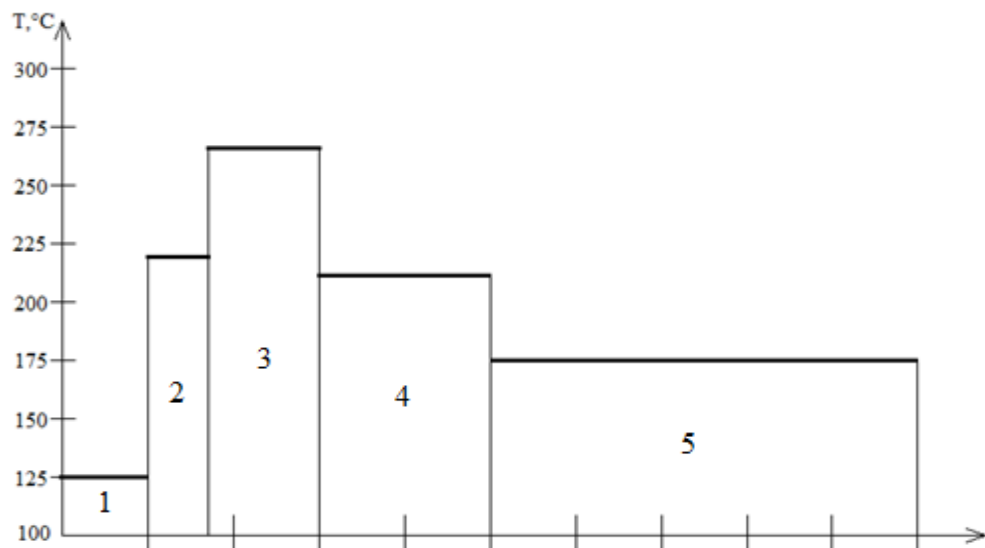


Рисунок 2.5 - Розподіл температур по 5 ділянок тунельної печі

Температурний розподіл по секціям матиме такий вигляд:

перша секція = 125°C , трей з тістом проходить дану секцію протягом 1 хвилини.
друга секція = 220°C , трей з тістом проходить дану секцію протягом 1 хвилини.
третья секція = 260°C , трей з тістом проходить дану секцію протягом 1 хвилини.
четверта секція = 215°C , трей з тістом проходить дану секцію протягом 1 хвилини.

п'ята секція = 175°C , трей з тістом проходить дану секцію протягом 1 хвилини.

Для здійснення плавного переходу від виробництва на 5 ділянках до виробництва на 4 ділянках необхідно підібрати такі параметри температури щоб

це ніяк не відбилося на якості продукції, що випускається, наприклад, якщо система регулювання температури матиме ділянки, коли температура перевищує максимальну, то може статися підгоряння що істотно вплине на якість продукції, що випускається.

В якості моделі здатної забезпечити колишню якість продукції, що випускається, на чотирьох температурних зонах, беремо наступну модель.

В даному режимі, забезпечується умова при якому продукція не піддається зайвого перегріву, і зберігає свою якість протягом усього технологічного процесу, аж до усунення неполадки на температурній зоні.

Завдяки тому, що використовується тунельна піч, можна комбінувати температури.

Приклад, якщо вийшла зі строю 1-ша секція, то система управління температурними зонами тунельної печі, матиме такий вигляд (рис.2.6):



Рисунок 2.6 - Розподіл температур у випадку поломки 1-ої секції

Приклад, якщо вийшла зі строю 2-ша секція, то система управління температурними зонами тунельної печі, матиме такий вигляд (2.7):

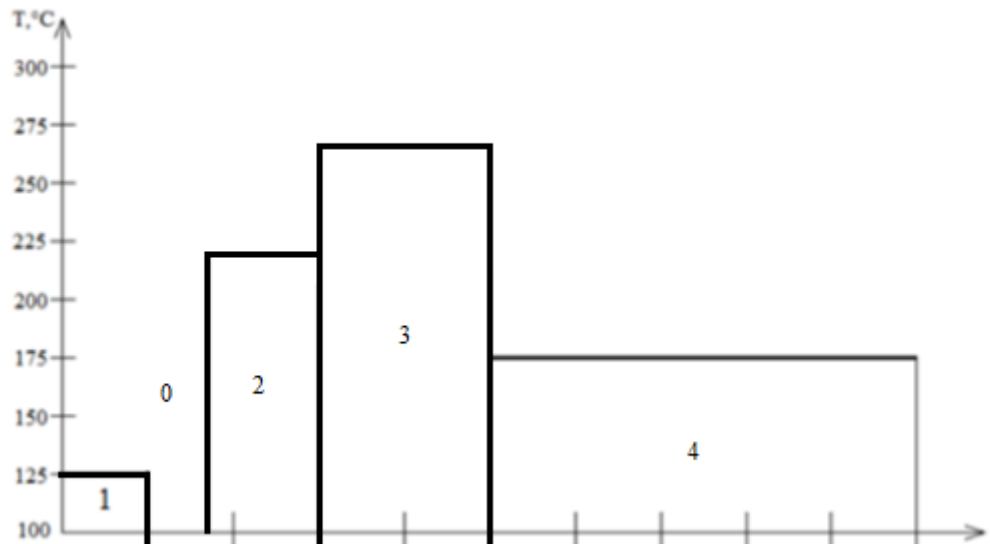


Рисунок 2.7 - Розподіл температур у випадку поломки 2-ої секції

Приклад, якщо вийшла зі строю 3-я секція, то система управління температурними зонами тунельної печі, матиме такий вигляд (рис. 2.8):

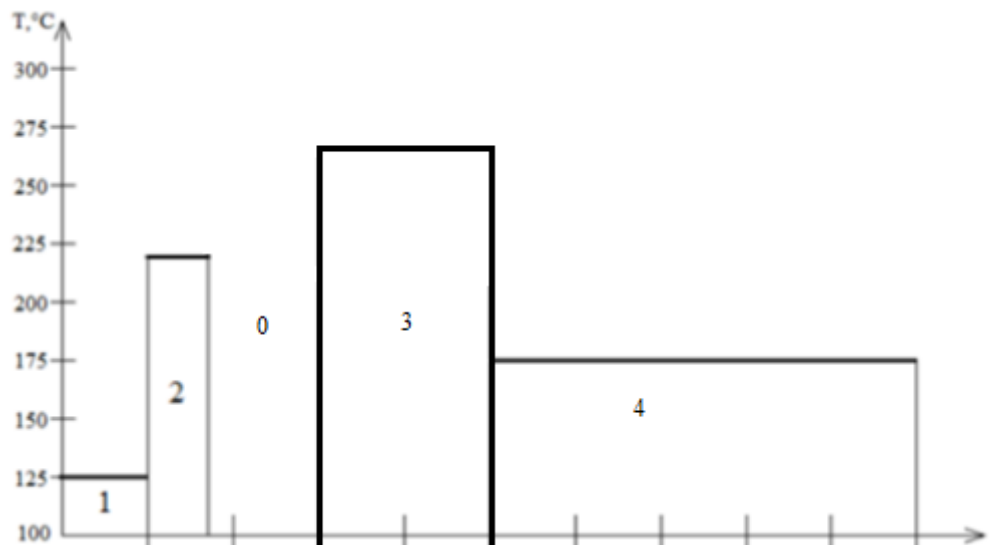


Рисунок 2.8 - Розподіл температур у випадку поломки 3-ої секції

Приклад, якщо вийшла з ладу 4-ша секція, то система управління температурними зонами тунельної печі, матиме такий вигляд (рис. 2.9):

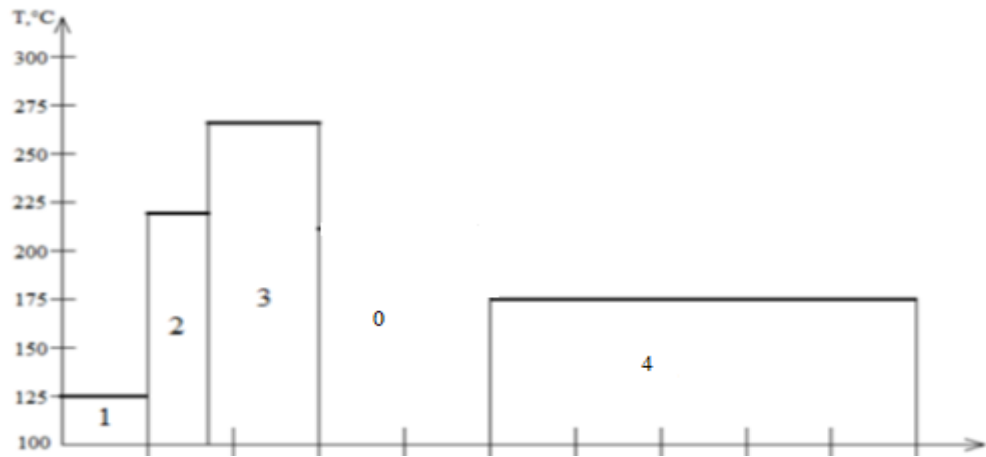


Рисунок 2.9 - Розподіл температур у випадку поломки 4-ої секції

Завдяки модернізації було отримано гнучку систему, яка може швидко реагувати у випадку екстреної ситуації. Реалізовано регулювання на 4 температурних зонах, що дозволяє системі забезпечувати виконання виробничого плану, в разі позаштатної ситуації. Залишилось довести надійність такої системи, енергоефективність та розрахувати економічну частину.

2.4. Дослідження енергоефективності нового мотор-редуктора

Головним показником енергоефективності двигуна, є його коефіцієнт корисної дії (КПД):

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_1}, \quad (2.19)$$

де P_2 – корисна потужність на валу електродвигуна;

P_1 – активна потужність споживана електродвигуном з мережі;

ΔP – сумарні втрати, що виникають в електродвигуні.

Отже, чим вище КПД (нижче втрати), тим менше потрібно електроенергії з мережі електродвигуну для створення тієї ж самої потужності P_2 .

Порівняємо старий мотор від фірми АВВ виготовлений в 2001р. і новий який, був запропонований від фірми NORD виготовлений в 2019р.

1. АВВ (клас енергоефективності ІЕ2):

Потужність $P_2=9\text{кВт}$, частота обертів $n = 3000$ об/хв, $\eta = 86,4\%$, $\cos\varphi = 0,88$.

Активна потужність, споживана з мережі:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{9}{0,864} = 10,4. \quad (2.20)$$

Сумарні втрати:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 10,4 - 9 = 1,4. \quad (2.21)$$

Так як даний двигун працює 24 години на добу, 365 днів на рік, то кількість енергії, що втрачається і виділяється у вигляді тепла:

$$Q = 1,4 * 24 * 365 = 12\,264 \text{ кВт}. \quad (2.22)$$

2.NORD (клас енергоефективності ІЕ3):

Потужність $P_2=7,5\text{кВт}$, частота обертів $n = 3000$ об/хв, $\eta = 97,5\%$, $\cos\varphi = 0,77$.

Активна потужність, споживана з мережі:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{7,5}{0,975} = 7,7 \text{ кВт}. \quad (2.23)$$

Сумарні втрати:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 7,7 - 7,5 = 0,2 \text{ кВт}. \quad (2.24)$$

Так як даний двигун працює 24 години на добу, 365 днів на рік, то кількість енергії, що втрачається і виділяється у вигляді тепла :

$$Q = 0,2 * 24 * 365 = 1\,752 \text{ кВт}. \quad (2.25)$$

Отже, заміна електродвигуна (клас ІЕ2) новим (клас ІЕ3) економія енергії становить 10 512 кВт за 1 рік лише на 1-му двигуні. Ефективне використання електроенергії дозволить підприємству знизити собівартість продукції, що приведе до підвищення її конкуренції (рис. 2.10).

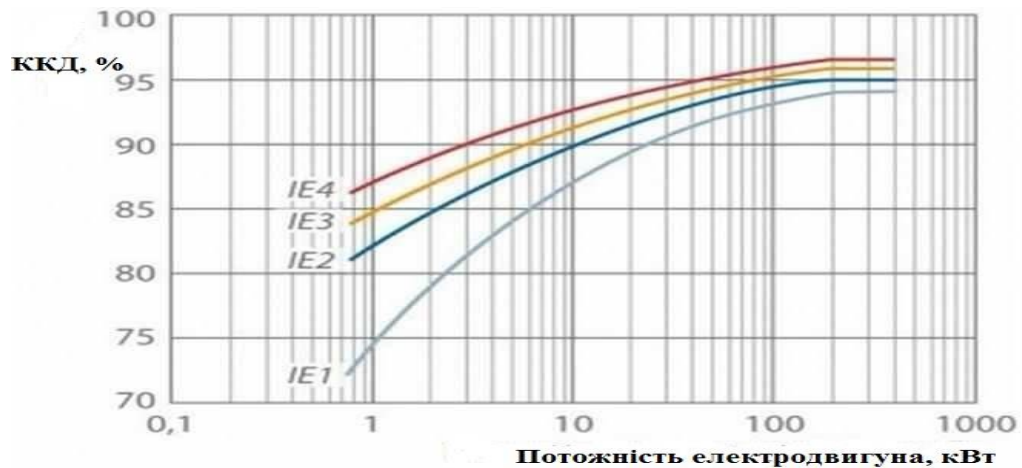


Рисунок 2.10 - Класи енергоефективності електродвигунів

Електродвигуни ІЕ2 застосовують, коли необхідна більш тонка настройка обладнання для роботи його в оптимальному режимі. Даний клас електродвигунів більш ефективний, порівняно з попереднім навіть при частковому навантаженні. Так само, безумовно, варто відзначити, що в них використовуються менш потужні і як наслідок менш гучні вентилятори (охолоджуючі мотор). На представленій нижче діаграмі наочно видно переваги даного класу в порівнянні з ІЕ1 (рис. 2.11) [1].

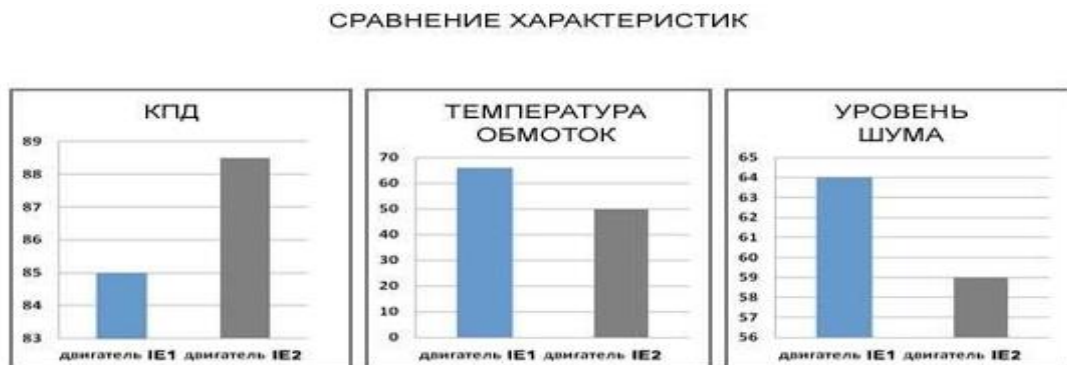


Рисунок 2.11 – Порівняння класів енергоефективності електродвигунів

Електродвигуни IE3 отримали визнання не так давно, а саме в 2017 році. Саме тоді вступив в силу Регламент ЄС вказує, що двигуни потужністю від 0,75 до 375кВт повинні відповідати типу IE3 або ж типу IE2 із застосуванням перетворювача частоти. Вони здатні працювати навіть при тривалих перевантаженнях в діапазоні 10-15%. Отже, застосовують дані мотори, наприклад, на верстатах, де важко помітити перевантаження, адже потужність на валу робочої машини постійно змінюється [1].

Ефект від впровадження більш енергоефективних двигунів:

- економія споживання електроенергії;
- зниження потужності, необхідної для роботи обладнання з електроприводом (як наслідок, знову-таки, економія);

зниження витрат на обслуговування обладнання (чим вище енергоефективність мотора, тим більше його термін напрацювання на відмову) [1].

2.5 Інтеграція частотного перетворювача в систему керування

Підвищення коефіцієнта потужності за рахунок лінійного фільтру VLT® знижує величину споживаного фазного струму. Зниження споживаного фазного струму означає підвищення фактичного коефіцієнта потужності (PF). Як правило, фазний струм можна зменшити більш ніж на 40%, при цьому коефіцієнт потужності підвищується з 0,4 до 0,7 при однофазному живленні і з 0,47 до 0,9 при трифазному живленні перетворювача [2].

Збільшення терміну служби приводу, зменшення пульсацій напруги в ланцюгах постійного струму дозволяє підвищити надійність і продовжити термін служби перетворювача. Очікуваний термін служби конденсаторів в ланцюгах постійного струму збільшується в 2 - 3 рази при аналогічних умовах експлуатації (температура, навантаження). В даній системі мотор-редуктор працює 24/7. За рахунок того, що вага яку обертає даний мотор постійно змінюється і інколи досягає різниці в 2 500кг, відповідно перехідний процес буде постійно змінюватись, токи будуть змінюватись, а за рахунок ЧП і влаштованого

в нього ПД регулятора це буде відрегульовано плавно і найголовніше, що при різній масі конвеєр буде обертатися з постійною швидкістю. І так як ЧП підбирався виключно під даний тип мотору, а мотор обертався із запасом, то виходить що в наші виконуючі механізми не будуть працювати постійно на 100%, а отже як показано на рис. 2.12, управління витратою здійснюється за допомогою зміни кількості оборотів в хвилину. При зменшенні швидкості тільки на 20% щодо номінальної швидкості витрата зменшується також на 20%. Це відбувається тому, що витрата прямо пропорційний числу оборотів. У той же час, споживання електроенергії знижується на 50%. Якщо розглянута система призначена для забезпечення 100-відсоткової витрати лише протягом декількох днів в році, а в решту часу витрата складає менше 80%, кількість зекономленої електроенергії навіть перевищує 50% [3].

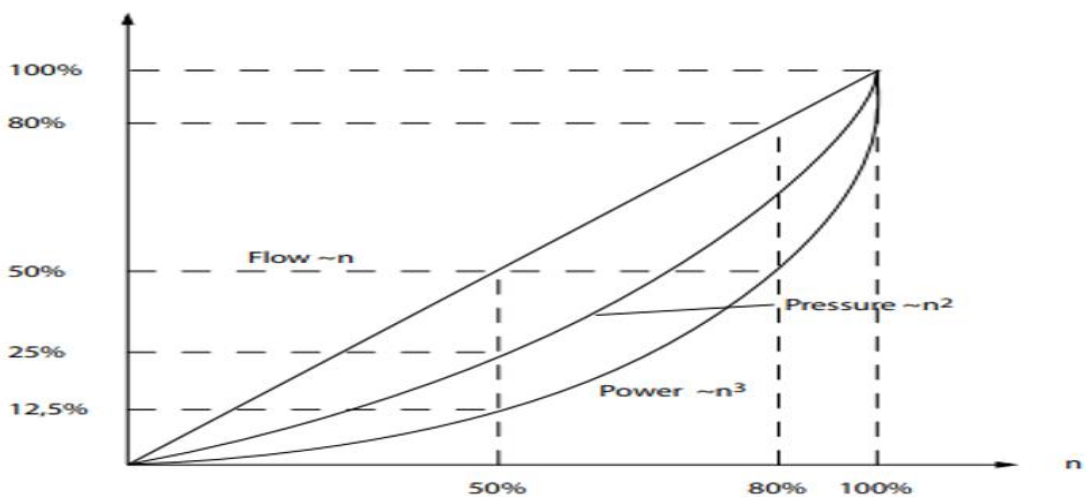


Рисунок 2.12 – Закон пропорційного управління

Частотний перетворювач Danfoss VLT Micro Drive FC 51 це:

1. високий ККД – 98%. Силові модулі приводу VLT забезпечують роботу всієї системи без перегріву, завдяки малим втратам потужності [4] ;
2. ТЕМПЕРАТУРА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ДО 50°C БЕЗ ЗНИЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК. Високоєфективне охолодження дозволяє працювати в умовах з температурою повітря до 50°C [4] ;
3. захист від КЗ [4] ;

4. захист від перекоосу фаз [4] ;
5. захист від перевантаження [4] ;
6. підвищення терміну служби електромотора [4] ;
7. зменшення розміру струму запуску мотора номінальною навантаженням і відсутність негативного впливу на живильну мережу [4] ;
8. м'який запуск двигуна обумовлює виключення або значне зменшення дій датчика динаміки на виробництво [4] ;
9. зменшення витрат на поточний ремонт, управління і обслуговування; економія електричної енергії до 60% [4].

Переваги використання ЧП можна перелічувати безліч, але в даному проекті найголовніше економічність, надійність та перспективність.

Наведемо розрахунок простого типу обчислення терміну окупності частотного перетворювача:

$$\text{Токуп} = \frac{C_{\text{чп}}}{\lambda * C_{\text{ц.ел}}}, \quad (2.26)$$

де Токуп. – термін окупності;

$C_{\text{чп}}$ – ціна ЧП;

$C_{\text{ц.ел}}$ - ціна електричної енергії;

λ – коефіцієнт по параметрам 6,7,9.

Досвідченим шляхом використання перетворювачів частоти з'ясували, що розмір коефіцієнта λ залежить від постійних параметрів знаходиться в інтервалі від 1,2 до 1,6.

Час окупності розраховується за формулою 1 для перетворювача на 7.5 кВт.

Знаючи наявний інтервал завантаженості, середню економію електричної енергії беремо 25%. Підрахуємо економію електроенергії в середньому за місяць (з огляду на добову експлуатацію двигуна і 30 днів) (рис. 2.13) [5].

Лидирующие позиции на рынке по экономии электроэнергии. Экономия до 25% инвестиций за первый год эксплуатации

Наш четкий фокус на энергоэффективность на каждом этапе разработки, включая эффективность сети, когда устанавливается VLT® Drive нового поколения, означает, что по сравнению с другими приводными системами, вы получаете привод, который за первый год эксплуатации приносит экономию затрат до 25% от вложенных в него инвестиций. Это эквивалентно применению двигателя IE3 вместо IE2.

Эффективность
5 причин выбрать
новый
VLT®

1. Энергосберегающая конструкция ПЧ
2. Интеллектуальное управление температурой
3. Автоматическая адаптация к каждому применению
4. Энергоэффективное подавление гармоник
5. Оптимальное управление всеми типами двигателей




Рисунок 2.13 – Офіційні дані з документації частотного перетворювача

Кількість економії кВт при встановленні ЧП:

$$B = 720 \text{ г} \times 7,5 \text{ кВт} \times 25\% = 1\,350 \text{ кВт/год.} \quad (2.27)$$

Економія при використанні ЧП.

Так як даний двигун працює 24 години на добу, 365 днів на рік, то кількість енергії, що витрачається і виділяється у вигляді тепла:

$$Q = 1,4 \times 24 \times 365 = 12\,264 \text{ кВт.} \quad (2.28)$$

Додаємо кількість енергії що витрачається без втрат:

$$9 \times 24 \times 365 = 78\,840 \text{ кВт.} \quad (2.29)$$

За рік + сумарні втрати для даного двигуна.

Сумарні втрати:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 10,4 - 9 = 1,4. \quad (2.30)$$

Так як двигун від фірми АВВ працює 24 години на добу, 365 днів на рік, то кількість енергії, що витрачається і виділяється у вигляді тепла:

$$Q = 1,4 * 24 * 365 = 12\ 264 \text{ кВт.} \quad (2.31)$$

$$78\ 840 + 12\ 264 = 91\ 104 \text{ кВт.} \quad (2.32)$$

використовує старий двигун потужністю 9 кВт.

Так як двигун від фірми NORD буде працювати 24 години на добу, 365 днів на рік, то кількість енергії, що втрачається і виділяється у вигляді тепла:

$$Q = 0,2 * 24 * 365 = 1\ 752 \text{ кВт.} \quad (2.33)$$

$$7,5 * 24 * 365 = 65\ 700 \text{ кВт.} \quad (2.34)$$

за рік + сумарні втрати для даного двигуна.

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 7,7 - 7,5 = 0,2. \quad (2.35)$$

Так як даний двигун працює 24 години на добу, 365 днів на рік, то кількість енергії, що втрачається і виділяється у вигляді тепла :

$$Q = 0,2 * 24 * 365 = 1\ 752 \text{ кВт.} \quad (2.36)$$

$$65\ 700 + 1\ 752 = 67\ 452 \text{ кВт.} \quad (2.37)$$

витрачає електричний двигун потужністю 7,5 кВт.

$$67\ 452 - 25\% \text{ (економії з ЧП)} = 50\ 589. \quad (2.38)$$

Буде витрачати за рік при встановленні ЧП.

2.6 Розгінна характеристика. Ідентифікація. Вибір регулятора.

Як було сказано об'єктом дослідження виступає реальна піч для випікання бісквітів. Процес нагрівання на даний момент відбувається таким чином:

Заслінка на подачі газу відкривається на максимум до того моменту поки температура в секції не досягне потрібної температури. Після того як температура досягла заданої деякий час температура знаходиться вище за потрібну, заслінка починає закриватися. Модернізація полягає в тому що буде досліджено розгінну характеристику і побудована передаточна функція. Тобто заслінка буде плавно відкриватися до потрібної температури, за рахунок цього будуть менші втрати. Для того щоб мені синтезувати регулятор необхідного даний процес промодельовати, для того щоб промодельовати даний процес потрібна передаточна функція цього. Для того щоб отримати передаточну функцію є декілька способів: математичний опис та метод ідентифікації.

Ідентифікація систем - сукупність методів для побудови математичних моделей динамічної системи за даними спостережень. Математична модель в даному контексті означає математичний опис поведінки будь-якої системи або процесу в частотній або у часовій області [6].

Для процесу ідентифікації потрібно розгінна крива, яка повинна бути майже на кожному підприємстві. Так як обладнання застаріле і паспортні дані не відповідають дійсності було створено нову розгінну криву.

Розгінною або перехідною характеристикою називають залежність зміни вихідної регульованої величини від часу $u_{вих}(t)$. Розгінні характеристики знімають при випробуваннях або налагодження в випадках, коли можна нанести значні за величиною і тривалості у часі впливу, достатні для того, щоб закінчився перехідний процес, тобто стабілізувався регульований параметр, по відношенню до якого отримують розгінну характеристику, або стабілізувалася швидкість його зміни [7].

Для створення розгінної кривої потрібно мати три показники.

1. Час за який проводиться зчитування даних;
2. Вхідний вплив;
3. Вихідний вплив.

Було створено розгону криву нагрівання кожної секції під час запуску. Час за який повинна нагрітися 1-ша секція до температури 125 градусів становить 8 хв. Час зчитування положення заслінки та температури проводиться кожну секунду.

За вхідний вплив відповідає положення заслінки подачі повітря.

За вихідний вплив відповідає температура в печі.

Дані, які були отриманні, наведені в табл. 2.1. Даний процес було дискретизовано за часом кожну секунду.

Таблиця 2.1 - Розгінна крива 1-ої секції.

t,s (час)	m,% (вхідний вплив, положення заслінки подачі повітря)	s,% (вихідний вплив, температура печі 1-ої секції)
0 - 100	0 – 20% (шаг 0.2%)	0 – 50 C (шаг 0,5 C)
101 – 270	20 – 37% (шаг 0.1%)	50 – 101 C (шаг 0.3 C)
271-332	37 – 40.1% (0.05%)	101 – 110 C (Шаг 0.2 C)
332 - 480	40.1 – 41.6 (шаг 0.01%)	110 – 125 C (Шаг 0.1 C)

Далі для графічної побудови дані були занесені до MatLab (рис 2.14).

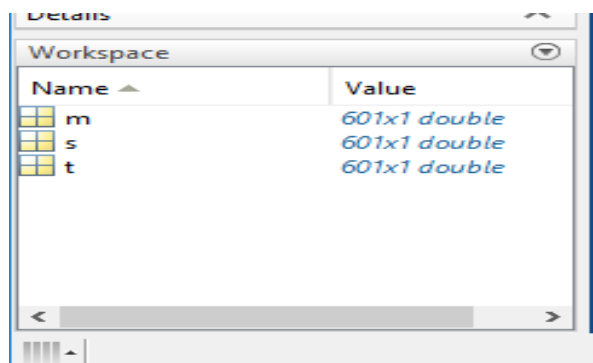


Рисунок 2.14 – Занесені дані

Далі будемо розгінну криву у вигляді графіку (рис. 2.15):

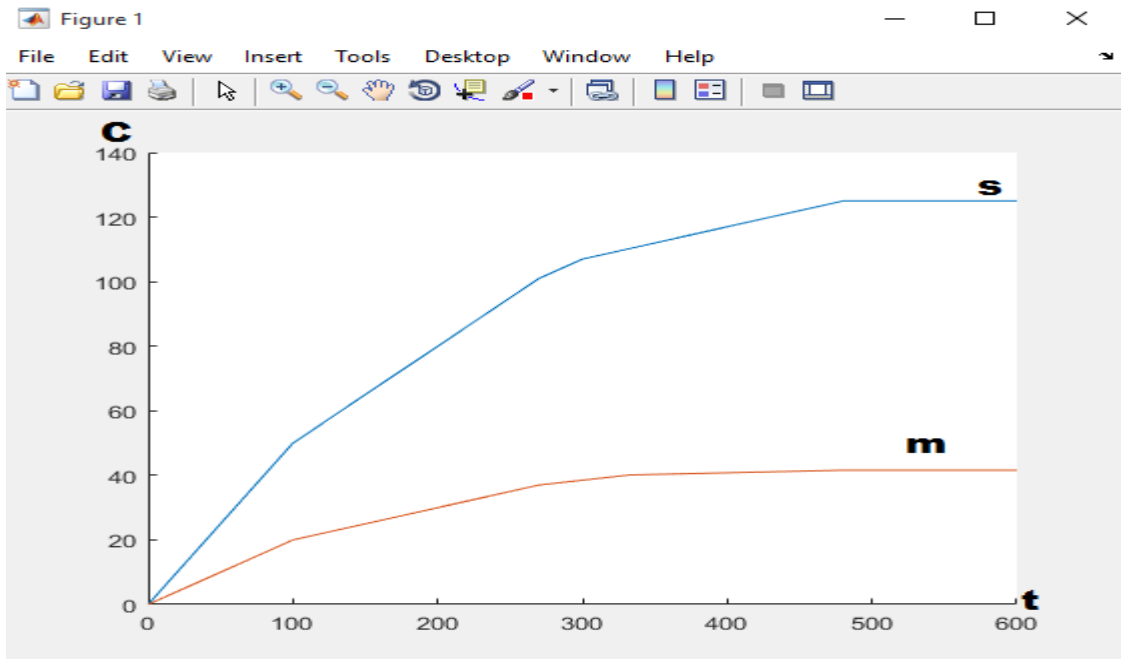


Рисунок 2.15 - Розгінна крива 1-ої секції тунельної печі (s - вихідний вплив; m - вхідний вплив; t – час зчитування даних; C – температура.)

Отриманих даних вистачить для подальших розрахунків.

Після отримання розгінної характеристики починається процес ідентифікації (рис. 2.16).

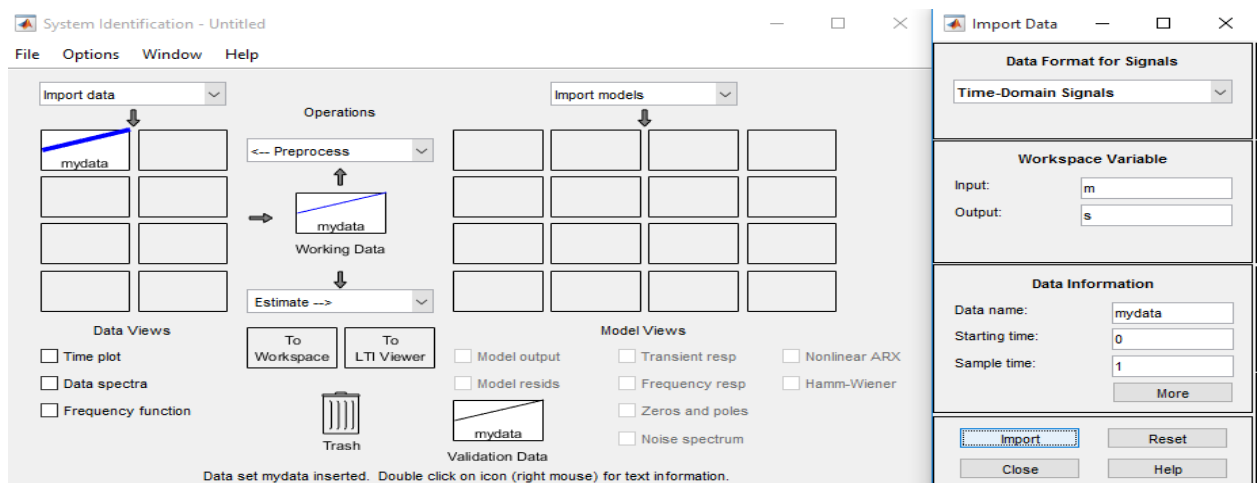
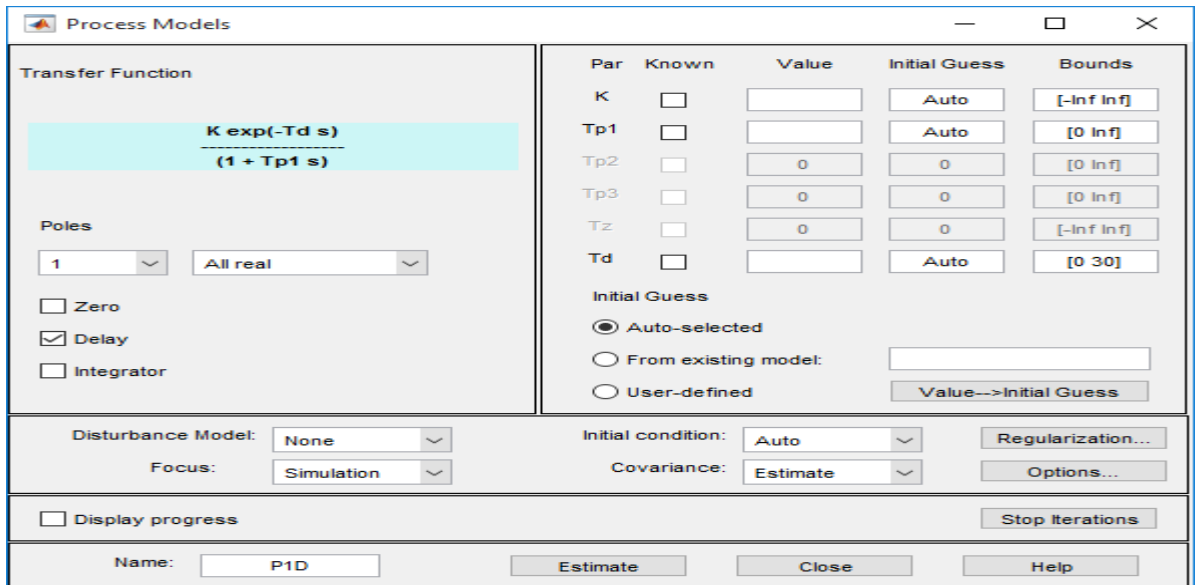
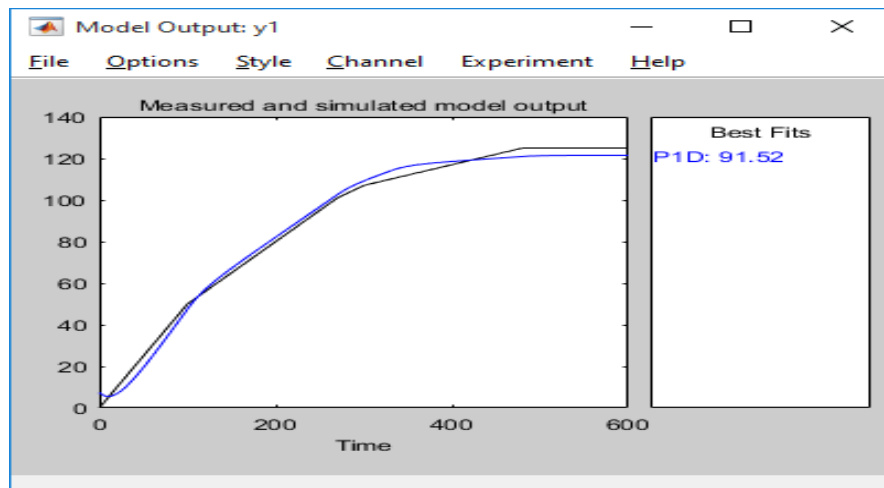


Рисунок 2.16 – Система ідентифікації

Для даного об'єкту найкраще підходить аперіодична ланка 1-го порядку (рис. 2.17, 2.18 та 2.19).



2.17 – Процес модуляції



2.18 – Графік отриманий при модуляції аперіодичної ланки 1-го порядку

```

Process model with transfer function:
      Kp
G(s) = ----- * exp(-Td*s)
      1+Tp1*s

      Kp = 2.9199
      Tp1 = 18.229
      Td = 0

Name: P1D

Name: P1D
Parameterization:
'P1D'
Number of free coefficients: 3
Use "getpvec", "getcov" for parameters and their uncertainties.

Status:
Estimated using PROCEST on time domain data "mydata".
Fit to estimation data: 91.13%
FPE: 10.57, MSE: 10.46

```

2.19 – Дані аперіодичної ланки 1-го порядку

Чорна крива це вихідний вплив який було задано вручну, а синя це та крива яка була побудована за допомогою математики (математичних формул) синя крива відповідає математичному опису чорній кривій.

Далі було підібрано оптимальні налаштування для під регулятору. Було побудовано аналог системи за допомогою програми MatLab (рис.2.20).

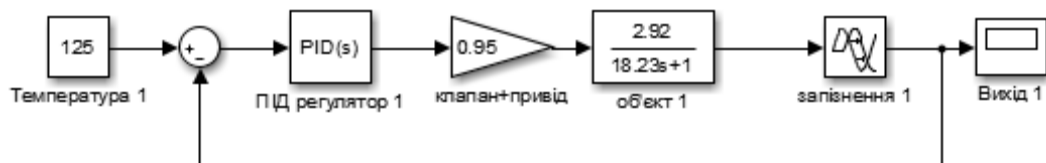


Рисунок 2.20 – Модель системи в MatLab

Для системи було задані параметри які було отримано в виборі аперіодичної ланки. І у випадку не правильних параметрів ПІД регулятору (рис. 2.23) процес нагрівання відбувався б так як показано на рис. 2.21 синьою пунктирною лінією. У випадку підбору підходящих параметрів процес нагрівання відбувається так як показано на рис. 2.22 та 2.24.

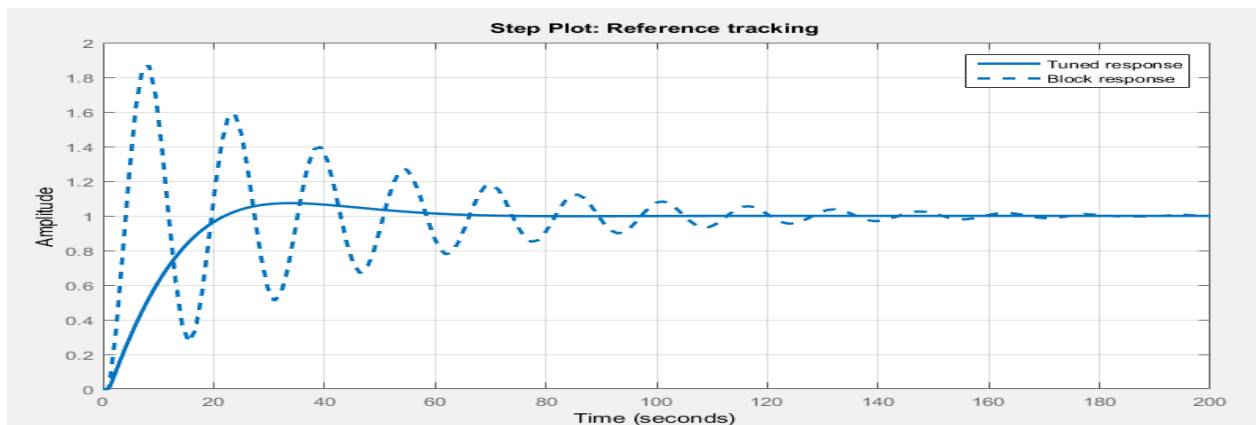


Рисунок 2.21 – Різниця між неналаштованим та налаштованим ПІД регулятором.

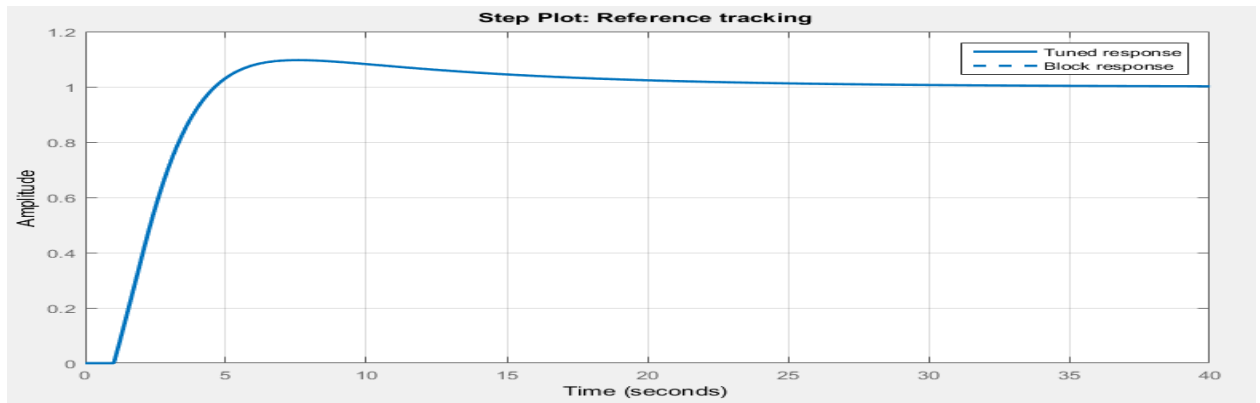


Рисунок 2.22 – Графік налаштованим ПІД регулятором

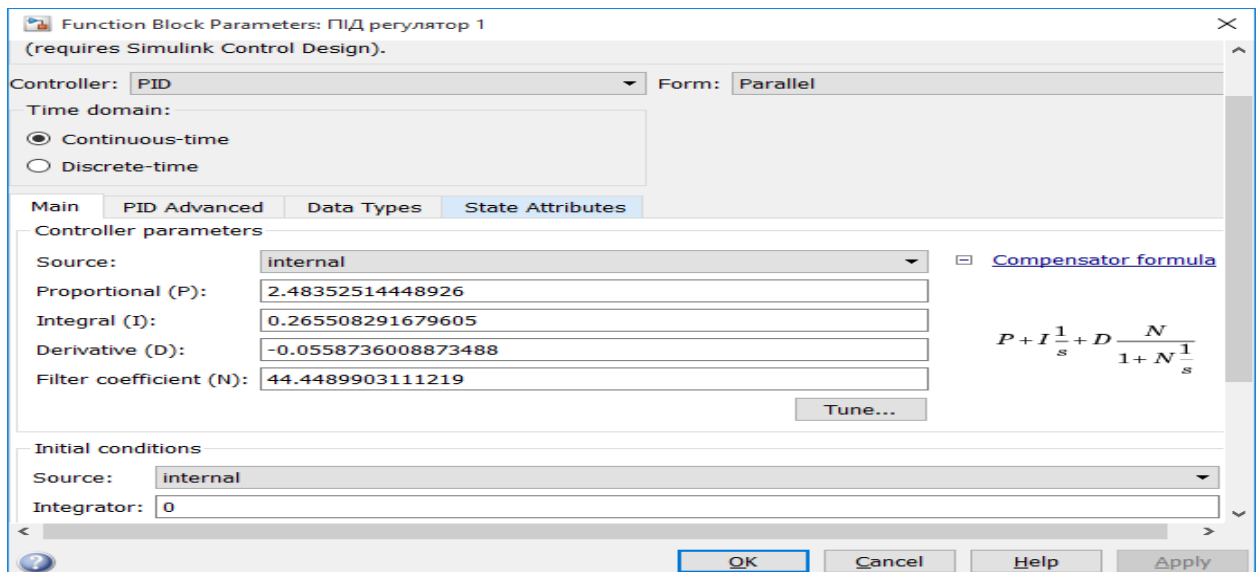


Рисунок 2.23 - Правильно підібрані параметри ПІД регулятора

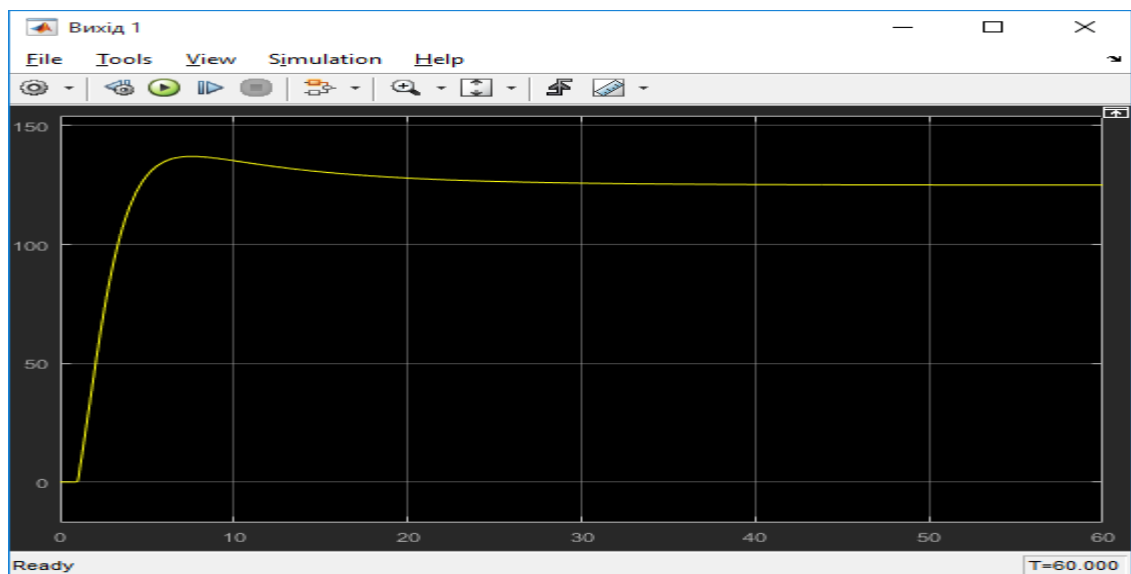


Рисунок 2.24 – Перехідний процес

Так як в даному об'єкті керувати довелося температурою, а температура це інерційний показник, тому використовувалось саме ПД регулятор, так як би використовувався П регулятор система була б не стійка але швидкість перерегулювання становила б 10 секунд у випадку використання П регулятора, то швидкість виходу на потрібну уставку становила б мінімум в 2 рази довше ніж при використанні ПД регулятора. Тому при використанні ПД регулятора було досягнуто відсутності коливань та задовільної швидкості.

Після створення розгінної характеристики, створення каскадної системи та підбирання потрібної аперіодичної ланки можна використати для синтезу регулятора.

2.7 Надійність модернізованої системи

Однією з основних вимог, що висуваються до сучасних проєктованих пристроїв і систем (об'єктів системотехніки) є виконання функцій, покладених на них, зі збереженням впродовж визначеного інтервалу часу і в заданих межах значень експлуатаційних показників, тобто проєктований об'єкт повинен бути надійним. Забезпечення надійності систем управління (будь-яких технічних систем) є одним з основних завдань науки і техніки. Це зумовлено застосуванням складних електронних систем і значними втратами, пов'язаними з їх відмовами. Існує багато об'єктів, для яких втрата працездатності пристроїв та систем управління може призвести до тяжких наслідків, пов'язаних з руйнуваннями та людськими жертвами. Тому до таких об'єктів висуваються особливі вимоги щодо забезпечення їхньої надійності [8].

Розрахунок надійності системи із послідовним з'єднанням елементів.

Система складається з ідентичних елементів:

$$\lambda_1 = \dots = \lambda_n = \lambda, \quad (2.39)$$

де $\lambda_1 = 1$ секція.

Розрахуємо інтенсивність відмови:

$$\lambda_c = n * \lambda, \quad (2.40)$$

де λ_c = Сума відмов;

n = кількість секцій;

λ = кількість відмов на 1 секцію.

Час напрацювання на відмову становить $T_0 = 20\ 000$ годин на відмову всієї 4-ох секційної системи.

Існуюча система становить 20 000 годин (для 4-ох секційної системи), а кожна секція 80 000 годин.

В модернізованій системі з 5-ти секційній печі за рахунок модернізації мотор-редуктора та встановлення нових законів керування заслінки.

Час напрацювання на відмову 1-ї секції становить 120 000 годин (на 20% краще ніж в старій системі).

Час напрацювання на відмову 5-ти секційної системи становить:

$$120\ 000/5 = 24\ 000 \text{ годин.} \quad (2.41)$$

Напрацювання на відмову 1-ї секції печі, що на 4 000 триваліше ніж в старій системі.

Статистичні результати спостереження за роботою існуючої 4-ох секційної системи печі, по матеріалам реєстрування аварій показує що час напрацювання на відмову 1-ї секції печі в середньому $T_c = 195\ 000$ годин.

Відповідно час напрацювання на відмову всієї печі:

$$T_{\Pi} \frac{T_c}{4} = \frac{195000}{4} = 48\ 750 \text{ годин.} \quad (2.42)$$

В модернізованій печі час напрацювання на відмову 1-ї секції складає 260 000 годин. Відповідно час напрацювання на відмову модернізованої печі становить

$$T_{\Pi} = \frac{T_C}{5} = \frac{260000}{5} = 52\ 000 \text{ годин.} \quad (2.43)$$

Таким чином в результаті модернізації надійність печі не знизилась.

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ СИСТЕМИ

3.1 Аналіз об'єкту

Після проведених досліджень для розуміння нового процесу було створено схему ІМП для оновленої системи (рис. 3.1).

Для повного розуміння процесу була створена таблиця вхідних-вихідних сигналів (додаток А). В даній таблиці містяться перелік параметрів, які контролюються і регулюються.

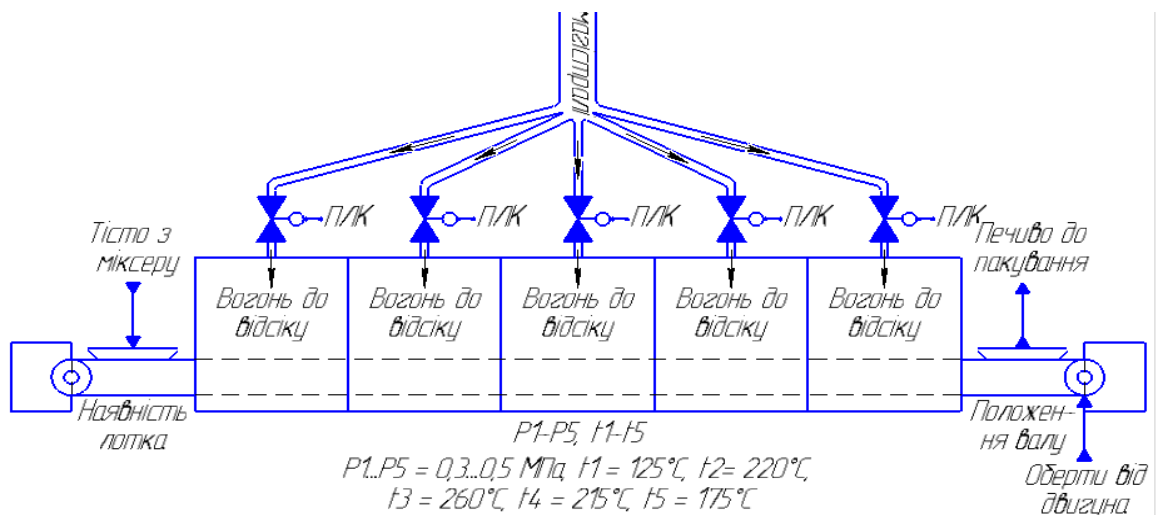


Рисунок 3.1 - Схема інформаційно-матеріальних потоків

3.2 Розробка контурів керування системи

Після дослідження та збору потрібної інформації, яка була описана вище опишемо контури які відповідають за свої процеси, також опишемо обладнання яке використовується та яке планується встановити при модернізації.

3.2.1 Розробка контуру керування наявністю лотка з продукцією на вході/виході з печі

Так як трєї (форми) виготовлені з металевого матеріалу для його відстеження буде достатньо індуктивного датчику (рис. 3.2) з дискретним сигналом (ТАК\НІ).

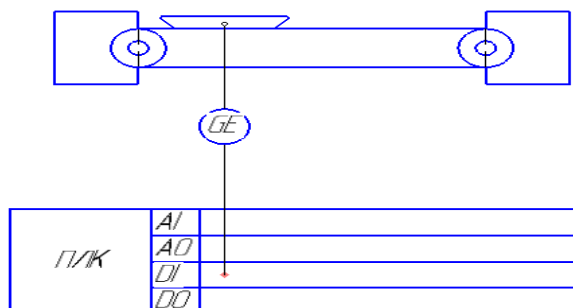


Рисунок 3.2 - Контур наявності лотка

Для утворення контуру наявності лотка потрібен один давач положення на вході і на виході печі. Обираємо давач серед п'яти найвідоміших фірм по виготовленню індуктивних давачів (табл. 3.1).

Було вибрано давач положення Індуктивний датчик IFM IE5338. Вибір давача здійснено на основі його характеристик і надійності.

Індуктивний датчик IFM IE5338 (рис. 3.3) на відміну від механічних перемикачів безконтактні датчики не схильні до зносу, дії факторів навколишнього середовища. Датчик стійкий до вібрації, пилу і забруднень, характеризуються високою частотою перемикання і точністю спрацювання.

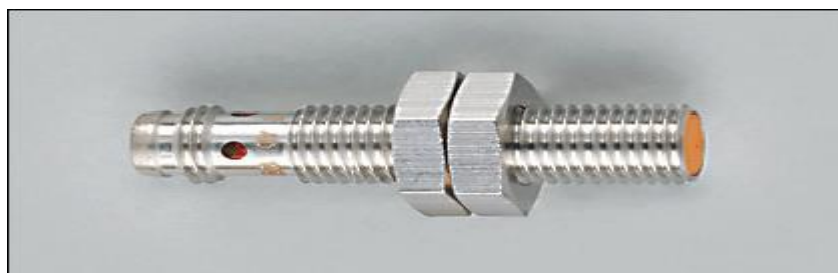


Рисунок 3.3 - Індуктивний датчик IFM IE5338

Таблиця 3.1 - Порівняння індуктивних давачів

№	Назва давача	Фірма	Діапазон спрацювання [mm]	корпус	Робоча напруга [V]	Частота перемикання DC [Hz]	Ступінь захисту	Дисплеї / Елементи управління	Ціна
1	E2A	OMRON	Від 2 до 15	різьбовий	10...30 DC	500	IP44	світлодіод, жовтий	1,25 7.00
2	XS518B1 MAL2	Schneider	Від 5 до 25	різьбовий корпус	10...30 DC	850	IP67	світлодіод, жовтий	2,34 9.00
3	IMS12-04BPSNC0S	SICK	Від 4 до 25	різьбовий корпус	10...30 DC	800	IP67	світлодіод, жовтий	1,86 5.00
4	ICB12L50 F02PO	Carlo Gavazzi	Від 5 до 12	різьбовий корпус	10-40 VDC	600	IP44	світлодіод	980. 00
5	IE5338	IFM	Від 3 до 25	різьбовий корпус	10...30 DC	800	IP67	світлодіод, жовтий	1,57 3.00

3.2.2 Розробка контурів регулювання температури у відсіках печі

Головний контур в даній системі – це контур який контролює та регулює температуру, тиск подачі газу, наявність полум'я (рис. 3.4).

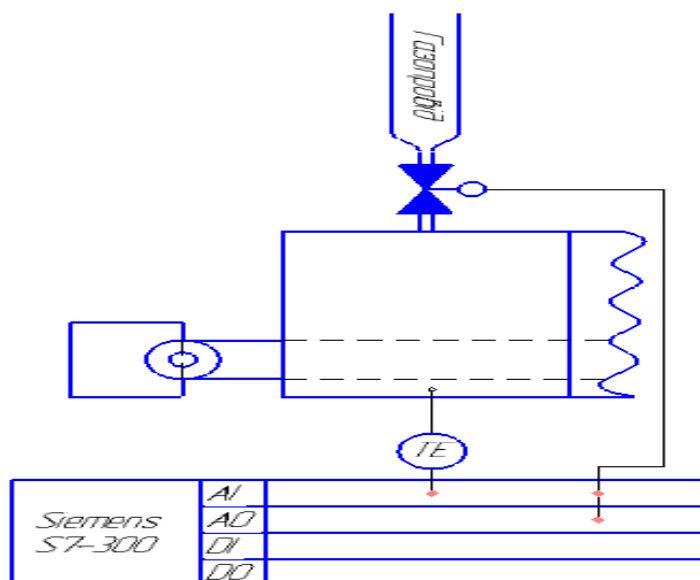


Рисунок 3.4 - Контур регулювання температури у відсіках печі

В модернізованій системі даних пристроїв встановлено в кількості 5 штук і кожен ГПП відповідає за свою секції і передає покази на ПЛК і з відти ж отримує завдання.

Даний контур використовує давач температури pt100 та газова горілка Weishaupt W G 30/1-C ZM.

Газовий повітродувний пальник Weishaupt WG30 / 1-C ZM.

В кожній секції встановлено по 1-му ГПП. Weishaupt WG30 / 1-C ZM (рис. 3.5) є лідером серед пальників головна його характеристика це надійність, а для ГПП це найголовніший критерій.

Завдяки рідкокристалічному дисплею та панелі управління з клавішами які вмонтовані в ГПП процес налаштування і спостереження не є проблемою.

Контроль подачі газу керується окремими сервоприводами. Що допомогло створити регулятор який забезпечує найбільш оптимальне співвідношення

витрати газу до потрібної температури. Також в даній ГПП є в наявності давач полум'я який допомагає уникнути аварійних ситуацій.

Найголовніші можливості даного ГПП:

- Наявність газового фільтру;
- Контроль герметичності при подачі газу;
- Реле тиску газу;
- Автоматичне регулювання подачі газу (у випадку перепаду тиску газу).

Власна програма яка:

- проводить перевірку сервоприводів;
- контролює запалювання;
- давач полум'я.



Рисунок 3.5 - Газовий повітродувний пальник Weishaupt WG30 / 1-C ZM.

Давач температури pt100

Під різні температурні задачі до ГПП в комплекті йду різні давачі температури. Для даної задачі на кожну секцію потрібно по 2 давачі. Під дану задачу підійшов давач температури pt100 (рис. 3.6). Завдяки його підходящому температурному діапазоні (від -196°C до $+750^{\circ}\text{C}$) та надійності.

Корпус латунь, діаметр = 6мм, L = 25мм.

Матеріал оболонки: Нержавіюча сталь 316.

Захист IP: IP67.

Точність: клас А.



Рисунок 3.6 - Датчик температури pt100

3.2.3 Контур двигуна

Так як модернізована піч матиме на одну секцію більше то і мотор-редуктор було обрано інший так як конвеєрна стрічка має суцільну конструкцію, то з додавання 5-ї секції навантаження на старий мотор-редуктор буде більше і не допустимо.

Спочатку розберемося з двигуном який встановлений на даний момент (табл. 3.2). Температура навколишнього середовища – 35 градусів Цельсія. Інформація про мотор-редуктор який встановлений на даний момент зображена у табл. 3.2. Даний мотор-редуктор був встановлений в 2001 році, на даний момент мотор пропрацював в режимі 24/7 майже 20 років поспіль. На жаль, за 20 років виробництво моторів не стоїть на місці, а старий мотор з кожним днем втрачає свою надійність.

Таблиця 3.2 - Інформація про мотор-редуктор який встановлений на даний момент

№	Найменування	Характеристика
1	Фірма	ABB
2	Рік виготовлення	2001
3	Потужність	9кВ (15,5А) 3фазний
4	Діаметр приводного барабану конвеєра	800мм (80 см).
1	2	3
5	Швидкість	10 метрів проїжджає найшвидше за 4 хв.(1 хв = 1 секція) Отже Vmax – 4 м/хв, Vmin - 1.3 м/хв
6	Мотор-редуктор	насаджений на вал барабану.
7	Вбудований в двигун тепловий захист від перегріву	Відсутній
8	Підключення	Працює на пряму від пускателів
9	Вага вантажу на конвеєрі	2000 кг. + вага металевої стрічки. (обрано 50 кг/м. кв) - 4x22x50 = 4400 кг вага стрічки на всіх 4 конвеєрах.
10	Режим роботи привода	24/7.

Отже, як бачимо з наведеної таблиці, характеристики даного мотор-редуктору не підходять при встановленні додаткової секції. Тому підбираємо сучасний новий мотор-редуктор (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 - Інформація про новий мотор-редуктор від фірми NORD

№	Найменування	Характеристика
1	Фірма	NORD
2	Рік виготовлення	2019
3	Потужність	7.5 кВ (11,5А) 3фазний
4	Діаметр приводного барабану конвеєра	800мм (80 см).
5	Швидкість	12.500 метрів треба проїхати за 3-7 хв. Отже $V_{max} - 7$ м/хв, $V_{min} - 3$ м/хв.
6	Оберти в хвилину	2.7 об/хв при швидкості конвеєру 7 м/хв, та 1,2 при швидкості конвеєру 3 м/хв.
7	Мотор-редуктор	насаджений на вал барабану.
8	Вбудований в двигун тепловий захист від перегріву	Так
9	Підключення	Через частотний перетворювач
10	Вага вантажу на конвеєрі	Вага вантажу на конвеєрі – 2500 кг. + вага металевої стрічки. (обрано 50 кг/м. кв) - $5 \times 27 \times 50 = 6750$ кг вага стрічки на всіх 5 конвеєрах.
11	Режим роботи привода	24/7.
12	вентилятор примусового охолодження для роботи від ПЧ . На 40Гц – буде приблизно 7м/хв. При 20Гц буде 3 м/хв.	ТАК

Було вибрано двигун NORD SK7507A ВН IEC132-132MP/4 TF F головні його переваги в порівнянні зі старим мотор-редуктором це його економічність, надійність, безшумність роботи та плавність ходу.

Двигун NORD SK7507A ВН IEC132-132MP/4 TF F.

Даний мотор-редуктор відрізняється кращим КПД, плавністю роботи, безшумною роботою, надійністю та відсутністю вібрацій (рис.3.7,3.8 та 3.9).

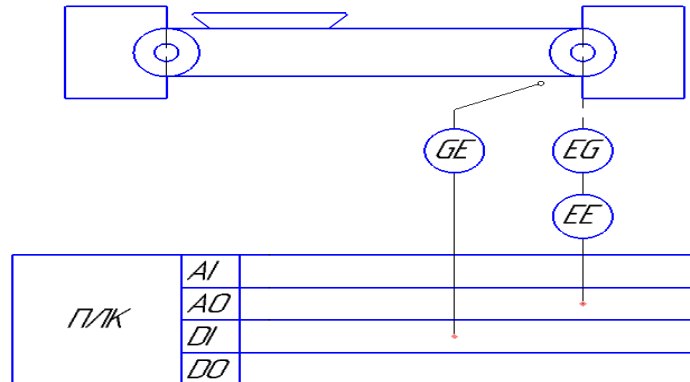


Рисунок 3.7 - Контур керування мотор-редуктором (переміщенням пластинчатого конвеєру)

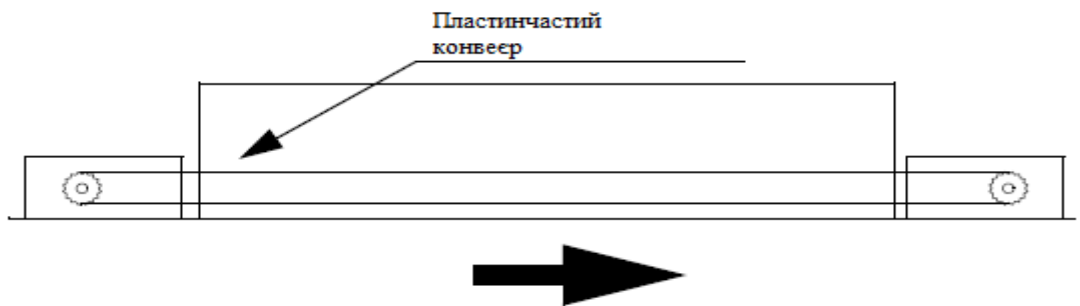


Рисунок 3.8 - Схематичне зображення пластинчатого конвеєру



Рисунок 3.9 - Місце встановлення мотор-редуктору

Завдяки своїй конструкції, мотор-редуктори з черв'ячною передачею, компанії NORD характеризуються плавністю і безшумністю роботи.

В якості нового мотор-редуктора обраний двигун NORD SK7507A ВН ІЕС132-132МР/4 ТF F (рис. 3.10). Характеристики мотор-редуктора наведені в табл. 3.3.

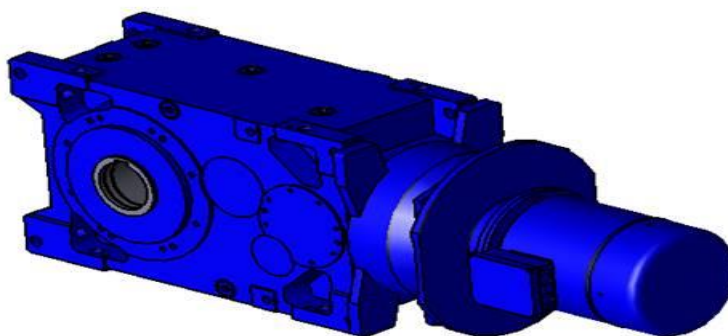


Рисунок 3.10 - Загальний вид мотор-редуктора NORD

Також, для більш ефективної роботи ми встановили новий сучасний ЧП від компанії Danfoss.

132F0030 Danfoss VLT Micro Drive FC 51 7,5 кВт/3ф

ПЧ серії FC 51 це найбільш популярна серія і найкраща серед всіх існуючих. Даний ПЧ було обрано через його характеристика і надійність.

ПЧ серії FC 51 (рис. 3.11) – універсальний і простий в експлуатації. Параметризація займає лічені хвилини завдяки наявності функції автоматичного підключення.

Характеристики:

- 100% захист від КЗ на виході
- 100% захист від КЗ на землю
- захист від неякісної подачі електроенергії



Рисунок 3.11 - Перетворювач частоти Danfoss FC 51

3.3 Керуючі прилади

SIMATIC S7-300.

В даній системі використовується ПЛК від компанії Siemens модель Simatic S7-300 (рис.3.12). SIMATIC S7-300 є повністю підходить для вирішення даної задачі. Його основні переваги це надійність і універсальність.

Характеристики ПЛК:

- природне охолодження;
- робота в реальному часі;
- легкість при модернізації системи.

SIMATIC S7-300 використовується в багатьох додатках по всьому світу і довів свою успішність мільйони разів. Універсальні контролери SIMATIC S7-300 економлять місце при установці і мають модульну конструкцію. Широкий спектр модулів може бути використаний для централізованого розширення системи або для створення децентралізованих структур відповідно до поставленим завданням, що забезпечує економічно ефективний запас запасних частин. SIMATIC відомий безперервністю і якістю.[9]

Загальні характеристики ПЛК моделі S7-300 наведені на таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Загальні технічні дані контролерів S7-300.

Характеристика SIMATIC S7-300
Ступінь захисту корпусу IP 20 згідно з IEC 60 529
Робочі температури при горизонтальній установці 0 ... 60 ° C
Робочі температури при вертикальній установці 0 ... 40 ° C
Температури зберігання і транспортування -40 ... + 70 ° C
Відносна вологість 5 ... 95%
Поява конденсату Не допускається, RH рівень складності 2 відповідно до IEC 1131-2
Обледеніння друкованих плат Не допускається
Атмосферний тиск 795 ... 1080 Гпа
У ланцюгах = 24 В Випробувальна напруга = 500 В
У ланцюгах ~ 220 В Випробувальна напруга ~ 1460 на



Рисунок 3.12 - Контролер SIMATIC S7-300

Панель оператора.

Завдяки ПУ проводиться моніторинг за роботою системи в реальному часі, виконувати потрібні операції (пуск-стоп, запуск, рецепти).

Панелі оператора НМІ, від заводів до вкрай віддалених місць, дозволяють клієнтам легко підключати, слідкувати і контролювати процеси в різних галузях

промисловості, включаючи виробництво, видобуток нафти і газу, а також водопостачання / каналізацію [10].

У якості ОП використовується Siemens TP 177B 6 color PN/DP (рис. 3.13).



Рисунок 3.13 - Панелі оператора Siemens TP 177B 6 color PN/DP

Електричні схеми з'єднань елементів наведені на рис.Б1-Б9 (додаток Б).

3.4 Розробка функціональної схеми автоматизації

Після того, як всі виконуючі механізми і керуючі прилади підібрані було створено контури керування, на основі яких було створено функціональну схему автоматизації. Дана схема допомагає зрозуміти логічну значимість приладів і механізмів. На даній схемі керуючі прилади та механізми зображуються умовно.

Функціональна схема автоматизації наведена в конструкторській документації (додаток В).

РОЗДІЛ 4 ВІЗУАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПЕЧІ

З системою SIMATIC WinCC Siemens пропонує інноваційну, масштабовану систему візуалізації процесів з численними високопродуктивними функціями для моніторингу автоматизованих процесів. Будь то розрахована на одного користувача система або розподілена на багато користувачів система з резервними серверами, система пропонує повну функціональність для всіх галузей і має дуже високу відкритість (рис. 4.1) [11].

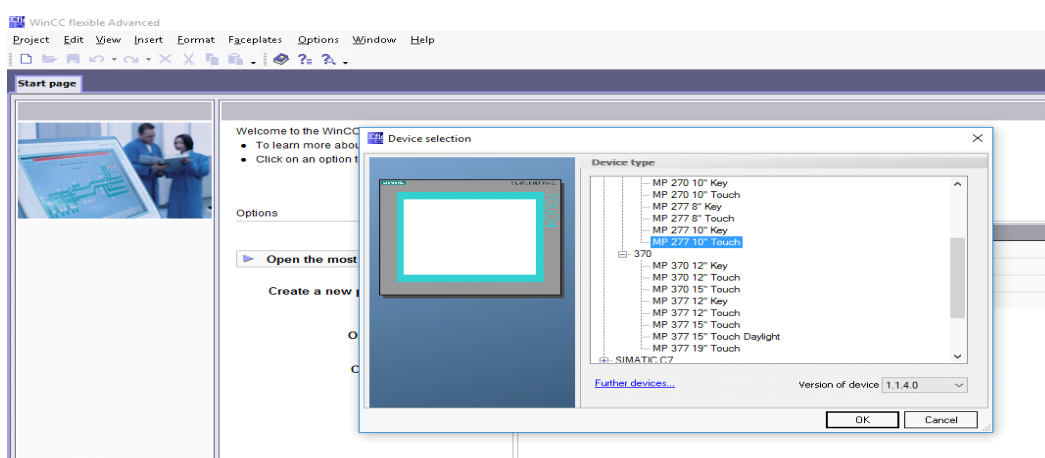


Рисунок 4.1 - Вибір типу панелі

НА ПО процес відбувається в реальному часі.

На ПУ знаходяться головні показники, а саме: температура кожної секції, швидкість мотору-редуктору, наявність продукту, положення валу і т. д.

Під час старту роботи ПО має вигляд (рис. 4.2):

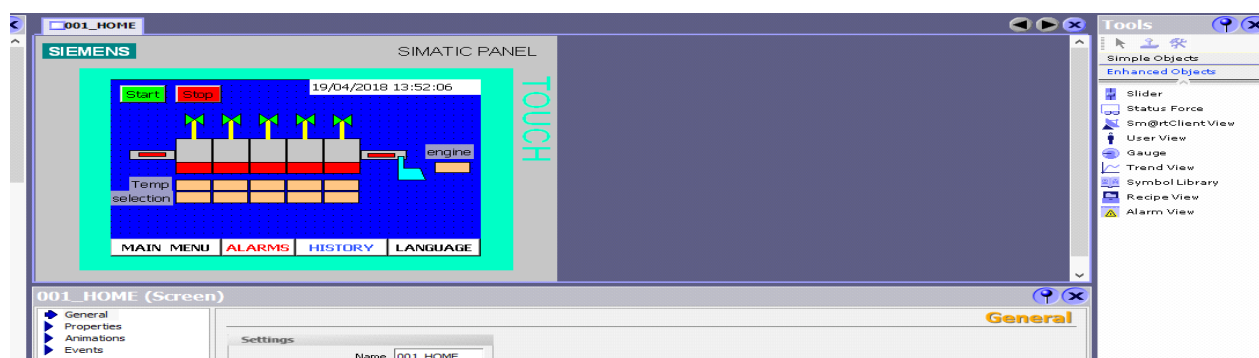


Рисунок. 4.2 - Вигляд монітору при запуску

Під час роботи ПО має вигляд (рис. 4.3):

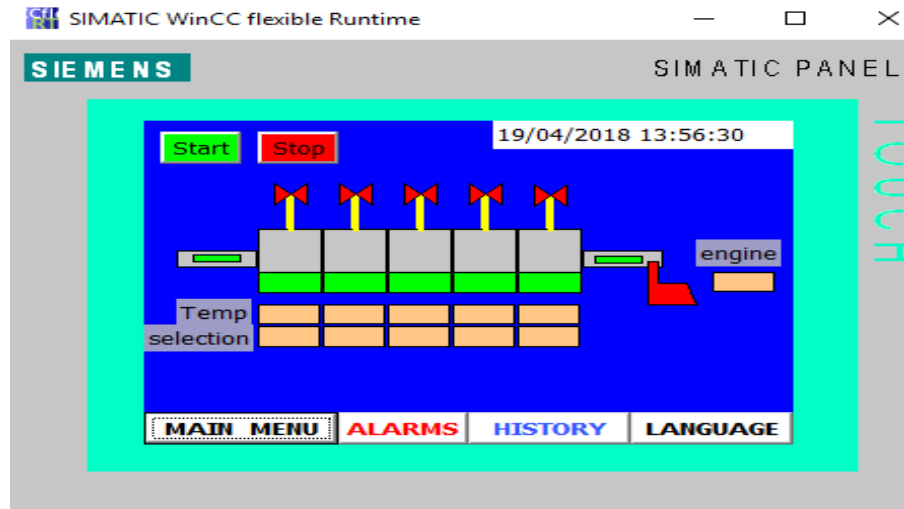


Рисунок 4.3 - Вигляд монітору при роботі без помилок

Завдяки своїй пам'яті на екрані «помилки» і «аварій» можна перевірити як працював об'єкт і які проблеми були. Завдяки такій історії можна проводити підрахунки надійності системи та напевно знати які елементи потрібно ремонтувати (рис. 4.4).

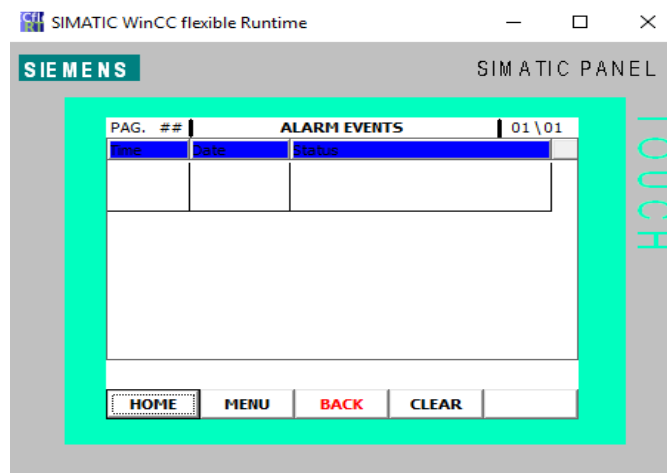


Рисунок. 4.4 - Вигляд вікна HISTORY та вікна ALARMS

РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Ефективність вдосконалення

Найголовнішим показником економічності обладнання це собівартість продукції яка випускається.

Собівартість продукції включає витрати на основні матеріали, заробітну плату, електроенергію, допоміжні матеріали (для технологічних цілей), ремонт обладнання і амортизаційні відрахування.

Ці складові собівартості безпосередньо залежать від основних технічних характеристик верстата, поліпшення яких призводить до зменшення собівартості продукції. Крім того собівартість продукції включає також цехові і загальнозаводські витрати, що містять витрати на утримання цехового і загальнозаводського персоналу, будівель і споруд та ін.

Одним з основних методів зменшення собівартості продукції є підвищення продуктивності верстата і зміна технологічного процесу.

Вдосконалення полягає в додаванні 5-ї секції печі, що в подальшому допоможе зменшити простої, що призведе до неперервності процесу виробництва, збільшить швидкість випікання та спрощення ремонтних робіт, зменшить кількість бракованої продукції і відповідно збільшить якість продукції, що призведе до зменшення собівартості.

Система вимірювальних датчиків контакту доводить до мінімуму втручання оператора в технологічний процес, тому вимагає обслуговування верстата оператором меншої кваліфікації.

Простої в цілому за місяць становлять 1 день в місяць (24 години)

За одну годину виготовляється 24 192 одиниць.

Вартість однієї одиниці дорівнює 12 грн.

$$12 * 24\ 192 * 24 = 6\ 967\ 296 \text{ грн (за 1 місяць)}. \quad (5.1)$$

Вартість однієї секції становить 100 000 \$ = 2 400 000 грн

$$24 \text{ год} * 12 = 288 \text{ год (на рік) (в середньому).} \quad (5.2)$$

$$12 * 24 \text{ 192} * 288 = 83 \text{ 607 552 грн. за рік.} \quad (5.3)$$

$$83 \text{ 607 552} / 24 (\text{курс долара}) = 3 \text{ 483 648 грн.} \quad (5.4)$$

При вартості електроенергії 1 грн 68 коп. за кВт / год кількість втраченої електроенергії за 1 рік в грошовому еквіваленті для старого мотор-редуктору:

$$C = 1,68 * 12 \text{ 264} = 20 \text{ 603,52 грн.} \quad (5.5)$$

Для нового мотор-редуктору:

$$C = 1,68 * 1 \text{ 752} = 2 \text{ 943,36 грн.} \quad (5.6)$$

Вартість нового двигуна (рис. 5.1) становить 183640,60 грн.

Позиція	Опис товару	Ціна/од.	Кількість	Всього
	Діаметр ротора двигуна	38		
	Тепловий захист двигуна	Терморезистор, 3x155 ° C		
	Виконання вентилятора	Зовнішній вентилятор		
	Дод.вентилятор/напруга	ЗР. 220-290V D/380-500V Y 50Hz		
	Положення клемної коробки	2		
	Кабельний ввід	I		
	Тип підключення	Трикутник		
	Пол.кл.кор/каб.ввод.зовн.вент.	2/I		
	Логотип CE	Так		
	Логотип CCC	Ні		
	Окрема частина	Кожух		
	Каб.гвинт.з'єднан.+ кільце	Кріпильн.елемент		
	Ціна	18503220+кільц.кругл.п-різ M32	1 Шт	5.767,54 EUR
		5.767,54 EUR/ 1 Шт		
Загальна вартість				EUR
пдв				20,00 %
Загальна вартість з ПДВ				5 767,54 EUR
				1 153,51 EUR
				6 921,05 EUR

Рисунок 5.1 – Ціна нового мотор-редуктора

Визначимо ціну електричної енергії, яка зекономлена – 1,68 грн / кВт х год

$$C_{ц.ел} = 1 \text{ 350 кВт} * \text{год} * 1,68 \text{ грн./ кВт} * \text{год} = 2 \text{ 268 грн.} \quad (5.7)$$

Беремо розмір коефіцієнта λ за 1,2. Підрахуємо час окупності загальнозаводського частотного перетворювача – 7.5 кВт, ціна (рис. 5.2) якого 15 798 грн

Рахунок на оплату № 162 від 07 грудня 2019 р.

Постачальник: ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "УПРАВЛЯЮЧА КОМПАНІЯ "АВТОМАТИК ГРУП-УКРАЇНА"
 П/р 26004500318198, Банк ПАТ "КРЕДІ АГРІКОЛЬ БАНК", МФО 300614 03028, М.КИЇВ, ПРОСПЕКТ НАУКИ, БУДИНОК 24/2, тел.: (044) 537-08-02, код за ЄДРПОУ 39903293, ІПН 399032926501

Покупець: студент СумДУ Дубовик Андрій
 Миколайович

№	Артикул	Товари (роботи, послуги)	Кількість	Ціна без пдв	Сума без пдв
1	132B0101	Дисплей LCP 12 з потенціометром	1 шт	333,00	333,00
2	132F0018	Перетворювач частоти FC-51 FC-051PK75T4E20H3XXCXXXSXXX	1 шт	12 832,00	12 832,00

Разом: 13 165,00
 Сума ПДВ: 2 633,00
 Усього з ПДВ: 15 798,00

Рисунок 5.2 – Рахунок на частотний перетворювач

$$\text{Токуп} = \frac{15\,798}{1,2 * 2\,268} \sim 6 \text{ місяці.} \quad (5.8)$$

Різниця:

$$91\,104 - 50\,589 = 40\,515 * 1,68 = 68\,065,2 \text{ грн за 1 рік.} \quad (5.9)$$

Вартість мотору + вартість ЧП:

$$183\,640,60 + 15\,798,00 = 199\,438,6 \text{ грн.} \quad (5.10)$$

Термін окупності становить:

$$199\,438,6 / 68\,065,2 = 2 \text{ роки і 9 місяців.} \quad (5.11)$$

Як було розраховано вартість мотор-редуктору 183 640,60 грн та вартість Частотного перетворювача 15 798,00 грн разом становлять 199 438,6 грн.

Отже, загальна сума витрат на нове обладнання для модернізації становить:

$$2\,400\,000 + 183\,640,60 + 15\,798,0 = 2\,599\,438,6 \text{ грн.} \quad (5.12)$$

При цьому ми отримаємо гнучку систему, яка дозволяє уникнути простоїв, отримати більш економічне обладнання в плані витрати електроенергії, більш надійне обладнання так як головний привід буде встановлений новий, більш точне обладнання за допомогою встановлення нового мотор-редуктору з захистом від перегрів та ЧП який захищає мотор та контролює його витрати та швидкість і що є найголовнішим, покращення продукції за рахунок більш точних налаштувань параметрів печі, тобто точним дотриманням технологічних процесів. За рахунок уникнення простоїв і більш надійної системи дана модернізація окупить себе мінімум за 1 рік (формула 5.12) з урахування витрат на монтаж та налаштування нового обладнання.

Варто не забувати, що інколи несправності бувають суттєві, що призводить до замовлення деталей яких не має в наявності, їхня поставка в середньому займає неділю. Тому встановлення 5-ї секції в подальшому допоможе уникнути таких довготривалих простоїв.

5.2 Глобальна ефективність автоматизації

Глобальна ефективність - це відношення витраченого часу на виготовлення продукту (рис. 5.3) при максимальній швидкості лінії, без дефектів, до реально витраченого часу на виготовлення продукту з урахуванням всіх зупинок (перехід, поломки, зачистки, випробування, втрати швидкості).

Ефективність використання обладнання - це відношення витраченого часу на виготовлення продукту при максимальній швидкості лінії, без дефектів, до витраченого часу на виготовлення продукту з урахуванням зупинок на поломки, простої, дефекти, і втрати швидкості.

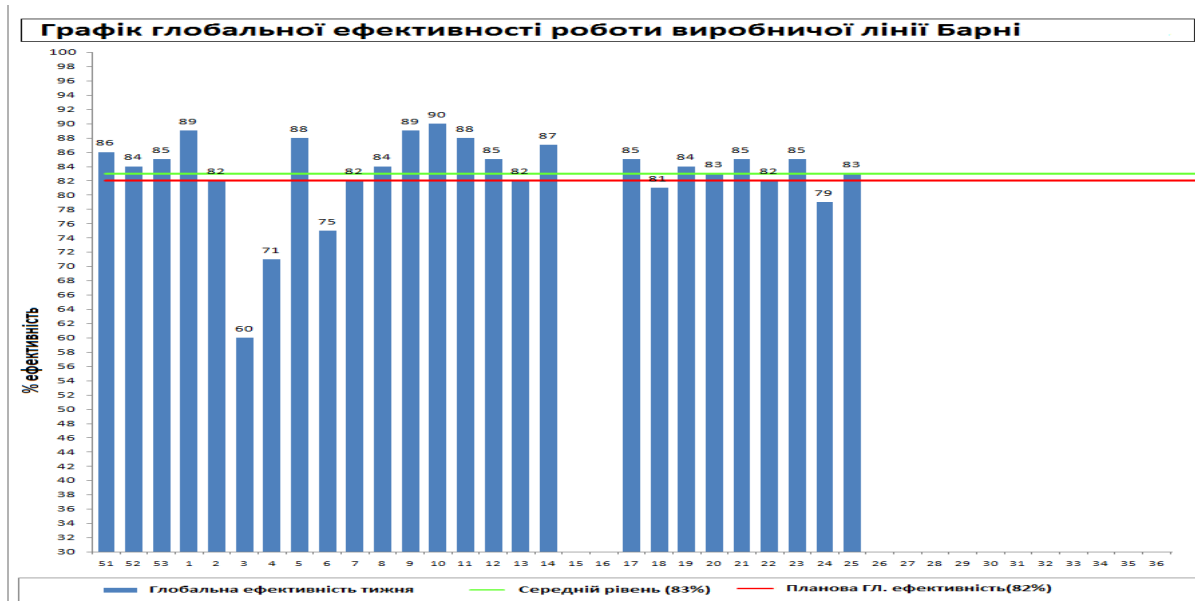


Рисунок 5.3 - Графік глобальної ефективності

Утилізація лінії - це відношення реально витраченого часу на виготовлення продукту з урахуванням всіх зупинок (перехід, поломки, зачистки, випробування, втрати швидкості ...), до теоретично можливого часу використання лінії (168год = 7 * 3 * 8).

Як бачимо з графіка ефективності лінії. В більшості випадків лінії працює вище норми. Що видно за середнім показником півріччя.

Лінії перевиконала план річний ефективності на 1%. Слід враховувати що норма для підприємства при роботі набагато вище норм на західних підприємствах. Отже лінія працює виключно. Все це завдяки стабільним реконструкцій та застосування нових технологій і також навчання кваліфікованих операторів.

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці — це:

1. система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини під час трудової діяльності [12];
2. чинна (що діє на підставі відповідних законодавчих та інших нормативних актів) система соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, які забезпечують збереження здоров'я і працездатність людини під час праці [12].

Охорона праці дуже важлива складова частина на підприємствах. Так як, не додержання елементарних правил можна зашкодити не лише своєму здоров'ю, а також своєму колезі. Окрім того, додержання охорони праці на харчових виробництвах є найголовнішою вимогою. Загальні вимоги охорони праці при використанні тунельної газової печі наведено в додатку Г.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі проаналізовано систему контролю і управління та було запропоновано модернізацію автоматизованої системи керування піччю у складі лінії виготовлення бісквітів.

Для покращення даної системи, мною було:

1. Розглянуто дану систему та подібні до неї;
2. Шляхом аналізу системи, виявлено найголовніші недоліки;
3. Запропоновано вдосконалення, які допоможуть вирішити найголовніші недоліки:

3.1. Інтеграція додаткової п'ятої секції, як робочого резерву, яка робить дану систему гнучкою у випадку аварії;

3.2. Запропоновано температурні режими у випадку використання робочого резерву;

3.3. Запропоновано впровадження нового, сучасного мотор-редуктору з інтегруванням роботи через частотний перетворювач;

3.4. Розроблено новий контур наявності трейв;

3.5. Створено візуалізацію панелі оператора;

3.6. Створена математична модель системи, проведена ідентифікація даної системи, розроблена розгінна характеристика, та запропоновано регулятор контролю подачі газу у відсік печі в залежності від температури в секції.

4. Доведено енергоефективність та економічність модернізованої системи;

5. Доведення надійності модернізованої системи.

Після проведених модернізацій отримаємо гнучку систему, що призведе до неперервності процесу виробництва та спрощення ремонтних робіт, зменшить кількість бракованої продукції і відповідно збільшить якість продукції, що призведе до зменшення собівартості.

За рахунок уникнення простоїв і більш надійної системи дана модернізація окупить себе мінімум за 1 рік навіть з урахування витрат на монтаж та налаштування нового обладнання.

Також було викладено матеріал з безпеки життєдіяльності при експлуатації газової тунельної печі на харчовій промисловості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Інтернет джерело дата публікації 2012р.
<https://www.uesk.org/stati/energoeffektivnost-elektrovdigatelej/> Класи енергоефективності електродвигунів
2. Інтернет джерело дата публікації 2018р. <https://euroec.by/news/article/40>
3. Інтернет джерело дата публікації 2019р. https://www.offidocs.com/edit-pdfeditor.php?username=1884627&fileurl=http%3A%2F%2Fmandik.com.ua%2Fwp-content%2Fuploads%2F2016%2F10%2Fdesign_guide_FC_102.pdf&filename=550007
4. Інтернет джерело дата публікації 2018р. <https://uis.zp.ua/wp-content/uploads/2014/12/Rukovodstvo-po-proektirovaniyu-preobrazovatel-chastoty-Danfoss-Micro-Drive-FC-51.pdf> Руководство по проектированию Привод VLT® Micro
5. Інтернет джерело дата публікації 10.01 2017р.
<http://chistotnik.ru/preobrazovatel-chastoty-ekonomiya-elektroenergii.html>
6. Інтернет джерело дата публікації 31.06.2015р.
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%D1%84%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC
7. Інтернет джерело дата публікації 10.11.2015р. <https://helpiks.org/5-103896.html> Поняття розгонної характеристики
8. Черв'яков, В. Д. Основи надійності об'єктів системотехніки : навч. посіб. / В. Д. Черв'яков, А. В. Павлов, О. Ю. Журавльов. – Суми : СумДУ, 2011. – 245 с.
9. Англomовне інтернет джерело дата публікації 11.11.2015р.
<https://www.redlion.net/products/industrial-automation/hmis-and-panel-meters/hmi-operator-panels>

10. Англійське інтернет джерело дата публікації 2018р.
<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-300.html>
11. Англійське інтернет джерело дата публікації 2018р.
<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/scada/simatic-wincc-v7/simatic-wincc-v7-basic-software.html>
12. Інтернет джерело дата публікації 13.02.2019р.
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%85%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%B0_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96
13. Інтернет джерело дата публікації 25.12.2018р. <https://xn-----7cdbxfuat6afkbmmhefunjo4bs9u.xn--p1ai/%D0%BF%D1%80%D0%B8-%D1%8D%D0%BA%D1%81%D0%BF%D0%BB%D1%83%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8-%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B9-%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B8.html>

ДОДАТОК А Таблиця вхідних-вихідних сигналів

Дослідивши завдання автоматизації АСУТП відповідно до нашого варіанту завдання, а також відповідні галузеві та державні стандарти для визначення норм контрольованих параметрів в системі, складаємо таблицю вхідних-вихідних сигналів досліджуваної системи

Дослідивши процес роботи і підбравши засобами автоматизації створено таблицю вхідних-вихідних сигналів проект системи. (наведена табл. А1)

Таблиця А1. Таблиця вхідних-вихідних сигналів проектованої АСУТП

№	Параметр	Номинальне значення	Відображення		Регулювання	Керівний вплив	Середовище			
			Показ	Сигналізація			Датчики		Виконуючі механізми	
							Вибухон ебезп.	Агрес.	Вибухон ебезп.	Агрес.
1	Наявність лотка з печивом на стрічці конвеєра	Так	+	+	-	Сигналізація у разі відсутності	-	-	-	-
2	Температура першому відсікові	125 °С	+	+	+	Зміна кута заслонки та / або використання витяжки	+	-	+	-
3	Температура другому відсікові	220 °С	+	+	+	Зміна кута заслонки та / або використання витяжки	+	-	+	-

4	Температура у третьому відсікові	260 ° C	+	+	+	Зміна кута заслонки та / або використання витяжки	+	-	+	-
5	Температура у четвертому відсікові	215 ° C	+	+	+	Зміна кута заслонки та / або використання витяжки	+	-	+	-
6	Температура у п'ятому відсікові	175 ° C	+	+	+	Зміна кута заслонки та / або використання витяжки	+	-	+	-
7	Положення валу двигуна	Зціплення з коліщата конвеєру	+	+	-	Вимкнення подачі току на двигун	-	-	-	-
8	Тиск у першому відсікові	0,3 – 0,5 МПа	+	+	-	Видача попередження оператору	+	-	+	-
9	Тиск у другому відсікові	0,3 – 0,5 Мпа	+	+	-	Видача попередження оператору	+	-	+	-
10	Тиск у третьому відсікові	0,3 – 0,5 Мпа	+	+	-	Видача попередження оператору	+	-	+	-
11	Тиск у четвертому відсікові	0,3 – 0,5 Мпа	+	+	-	Видача попередження оператору	+	-	+	-
12	Тиск у п'ятому відсікові	0,3 – 0,5 Мпа	+	+	-	Видача попередження оператору	+	-	+	-

13	Аварія горілки 1	Ні	+	+	-	Видача попередження оператору	+	-	+	-
14	Аварія горілки 2	Ні	+	+	-	Видача попередження оператору	+	-	+	-
15	Аварія горілки 3	Ні	+	+	-	Видача попередження оператору	+	-	+	-
16	Аварія горілки 4	Ні	+	+	-	Видача попередження оператору	+	-	+	-
17	Аварія горілки 5	Ні	+	+	-	Видача попередження оператору	+	-	+	-

**ДОДАТОК Б Електрично принципова схема підключення
електрообладнання**

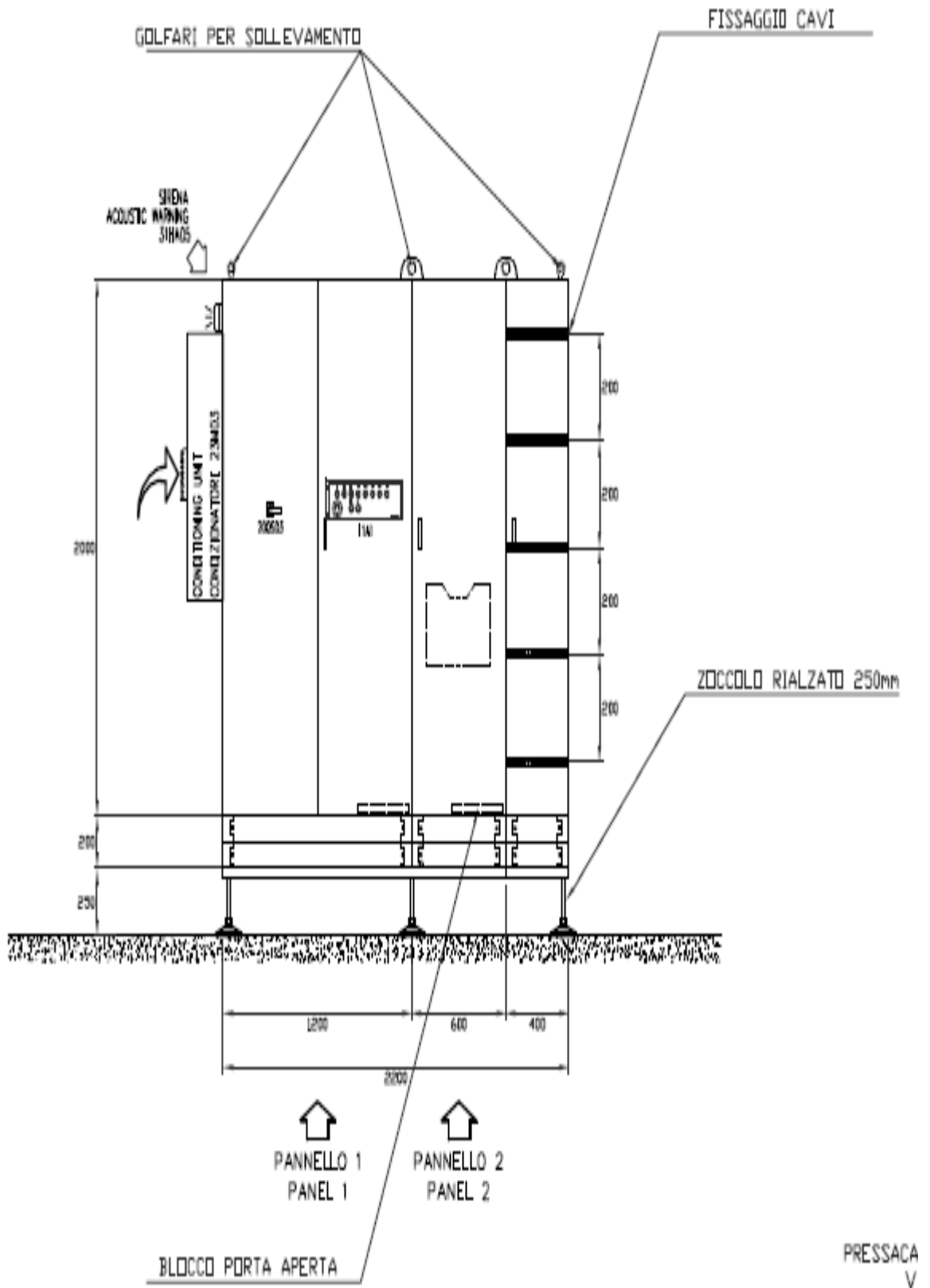


Рисунок Б1 – Зовнішній вигляд електричної шафи

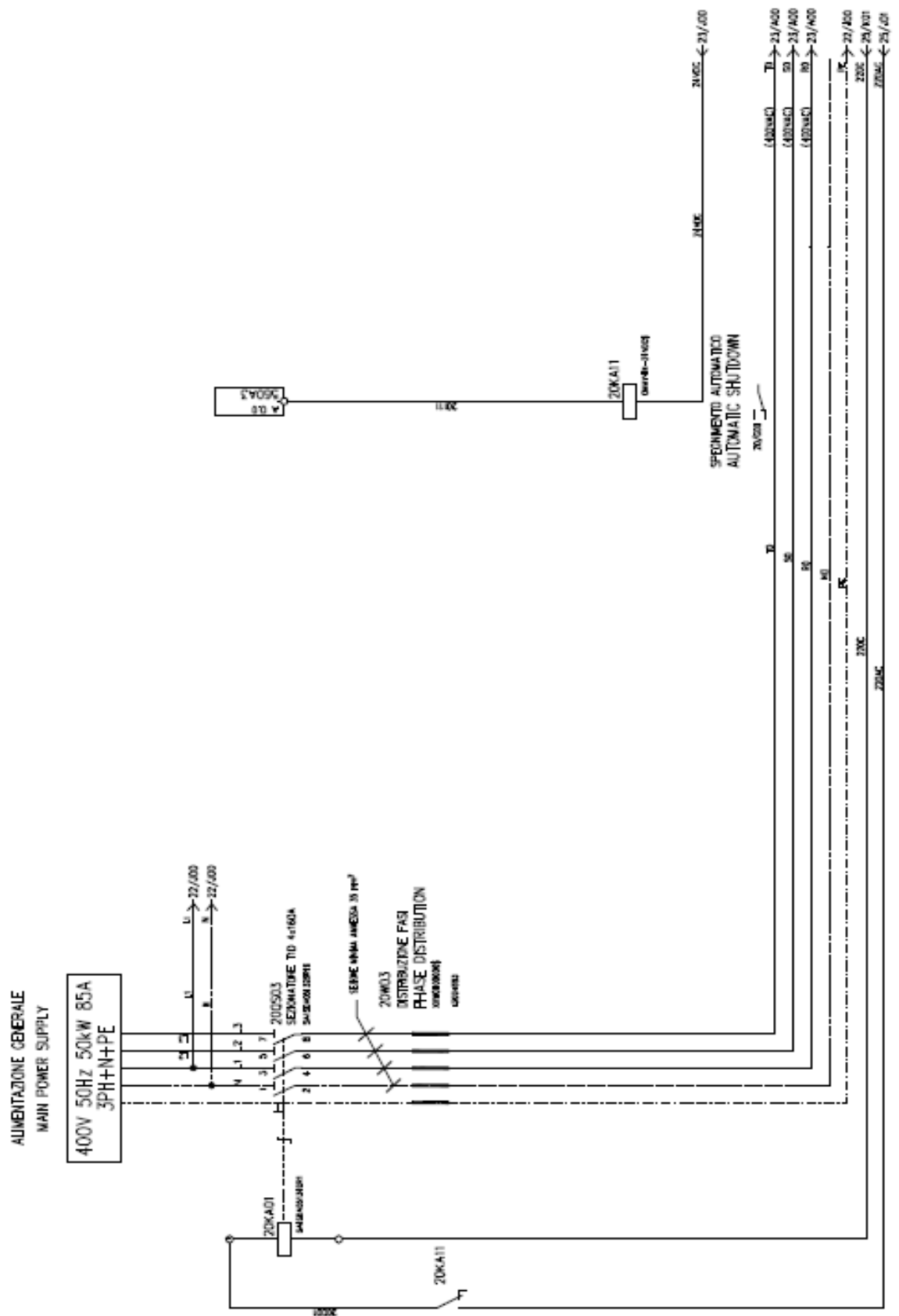


Рисунок Б3 – Ввод живлення електричної шафи

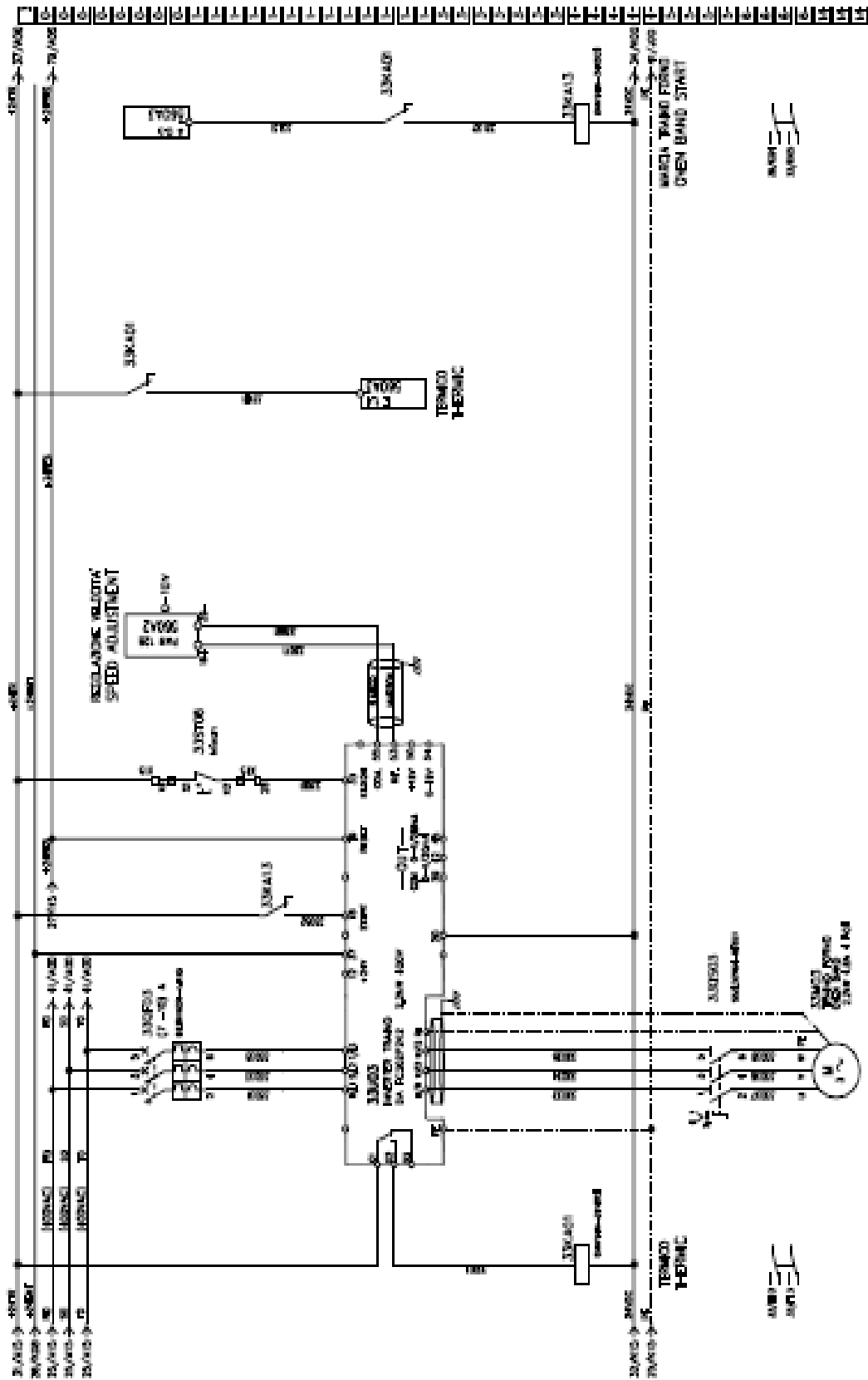


Рисунок Б4 – Електрична принципова схема підключення частотного перетворювача та мотор-редуктору

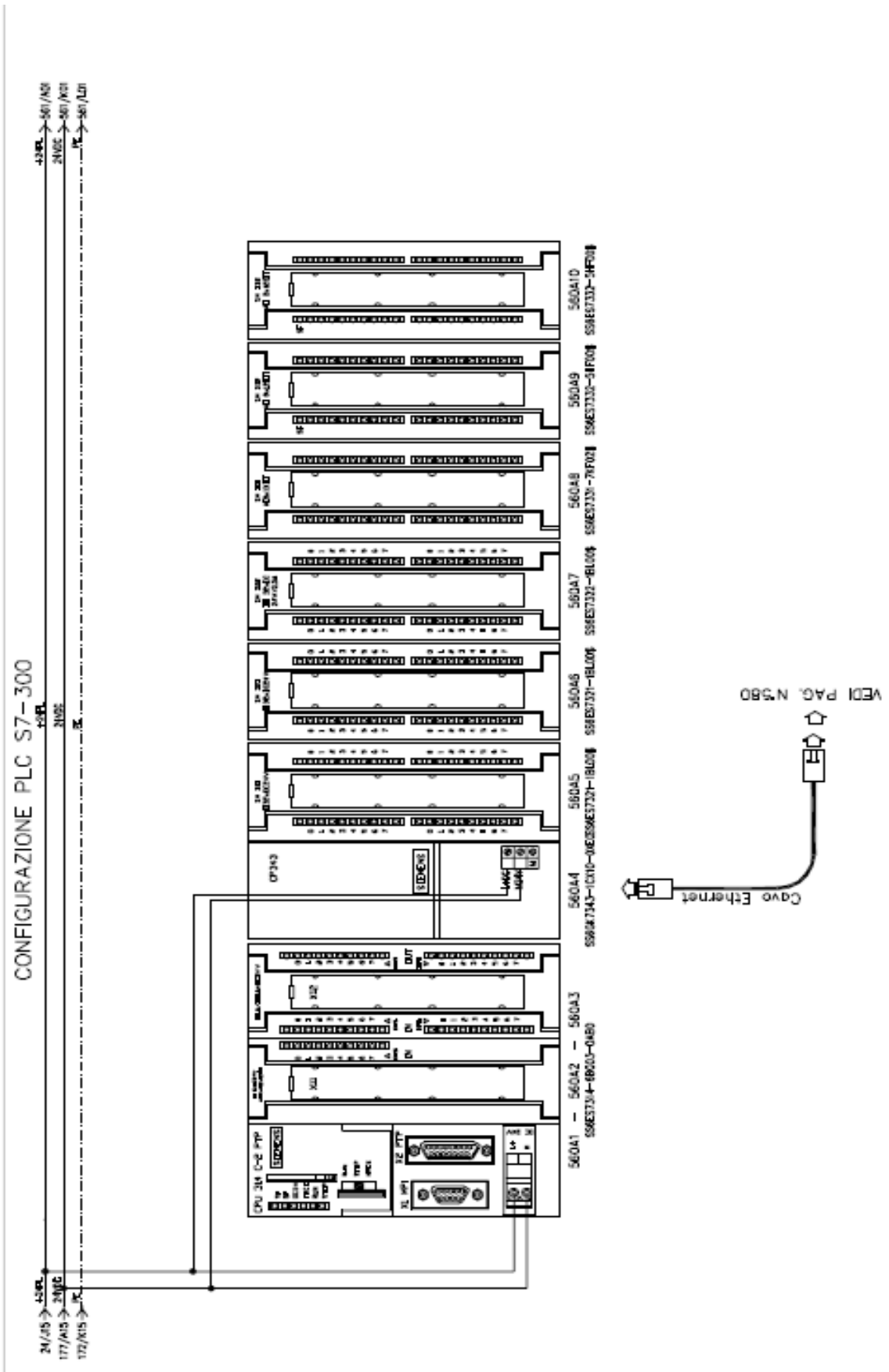


Рисунок Б7 – Зовнішній вигляд ПЛК в шафі

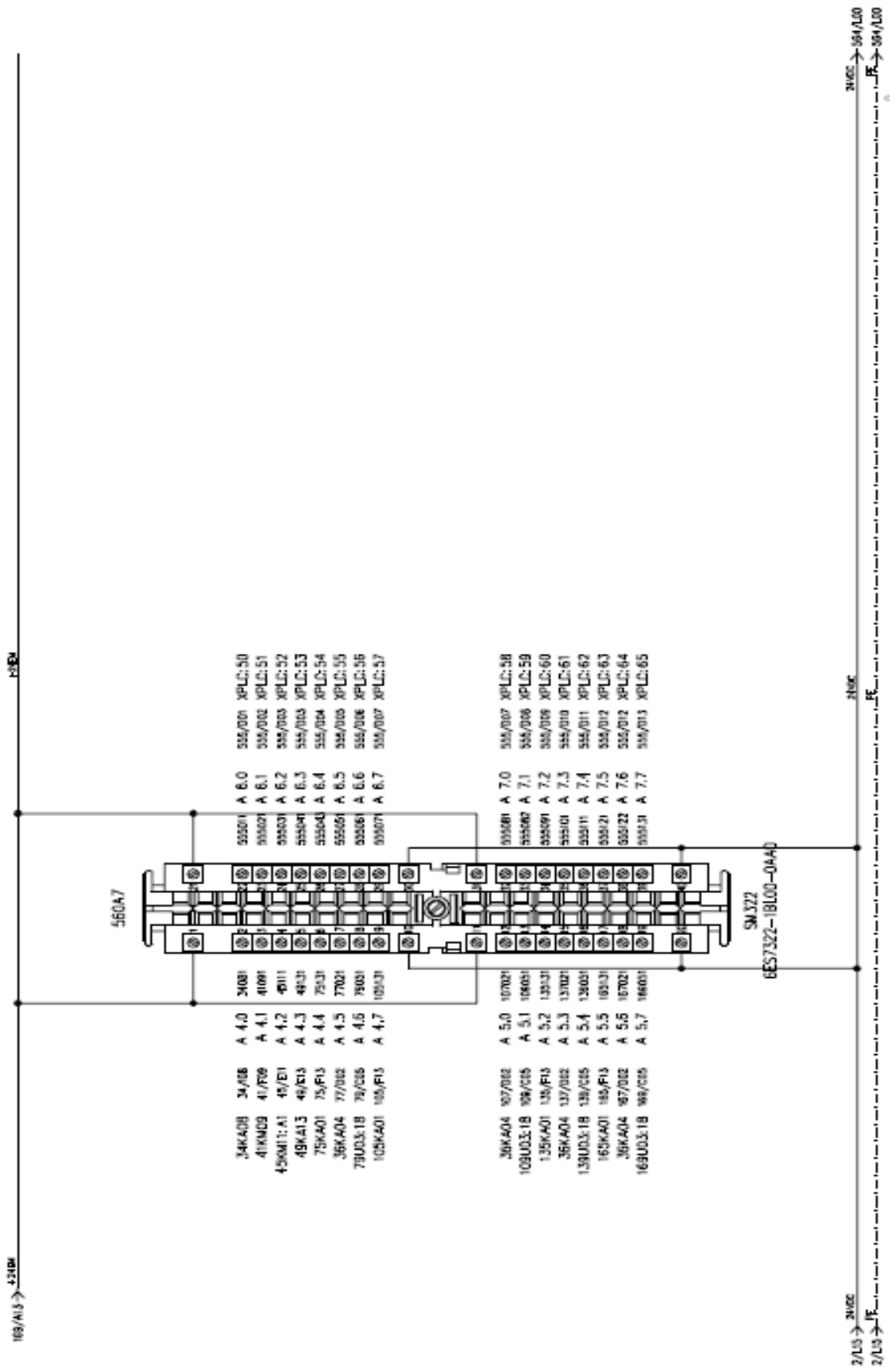


Рисунок Б8 – Електрична принципова схема підключення обладнання до модуля ПЛК

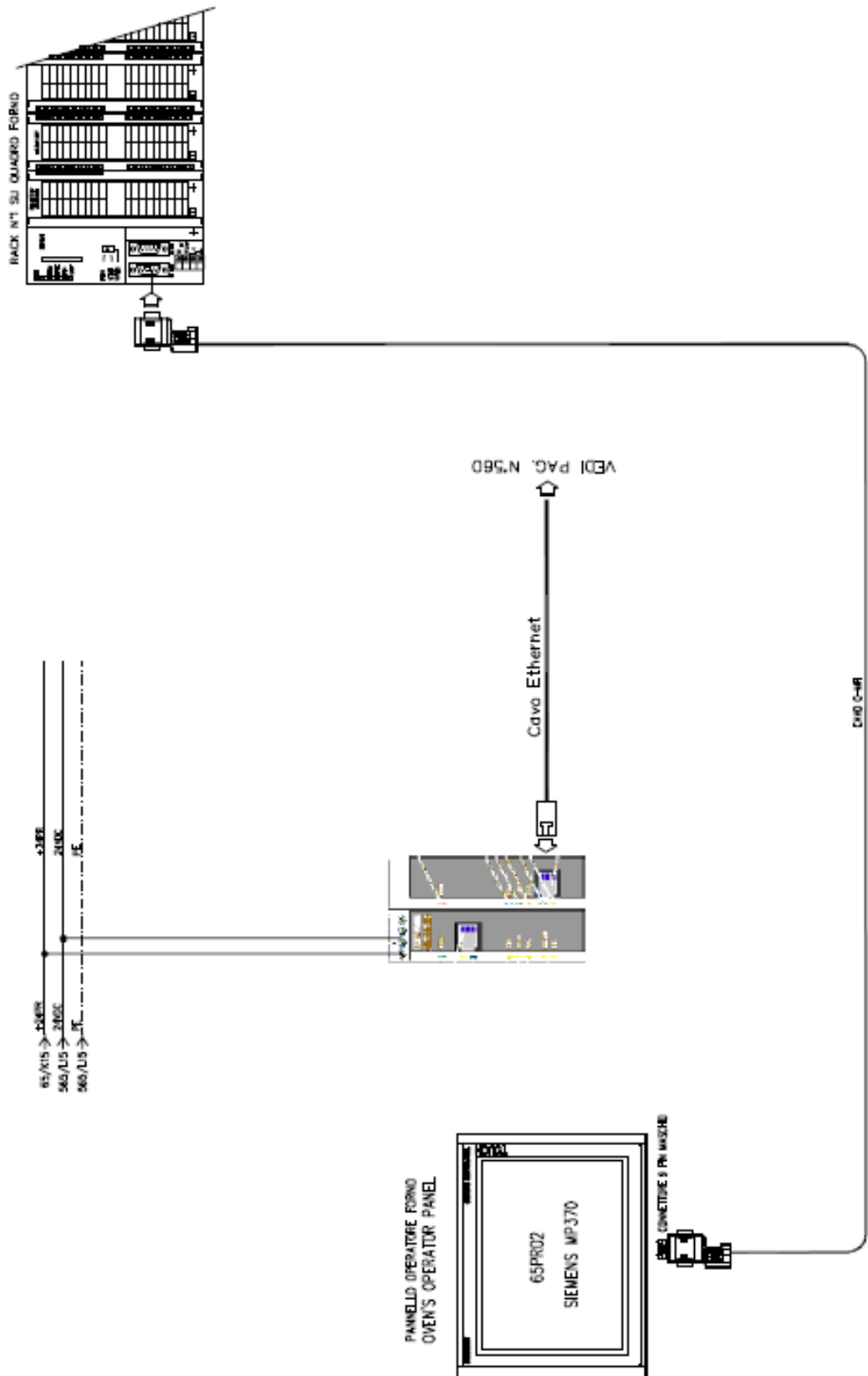


Рисунок Б9 – Підключення комунікації та електро живлення до ПО та ПЛК

ДОДАТОК Г ОХОРОНА ПРАЦІ

Г1 Загальні вимоги охорони праці [13]

1.1. Секції призначені для випічки бісквітів, хлібобулочних та кондитерських виробів.

1.2. Тунельні камери, системи нагріву і циркуляції повітря і панель управління. Обігрів камери випічки забезпечується повітрям, який проходить через тепловий блок. Примусова циркуляція повітря здійснюється двошвидкісним вентилятором.

1.3. Тунельну піч слід розміщувати в сухому приміщенні, оснащеному примусової припливно-витяжною вентиляцією, підлога повинна бути рівним, виконаним з негорючого матеріалу, харчування мережі повинно відповідати технічним вимогам печі, обов'язково має бути поставлене заземлення.

1.4. При виборі місця під установку печі слід керуватися наступними вимогами:

- відстань від газового пальника до огорожувальних конструкцій будівлі має бути не менше 1,0 м;

- при розташуванні шафи електроустаткування на бічній лівій стінці печі відстань від цієї стінки до іншого обладнання повинна бути не менше 0,8 м;

- при розташуванні шафи електроустаткування на задній стінці печі відстань від бічної лівої стінки печі до іншого обладнання повинна бути не менше 0,15 м. Відстань від задньої стінки до іншого обладнання повинна бути не менше 0,8 м.

1.5. До самостійної експлуатації тунельної печі допускаються особи не молодше 18 років, що пройшли теоретичне і практичне навчання, які пройшли медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я, що пройшли вступний та первинний на робочому місці інструктаж з охорони праці, навчені безпечним методам і прийомам роботи, які пройшли стажування на робочому місці і перевірку знань вимог охорони праці, а також навчання правилам

пожежної безпеки та перевірку знань правил пожежної безпеки в обов'язки посадових зобов'язаностей.

1.6. Працівник повинен пройти навчання і перевірку знань з електробезпеки на групу не нижче III.

1.7. При експлуатації тунельної печі персонал зобов'язаний:

- знати і дотримуватися вимог цієї інструкції, правила і норми охорони праці, правила внутрішнього трудового розпорядку;

- дотримуватися правил поведінки на території та в приміщеннях підприємства;

- дбати про особисту безпеку і особисте здоров'я;

- виконувати вимоги пожежо- та вибухобезпеки, знати сигнали оповіщення про пожежу, порядок дій при ньому, місця розташування засобів пожежогасіння та вміти користуватися ними;

- знати місце розташування аптечки і вміти надавати першу допомогу потерпілому;

- знати порядок дій у разі виникнення надзвичайних подій;

- знати будову, принцип роботи, правила експлуатації та обслуговування ротаційної печі.

1.8. При експлуатації тунельної печі персонал повинен проходити:

- повторний інструктаж з охорони праці на робочому місці не рідше 1 разу на 3 місяці;

- періодичний медичний огляд відповідно до чинного законодавства;

- чергову перевірку знань з електробезпеки на групу не нижче III;

- чергову перевірку знань вимог охорони праці не рідше 1 разу на рік.

1.9. Персонал зобов'язаний виконувати тільки ту роботу, яка доручена безпосереднім керівником робіт і правила безпечного виконання якої йому відомі. Не допускається доручати свою роботу іншим працівникам і допускати на робоче місце сторонніх осіб.

1.10. В процесі експлуатації тунельної печі на персонал можливий вплив наступних небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- термічні опіки при зіткненні з нагрітими поверхнями печі;
- підвищений рівень шуму і вібрації;
- недостатня освітленість робочої зони;
- електричний струм, шлях якого при замиканні може пройти через тіло людини;
- вогнестійкість.

1.11. Обслуговуючий тунельної печі персонал повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту відповідно до діючих Нормами видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), розробленими на підставі Галузевих правил забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту.

1.12. Видані спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші ЗІЗ повинні відповідати характеру і умовам роботи, забезпечувати безпеку праці, мати сертифікат відповідності або декларацію.

1.13. Засоби індивідуального захисту, на які немає технічної документації, а також із закінченим терміном придатності до застосування не допускаються.

1.14. Використовувати спецодяг та інші ЗІЗ для інших, ніж основна робота, цілей забороняється.

1.15. Персонал повинен знати і дотримуватися правил особистої гігієни. Приймати їжу, курити, відпочивати тільки в спеціально відведених для цього приміщеннях і місцях. Пити воду тільки зі спеціально призначених для цього установок.

1.16. Забороняється вживання спиртних напоїв та появу на роботі в нетверезому стані, в стані наркотичного або токсичного сп'яніння.

1.17. Кожен працівник зобов'язаний негайно сповіщати свого безпосереднього чи вищого керівника про будь-якій ситуації, яка загрожує життю і здоров'ю людей, про кожний нещасний випадок, що трапився на виробництві, або про погіршення свого здоров'я, в тому числі про появу гострого професійного

захворювання (отруєння), а також про всі помічені несправності обладнання, пристроїв.

1.18. Вимоги цієї інструкції з охорони праці є обов'язковими для персоналу при експлуатації ротаційної печі. Невиконання цих вимог розглядається як порушення трудової дисципліни і тягне за собою відповідальність згідно з чинним законодавством.

Г2 Вимоги охорони праці перед початком роботи [13]

2.1. Перевірити справність спецодягу, спецвзуття та інших ЗІЗ на відсутність зовнішніх пошкоджень, надіти справні ЗІЗ, що відповідають виконуваній роботі. Спецодяг повинен бути застебнутий. Волосся прибрати під головний убір. Забороняється тримати в кишенях одягу гострі, предмети, що б'ються.

2.2. Зняти обручки та інші ювелірні прикраси. Взуття має бути закритою. Забороняється надягати сандалі, шльопанці та іншу подібну взуття.

2.3. Отримати завдання у безпосереднього керівника, при необхідності пройти інструктаж.

2.4. Прийняти зміну, ознайомитися з записами в журналі.

2.5. Перевірити справність ротаційної печі, вентиляції, освітлення робочого місця.

2.6. Оглянути робоче місце, прибрати все, що може перешкодити роботі або створити додаткову небезпеку.

2.7. Працівник повинен особисто переконатися в тому, що всі заходи, необхідні для забезпечення безпеки виконані.

2.8. При виявленні будь-яких несправностей повідомити про це свого безпосереднього керівника і до їх усунення до роботи не приступати.

Г3 Вимоги охорони праці під час роботи [13]

3.1. Підкорятися правилам внутрішнього трудового розпорядку, інших документів, що регламентують питання дисципліни праці.

3.2. Виконувати тільки ту роботу, по якій працівник пройшов навчання, інструктаж з охорони праці і до якої допущений особою, відповідальною за безпечне виконання робіт.

3.3. Працювати у встановленій спецодязі, спецвзуття, правильно застосовувати засоби індивідуального захисту.

3.4. Не допускати до експлуатації ротаційної печі ненавчених і сторонніх осіб.

3.5. Виконувати вимоги безпеки, викладені в описі та інструкції по експлуатації тунельної печі.

3.6. Не залишати без нагляду працюючу ротаційну піч на період тимчасової відсутності (обід, перезмінка і т.д.), допускається підміна обслуговуючого персоналу.

3.7. Стежити за показаннями контрольно-вимірювальних приладів і автоматики безпеки.

3.8. Включення ротаційної печі повинно проводитися після перевірки електричних з'єднань, наявності тяги в димоході і герметичності паливних і газових трубопроводів.

3.9. Розігріти піч до необхідної для випічки температури з урахуванням часу розігріву парогенератора, відкрити двері пекарної камери, ввести завантажену тестовими заготовками візок, зафіксувати її і закрити двері. Після закінчення випічки стелажна візок виводиться з пекарної камери.

3.10. Щоб уникнути опіків гарячим повітрям при відкриванні дверей печі необхідно відкривати двері пекарної камери в два етапи:

- відкрити двері пекарної камери на 5-10 см і почекати протягом 20-30 секунд до повної зупинки теплового вентилятора;
- відкрити двері повністю. При цьому працівник повинен перебувати за дверима.

3.11. Щоб уникнути опіків гарячим повітрям при установці і витяганні стелажній візки з гарячій печі, а також для захисту від опіків при випадковому торканні нагрітих поверхонь при маніпуляціях з дверима, необхідно використовувати захисні теплостійкі рукавиці.

3.12. Не вносити в піч легко займисті та інші небезпечні речовини.

3.13. Не застосовувати препарат піч для сушіння різних нехарчових продуктів.

3.14. Чи не перевищувати вагу, завантаження і габарити рекомендованих в паспорті візків.

3.15. Чи не загороджувати вільний доступ до вентиляційних отворів.

3.16. Не допускати попадання в пальник вологи, сторонніх предметів, оберегати від механічних ударів і інших пошкоджень.

3.17. забороняється:

- включати піч при витоку палива;
- включати піч при виявленні запаху газу;
- відключати піч без попереднього охолодження до заданої програми температури;
- мити піч струменем води;
- протирати вологою ганчіркою гаряче скло;
- самостійно здійснювати будь-які роботи з пальником;
- знімати захисний кожух пальника при її включеному стані.

3.18. Відключати піч від електричної мережі при технічному обслуговуванні, ремонті і санітарній обробці, при цьому на місці її підключення мережі повинна висіти табличка «Не включати - працюють люди!».

3.19. Категорично забороняється працювати з піччю за відсутності з'єднання заземлюючого затискача печі з контуром заземлення цеху.

3.20. В процесі роботи контролювати технологічний процес. При цьому розташовуватися таким чином, щоб не піддаватися впливу небезпечних виробничих факторів.

3.21. Уникати контакту з поверхнями, що мають підвищену температуру.

3.22. Дотримуватися обережності при відкриванні ротаційної печі, щоб уникнути опіків розпеченим повітрям.

3.23. Дотримуватися правил поведінки на території та в приміщеннях підприємства.

3.24. У разі поганого самопочуття припинити роботу, довести до відома свого безпосереднього керівника і звернутися до лікаря.

Г4 Вимоги охорони праці в аварійних ситуаціях [13]

4.1. При виникненні несправності в роботі печі (ненормальний шум, запах горілої ізоляції і т.д.) відключити піч від паливної системи і електромережі і викликати ремонтну службу.

4.2. Щоб уникнути створення загрози життю персоналу при виникненні аварійної ситуації, при виявленні витoku газу і рідкого палива, появи запаху газу:

- не допускати виникнення вогню і іскроутворення (включення / вимикання світла і електроприладів);
- закрити запірний кран підведення палива;
- включити систему вентиляції для провітрювання приміщення, в якому встановлена піч;
- відключити піч, натиснувши кнопку аварійного відключення, вимкнути піч кнопкою на панелі управління, відключити піч від електромережі вступним вимикачем, розташованим в електрошафі;
- викликати фахівця, який має допуск і відповідну кваліфікацію на проведення ремонтних робіт;
- прямого втручання, при необхідності охолодити піч.

4.3. При виявленні диму і виникненні пожежі негайно оголосити пожежну тривогу, вжити заходів до ліквідації пожежі за допомогою наявних первинних засобів пожежогасіння, довести до відома свого чи вищого керівника. При необхідності викликати пожежну бригаду по телефону 101 або 112.

4.4. Забороняється застосовувати воду та пінні вогнегасники для гасіння електропроводок і обладнання під напругою, так як піна є гарним провідником електричного струму. Для цих цілей використовуються вуглекислотні і порошкові вогнегасники.

4.5. В умовах задимлення й наявності вогню в приміщенні пересуватися уздовж стін, зігнувшись або повзком; для полегшення дихання рот і ніс прикрити хусткою (тканиною), змоченою водою; через полум'я пересуватися, накрившись з головою верхнім одягом або покривалом, по можливості облитися водою, одяг, що загорівся зірвати або погасити, а при охопленні вогнем більшої частини одягу щільно загорнути працівника в тканину (кошму), але не накривати з головою.

4.6. При нещасному випадку негайно звільнити потерпілого від дії травмуючого фактора, дотримуючись власну безпеку, надати потерпілому першу допомогу, при необхідності викликати бригаду швидкої допомоги по телефону 103 або 112. За можливості зберегти обстановку, при якій стався нещасний випадок, якщо це не загрожує життю і здоров'ю оточуючих, для проведення розслідування причин виникнення нещасного випадку, або зафіксувати на фото або відео. Повідомити своєму безпосередньому та спеціалісту з охорони праці.

4.7. У разі погіршення самопочуття, появи різі в очах, різкому погіршенні видимості - неможливості сфокусувати погляд або навести його на різкість, появи болю в пальцях і кистях рук, посилення серцебиття негайно покинути робоче місце, повідомити про подію своєму безпосередньому керівнику і звернутися в медичний заклад.

Г5 Вимоги охорони праці після закінчення роботи [13]

5.1. Привести в порядок на робоче місце, звільнити проходи, евакуаційні виходи.

5.2. Після закінчення роботи піч відповідно до програми охолоджується до заданої температури і автоматично відключається.

5.3. Здати зміну із записом в журналі всіх зауважень по роботі ротаційної печі.

- 5.4. Зняти спецодяг та інші ЗІЗ, оглянути привести в порядок і прибрати в спеціально відведене місце.
- 5.5. Ретельно вимити руки, обличчя з милом, при можливості прийняти душ .
- 5.6. Повідомити своєму безпосередньому керівнику про всі порушення і зауваженнях, виявлених в процесі роботи, і вжиті заходи щодо їх усунення.