

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий
інститут електроенергетики
(навчально-науковий інститут)
Факультет інформаційних технологій
(факультет)
Кафедра інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА кваліфікаційної роботи ступеня магістра

Здобувача вищої освіти Минасва Микити Федоровича
(ПІБ)
академічної групи 123М-23-1
(шифр)
спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія
(код і назва спеціальності)
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерна інженерія»
(офіційна назва)

на тему «Обґрунтування структури та параметрів комп'ютерної системи контролю роботи
холодильного устаткування кондитерської фабрики «Квітень»
(назва за наказом ректора)

| Керівники | Прізвище, ініціали | Оцінка за шкалою | | Підпис |
|--------------------------------------|--------------------|------------------|---------------|--------|
| | | рейтинговою | інституційною | |
| кваліфікаційної роботи | доц. Ткаченко С.М. | | | |
| розділів: | | | | |
| синтез системи | доц. Бешта Д.О. | | | |
| розроблення програмного забезпечення | ас. Панферова Я.В. | | | |
| Рецензент | | | | |
| Нормоконтролер | проф. Цвіркун Л.І. | | | |

Дніпро
2024

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
інформаційних технологій
та комп'ютерної інженерії
(повна назва)

_____ В.В. Гнатушенко
(підпис) (ініціали, прізвище)

«_____» _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня магістра
(бакалавра, магістра)

здобувача вищої освіти _____ Минаєва М.Ф. _____ академічної групи _____ 123м-23-1
(прізвище та ініціали)

(шифр)

спеціальності _____ 123 Комп'ютерна інженерія _____

за освітньою-професійною програмою _____ «Комп'ютерна інженерія» _____
(офіційна назва)

на тему «Обґрунтування структури та параметрів комп'ютерної системи контролю роботи холо-
дильного устаткування кондитерської фабрики «Квітень»,
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 17 жовтня 2024 р. №1388-с

| Розділ | Зміст | Термін виконання |
|--------------------------------------|---|------------------|
| Стан питання та постановка завдання | На основі матеріалів практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень | 11.10.2024 |
| Теоретичний | Обґрунтувати теоретичну базу режимів роботи устаткування кондитерської фабрики «Квітень» | 25.10.2024 |
| Синтез системи | Розробка функціональної схеми кондитерської фабрики «Квітень» | 15.11.2024 |
| Розроблення програмного забезпечення | Розробка програмного забезпечення контроль стану та керування обладнанням холодильного тунелю кондитерської фабрики «Квітень» | 29.11.2024 |
| Експериментальний розділ | Проведення і обробка результатів експериментів з дієздатністю графів керування | 06.12.2024 |

Завдання видано _____
(підпис керівника)

доц. Ткаченко С.М.
(ініціали, прізвище)

Дата видачі _____ 06 вересня 2024 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

10.12.2024 р.

Прийнято до виконання _____

(підпис здобувача вищої освіти)

Минаєв М.Ф.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 91 с., 26 рис., 13 табл., 15 джерел, 1 додаток.

Об'єкт дослідження: комп'ютерна система холодильного тунелю технологічної лінії виготовлення кондитерських виробів.

Мета: розробити програмно-технічне рішення комп'ютерної системи контролю і керування процесом охолодження продукції в охолоджувальному тунелі лінії виробництва кондитерських виробів.

У вступі показано актуальність, розкрито мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, ідею роботи та методи дослідження.

У розділі «Стан питання і постановка задачі» розглянуто принципи роботи об'єкту дослідження. Сформульовано мету, основну задачу, робочі задачі і ідею роботи.

У теоретичному розділі проведено аналіз **режимів роботи устаткування** холодильного тунелю, синтезовано графі-автомати керування ним, а також схему функціональної структури. Висунуто наукове положення.

У розділі «Синтез системи керування» розроблені схема автоматизації і принципова схема системи.

У розділі «Розробка програмного забезпечення» розроблено програмне забезпечення кіберфізичної системи.

В експериментальному розділі перевірено дієздатність графів керування холодильним тунелем, реалізованих у складі програмного забезпечення комп'ютерної системи, а також підтверджено висунуте наукове положення.

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА, ХОЛОДИЛЬНИЙ ТУНЕЛЬ, ТЕРМОМЕТР ОПОРУ, ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ГРАФ-АВТОМАТ РЕЖИМІВ РОБОТИ.

ЗМІСТ

| | Стор. |
|--|--------------|
| Перелік умовних позначень, символів, скорочень і термінів | 7 |
| Вступ | 8 |
| 1 Стан питання і постановка задачі | 10 |
| 1.1 Огляд сфери і умов застосування системи | 10 |
| 1.2 Огляд технології охолодження кондитерських виробів | 12 |
| 1.3 Аналіз методів і засобів контролю й керування охолоджуючим тунелем | 16 |
| 1.4 Постановка задачі | 18 |
| 1.5 Обґрунтування шляхів вирішення проблеми | 19 |
| Висновок | 20 |
| 2 Теоретичний розділ | 21 |
| 2.1 Аналіз режимів роботи устаткування | 21 |
| 2.1.1 Режим простою | 22 |
| 2.1.2 Режим підготовки до запуску | 22 |
| 2.1.3 Режим запуску тунелю | 23 |
| 2.1.4 Робочий режим тунелю | 25 |
| 2.1.5 Режим штатної зупинки | 26 |
| 2.1.6 Режим аварійної зупинки з вини попереднього механізму | 27 |
| 2.1.7 Режим аварійної зупинки з вини самого тунелю або наступної установки | 28 |
| 2.1.8 Режим важкого старту | 28 |
| 2.1.9 Режим чистки | 29 |
| 2.2 Синтез схеми функціональної структури | 30 |
| Висновок | 31 |
| 3 Синтез комп'ютерної системи | 33 |
| 3.1 Розробка функціональної схеми автоматизації комп'ютерної системи | 33 |

| | |
|---|----|
| 3.2 Розробка принципової схеми комплексу технічних засобів | 36 |
| 3.2.1 Аналіз входів та виходів системи | 36 |
| 3.2.2 Обґрунтування елементної бази системи | 52 |
| 3.2.3 Принципова схема комп'ютерної системи | 58 |
| Висновок | 60 |
| 4 Розробка програмного забезпечення | 61 |
| 4.1 Призначення і сфера застосування програмного забезпечення | 61 |
| 4.2 Обґрунтування технічних характеристик програми | 61 |
| 4.3 Опис розробленої програми | 63 |
| 4.3.1 Загальна інформація | 63 |
| 4.3.2 Функціональне призначення | 63 |
| 4.3.3 Опис логічної структури програми | 64 |
| 4.3.4 Використані технічні засоби | 67 |
| 4.3.5 Виклик та завантаження | 68 |
| 4.3.6 Вхідні й вихідні дані | 68 |
| Висновок | 68 |
| 5 Експериментальний розділ | 69 |
| 5.1 Формулювання вимог до експерименту | 69 |
| 5.2 Підготовка експерименту | 69 |
| 5.3 Програма й методика експерименту з протоколом випробувань | 71 |
| 5.3.1 Підготовчі операції | 71 |
| 5.3.2 Перевірка роботи графу переходів між режимами роботи | 72 |
| 5.3.3 Перевірка роботи режиму простою | 74 |
| 5.3.4 Перевірка режиму підготовки до запуску | 75 |
| 5.3.5 Перевірка режиму запуску | 77 |
| 5.3.6 Перевірка режиму роботи | 79 |
| 5.3.7 Перевірка режиму зупинки | 80 |
| 5.3.8 Перевірка режиму зупинки ХТ з вини попереднього механізму | 82 |

| | |
|---|----|
| 5.3.9 Перевірка режиму зупинки ХТ з вини ХТ або наступного механізму | 84 |
| 5.3.10 Перевірка режиму важкого старту | 86 |
| 5.3.11 Перевірка режиму чистки | 87 |
| 5.4 Аналіз результатів експериментів | 88 |
| Висновок | 88 |
| Висновки | 89 |
| Перелік посилань | 90 |
| Додаток А Програмне забезпечення. Текст програми | 92 |

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І
ТЕРМІНІВ**

| | | |
|-----------|---|--|
| КФ | – | кондитерська фабрика; |
| КС ХТ | – | комп'ютерна система холодильного тунелю; |
| АРМ | – | автоматизоване робоче місце; |
| ПАЗ | – | протиаварійний захист; |
| КТЗ | – | комплекс технічних засобів; |
| ПЗ | – | програмне забезпечення; |
| СУБД | – | система управління базою даних; |
| БДП | – | база даних протоколу; |
| БДР | – | база даних рецептів; |
| НМІ | – | англ. Human Machine Interface, людино-машинний інтерфейс; |
| ПЧ | – | перетворювач частотний; |
| КС | – | комп'ютерна система; |
| ПЛК | – | програмований логічний контролер; |
| СУБДП і Р | – | система управління базою даних протоколу і рецептів; |
| TFT | – | англ. Thin Film Transistor, тонкоплівковий транзистор; |
| USB | – | англ. Universal Serial Bus, універсальна послідовна шина; |
| CPU | – | англ. Central Processor Unit, модуль центрального процесора; |
| АЦП | – | аналого-цифровий перетворювач; |
| ЦАП | – | цифро-аналоговий перетворювач; |
| ХТ | – | холодильний тунель; |
| ТС | – | телесигналізація; |
| ТК | – | телекерування; |
| ТВ | – | телевимірювання. |

ВСТУП

Кондитерська фабрика «Квітень» випускає широкий асортимент печива, пряників і тістечок. У виробництві компанії застосовуються кондитерські холодильні тунелі, які використовують в якості холодоагенту повітря. Експлуатація таких тунелів призводить до зниження якості продукції та перевитрати електроенергії. Є можливість керування холодильним обладнанням з плавним регулюванням кількості теплоти за допомогою профільної комп'ютерної системи контролю й керування. Тому актуальне питання обґрунтування параметрів системи контролю тунельної охолоджувальної установки кондитерського виробництва, на вирішення якого спрямована ця кваліфікаційна робота.

Результати роботи можуть бути використані у подальшому для побудови комп'ютерних систем керування холодильним обладнанням кондитерських фабрик.

Мета роботи – розробити програмно-технічне рішення комп'ютерної системи контролю і керування процесом охолодження продукції в охолоджувальному тунелі лінії виробництва кондитерських виробів.

Об'єкт дослідження – комп'ютерна система холодильного тунелю технологічної лінії виготовлення кондитерських виробів.

Предмет дослідження – методи й алгоритми вимірювання температури і тиску охолоджуючого повітря та керування холодильним тунелем за допомогою комп'ютерної системи.

Методи дослідження: обстеження в якості об'єкту впровадження холодильного тунелю на п'ять секцій; аналіз технології, обладнання, задач і обґрунтування шляху вирішення задачі; аналіз режимів роботи устаткування холодильного тунелю і обґрунтування графів-автоматів керування ним; синтез схеми функціональної структури системи; на основі схеми функціональної структури синтез схеми функціональної автоматизації комп'ютерної системи холодильного тунелю; аналіз по схемі функціональній автоматизації входів і виходів контролю й керування та

синтез технічного рішення у вигляді принципової схеми системи; розробка програмного забезпечення системи; моделювання на симуляторі КТЗ системи з подальшою експериментальною перевіркою запропонованих графів-автоматів керування холодильним тунелем.

Ідея роботи – підвищити якість й енергоефективність охолодження кондитерських виробів в холодильному тунелі можливо шляхом контролю й регулювання температури всмоктуваного повітря у секціях тунелю та наступним здійсненням плавного керування актуаторами цього тунелю.

Наукове положення:

Холодильний тунель є об'єктом з детермінованими станами і керування ним може здійснюватися з використанням графів-автоматів керування обладнанням технологічних режимах.

Новизна роботи: показано можливість використання плавного керування актуаторами холодильного тунелю в опційних контурах, окремих від основних графів керування.

1 СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Огляд сфери і умов застосування системи

Фабрика «Квітень» присутня на ринку України з 2001 році. Перше виробництво – виготовлення пряників і печива. 15. У 2002 році фабрика почала виробляти тістечка, цукрое та вівсяне печиво. З 2003 року запущено виробництво пряників незвичайного зовнішнього вигляду й смаку виробництво бісквітного печива з фруктовими начинкам. Ринок збуту КФ «Квітень» охоплює всю Україну і такі країни як Казахстан, Азербайджан, Грузію, Таджикистан, Туркменістан, Киргизстан, Молдову, Монголію, Ізраїль. Наразі асортимент налічує понад 200 найменувань печива, пряників, пирогів, тортів і тістечок

Сьогодні фабрика «Квітень» випускає кондитерські вироби в трьох основних групах: вершковий бісквіт (торти, тістечка, рулети, пироги, круасани); печиво (здобне і наповнене печиво, вівсяне печиво, шоколадні вафельні батончики і тістечка); східні солодощі (козинаки, сорбет, мармелад і зефір) [1].

Виробництво і відділ продажів знаходяться за адресою: Вул. Миколи Руденка, 67-А, м. Дніпро, 49101, Україна.

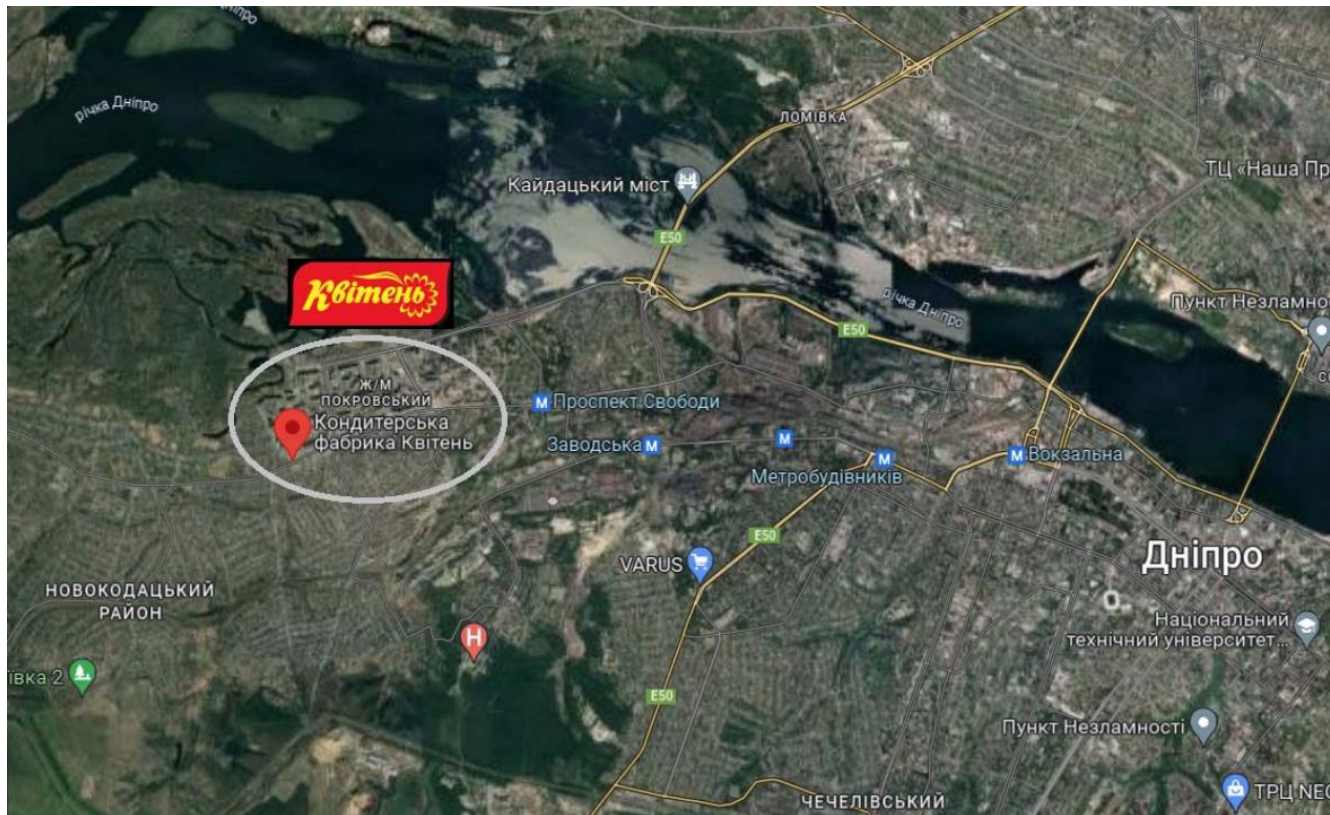


Рисунок 1.1 – Геолокація кондитерської фабрики «Квітень»

На потокових лініях КФ «Квітень» широко застосовуються кондитерські холодильні тунелі, які використовують в якості холодоагенту повітря. Необхідна кількість холодоагенту визначається насамперед кількістю теплоти, що вноситься в камеру продуктом, що підлягає охолодженню і температурою повітря навколишнього середовища і охолодження. Експлуатація таких тунелів як об'єктів з дискретним керуванням призводить до зниження якості продукції та перевитрати електроенергії. Це збільшує собівартість продукції в умовах, коли є принципова можливість керування холодильним обладнанням з плавним регулюванням кількості теплоти, що вноситься холодоагентом для охолодження кондитерських виробів. Таким чином, виникає необхідність розробки комп'ютерної системи контролю роботи холодильного устаткування. Тому актуальне питання обґрунтування параметрів системи контролю тунельної охолоджувальної установки кондитерського виробництва для енергоефективного використання холодильного технологічного обладнання.

Таким чином, мета даної кваліфікаційної роботи – розробити програмно-технічне рішення комп'ютерної системи контролю і керування процесом охолодження продукції в охолоджувальному тунелі лінії виробництва кондитерських виробів.

Вибрана тема актуальна для профільних кондитерських підприємств і спрямована на зниження собівартості виробництва.

Для розробки комп'ютерної системи контролю в якості об'єкту впровадження необхідно розглянути відповідний технологічний процес.

1.2 Огляд технології охолодження кондитерських виробів

Охолоджуючий тунель призначений для охолодження кондитерських виробів на профільному підприємстві підприємстві (цукерки, бісквіти, пряники печиво, тістечка). Тунель використовують з метою охолодження чи доохолодження продукту, а також для транспортування із збереженням заданої температури. Температура всередині охолоджуючого тунелю, повинна регулюватись і контролюватись в автоматичному режимі, бажано здійснювати регуляцію температури для кожної секції [2]. Зазвичай кондитерський холодильний тунель застосовується для охолодження продукції кондитерського виробництва після процесу відсаджування або формування продукту. Тунель сконструйований на основі промислових автоматичних агрегатів, що дають змогу вести роботу цілодобово без зупинки на розморожування випарників.

Тунель складається з таких основних частин:

- кінцева секція тунелю (1 шт.);
- проміжна секція тунелю (3..5 шт. в залежності від ділянки застосування);
- початкова секція тунелю (1 шт.);
- компресорно-конденсаторний агрегат (1 шт.);
- ручний пульт керування (1 шт.).

Кінцеві та проміжні секції тунелю складаються зі столу, кришок, каркаса, верхньої стінки та внутрішнього каркаса[3].



Рисунок 1.2 – Кондитерський холодильний тунель

Стіл являє собою конструкцію, ізольовану пінополістиролом 40 мм. Верхня частина стола являє собою неіржавкий настил, яким рухається стрічковий транспортер.

Кришка являє собою конструкцію з теплоізольованими стінками, яка кріпиться до верху тунелю. Верхні стінки тунелю кріпляться на зварний внутрішній каркас. Стики між кришками, каркасом і верхньою стінкою проклеєні теплоізоляційною стрічкою. Кінцева й початкова секція тунелю, крім кришок, має глухі кришки, обладнані засувками, що регулюють провіт між стрічкою та застінкою.

Усередині кожної секції розташований охолоджувач повітря, який з'єднується комунікаціями з компресором, щитом керування і дренажем. Агрегат зв'язаний мідним трубопроводом з випарниками охолоджувачів повітря.

Тунель працює в такий спосіб: всередині тунелю проходить транспортерна стрічка, привод якої розташовується в кінцевій секції тунелю. Продукція, перебуваючи на стрічці, потрапляє в робочий канал тунелю. Переміщуючись уздовж тунелю, продукція обдувається холодним повітрям і охолоджується.

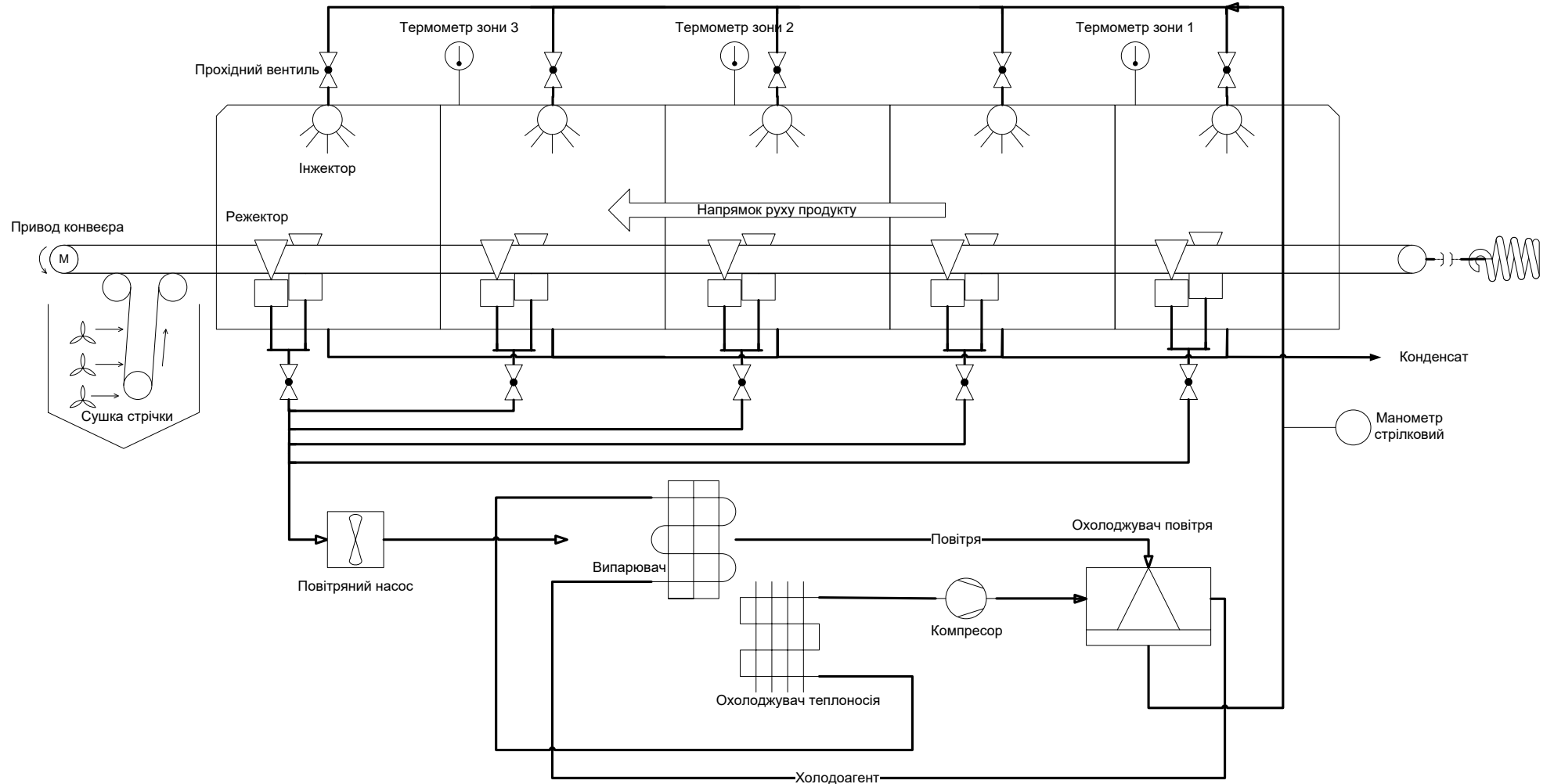


Рисунок 1.3 – Принцип роботи холодильного тунелю

Повітря в тунелі циркулює за таким принципом: повітроохолоджувачі, розташовані в робочому каналі тунелю, всмоктують повітря, яке пройшло від центру стрічки до країв. Відпрацьоване повітря, потрапляючи в охолоджувач повітря, пропускається через випарник, охолоджується і знову нагнітається на поверхню стрічки. Після того, як продукт на стрічці охолодився і досяг потрібної температури, він надходить на наступний транспортер. Стрічка далі проходить мийку, яка очищає та промиває стрічку від залишків продукту. Привод має барабан, який приводить стрічку в рух. Сушіння стрічки, яка має вигляд камери з вентиляторами, проходячи, стрічка обдувається чистим повітрям і сушиться. Пройшовши весь цикл, стрічка повертається на натяжний вал, на неї відсаджується продукт і процес повторюється[3].

Основні технічні характеристики:

- температура повітря в тунелі, С: 5...10;
- ширина транспортувальної стрічки, мм: 820;
- швидкість повітря, м/с: 2,5;
- падіння диференційного тиску, на секцію, не більше: 304 кПа;
- Максимальна частота обертання вентилятора, об/хв: 1380;
- Габаритні розміри тунелю, мм
- довжина секції: 3000;
- ширина: 1070;
- висота: 1350;
- маса, кг: не більш ніж 1200 [3].

Очевидно, що довжина тунелю з п'яти секцій, показаного на рисунку 1.3, складе $3000 \times 5 = 15000$ мм. При цьому для забезпечення нормального постачання холодоагенту необхідно підтримати тиск у повітропроводі не менше $304 \times 5 = 1520$ кПа.

Розглянемо принципи контролю й керування обладнанням охолоджуючого тунелю.

1.3 Аналіз методів і засобів контролю й керування охолоджуючим тунелем

Оператор охолоджуючого тунелю має можливість спостерігати за допомогою віддалених вимірювачів температури температуру повітря у трьох умовних зонах тунелю. В якості датчиків температури при цьому використовуються термометри опору Pt100[4]:



Рисунок 1.4 – Термометр опору WIKА TF44 Pt100 для холодильного тунелю

У випадку невідповідності температури зони технологічному регламенту, або нерівномірності температурного градієнту у напрямку руху продукту, оператор має можливість підлаштування витрати холодного повітря та швидкість його всмоктування через керуючий вплив на прохідні регулюючі вентиля, вручну регулюючи через пульт керування потоки повітря через інжектори й режектори робочих секцій тунелю за допомогою прохідних вентилів з електроприводом [5]:



Рисунок 1.5 – Моторизований клапан Yoshitake MD-36R регулювання потоків повітря у холодильному тунелі

Вплив на клапани здійснює оператор лінії з пульта ручного керування.

Прилади, розташований на пульті керування, показують температуру повітря в трьох зонах охолоджувального тунелю, але засоби інжекції й режекції повітря присутні в усіх секціях тунелю по одному комплекту. При цьому, у разі досягнення повітрям заданих температур автоматично вмикається та вимикається компресорно-конденсаторний агрегат для ступінчатого охолодження повітря-холодоагента, хоча насос подачі повітря працює постійно. Такий спосіб експлуатації обладнання не є оптимальним з точки зору енергоефективності, оскільки в існуючому рішенні не враховується перенесення температури повітря на охолоджуваний продукт, а температура охолодження визначається за температурою у зонах камери. Більш перспективним видається регулювати перенесення температури до продукту за рахунок впливу на швидкість подачі повітря в охолоджуючий тунель, але при цьому забезпечити його стабільну температуру без ступінчатого регулювання.

Подача повітря у трубопроводі здійснюється через випарювач вологи й теплообмінник за допомогою осьового повітряного насосу. При цьому, його швидкість регулюється шляхом подачі керуючої напруги 0...10В на частотний перетворювач вручну з пульта оператора. Оператор при цьому керується показниками манометра трубопроводу повітря. Швидкість конвеєра також є

регульованою вручну за допомогою частотного перетворювача. Тут також оператор використовує змінний резистор, який працює в межах $0 \dots 10$.

1.4 Постановка задачі

На потокових лініях КФ «Квітень» широко застосовуються кондитерські холодильні тунелі, які використовують в якості холодоагенту повітря. Необхідна кількість холодоагенту визначається насамперед кількістю теплоти, що вноситься в камеру продуктом, що підлягає охолодженню і температурою повітря навколишнього середовища і охолодження. Експлуатація таких тунелів як об'єктів з дискретним керуванням призводить до зниження якості продукції та перевитрати електроенергії.

Мета даної магістерської роботи – розробити програмно-технічне рішення комп'ютерної системи контролю і керування процесом охолодження продукції в охолоджувальному тунелі лінії виробництва кондитерських виробів.

Ідея роботи полягає в тому, що підвищити якість й енергоефективність охолодження кондитерських виробів в холодильному тунелі можливо шляхом контролю й регулювання температури всмоктуваного повітря у секціях тунелю та наступним здійсненням плавного керування актуаторами цього тунелю

Основною задачею магістерської роботи є обґрунтування схеми функціональної структури, комплексу технічних засобів, алгоритмів контролю та керування температурою у технологічних секціях охолоджувального тунелю. Для вирішення поставленої задачі необхідно:

- обґрунтувати метод контролю технологічного процесу холодильного тунелю та методи керування ним;
- розробити технічне рішення комп'ютерної системи на основі типового промислового комплексу технічних засобів;
- розробити програмне забезпечення КС холодильного тунелю;
- провести експериментальні дослідження ПЗ КС холодильного тунелю згідно програми і методики випробувань.

1.5 Обґрунтування шляхів вирішення проблеми

Рішення має бути ґрунтоване на промислових засобах для створення комп'ютерних систем і мереж. Оскільки охолодження являє собою подачу охолоджуваного повітря згори через інжектори на охолоджувальний продукт, а потім відсмоктування вже підігрітого повітря з боків через режектори, пропонуються контролювати температуру повітря не над транспортером в умовних зонах, а безпосередньо біля режекторів всмоктування. Якщо попередньо вимірювати температуру охолоджуючого повітря в потоці, то разом з температурою відсмоктуваного повітря у секціях такий підхід дасть оператору більшу уяву про відбір температури від продукту в секції, що залежить від теплоємності й кількості продукту на транспортері, а також поточної швидкості самого транспортера. Крім цього, оператор матиме змогу непрямим методом спостерігати за зміною температури продукту по мірі його проходження по всім секціям тунелю. Це дозволить за ручних допомогою керуючих впливів через обладнання системи на клапани регулювання налаштувати поступове й рівномірне зниження температури продукту у тунелі до технологічно рекомендованої. Таке налаштування підвищує енергоефективність охолодження і зберігає властивості продукту за рахунок рівномірності впливу. Налаштування може бути збережене у відповідній базі рецептів, оскільки може бути кілька різних налаштувань для різних видів продукції і у різні пори року. Стосовно витрат повітря у технологічних трубопроводах – можливо ввести контур регулювання повітря подачі за показниками датчика тиску, але він буде автономним, з можливістю запуску й зупинки насоса від розроблюваної комп'ютерної системи. Також додатково до ступінчатого автономного контуру регулювання температури холодоагенту компресору можна додати контур регулювання продуктивності компресора за показниками температури всмоктуваного повітря на виході охолоджуючого тунелю із можливістю запуску й зупинки обладнання від розроблюваної системи.

ВИСНОВОК

Об'єкт дослідження – комп'ютерна система контролю та керування холодильного тунелю для технологічних ліній кондитерської фабрики «Квітень».

Предмет дослідження – функціональна структура, алгоритми контролю і керування процесом охолодження продукту в холодильному тунелі кондитерської технологічної лінії.

Актуальність проблеми обумовлена необхідністю енергоефективного використання холодильного технологічного обладнання виробництв кондитерських виробів.

Мета роботи – розробити програмно-технічне рішення комп'ютерної системи контролю і керування процесом охолодження продукції в охолоджувальному тунелі лінії виробництва кондитерських виробів.

Ідея роботи – підвищити якість й енергоефективність охолодження кондитерських виробів в холодильному тунелі можливо шляхом контролю й регулювання температури всмоктуваного повітря у секціях тунелю та наступним здійсненням плавного керування актуаторами цього тунелю.

Основна задача роботи – обґрунтування схеми функціональної структури, комплексу технічних засобів, алгоритмів контролю та керування температурою у технологічних секціях охолоджувального тунелю.

Методи дослідження: обстеження в якості об'єкту впровадження холодильного тунелю на п'ять секцій; аналіз технології, обладнання, задач і обґрунтування шляху вирішення задачі; аналіз режимів роботи устаткування холодильного тунелю і обґрунтування графів-автоматів керування ним; синтез схеми функціональної структури системи; на основі схеми функціональної структури синтез схеми функціональної автоматизації комп'ютерної системи холодильного тунелю; аналіз по схемі функціональній автоматизації входів і виходів контролю й керування та синтез технічного рішення у вигляді принципової схеми системи; розробка програмного забезпечення системи; моделювання на симуляторі КТЗ системи з подальшою експериментальною перевіркою запропонованих графів-автоматів керування холодильним тунелем.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз режимів роботи устаткування

Проведемо аналіз режимів роботи устаткування холодильного тунелю лінії виготовлення кондитерських виробів щодо створення математичних моделей контролю і керування.

Робота тунелю визначається режимом роботи всієї технологічної лінії, в якій він використовується. До штатних режимів лінії відноситься простоювання, підготовка до запуску, запуск лінії, робота лінії, зупинка, чищення. До аварійних режимів належать аварійна зупинка з вини попереднього механізму, аварійної зупинки з вини самого тунелю або наступної установки, важкий старт. Ці режими існують і для холодильного тунелю.

Опишемо процес переходу між режимами роботи у формі графу-автомату:

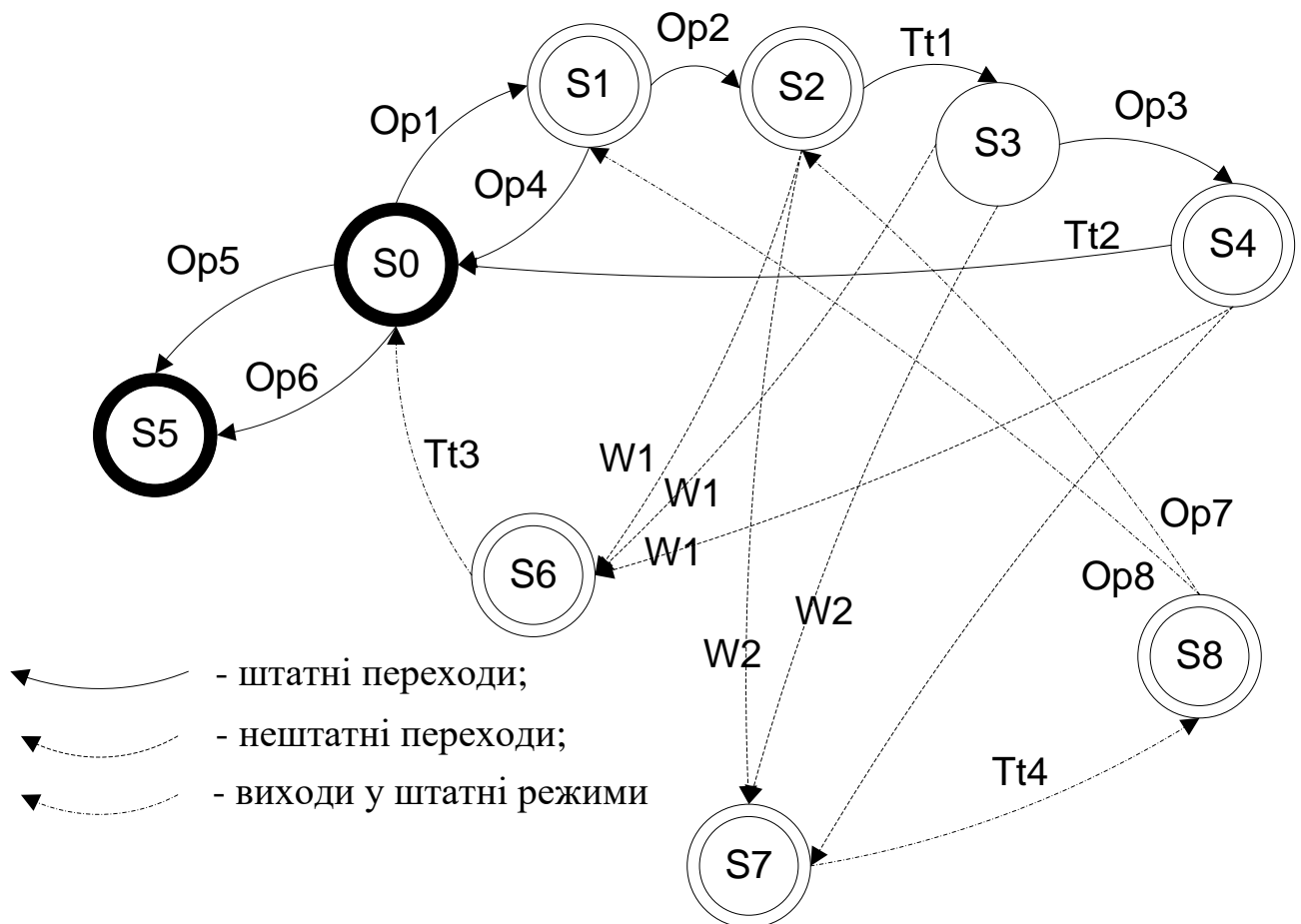


Рисунок 2.1 – Граф-автомат переходів між режимами роботи

На рисунку 2.1 використано наступні позначення вершин і умов переходів:

S0 – простоювання;

S1 – підготовка до запуску;

S2 – запуск лінії;

S3 – робота лінії;

S4 – зупинка;

S5 – чищення;

S6 – аварійна зупинка з вини попереднього механізму;

S7 – аварійна зупинка з вини самого тунелю або наступної установки;

S8 – важкий старт;

Op1...Op6 – відповідні команди від оператора у штатних режимах;

Op7...Op8 – відповідні команди від оператора для виходу з аварійних режимів;

Tt1..Tt4 – факт закінчення необхідних технологічних витримок;

W1 – нештатна зупинка попереднього механізму лінії;

W2 – нештатна зупинка холодильного тунелю або наступного механізму лінії.

Граф-автомат на рисунку 2.1 не показує керуючі впливи, оскільки його вершини у багатьох випадках містять підграфи з досить складним керуванням.

2.1.1 Режим простою

Режим S0 простий. Тут скинуті всі дискретні виходи.

2.1.2 Режим підготовки до запуску

Режим підготовки до запуску починається заздалегідь, так щоб на момент запуску лінії системи охолодження повітря працювали у робочому режимі й температура повітря в тунелі була достатньою для заморожування. Підготовка починається за 5 ... 10 хвилин до запуску лінії. У цьому режимі транспортер тунелю може бути зупиненим, вентилятори обдування обдуву у сушарці зупинені, компресор холодогенератора працює на повну потужність, повітряний насос працює, створюючи необхідний диференційний тиск у повітропроводі не менше 1520 кПа.

Коли середня температура тунелю складатиме 5°C , тунель готовий до запуску в складі технологічної лінії.

Потужність споживання приводом компресора становитиме близько 6 кВА[6] на секцію або 30 кВА у тунелі на 5 секцій. Чим швидше тунель вийде на технологічно необхідну температуру, тим швидше можна буде запустити лінію. Тому тут недоцільно регулювати холодоутворення через швидкість приводу компресора. Враховуючи, що момент запуску лінії контурів управління морозильною камерою заздалегідь не відомий і визначається не тільки фактором готовності камери, дискретного відключення компресора при досягненні заданої температури заморозки в цьому режимі цілком достатньо.

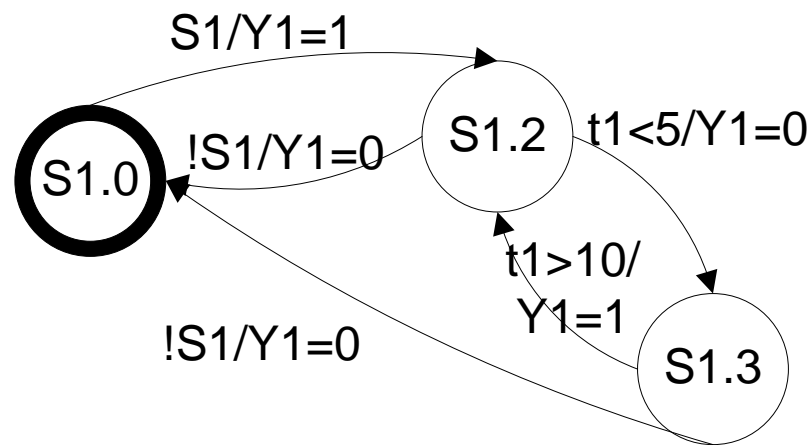


Рисунок 2.2 – Граф-автомат переходів у режимі підготовки

На рисунку 2.2 T_1 – поточна температура повітря у тунелі охолодження. Y_1 – комплексний показник виходів, що об’єднує у собі ввімкнення компресора холодоагенту й вентилятора на максимальних налаштуваннях.

2.1.3 Режим запуску тунелю

Режим запуску тунелю починається з моменту, коли транспортер, на який зсипає продукт холодильний тунель перейде до у стійкого робочого режиму. У режимі запуску запускається спочатку конвеєр, потім, після його, вентилятори сушарки стрічки, насос холодного повітря і компресор продовжують працювати.

Дискретний контур керування передбачає, що компресор буде зупинений, якщо середня температура тунелю знизиться до нижньої межі, яка становить 5°C .

І навпаки, компресор відновить роботу, коли температура підніметься до верхньої межі, 10 °С.

У для тунелю використовується малопотужний приводи конвеєру із досить короткими перехідними характеристиками. Сам конвеєри також порівняно тихохідний і на режимну швидкість виходить швидко. Проте на запуск конвеєра охолоджувального тунелю за технологією передбачено 8...10 с.

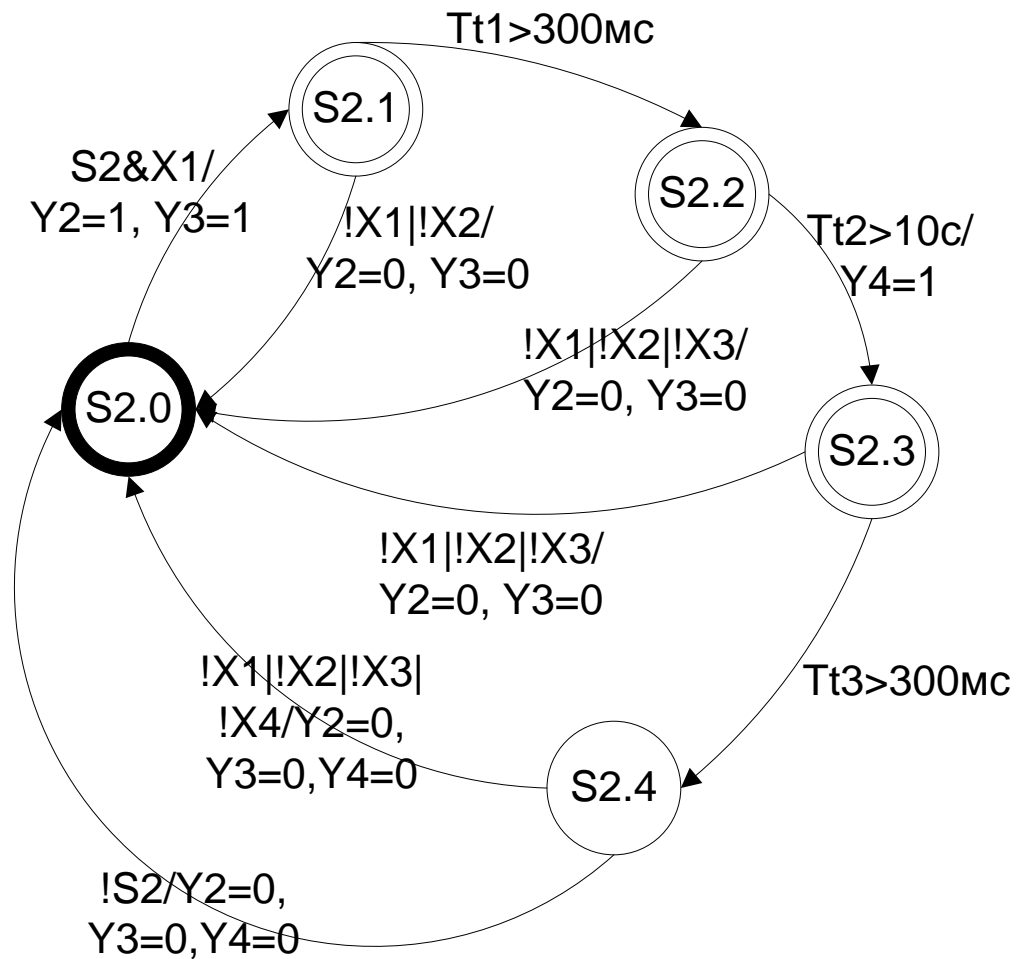


Рисунок 2.3 – Граф-автомат переходів у режимі запуску

На рисунку 2.3: $X1=!(W1\&W2)$ – ознака нормальної роботи суміжних у лінії механізмів; $Y2$ – ввімкнення контурів керування компресором та насосом повітря, $Y3$ – ввімкнення контуру керування конвеєром; $Y4$ – ввімкнення вентиляторів су-

шарки; $X_2..X_4$ – ознаки настання штатного робочого режиму відповідних пристроїв, отримані від пускачів або частотних перетворювачів; T_{t1} , T_{t3} – затримки часу вмикання, відповідно, компресору з насосом, вентиляторів сушарки; T_{t2} – затримка часу на розгін конвеєра.

2.1.4 Робочий режим тунелю

У робочому режимі, коли тунель нормально навантажений, номінальний споживаний струм приводом компресора в робочому режимі складе близько 75 А в залежності кількості тепла, що вноситься. Тепло вноситься як охолоджуванним продуктом, так зовнішнім повітрям через технологічні зазори приймання й відвантаження продукту. Розташування інжекторних і режекторних форсунок рівномірне по довжині тунелю, але в умовах внесення охолоджуваного продукту має місце деякий температурний градієнт всмоктуваного повітря, що є непрямим показником температури поверхонь стрічки й охолоджуваного продукту. Доцільно здійснювати регулювання цього градієнту так, щоб на виході температура всмоктуваного повітря складала $5..10^{\circ}\text{C}$, як це передбачено технологією. Регулювання можна здійснити за допомогою моторизованих клапанів, закриття яких спричинить підвищення тиску у трубопроводі. Підвищений тиск не потрібен, це веде до неенергоєфективної роботи повітряного насосу і може спричинити пориви трубопроводу. Тому повітряний насос доцільно оснастити контуром частотної регуляції обертів за тиском. Відповідно, регулювання тиску й швидкості повітря у трубопроводі у сторону зменшення призведе до зниження переносу тепла від холодоагента охолоджуючого компресора до повітря. Відповідно, компресор буде зупинятись частіше, або, з метою відмови від частих його запусків і запинок, можливо впровадити для компресора також частотне регулювання, але за температурою. Обидва варіанти призведуть до більш ефективного використання електроенергії на компресорі – найбільш енергоємнішому компоненті холодильного тунелю.

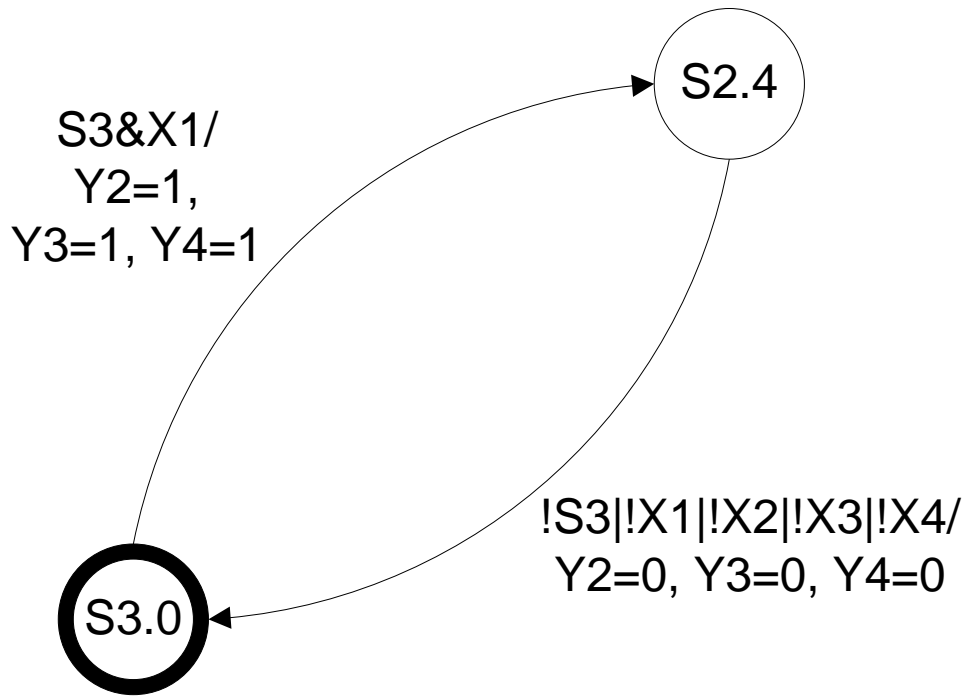


Рисунок 2.4 – Граф-автомат переходів у режимі роботи

2.1.5 Режим штатної зупинки

Цей режим починається із зупинки технологічного та транспортного обладнання лінії до холодильного тунелю, потім тунель працює проміжок часу в 5...30 хвилин[6], що необхідно для його та плюс 10 хвилин до повної просушки, потім зупиняється. Під час зупинки відключаються всі приводи: конвеєра, компресора, повітряного насоса, вентиляторів сушки. Потім відпрацювання штатної зупинки проводиться з обладнанням лінії, що знаходиться після тунелю.

На рисунку 2.5 Tt4 – затримка часу на доохолодження продукції, яка вже є на стрічці та на досушування стрічки.

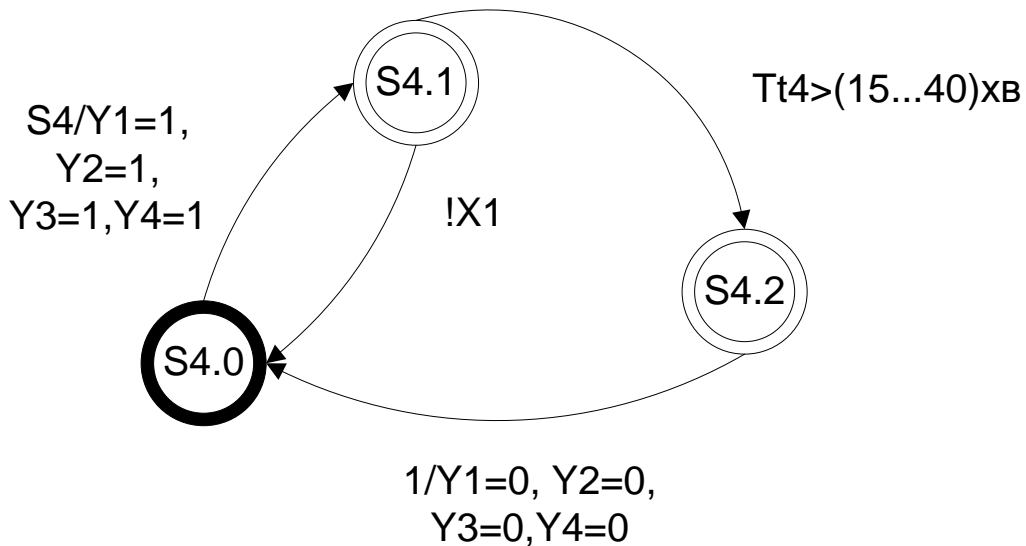


Рисунок 2.5 – Граф-автомат переходів у режимі штатної зупинки

2.1.6 Режим аварійної зупинки з вини попереднього механізму

Для охолоджувального тунелю починається з моменту відключення транспортера, що завантажує на нього продукт. Зупинка тунелю відбувається у штатному режимі.

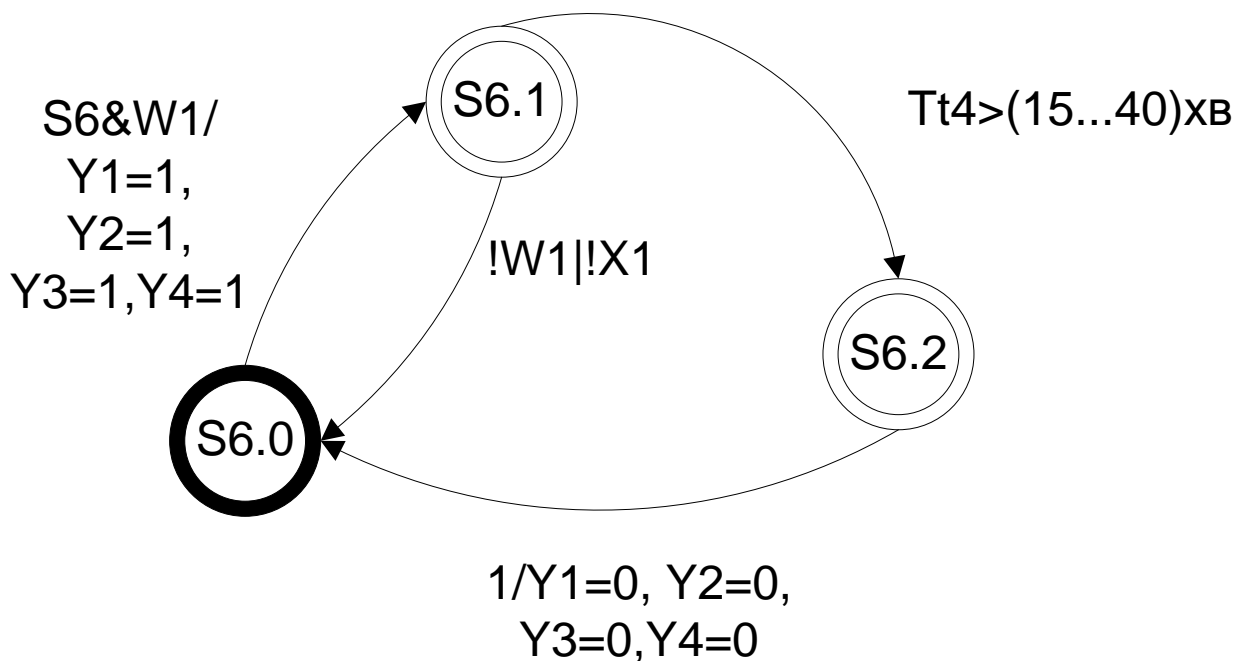


Рисунок 2.6 – Граф-автомат переходів у режимі аварійної зупинки з вини попереднього механізму

2.1.7 Режим аварійної зупинки з вини самого тунелю або наступної установки

Виконується спочатку відключення приводу транспортера, а потім, через 5...30 хвилин в залежності від налаштування швидкості, відбувається одночасне відключення повітряного насоса, компресора, вентиляторів сушки.

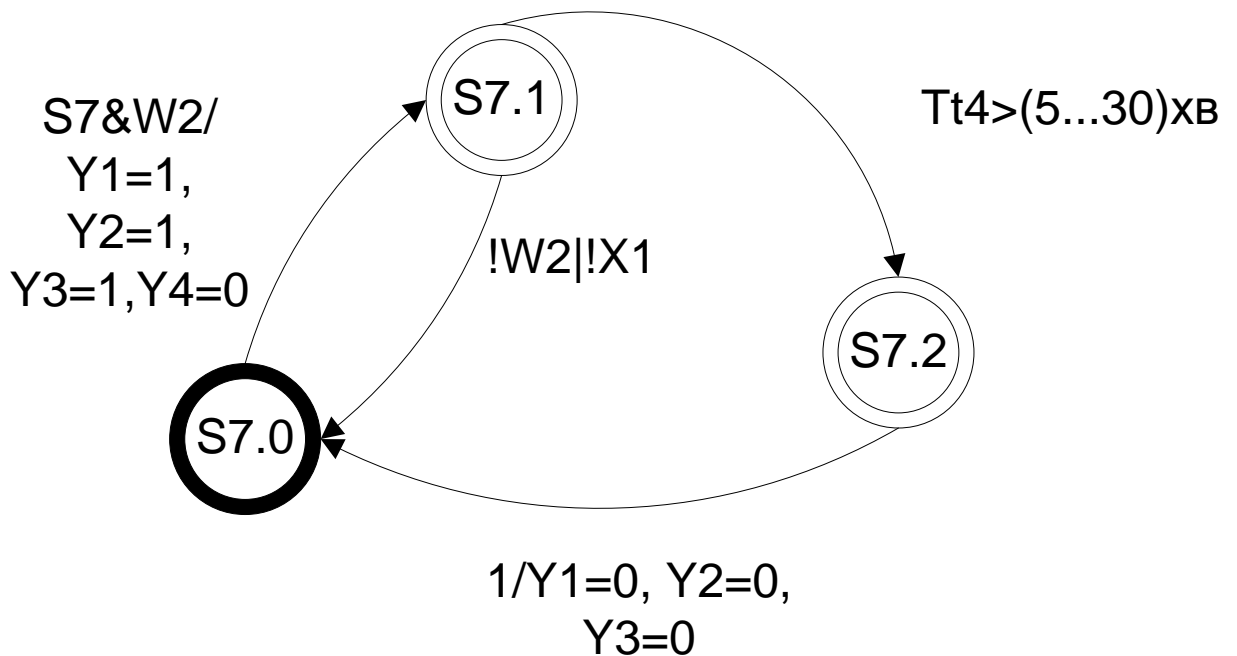


Рисунок 2.7 – Граф-автомат переходів у режимі аварійної зупинки з вини самого тунелю або наступної установки

2.1.8 Режим важкого старту

Використовується після аварійної зупинки тунелю, який міг зупинитися і через зупинку наступного механізму. Якщо був тривалий простій, потребує проходження підготовки до запуску.

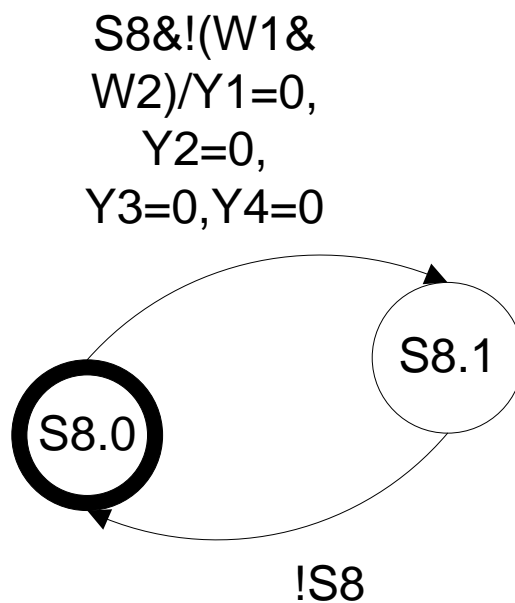


Рисунок 2.8 – Граф-автомат переходів у режимі важкого старту

2.1.9 Режим чистки

Ручне й додатково дистанційне блокування живлення пускорегулюючої апаратури холодильного тунелю з метою унеможливлення випадкового запуску механізмів під час роботи з технологічним обладнанням.

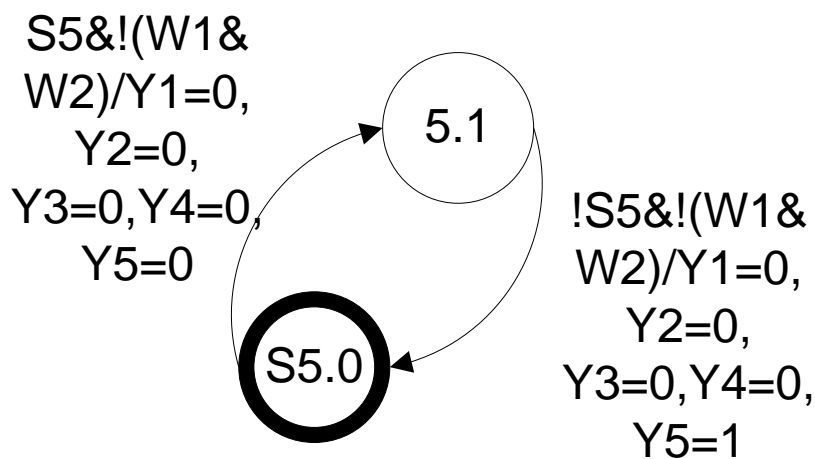


Рисунок 2.9 – Граф-автомат переходів чистки

На рисунку 2.5 $Y5$ – сигнал дозволу подачі напруги на технологічне обладнання.

2.2 Синтез схеми функціональної структури

Схема функціональної структури, виходячи із мети створення комп'ютерної системи холодильного тунелю, далі КС ХТ і запропонованих графів, має складатись із наступних функціональних блоків:

- блоки визначення температур повітря у секціях, тиску стану обладнання;
- блоки протиаварійного захисту для блокування керуючих впливів на обладнання;
- контури керування сушаркою, конвеєром, насосом повітря, компресором холодоагенту з функціями регулювання температури повітря на виході, тиску у повітропроводі, швидкості конвеєра. Налаштування уставок регулювання відбувається через інтерфейс АРМ оператора;
- внутрішнє загальне сховище оперативних даних обміну для контурів керування з блоками графів-автоматів системи;
- графі-автоматів системи для програмного керування холодильним тунелем в усіх передбачених режимах роботи;
- АРМ оператора холодильного тунелю для відображення поточної й заархівованої інформації, а також налаштування системи та обладнання;
- база рецептів для створення зберігання й застосування рецептів налагоджень клапанів інжекторів та режекторів;
- база протоколу процесу для зберігання інформації про роботу холодильного тунелю з можливістю надання її у зовнішню мережу;
- шлюз виходу у мережу підприємства.

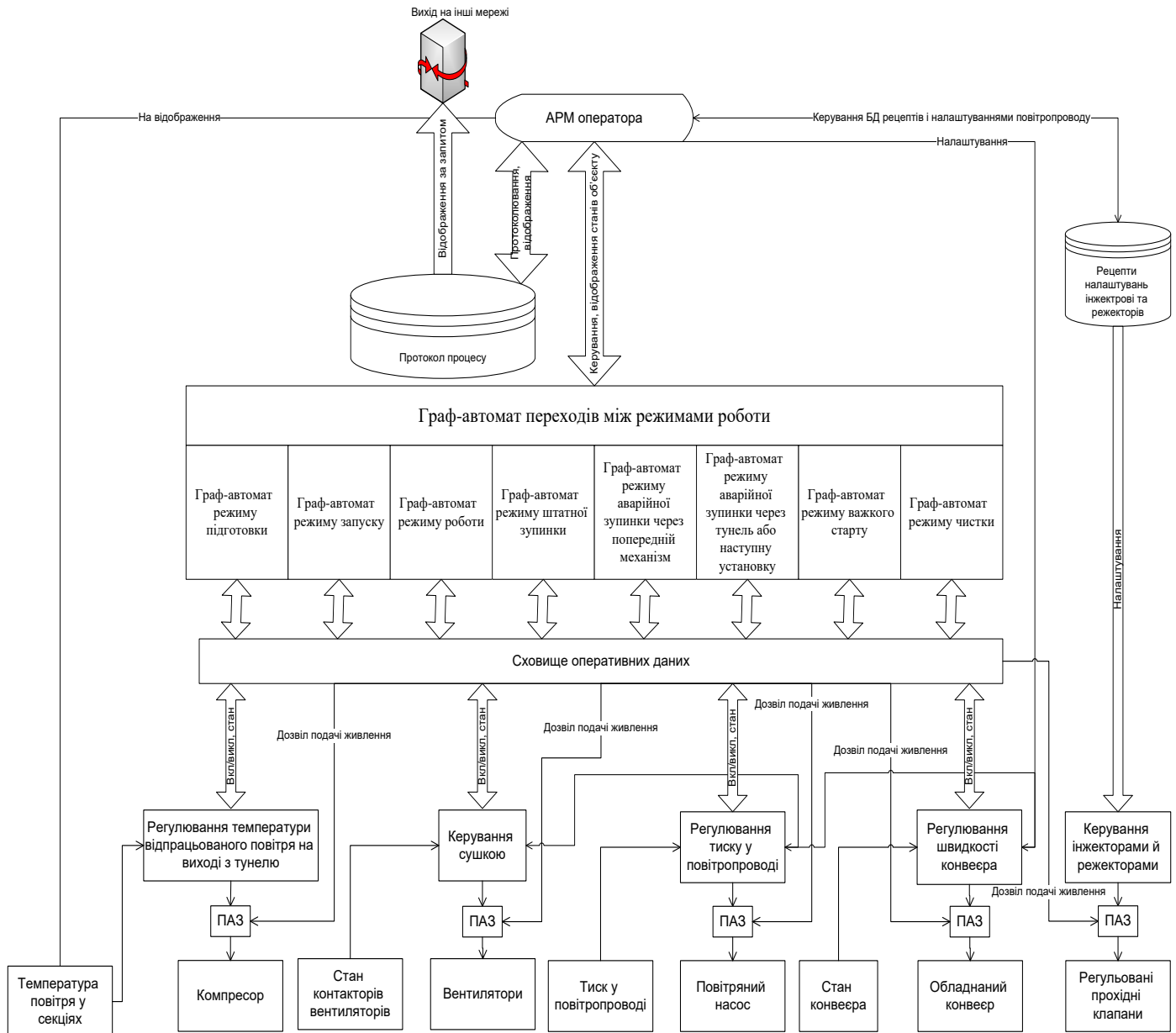


Рисунок 2.10 – Комп’ютерна система холодильного тунелю. Схема функціональної структури

ВИСНОВОК

Аналіз режимів роботи устаткування холодильного тунелю лінії виготовлення кондитерських виробів дозволив провести декомпозицію задачі керування, виявити й дослідити основні режими роботи, а також розробити сімейство графів-автоматів керування обладнанням холодильного тунелю.

У результаті проведених досліджень було синтезовано схему функціональної структури комп’ютерної системи холодильного тунелю для ліній виготовлення

кондитерських виробів фабрики «Квітень». Локалізовано основні контури регулювання, які підвищують енергоефективність обладнання на рівні, що припускає використання не лише програмних моделей регуляторів на промисловій обчислювальній техніці, але й готових виробів в якості регуляторів. Такими виробами можуть бути частотні регулятори, які частково вже є в наявності на холодильному тунелі.

Наукове положення, яке можна сформулювати виходячи з синтезованих графів автоматів та схеми функціональної структури: холодильний тунель є об'єктом з детермінованими станами і керування ним може здійснюватися з використанням графів-автоматів керування обладнанням технологічних режимах.

3 СИНТЕЗ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Розробка функціональної схеми автоматизації комп'ютерної системи

Обладнання КС ХТ буде розміщене у безпосередній близькості від установки в умовах кондитерського цеху. на відстані не більше 2 м. Тому вимоги до обладнання, функціональної схеми автоматизації і схеми структурної обладнання наступні:

1. Комплекс технічних засобів, далі КТЗ для реалізації на його основі програмного забезпечення, далі ПЗ, комп'ютерної системи контролю й керування має бути реалізований з використанням промислової елементної бази;

2. АРМ оператора, системи управління базами даних, далі СУБД, протоколу процесу й рецептів налаштувань, далі, відповідно, БДП і БДР, мають використовувати людино-машинний інтерфейс, далі НМІ, промислового виконання, оскільки робоче місце оператора знаходиться в безпосередній близькості до холодильного тунелю в межах прямого візуального контакту і у тому ж приміщенні;

3. Розроблена функціональна структура передбачає додання до технічно-програмного рішення контуру керування температурою повітря шляхом регулювання обертів приводу компресора. Тому доцільно обґрунтувати додатковий частотний перетворювач, далі ПЧ, з інтерфейсом, сумісним з вже існуючими;

4. Технічне рішення передбачає вимірювання тиску повітря засобами КС, тому необхідно обґрунтувати датчик тиску з аналоговим виходом, аналогічним іншим виходам чи входам;

5. Розроблена функціональна структура передбачає додання до технічно-програмного рішення додаткової пускової апаратури дозволу подання керуючого сигналу на обмотки силового пускового обладнання. Тому доцільно додатково обґрунтувати контактори дозволу.

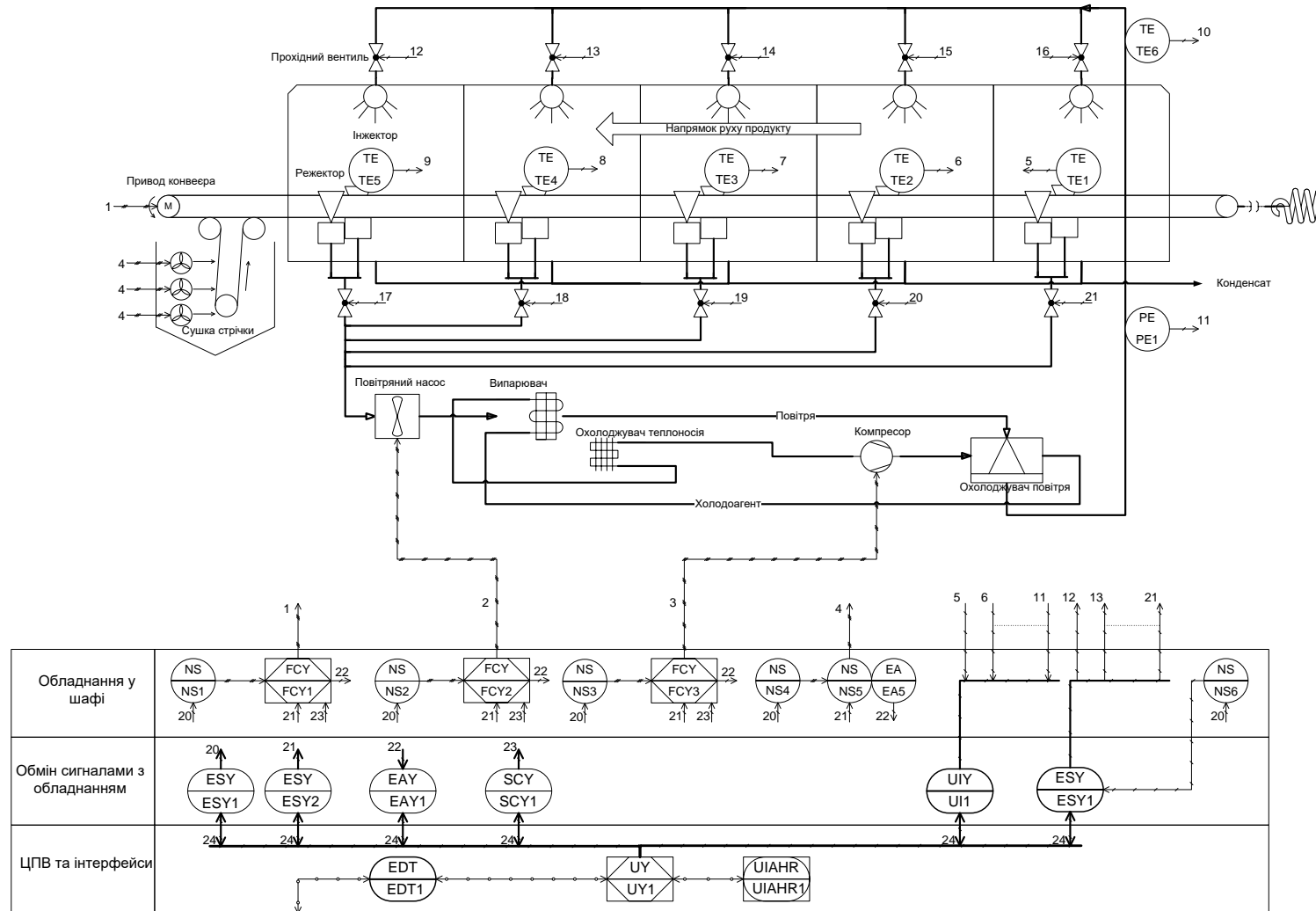


Рисунок 3.1 – Функціональна схема автоматизації КС ХТ

У результаті, функціональна схема автоматизації КС ХТ виглядатиме, як показано на рисунку 3.1. Позначення на рисунку:

TE1...TE6 – термометри опору з виходом Pt100;

PE1 – датчик тиску опору з виходом 0...10В;

NS1...NS3 – контактори подачі живлення на ПЧ;

NS4 – реле подачі живлення на керування контактором вентиляторів сушарки;

NS5 – контактор вентиляторів сушарки;

NS6 – реле подачі живлення на групу керування клапанами регулювання потоків повітря;

FCY1...FCY3 – ПЧ;

EA5 – вільний контакт контактора вентиляторів сушарки;

ESY1 – подання сигналів дозволу на керування;

ESY2 – сигнали керування ПЧ та сушаркою;

EAY1 – зворотний зв'язок від контактора вентиляторів сушарки;

SCY1 – подання сигналів 0...10В керування ПЧ;

UI1 – прийом сигналів вимірювання температури й тиску;

ESY1 – подання сигналів керування клапанами регулювання потоків повітря;

UY1 – центральний процесор ПЛК;

UIARN1 – інтерфейс НМІ та СУБДП і Р;

EDT1 – шлюз підмережі.

Розроблена функціональна схема автоматизації дозволяє перейти до розробки принципової схеми КТЗ КС ХТ.

3.2 Розробка принципової схеми комплексу технічних засобів

3.2.1 Аналіз входів та виходів системи

Для обґрунтування комплексу технічних засобів КС ХТ, необхідно провести аналіз, класифікацію входів та виходів системи.

У результаті аналізу схеми на рисунку 3.1, отримано перелік вхідних та вихідних сигналів представлений у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Перелік вхідних та вихідних сигналів КС ХТ

| № п/п | Найменування інформації | Ідентифікатор | Напр. вх./вих. | Функція | Вигляд | Джерело/Отримувач | Форма представлення (розрядність, точність) | | Затримка введ./вив., сек. |
|-------------------------------|---|---------------|----------------|---------|--------|-------------------|---|-----------|---------------------------|
| | | | | | | | Зовнішня | Внутрішня | |
| Сигнали W11 вагової платформи | | | | | | | | | |
| 1. | Температура повітря режекції у вхідній секції | TE1 | Вхід | Вимір. | Опір | Термометр опору | Pt100 | 16 біт | до 5 с |
| 2. | Температура повітря режекції у секції 2 | TE2 | Вхід | Вимір. | Опір | Термометр опору | Pt100 | 16 біт | до 5 с |
| 3. | Температура повітря режекції у секції 3 | TE3 | Вхід | Вимір. | Опір | Термометр опору | Pt100 | 16 біт | до 5 с |

Продовження таблиці 3.1

| № п/п | Найменування інформації | Ідентифікатор | Напр. вх./вих. | Функція | Вигляд | Джерело/Отримувач | Форма представлення (розрядність, точність) | | Затримка введ./вив., сек. |
|-------|--|---------------|----------------|---------|--------|-------------------|---|-----------|---------------------------|
| | | | | | | | Зовнішня | Внутрішня | |
| 4. | Температура повітря режекції у секції 4 | TE4 | Вхід | Вимір. | Опір | Термометр опору | Pt100 | 16 біт | до 5 с |
| 5. | Температура повітря режекції у вихідній секції | TE5 | Вхід | Вимір. | Опір | Термометр опору | Pt100 | 16 біт | до 5 с |
| 6. | Температура повітря інжекції | TE6 | Вхід | Вимір. | Опір | Термометр опору | Pt100 | 16 біт | до 5 с |

Продовження таблиці 3.1

| № п/п | Найменування інформації | Ідентифікатор | Напр. вх./вих. | Функція | Вигляд | Джерело/Отримувач | Форма представлення (розрядність, точність) | | Затримка введ./вив., сек. |
|-------|--|---------------|----------------|---------|--------|---------------------------------|---|----------------------------|---------------------------|
| 7. | Тиск повітря в каналі інжекції | PE1 | Вхід | Вимір. | Опір | Термометр опору | 0...10В | 16 біт | до 5 с |
| 8. | Відкривати клапан регулювання витрати повітря інжектора вхідної секції | ESY1_1on | Вихід | Кер. | НВ | Привод клапана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з квантуванням до 1 мс | до 0,5 мс |
| 9. | Відкривати клапан регулювання витрати повітря інжектора секції 2 | ESY1_2on | Вихід | Кер. | НВ | Привод клапана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з квантуванням до 1 мс | до 0,5 мс |

Продовження таблиці 3.1

| № п/п | Найменування ін- формації | Ідентифі- катор | Напр. вх./вих. | Функ- ція | Вигляд | Джерело/ Отримувач | Форма представлення (розрядність, точність) | | Затримка введ./вив., сек. |
|----------|---|--------------------|-------------------|--------------|--------|---|--|------------------------------------|---------------------------------|
| | | | | | | | | | |
| 10. | Відкривати клапан регулювання ви- трати повітря ін- жектора секції 3 | ESY1_3on | Вихід | Кер. | НВ | Привод кла- пана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з кван- туванням до 1 мс | до 0,5 мс |
| 11. | Відкривати клапан регулювання ви- трати повітря ін- жектора секції 4 | ESY1_4on | Вихід | Кер. | НВ | Привод кла- пана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з кван- туванням до 1 мс | до 0,5 мс |

Продовження таблиці 3.1

| № п/п | Найменування ін-формації | Ідентифі-катор | Напр. вх./вих. | Функ-ція | Вигляд | Джерело/ Отримувач | Форма представлення (розрядність, точність) | | Затримка введ./вив., сек. |
|-------|--|----------------|----------------|----------|--------|---------------------------------|---|----------------------------|---------------------------|
| 12. | Відкривати клапан регулювання витрати повітря ін-жектора вихідної секції | ESY1_5on | Вихід | Кер. | НВ | Привод клапана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з квантуванням до 1 мс | до 0,5 мс |
| 13. | Закривати клапан регулювання витрати повітря ін-жектора вхідної секції | ESY1_1off | Вихід | Кер. | НВ | Привод клапана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з квантуванням до 1 мс | до 0,5 мс |
| 14. | Закривати клапан регулювання витрати повітря ін-жектора секції 2 | ESY1_2off | Вихід | Кер. | НВ | Привод клапана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з квантуванням до 1 мс | до 0,5 мс |

Продовження таблиці 3.1

| № п/п | Найменування ін-формації | Ідентифі-катор | Напр. вх./вих. | Функ-ція | Вигляд | Джерело/Отримувач | Форма представлення (розрядність, точність) | | Затримка введ./вив., сек. |
|-------|--|----------------|----------------|----------|--------|---------------------------------|---|----------------------------|---------------------------|
| 15. | Закривати клапан регулювання витрати повітря ін-жектора секції 3 | ESY1_3off | Вихід | Кер. | НВ | Привод клапана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з квантуванням до 1 мс | до 0,5 мс |
| 16. | Закривати клапан регулювання витрати повітря ін-жектора секції 4 | ESY1_4off | Вихід | Кер. | НВ | Привод клапана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з квантуванням до 1 мс | до 0,5 мс |

Продовження таблиці 3.1

| № п/п | Найменування ін-формації | Ідентифі-катор | Напр. вх./вих. | Функ-ція | Вигляд | Джерело/Отримувач | Форма представлення (розрядність, точність) | | Затримка введ./вив., сек. |
|-------|---|----------------|----------------|----------|--------|---------------------------------|---|----------------------------|---------------------------|
| 17. | Закривати клапан регулювання витрати повітря ін-жектора вихідної секції | ESY1_5off | Вихід | Кер. | НВ | Привод клапана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з квантуванням до 1 мс | до 0,5 мс |
| 18. | Відкривати клапан регулювання витрати повітря ре-жектора вхідної секції | ESY1_1onr | Вихід | Кер. | НВ | Привод клапана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з квантуванням до 1 мс | до 0,5 мс |
| 19. | Відкривати клапан регулювання витрати повітря ре-жектора секції 2 | ESY1_2onr | Вихід | Кер. | НВ | Привод клапана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з квантуванням до 1 мс | до 0,5 мс |

Продовження таблиці 3.1

| № п/п | Найменування ін- формації | Ідентифі- катор | Напр. вх./вих. | Функ- ція | Вигляд | Джерело/ Отримувач | Форма представлення (розрядність, точність) | | Затримка введ./вив., сек. |
|----------|---|--------------------|-------------------|--------------|--------|---|--|------------------------------------|---------------------------------|
| | | | | | | | | | |
| 20. | Відкривати клапан регулювання ви- трати повітря ре- жектора секції 3 | ESY1_3onr | Вихід | Кер. | НВ | Привод кла- пана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з кван- туванням до 1 мс | до 0,5 мс |
| 21. | Відкривати клапан регулювання ви- трати повітря ре- жектора секції 4 | ESY1_4onr | Вихід | Кер. | НВ | Привод кла- пана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з кван- туванням до 1 мс | до 0,5 мс |
| 22. | Відкривати клапан регулювання ви- трати повітря ре- жектора секції 4 | ESY1_5onr | Вихід | Кер. | НВ | Привод кла- пана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з кван- туванням до 1 мс | до 0,5 мс |

Продовження таблиці 3.1

| № п/п | Найменування ін-формації | Ідентифі-катор | Напр. вх./вих. | Функ-ція | Вигляд | Джерело/ Отримувач | Форма представлення (розрядність, точність) | | Затримка введ./вив., сек. |
|-------|--|----------------|----------------|----------|--------|----------------------------------|---|-----------------------------|---------------------------|
| 23. | Закривати клапан регулювання витрати повітря ре-жектора вхідної секції | ESY1_1offr | Вихід | Кер. | НВ | Привод кла-пана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з кван-туванням до 1 мс | до 0,5 мс |
| 24. | Закривати клапан регулювання ви-трати повітря ре-жектора секції 2 | ESY1_2offr | Вихід | Кер. | НВ | Привод кла-пана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з кван-туванням до 1 мс | до 0,5 мс |
| 25. | Закривати клапан регулювання ви-трати повітря ре-жектора секції 3 | ESY1_3offr | Вихід | Кер. | НВ | Привод кла-пана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з кван-туванням до 1 мс | до 0,5 мс |

Продовження таблиці 3.1

| № п/п | Найменування ін- формації | Ідентифі- катор | Напр. вх./вих. | Функ- ція | Вигляд | Джерело/ Отримувач | Форма представлення (розрядність, точність) | | Затримка введ./вив., сек. |
|----------|--|--------------------|-------------------|--------------|--------|---|--|------------------------------------|---------------------------------|
| | | | | | | | | | |
| 26. | Закривати клапан регулювання ви- трати повітря ре- жектора секції 4 | ESY1_4offr | Вихід | Кер. | НВ | Привод кла- пана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з кван- туванням до 1 мс | до 0,5 мс |
| 27. | Закривати клапан регулювання ви- трати повітря ре- жектора вихідної секції | ESY1_5offr | Вихід | Кер. | НВ | Привод кла- пана Yoshitake MD-36R | ~230 В | ШІМ з кван- туванням до 1 мс | до 0,5 мс |
| 28. | Подача напруги на ПЧ приводу кон- веєра | NS1 | Вихід | Кер. | НВ | Контактор | ~230 В | 1 біт | до 0,5 мс |

Продовження таблиці 3.1

| № п/п | Найменування інформації | Ідентифікатор | Напр. вх./вих. | Функція | Вигляд | Джерело/Отримувач | Форма представлення (розрядність, точність) | | Затримка введ./вив., сек. |
|-------|---|---------------|----------------|---------|--------|-------------------|---|-------|---------------------------|
| 29. | Подача напруги на ПЧ приводу повітряного насосу | NS2 | Вихід | Кер. | НВ | Контактор | ~230 В | 1 біт | до 0,5 мс |
| 30. | Подача напруги на ПЧ приводу компресора | NS3 | Вихід | Кер. | НВ | Контактор | ~230 В | 1 біт | до 0,5 мс |
| 31. | Подача напруги на контактор вентиляторів сушки | NS4 | Вихід | Кер. | НВ | Контактор | ~230 В | 1 біт | до 0,5 мс |
| 32. | Запуск сушки | NS5 | Вихід | Кер. | НВ | Контактор | ~230 В | 1 біт | до 0,5 мс |

Продовження таблиці 3.1

| № п/п | Найменування інформації | Ідентифікатор | Напр. вх./вих. | Функція | Вигляд | Джерело/Отримувач | Форма представлення (розрядність, точність) | | Затримка введ./вив., сек. |
|-------|---|---------------|----------------|---------|--------|-------------------|---|-------|---------------------------|
| 33. | Подача напруги на реле живлення виходів керування клапанами | NS6 | Вихід | Кер. | НВ | Контактор | ~230 В | 1 біт | до 0,5 мс |
| 34. | Рух вперед на ПЧ приводу конвеєра | FCY1 | Вихід | Кер. | НВ | Вхід «Так-Ні» ПЧ | 24 В | 1 біт | до 0,5 мс |
| 35. | Рух вперед на ПЧ приводу повітряного насоса | FCY2 | Вихід | Кер. | НВ | Вхід «Так-Ні» ПЧ | 24 В | 1 біт | до 0,5 мс |
| 36. | Рух вперед на ПЧ приводу компресора | FCY3 | Вихід | Кер. | НВ | Вхід «Так-Ні» ПЧ | 24 В | 1 біт | до 0,5 мс |

Продовження таблиці 3.1

| № п/п | Найменування інформації | Ідентифікатор | Напр. вх./вих. | Функція | Вигляд | Джерело/Отримувач | Форма представлення (розрядність, точність) | | Затримка введ./вив., сек. |
|-------|--------------------------------------|---------------|----------------|---------|------------|---------------------|---|--------|---------------------------|
| 37. | Вентилятори сушки працюють | EA5 | Вхід | Контр. | НВ | Контакт контактора | 24 В | 1 біт | до 0,5 мс |
| 38. | Частота обертання приводу конвеєра | FCY1f | Вихід | Кер. | аналоговий | Вхід ПЧ | 0...10 В | 16 біт | до 0,5 мс |
| 39. | Частота обертання приводу насоса | FCY2f | Вихід | Кер. | аналоговий | Вхід ПЧ | 0...10 В | 16 біт | до 0,5 мс |
| 40. | Частота обертання приводу компресора | FCY3f | Вихід | Кер. | аналоговий | Вхід ПЧ | 0...10 В | 16 біт | до 0,5 мс |
| 41. | Готовність ПЧ приводу конвеєра | FCY1r | Вхід | Контр. | НВ | Сигнальний вихід ПЧ | 24 В | 1 біт | до 0,5 мс |

Продовження таблиці 3.1

| № п/п | Найменування інформації | Ідентифікатор | Напр. вх./вих. | Функція | Вигляд | Джерело/Отримувач | Форма представлення (розрядність, точність) | | Затримка введ./вив., сек. |
|-------|--|---------------|----------------|---------|--------|---------------------|---|-------|---------------------------|
| 42. | Готовність ПЧ приводу повітряного насосу | FCY2r | Вхід | Контр. | НВ | Сигнальний вихід ПЧ | 24 В | 1 біт | до 0,5 мс |
| 43. | Готовність ПЧ приводу компресора | FCY3r | Вхід | Контр. | НВ | Сигнальний вихід ПЧ | 24 В | 1 біт | до 0,5 мс |
| 44. | Робота ПЧ приводу конвеєра | FCY1w | Вхід | Контр. | НВ | Сигнальний вихід ПЧ | 24 В | 1 біт | до 0,5 мс |
| 45. | Робота ПЧ приводу повітряного насосу | FCY2w | Вхід | Контр. | НВ | Сигнальний вихід ПЧ | 24 В | 1 біт | до 0,5 мс |

Продовження таблиці 3.1

| № п/п | Найменування інформації | Ідентифікатор | Напр. вх./вих. | Функція | Вигляд | Джерело/Отримувач | Форма представлення (розрядність, точність) | | Затримка введ./вив., сек. |
|-------|-------------------------------|---------------|----------------|---------|--------|---------------------|---|-------|---------------------------|
| 46. | Робота ПЧ при-воду компресора | FCY3w | Вхід | Контр. | НВ | Сигнальний вихід ПЧ | 24 В | 1 біт | до 0,5 мс |

Таблиця 3.2 – Зведена таблиця входів та виходів КС ХТ

| № п/п | Обладнання | Опис входів чи виходів | Кількість |
|-------|---|----------------------------------|-----------|
| | | Сигнали Pt100 | |
| 1. | Секції охолодження й повітропровід | Термометр опору | 6 |
| | | Сигнали датчиків 0...10 В | |
| 2. | Тиск у повітропроводі | Датчик тиску | 1 |
| | | Дискретні входи | |
| 3. | Готовність ПЧ | НВ-контакт | 3 |
| 4. | Робота ПЧ | | 3 |
| 5. | ЗЗ контактора сушарки | НВ-контакт | 1 |
| | РАЗОМ | | 7 |
| | | Дискретні виходи | |
| 6. | Запуск ПЧ | ~ 230В | 3 |
| 7. | Запуск вентиляторів сушарки | ~ 230В | 1 |
| 8. | Відкривання клапанів регулювання інжекторів | ~ 230В | 5 |
| 9. | Закривання клапанів регулювання інжекторів | ~ 230В | 5 |
| 10. | Відкривання клапанів регулювання режекторів | ~ 230В | 5 |
| 11. | Закривання клапанів регулювання режекторів | ~ 230В | 5 |
| 12. | Дозвіл роботи ПЧ | 24В | 3 |
| 13. | Дозвіл роботи сушки | 24В | 1 |
| 14. | Дозвіл роботи клапанів | 24В | 1 |
| 15. | Робота ПЧ | 24В | 3 |
| 16. | Робота сушки | 24В | 1 |
| 17. | Робота клапанів | 24В | 1 |
| | РАЗОМ | | 34 |
| | | Аналогові виходи | |
| 18. | Завдання частоти ПЧ | 0...10В | 3 |
| | | Вихід на суміжні системи | |
| 19. | Система керування складом | Шлюз Ethernet | 1 |

3.2.2 Обґрунтування елементної бази системи

Зважаючи на умови щодо інтерфейсу оператора зважування доцільно вибір і обґрунтування КТЗ розпочати з панелі НМІ. Панель для організації АРМ оператора

зважування, за умовами Замовника, обираємо КТР900 Basic PN з характеристиками[7]:

- роздільна здатність 800 x 480 пікселів;
- кольорів 64К;
- матриця керування TFT;
- механічних функціональних клавіш 8;
- Profinet 1 порт;
- USB 1 порт;
- напруга живлення 24 В постійного струму;
- споживаний струм 450 мА.



Рисунок 3.2 – HMI-панель КТР900 Basic PN

В якості ЦПВ виберемо контролер CPU 1214C AC/DC/Rly [8].

Контролер CPU 1212C AC/DC/Rly SCALANCE S615, показаний на рисунку 3.3 має характеристики:

- вбудованих дискретних входів 14, на 24 В постійного струму;
- вбудованих дискретних виходів 10, реле до 2 А;
- вбудованих аналогових входів 2 шт., 0...10 В постійного струму, що дозволить підключити датчик тиску;

- вхідний опір аналогових входів до 10 кОм;
- живлення від джерела 85-264 В змінного струму при 47-63 Гц;
- пам'ять програм та даних 150 КБ.



Рисунок 3.3 – Контролер CPU 1214C AC/DC/Rly серії S7-1200

Оскільки потреба в 29 виходах вдоволена на 10, обираємо 1 модуль виходів на 16, і один модуль на 8 дискретних релейних виходів:



Рисунок 3.4 – Модуль SM 1222 Rly

Модуль SM 1222 Rly, показаний на рисунку 3.4 має характеристики:

- вбудованих дискретних виходів 14 або 8 на 24 В постійного струму, в залежності від моделі;
- споживаний струм 130 мА;
- струм комутації на виходах до 2 А.

Для прийому сигналів від датчиків Pt100 оберемо модуль SM 1231 8xRTD[10], візуально схожий з модулем на рисунку 3.4. Він має характеристики:

- вбудованих дискретних входів 8 для датчиків Pt100;
- споживаний струм 80 мА;
- розрядність АЦП 15 біт.

Для передачі аналогових сигналів 0...10В оберемо модуль SM 1232[11], візуально схожий з модулем на рисунку 3.4. Він має характеристики:

- вбудованих аналогових виходів 4 \pm 10В або 0...20мА;
- споживана енергія до 1,5Вт;
- розрядність ЦАП 14 біт;
- вихідний опір за напругою 1кОм;
- вихідний опір за струмом 600 Ом.

В якості шлюза використаємо промисловий роутер SCALANCE S615 [11]:



Рисунок 3.5 – Маршрутизатор SCALANCE S615

Роутер SCALANCE S615, показаний на рисунку 3.7 має характеристики і функції:

- брандмауер;
- портовий комутатор на 5 портів;
- швидкість каналу 10/100 Мбод;
- напруга живлення 24 В;
- споживання 200 мА постійного струму.

Роутер одночасно дозволяє комутувати НМІ панель з контролером та надавати порти для програмування і обслуговування КС.

Визначимо струм, який потрібно забезпечити для датчиків і периферії промислового контролера.

Струм, споживаний, маршрутизатором, контролером, двома модулями SM 1222 Rly, модулем SM 1231 8xRTD, чотирма дискретними входами, шістьма входами термометрів опору, чотирма входами/виходами 0...10 В складе:

Таблиця 3.2 – Розрахунок струму споживання

| № | Найменування | Атрибут | Кількість, шт. | Результуючий струм, мА |
|----|--------------------------|------------------|----------------|------------------------|
| 1. | НМІ КТР900 Basic PN | 450 мА | 1 | 450 мА |
| 2. | Модуль SM 1222 Rly | 130 мА | 2 | 260 мА |
| 3. | Модуль SM 1231 8xRTD | 180 мА | 1 | 180 мА |
| 4. | Модуль SM 1232 | 80 мА | 1 | 80 мА |
| 5. | SCALANCE S615 | 200 мА | 1 | 200 мА |
| 6. | Дискретний вхід CPU | 4 мА | 7 | 28 мА |
| 7. | Аналогові виходи SM 1232 | 10В/1000Ом=10 мА | 3 | 30 мА |
| | РАЗОМ | | | 1228 мА |

Виходячи з розрахованого необхідного струму споживання 1228 мА. Обираємо джерело живлення PM1207, яке може дати до 2,5 А постійного струму напругою 24 В [13]:



Рисунок 3.6 – Джерело живлення PM1207

На основі обраної елементної бази можливо побудувати принципову схему КТЗ КС ХТ.

3.2.3 Принципова схема комп'ютерної системи

На основі обраної елементної бази, опису входів та виходів системи, реалізовано принципову схему КС ХТ, представлену на рисунку 3.9:

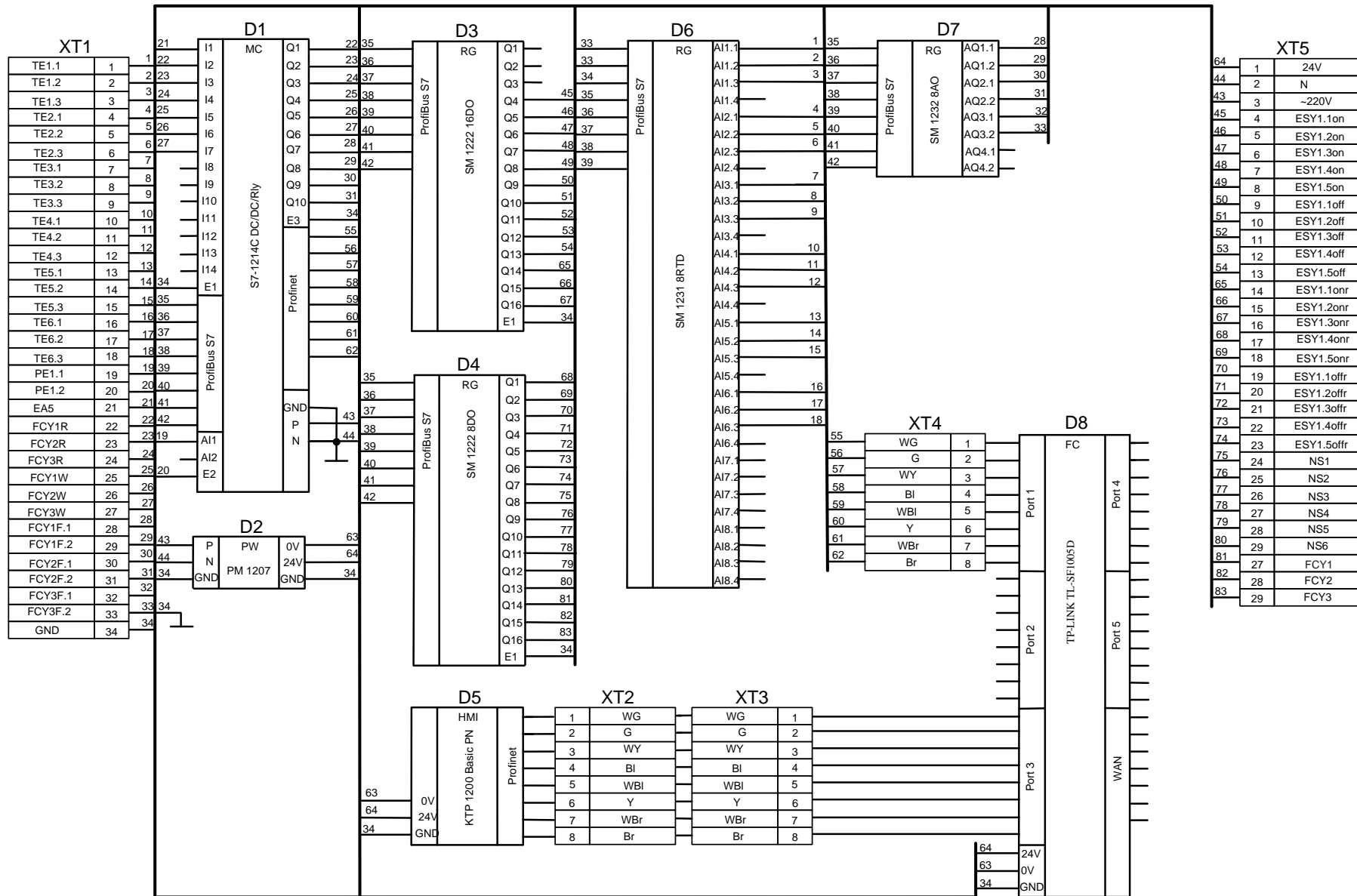


Рисунок 3.7 – Принципова схема КС ХТ

ВИСНОВОК

На основі огляду технічних рішень для контролю й керування КС холодильного тунелю складено функціональну схему автоматизації, а також проаналізовано входи й виходи комп'ютерної системи холодильного тунелю. Обґрунтовано КТЗ КС ХТ та схему принципову комп'ютерної системи холодильного тунелю.

Отриманий результат дозволяє перейти до розробки програмного забезпечення системи.

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Призначення і сфера застосування програмного забезпечення

Програмне забезпечення призначене для роботи у складі програмно-технічного рішення комп'ютерної системи холодильного тунелю.

Програмне забезпечення призначене для вимірювання температур повітря у трубопроводі і біля режекторів охолоджувальних секцій, дистанційного налаштування регулюючих клапанів охолоджуючого повітря, плавного керування швидкістю транспортера тунелю, тиском повітря у трубопроводі, компресором холодоагента. Рецепти з базовими налаштуваннями клапанів, швидкості конвеєра, тиску й температурного фактору керування компресором вносяться, редагуються і зберігаються у БДР АРМ оператора КС ХТ. Початок, кінець процесу охолодження починається після подачі відповідної команди з АРМ оператора. Процес вимірювання постійний періодичний. За відповідною командою АРМ оператора починається і закінчується процес ведення БДП, причому ведення БДП є обов'язковим у всіх режимах крім простою. Записи вимірювання у БДП є періодичними, не рідше 1 разу в 5 секунд. Записи контролю стану ХТ і протоколювання дій оператора АРМ у БДП є спорадичними.

4.2 Обґрунтування технічних характеристик програми

ПЗ КС ХТ, розподілена між контролером та НМІ-панеллю системи, повинна виконувати наступні функції:

- аутентифікація оператора АРМ КС ХТ при вході в систему;
- створення і редагування оператором у привілейованому режимі БДР;
- вибір оператором у непривілейованому режимі рецепту з БДР;
- ведення і огляд записів БДП;
- подачу команд на запуск, зупинку, вихід з аварійного стану, регулювання клапанів повітропроводу ХТ;
- налагодження уставок регулювання ПЧ обладнання ХТ;
- зчитування поточних налаштувань з контролера для створення запису БДР;

- отримання та обробка сигналів вимірювання температури й тиску;
- подача сигналів регулювання ПЧ на їх аналогові входи;
- отримання сигналів ТС від ПЧ та контактору сушки;
- подача сигналів ТК на розблокування силових ланцюгів обладнання.

Апаратний фільтр брязкоту контактів входів ТС встановлено на затримку у 4 мс.

Періодичність обміну даними з НМІ-панеллю через PROFINET не більше 500 мс.

Періодичність обміну даними через зовнішній шлюз не регламентується.

Обмін через PROFINET виконується у фоновому режимі.

Ініціалізація контролеру й НМІ виконується після подачі живлення на КТЗ.

Програмне забезпечення має надавати доступ до БДП з боку регламентованої підмережі підприємства.

Схема функціональної структури та математичні методи у вигляді графів-автоматів викладені у розділі 2 кваліфікаційної роботи.

Вхідні дані для ПЗ КС ХТ:

- керуючі впливи від АРМ оператора КС ХТ на запуск і зупинку холодильного тунелю;

- керуючі рецептурні впливи на регулювання пропускних повітряних клапанів, на встановлення еталонів регулювання ПЧ приводами конвеєра, повітряного насоса, компресору;

- сигнали термометрів опору у секціях охолодження і на притоковому повітропроводі;

- сигнал датчика тиску на притоковому повітропроводі;

- дані про відстані до мірних трафаретів від лазерних далекомірів через мережу ModBus.

Вихідні дані від ПЗ КС ХТ:

- дані по температурі, тиску, поточному стану ХТ, стану ТС на АРМ оператора ХТ;

- керуючі й регулюючі впливи на ПЧ приводів виконавчих органів ХТ.

Технічні та програмні засоби для розробки програмного забезпечення обумовлені системним довідником контролерів S7-1200[24]. Мова програмування – LAD для PLC Simatic, а також засоби візуалізації WinCC7. Середовище розробки – програма Siemens TIA Portal V15 для Windows 10. Технічні засоби – комп'ютер x64, UTP-кабель Ethernet для підключення через комутатор або порт WiFi підключення через роутер.

4.3 Опис розробленої програми

4.3.1 Загальна інформація

Текст програми розміщено у проєкті CoolTonel для Siemens TIA Portal V15 у вигляді організаційного й функціональних блоків, функцій, спільного блоку даних, тегової таблиці даних.

Для завантаження програми у контролер використовується середовище Siemens TIA Portal V15. Завантажена програма розміщується в енергонезалежній пам'яті. Для виконання програми використовується вбудований в S7-1214C та KTR1200 інтерпретатор. Запуск програми на виконання відбувається у результаті ввімкнення живлення.

Мова реалізації програми – LAD для PLC Simatic.

4.3.2 Функціональне призначення

Програма здійснює контроль стану та керування обладнанням холодильного тунелю на 5 секцій.

Програма отримує й обробляє дані ТВ з температури у охолоджувальних секціях ХТ, його трубопроводі, тиску повітря в притоковій частині трубопроводу.

Програма отримує й обробляє дані ТС зі стану пускачів, реле, ПЧ приводів ХТ.

Програма здійснює керування обладнанням ХТ згідно графів-автоматів, розроблених у розділі 2 цієї пояснювальної записки.

Програма отримує еталонні значення швидкості конвеєра тунелю, тиску повітря в притоковому трубопроводі охолоджуючого повітря, температури охолоджуючого повітря й здійснює керування ПЧ, відповідно, привода конвеєра, насоса трубопроводу, компресору холодоагенту по аналоговим каналам 0...10 В. В останніх двох випадках використовуються ПД-закони регулювання.

Програма підтримує керування БДР на АРМ оператора ХТ.

Програма підтримує ведення протоколу процесу в БДП на АРМ оператора ХТ.

Програма не містить інтерфейсу АРМ оператора ХТ;

Програма не містить БДР та БДП.

Програма не керує каналом зв'язку мережі PROFINET між контролером КС ХТ та панеллю НМІ АРМ оператора ХТ.

Програма не керує каналом зв'язку мережі PROFINET з суміжними системами.

4.3.3 Опис логічної структури програми

Логічна структура програми відповідає схемі функціональної структури, розробленої у розділі 2 цієї пояснювальної записки.

Програма користувача розміщена в пам'яті програм контролера S7-1214C.

Робота програми може бути описана схемою алгоритму контролера, показаною на рисунку 4.1.

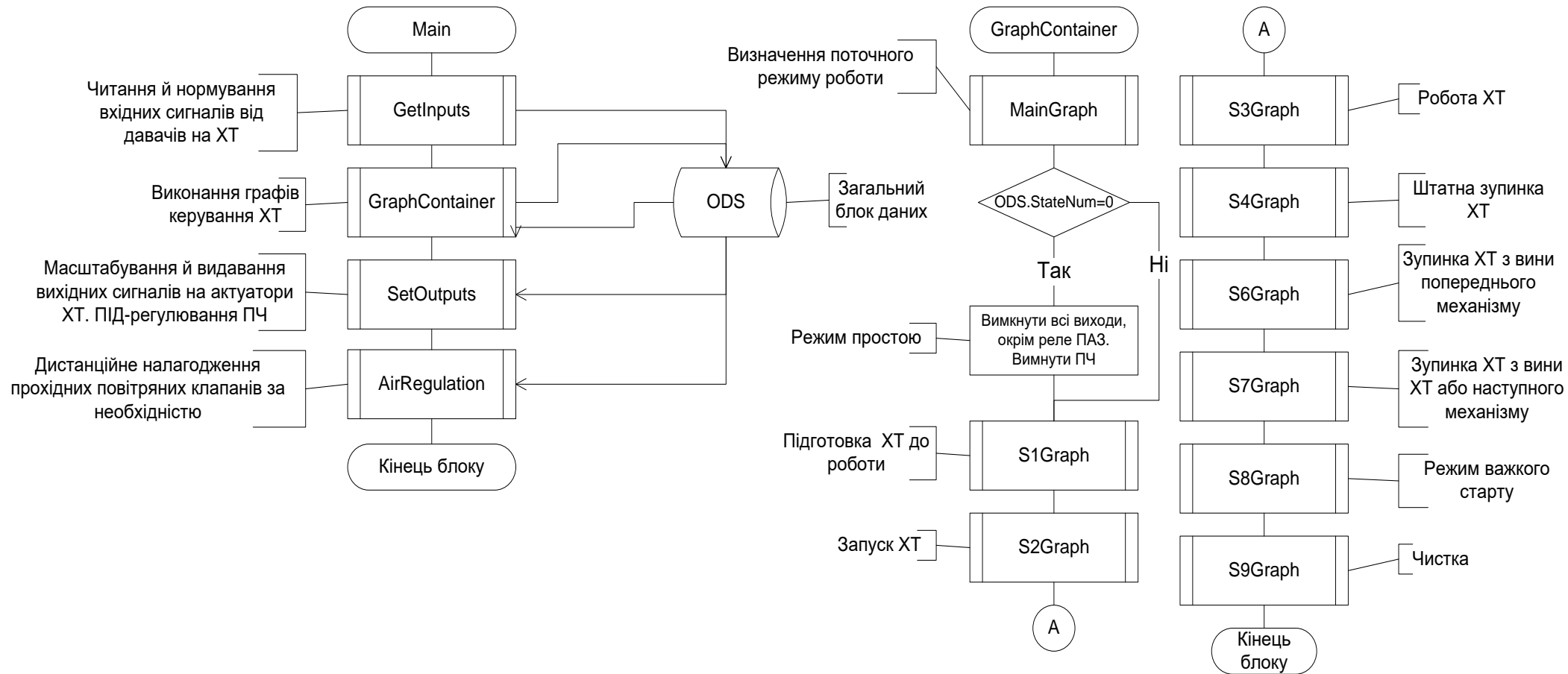


Рисунок 4.1 – Схема алгоритму контролера КС ХТ

Контролер S7-1214C містить:

- організаційний блок Main;
- функції AirRegulation, GetInputs, GraphContainer, SetOutputs, ValveAdjustment;
- функціональний блок MainGraph і його екземплярний блок MainGraph_DB;
- функціональний блок MainGraph і його екземплярний блок MainGraph_DB;
- функціональні блоки S1Graph, S2Graph, S3Graph, S4Graph, S6Graph, S7Graph, S8Graph, S9Graph і їх екземплярні блоки S1Graph_DB, S2Graph_DB, S3Graph_DB, S4Graph_DB, S6Graph_DB, S7Graph_DB, S8Graph_DB, S9Graph_DB;
- таблицю тегів IO Tag Table;
- глобальний блок даних ODS.

Організаційний блок Main послідовно викликає функції GetInputs, GraphContainer, SetOutputs, AirRegulation.

Функція GetInputs, здійснює програмну комутацію та обробку вхідних аналогових сигналів з наданням даних ТВ у блок даних ODS. Крім того, функція здійснює програмну комутацію вхідних сигналів ТС з наданням даних в блок даних ODS. Всі вхідні дані GetInputs отримує від таблиці IO Tag Table.

Функція GraphContainer виконує роль контейнера, де розміщено виклики функціональних блоків MainGraph, S1Graph, S2Graph, S3Graph, S4Graph, S6Graph, S7Graph, S8Graph, S9Graph.

Функція SetOutputs здійснює програмну комутацію вихідних керуючих впливів а також регулювання ПЧ приводів конвеєра, насосу повітря, компресору. Всі вхідні дані отримуються з блоку даних ODS. Всі вихідні дані надходять до таблиці IO Tag Table.

Функція AirRegulation викликає функцію ValveAdjustment для здійснення регулювання кожного прохідного клапану повітропровода окремо. Одночасно AirRegulation є контейнером для множини ValveAdjustment. Еталони

для регулювання в якості вхідних даних ValveAdjustment. надходять від блоку даних ODS. Вихідні дані у вигляді імпульсів ШІМ надходять відразу на IO Tag Table, тому AirRegulation виконують також і програмну комутацію вихідних сигналів.

Функція ValveAdjustment виставляє ступінь відкритості окремо взятого клапану повітропроводу.

Функціональний блок MainGraph виконує основний граф керування режимами роботи ХТ, відповідно до рис. 2.1 цієї пояснювальної записки.

Функціональні блоки S1Graph, S2Graph, S3Graph, S4Graph, S6Graph, S7Graph, S8Graph, S9Graph активуються в залежності від номеру поточного стану графу, реалізованого в ФБ MainGraph, який зберігається у відповідному полі MainGraph_DB. У випадку активації вони виконують графі-автомати керування обладнанням у поточних режимах роботи ХТ. Графі автомати представлені п.п. 2.1.1-9 цієї пояснювальної записки.

Таблиця тегів IO Tag Table містить теги образу фізичних входів і виходів КТЗ, виділених для подачі й приймання сигналів від обладнання ХТ. Через цей образ операційна система контролера подає й приймає фізичні сигнали.

Глобальний блок даних ODS зберігає оброблені значення ТС, ТВ, ТК, інформаційні ознаки керуючих впливів, еталони регулювання обладнання. ODS надає загальний інтерфейс між для входами, виходами ТКЗ контролера КС ХТ, АРМ оператора, БПР, БДП, зовнішньою системою.

4.3.4 Використані технічні засоби

Для виконання програми необхідні: контролер CPU 1214C AC/DC/Rly – 1 шт.; модуль дискретного виведення SM 1222 DOx16 – 2 шт.; модуль аналогового виведення SM 1232 AOx8 – 1 шт.; модуль введення сигналів термометрів опору SM 1231 RTDx8 – 1 шт.; роутер SCALANCE S615 – 1 шт.; НМІ-панель КТР 900 Basic PN – 1 шт.; джерело живлення PM1207 – 1 шт.

4.3.5 Виклик та завантаження програми

Відповідні модулі програми завантажуються до енергонезалежної пам'яті контролера Simatic S7-1214C з ПК засобами Siemens TIA Portal V15 через кабель Ethernet, де знаходяться в енергонезалежній пам'яті. Початковий проект знаходиться на окремому носії.

Виклик програми на виконання відбувається після ввімкнення живлення обладнання КС ХТ.

Вхідна точка в програмі – організаційний блок Main.

4.3.6 Вхідні й вихідні дані

Вхідні та вихідні дані згідно стандартів Siemens є частиною програмного коду та представлені у Додатку А.

ВИСНОВОК

Для вирішення задачі розробки програмного забезпечення КС ХТ було розроблено алгоритм роботи контролера системи та написано програму на мові LAD Step 7 для контролерів Simatic S7-1214C у середовищі TIA Portal V15.

5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Формулювання вимог до експерименту

Мета експерименту – дослідним шляхом перевірити дієздатність графів керування ПЗ КС ХТ.

В якості задачі, необхідно виконати контрольний приклад для наступних графів:

- переходів між режимами роботи;
- простою;
- запуску ХТ;
- робочого режиму;
- штатної зупинки;
- аварійної зупинки з вини попереднього механізму;
- аварійної зупинки з вини самого тунелю або наступної установки;
- важкого старту;
- чистки.

5.2 Підготовка експерименту

Необхідно провести випробування ПЗ КС ЧТ відповідно [14].

Для проведення досліджень буде використано:

- персональний комп'ютер з встановленим середовищем розробки й відлагодження Siemens TIA Portal V15;
- проєкт CoolTone1, завантажений в середовище Siemens TIA Portal V15, який включає відлагоджене ПЗ КС ХТ і КТЗ в складі контролера S7-1214C та додаткових модулів введення і виведення, специфікація яких представлена у таблиці 5.1;
- програмний симулятор промислового контролера S7-PLCSim V15.1, встановлений на той же ПК.

Таблиця 5.1 – Специфікація КТЗ Siemens, використовувана у проєкті CoolTone1

| № | Найменування | Кіль. | Примітки |
|----|-------------------------------|-------|----------|
| 1. | Контролер CPU 1214C AC/DC/Rly | 1 | |
| 2. | Модуль SM 1222 DQ16 x relay | 2 | |
| 3. | Модуль SM 1231 AI8 x RTD | 1 | |
| 4. | Модуль SM 1232 AQ4 | 1 | |



Рисунок 5.1 – КТЗ КС ХТ в проєкті

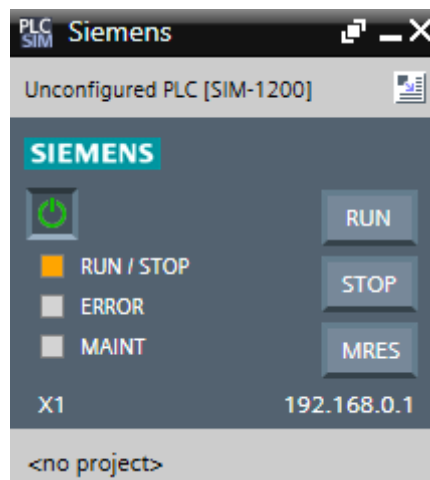


Рисунок 5.2 – Симулятор S7-PLCSim V15.1

5.3 Програма й методика експерименту з протоколом випробувань

Програма й методика експерименту у вигляді контрольного прикладу, суміщеного з протоколом випробувань відповідно [15].

5.3.1 Підготовчі операції

1. Відкрити Siemens TIA Portal V15 і завантажити у нього проєкт Cool-Tonel.
2. В організаційному блоці Main заблокуємо гілки 1, 3, 4, як показано на рисунку 5.3:

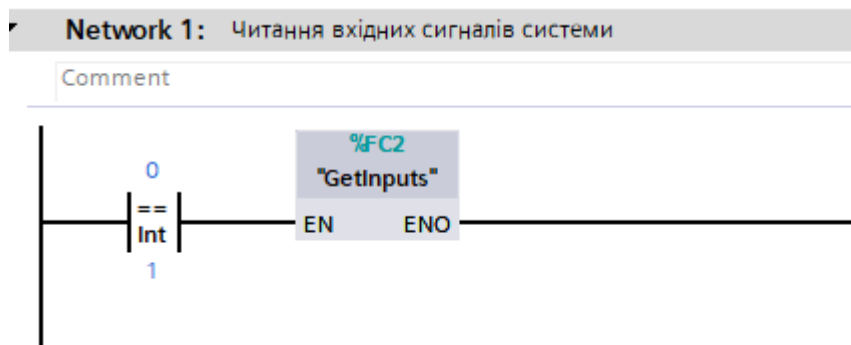


Рисунок 5.3 – Блокування гілки 1 в організаційному блоці Main за допомогою гарантовано неможливої умови « $0 = 1$ »

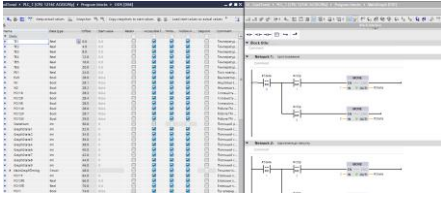
3. Запустити програмний симулятор S7-PLCSim V15.1 і на вікні, що з'явилося, натиснути кнопку «ввімкнення живлення». Дочекатись, поки кнопка стане зеленою.

4. У середовищі TIA Portal у браузерному вікні Project tree у папці Online access\PLCSIM\ натиснути пункт меню Update accessible devices. Дочекатись появи у цій же папці підпапки з назвою S7-1200 CPU.

5. Відкомпілювати й завантажити проєкт у симулятор. Перевести симулятор у режим RUN. Переконатись, що зображення діоду RUN/STOP на діалоговому вікні S7-PLCSim стало зеленим.

5.3.2 Перевірка роботи графу переходів між режимами роботи

Таблиця 5.2 – Контрольний приклад і протокол випробувань графу переходів між режимами

| № п/п | Дія | Результат |
|-------|--|---|
| 1. | Відкрити блок даних ODS та ФБ MainGraph. Вибрати режим «Розділення області редагування навпіл». Стиснути вікно Project tree (кнопка Collapse) та групу сервісних вікон справа. | З'являється приблизно таке вікно:  Рисунок 5.4 – Зовнішній вид інтерфейсу для випробувань |
| 2. | Ввімкнути онлайн-моніторинг обох вікон у області редагування | Заголовкові полоси обох вікон з темно-синіх стали оранжевими |
| 3. | Присвоїти "ODS".ARMCommand:=1 | Змінна #State==1 в MainGraph "ODS".StateNum==1 |
| 4. | Присвоїти "ODS".ARMCommand:=4 | Змінна #State==0 в MainGraph "ODS".StateNum==0 |
| 5. | Присвоїти "ODS".ARMCommand:=1, а потім "ODS".ARMCommand:=2 | Змінна #State==2 в MainGraph "ODS".StateNum==2 |
| 6. | Чекати 10 хвилин | Змінна #State==3 в MainGraph "ODS".StateNum==3 |
| 7. | Присвоїти "ODS".ARMCommand:=4 | Змінна #State==4 в MainGraph "ODS".StateNum==4 |
| 8. | Чекати 50 хвилин | Змінна #State==0 в MainGraph "ODS".StateNum==0 |
| 9. | Повторити п.п.3-5, потім присвоїти "ODS".W1:=1 | Змінна #State==6 в MainGraph "ODS".StateNum==6 |

Продовження таблиці 5.2

| № п/п | Дії | Результати |
|----------|--|---|
| 10. | Чекати 50 хвилин | Змінна #State==0 в MainGraph "ODS".StateNum==0 |
| 11. | Присвоїти "ODS".W1:=0, потім повторити п.п.3-5, потім присвоїти "ODS".W2:=1 | Змінна #State==7 в MainGraph "ODS".StateNum==7 |
| 12. | Чекати 10 хвилин | Змінна #State==8 в MainGraph "ODS".StateNum==8 |
| 13. | Присвоїти "ODS".W2:=0, потім присвоїти ODS".ARMCommand:=7 | Змінна #State==2 в MainGraph "ODS".StateNum==2 |
| 14. | Повторити п.п.6-12, потім присвоїти ODS".ARMCommand:=8 | Змінна #State==1 в MainGraph "ODS".StateNum==1 |
| 15. | Повторити п.п.5-6, потім присвоїти "ODS".ARMCommand:=4, потім повторити п.п.6-14 | Змінна #State==1 в MainGraph "ODS".StateNum==1 |
| 16. | Присвоїти "ODS".ARMCommand:=4 | Змінна #State==0 в MainGraph "ODS".StateNum==0 |

5.3.3 Перевірка роботи режиму простою

Таблиця 5.3 – Контрольний приклад і протокол випробувань режиму простою

| № п/п | Дії | Результати |
|----------|--|---|
| 1. | Відкрити блок даних ODS та функцію GraphContainer у режимі «Розділення області редагування навпіл». Стиснути зайві вікна. Ввімкнути онлайн-моніторинг обох вікон у області редагування | Ті ж самі, що і у п.п.1-2 табл. 5.2 |
| 2. | Присвоїти "ODS".ARMCommand:=0 | Значення "ODS".FCY1==0, "ODS".FCY2==0, "ODS".FCY3==0, "ODS".NS6==0, "ODS".NS1==1, "ODS".NS2==1, "ODS".NS3==1, "ODS".NS4==1, "ODS".NS5==1. Спостерігаються у блоці ODS і у гілці 3 функції GraphContainer. Також теги "FCY1F"==0, "FCY2F"==0, "FCY3F"==0 |

5.3.4 Перевірка режиму підготовки до запуску

Таблиця 5.4 – Контрольний приклад і протокол випробувань графу режиму підготовки до запуску

| № п/п | Дія | Результат |
|----------|--|--|
| 1. | Відкрити блок даних ODS та ФБ S1Graph у режимі «Розділення області редагування навпіл». Стиснути зайві вікна. Ввімкнути онлайн-моніторинг обох вікон у області редагування | Ті ж самі, що і у п.п.1-2 табл. 5.2 |
| 2. | Присвоїти "ODS".TE5:=15, "ODS".FCY1R:=true, "ODS".FCY2R:=true, "ODS".FCY3R:=true, "ODS".EA5:=true, потім присвоїти "ODS".ARMCommand:=1 | "ODS".FCY2==1, "ODS".FCY3==1, "ODS".GraphState1==3 "S1Graph_DB".Y1==1, "S1Graph_DB".State==3 |
| 3. | Присвоїти "ODS".TE5:=8 | "ODS".FCY2==1, "ODS".FCY3==1, "ODS".GraphState1==3 "S1Graph_DB".Y1==1, "S1Graph_DB".State==3 |
| 4. | Присвоїти "ODS".TE5:=3 | "ODS".FCY2==0, "ODS".FCY3==0, "ODS".GraphState1=2 "S1Graph_DB".Y1==0, "S1Graph_DB".State==2 |

Продовження таблиці 5.4

| № п/п | Дії | Результати |
|----------|---|--|
| 5. | Присвоїти "ODS".TE5:=8 | "ODS".FCY2==0, "ODS".FCY3==0, "ODS".GraphState1=2 "S1Graph_DB".Y1==0, "S1Graph_DB".State==2 |
| 6. | Присвоїти "ODS".TE5:=11 | "ODS".FCY2==1, "ODS".FCY3==1, "ODS".GraphState1==3 "S1Graph_DB".Y1==1, "S1Graph_DB".State==3 |
| 7. | Присвоїти "ODS".ARMCommand:=0 | "ODS".FCY2==0, "ODS".FCY3==0, "ODS".GraphState1==0 "S1Graph_DB".Y1==0, "S1Graph_DB".State==0 |
| 8. | Повторити п.п.2-6, замість "ODS".W1:=0, "ODS".W1:=1, використовувати "ODS".EA5:=1, "ODS".EA5:=0 | Те ж саме, що і в п.7. |
| 9. | Повторити п.8 для "ODS".FCY1R | Те ж саме, що і в п.7. |
| 10. | Повторити п.8 для "ODS".FCY2R | Те ж саме, що і в п.7. |
| 11. | Повторити п.8 для "ODS".FCY3R | Те ж саме, що і в п.7. |
| 12. | Присвоїти "ODS".ARMCommand:=0 | Те ж саме, що і в п.7. |

5.3.5 Перевірка режиму запуску

Таблиця 5.5 – Контрольний приклад і протокол випробувань графу запуску

| № п/п | Дія | Результат |
|----------|--|--|
| 1. | Відкрити блок даних ODS та ФБ S2Graph у режимі «Розділення області редагування навпіл». Стиснути зайві вікна. Ввімкнути онлайн-моніторинг обох вікон у області редагування | Ті ж самі, що і у п.п.1-2 табл. 5.2 |
| 2. | Присвоїти "ODS".TE5:=11, "ODS".FCY1W:=true, "ODS".FCY2W:=true, "ODS".FCY3W:=true, "ODS".EA5:=true, потім присвоїти "ODS".ARMCommand:=2 | "ODS".FCY1==1, "ODS".FCY2==1, "ODS".FCY3==1, "ODS".GraphState2==2 "ODS".NS6==0 "S2Graph_DB".Y2==1, "S2Graph_DB".Y3==1, "S2Graph_DB".Y4==0, "S2Graph_DB".State==2 |
| 3. | Чекати 10 секунд | "ODS".FCY1==1, "ODS".FCY2==1, "ODS".FCY3==1, "ODS".GraphState2==3 "ODS".NS6==1 "S2Graph_DB".Y2==1, "S2Graph_DB".Y3==1, "S2Graph_DB".Y4==1, "S2Graph_DB".State==3 |

Продовження таблиці 5.5

| № п/п | Дія | Результат |
|----------|---|---|
| 4. | Присвоїти "ODS".W1:=1 | "ODS".FCY1==0, "ODS".FCY2==0, "ODS".FCY3==0, "ODS".GraphState2==0 "ODS".NS6==0 "S2Graph_DB".Y2==0, "S2Graph_DB".Y3==0, "S2Graph_DB".Y4==0, "S2Graph_DB".State ==0 |
| 5. | Присвоїти "ODS".W1:=0, потім повторити п.п.2, 4 | Те ж саме, що і в п.4. |
| 6. | Присвоїти "ODS".W1:=0, потім повторити п.п.2, 3, потім присвоїти "ODS".W2:=1 | Те ж саме, що і в п.4. |
| 7. | Присвоїти "ODS".W2:=0, потім повторити п.2, потім присвоїти "ODS".W2:=1 | Те ж саме, що і в п.4. |
| 8. | Повторити п.п.2-4, замість "ODS".W1:=0, "ODS".W1:=1, використовувати "ODS".EA5:=1, "ODS".EA5:=0 | Те ж саме, що і в п.4. |
| 9. | Повторити п.8 для "ODS".FCY1W | Те ж саме, що і в п.4. |
| 10. | Повторити п.8 для "ODS".FCY2W | Те ж саме, що і в п.4. |
| 11. | Повторити п.8 для "ODS".FCY3W | Те ж саме, що і в п.4. |
| 12. | Присвоїти "ODS".ARMCommand:=0 | Те ж саме, що і в п.4. |

5.3.6 Перевірка режиму роботи

Таблиця 5.6 – Контрольний приклад і протокол випробувань графу режиму роботи

| № п/п | Дія | Результат |
|----------|--|--|
| 1. | Відкрити блок даних ODS та ФБ S3Graph у режимі «Розділення області редагування навпіл». Стиснути зайві вікна. Ввімкнути онлайн-моніторинг обох вікон у області редагування | Ті ж самі, що і у п.п.1-2 табл. 5.2 |
| 2. | Присвоїти "ODS".TE5:=11, "ODS".FCY1W:=true, "ODS".FCY2W:=true, "ODS".FCY3W:=true, "ODS".EA5:=true, потім присвоїти "ODS".ARMCommand:=3 | "ODS".FCY1==1, "ODS".FCY2==1, "ODS".FCY3==1, "ODS".GraphState3==1 "ODS".NS6==1 "S3Graph_DB".Y2==1, "S3Graph_DB".Y3==1, "S3Graph_DB".Y4==1, "S3Graph_DB".State==1 |
| 3. | Присвоїти "ODS".W1:=1 | "ODS".FCY1==0, "ODS".FCY2==0, "ODS".FCY3==0, "ODS".GraphState3==0 "ODS".NS6==0 "S3Graph_DB".Y2==0, "S3Graph_DB".Y3==0, "S3Graph_DB".Y4==0, "S3Graph_DB".State==0 |

Продовження таблиці 5.6

| № п/п | Дія | Результат |
|----------|---|------------------------|
| 4. | Присвоїти "ODS".W1:=0, потім повторити п.2, 3 використовуючи замість "ODS".W1 "ODS".W2 | Те ж саме, що і в п.3. |
| 5. | Присвоїти "ODS".W2:=0, потім повторити п.2, 3 використовуючи замість "ODS".W2:=0 "ODS".EA5:=1, а замість "ODS".W2:=1 "ODS".EA5:=0 | Те ж саме, що і в п.3. |
| 6. | Повторити п.5. для "ODS".FCY1W | Те ж саме, що і в п.3. |
| 7. | Повторити п.5. для "ODS".FCY2W | Те ж саме, що і в п.3. |
| 8. | Повторити п.5. для "ODS".FCY3W | Те ж саме, що і в п.3. |
| 9. | Присвоїти "ODS".ARMCommand:=0 | Те ж саме, що і в п.3. |

5.3.7 Перевірка режиму зупинки

Таблиця 5.7 – Контрольний приклад і протокол випробувань графу режиму зупинки

| № п/п | Дія | Результат |
|----------|--|-------------------------------------|
| 1. | Відкрити блок даних ODS та ФБ S4Graph у режимі «Розділення області редагування навпіл». Стиснути зайві вікна. Ввімкнути онлайн-моніторинг обох вікон у області редагування | Ті ж самі, що і у п.п.1-2 табл. 5.2 |

Продовження таблиці 5.7

| № п/п | Дія | Результат |
|----------|---|--|
| 2. | Присвоїти "ODS".TE5:=11, "ODS".FCY1W:=true, "ODS".FCY2W:=true, "ODS".FCY3W:=true, "ODS".EA5:=true, потім присвоїти "ODS".ARMCommand:=4 | "ODS".FCY1==1, "ODS".FCY2==1, "ODS".FCY3==1, "ODS".GraphState4==1 "ODS".NS6==1 "S4Graph_DB".Y2==1, "S4Graph_DB".Y3==1, "S4Graph_DB".Y4==1, "S4Graph_DB".State==1 |
| 3. | Чекати 50 хвилин | "ODS".FCY1==0, "ODS".FCY2==0, "ODS".FCY3==0, "ODS".GraphState4==0 "ODS".NS6==0 "S4Graph_DB".Y2==0, "S4Graph_DB".Y3==0, "S4Graph_DB".Y4==0, "S4Graph_DB".State==0 |
| 4. | Повторити п.2, потім присвоїти "ODS".W1:=1 | Те ж саме, що і в п.2. |
| 5. | Присвоїти "ODS".W1:=0, потім по- вторити п.2, 4 використовуючи за- мість "ODS".W1 "ODS".W2 | Те ж саме, що і в п.2. |

Продовження таблиці 5.7

| № п/п | Дія | Результат |
|----------|---|------------------------|
| 6. | Присвоїти "ODS".W2:=0, потім повторити п.2, 4 використовуючи замість "ODS".W2:=0 "ODS".EA5:=1, а замість "ODS".W2:=1 "ODS".EA5:=0 | Те ж саме, що і в п.2. |
| 7. | Повторити п.6. для "ODS".FCY1W | Те ж саме, що і в п.2. |
| 8. | Повторити п.6. для "ODS".FCY2W | Те ж саме, що і в п.2. |
| 9. | Повторити п.6. для "ODS".FCY3W | Те ж саме, що і в п.2. |
| 10. | Присвоїти "ODS".ARMCommand:=0 | Те ж саме, що і в п.2. |

5.3.8 Перевірка режиму зупинки ХТ з вини попереднього механізму

Таблиця 5.8 – Контрольний приклад і протокол випробувань графу зупинки ХТ з вини попереднього механізму

| № п/п | Дія | Результат |
|----------|--|-------------------------------------|
| 1. | Відкрити блок даних ODS та ФБ S6Graph у режимі «Розділення області редагування навпіл». Стиснути зайві вікна. Ввімкнути онлайн-моніторинг обох вікон у області редагування | Ті ж самі, що і у п.п.1-2 табл. 5.2 |

Продовження таблиці 5.8

| № п/п | Дія | Результат |
|----------|--|--|
| 2. | Присвоїти "ODS".TE5:=11, "ODS".FCY1W:=true, "ODS".FCY2W:=true, "ODS".FCY3W:=true, "ODS".W1:=true, "ODS".EA5:=true, потім присвоїти "ODS".ARMCommand:=6 | "ODS".FCY1==1, "ODS".FCY2==1, "ODS".FCY3==1, "ODS".GraphState6==1 "ODS".NS6==1 "S6Graph_DB".Y2==1, "S6Graph_DB".Y3==1, "S6Graph_DB".Y4==1, "S6Graph_DB".State==1 |
| 3. | Чекати 50 хвилин | "ODS".FCY1==0, "ODS".FCY2==0, "ODS".FCY3==0, "ODS".GraphState6==0 "ODS".NS6==0 "S6Graph_DB".Y2==0, "S6Graph_DB".Y3==0, "S6Graph_DB".Y4==0, "S6Graph_DB".State==0 |
| 4. | Повторити п.2, потім присвоїти "ODS".W2:=1 | Те ж саме, що і в п.2. |
| 5. | Присвоїти "ODS".W2:=0, потім повторити п.2, 4 використовуючи замість "ODS".W2:=0 "ODS".EA5:=1, а замість "ODS".W2:=1 "ODS".EA5:=0 | Те ж саме, що і в п.2. |

Продовження таблиці 5.8

| № п/п | Дія | Результат |
|----------|--------------------------------|------------------------|
| 6. | Повторити п.6. для "ODS".FCY1W | Те ж саме, що і в п.2. |
| 7. | Повторити п.6. для "ODS".FCY2W | Те ж саме, що і в п.2. |
| 8. | Повторити п.6. для "ODS".FCY3W | Те ж саме, що і в п.2. |
| 9. | Присвоїти "ODS".ARMCommand:=0 | Те ж саме, що і в п.2. |

5.3.9 Перевірка режиму зупинки ХТ з вини ХТ або наступного механізму

Таблиця 5.9 – Контрольний приклад і протокол випробувань графу зупинки ХТ з вини ХТ або наступного механізму

| № п/п | Дія | Результат |
|----------|--|--|
| 1. | Відкрити блок даних ODS та ФБ S7Graph у режимі «Розділення області редагування навпіл». Стиснути зайві вікна. Ввімкнути онлайн-моніторинг обох вікон у області редагування | Ті ж самі, що і у п.п.1-2 табл. 5.2 |
| 2. | Присвоїти "ODS".TE5:=11, "ODS".FCY1W:=true, "ODS".FCY2W:=true, "ODS".FCY3W:=true, "ODS".W2:=true, "ODS".EA5:=true, потім присвоїти "ODS".ARMCommand:=7 | "ODS".FCY1==1, "ODS".FCY2==1, "ODS".FCY3==1, "ODS".GraphState7==1 "ODS".NS6==1 "S7Graph_DB".Y2==1, "S7Graph_DB".Y3==1, "S7Graph_DB".Y4==1, "S7Graph_DB".State==1 |

Продовження таблиці 5.9

| № п/п | Дія | Результат |
|----------|---|--|
| 3. | Чекати 10 хвилин | "ODS".FCY1==0, "ODS".FCY2==0, "ODS".FCY3==0, "ODS".GraphState7==0 "ODS".NS6==0 "S7Graph_DB".Y2==0, "S7Graph_DB".Y3==0, "S7Graph_DB".Y4==0, "S7Graph_DB".State==0 |
| 4. | Повторити п.2, потім присвоїти "ODS".W1:=1 | Те ж саме, що і в п.2. |
| 5. | Присвоїти "ODS".W1:=0, потім повторити п.2, 4 використовуючи замість "ODS".W1:=0 "ODS".EA5:=1, а замість "ODS".W1:=1 "ODS".EA5:=0 | Те ж саме, що і в п.2. |
| 6. | Повторити п.6. для "ODS".FCY1W | Те ж саме, що і в п.2. |
| 7. | Повторити п.6. для "ODS".FCY2W | Те ж саме, що і в п.2. |
| 8. | Повторити п.6. для "ODS".FCY3W | Те ж саме, що і в п.2. |
| 9. | Присвоїти "ODS".ARMCommand:=0 | Те ж саме, що і в п.2. |

5.3.10 Перевірка режиму важкого старту

Таблиця 5.10 – Контрольний приклад і протокол випробувань графу важкого старту

| № п/п | Дія | Результат |
|----------|--|---|
| 1. | Відкрити блок даних ODS та ФБ S8Graph у режимі «Розділення області редагування навпіл». Стиснути зайві вікна. Ввімкнути онлайн-моніторинг обох вікон у області редагування | Ті ж самі, що і у п.п.1-2 табл. 5.2 |
| 2. | Присвоїти "ODS".TE5:=11, "ODS".W1:=false, ODS".W2:=false, потім присвоїти "ODS".ARMCommand:=8 | "ODS".FCY1==0, "ODS".FCY2==0, "ODS".FCY3==0, "ODS".GraphState8==1 "ODS".NS6==0 "S8Graph_DB".Y2==0, "S8Graph_DB".Y3==0, "S8Graph_DB".Y4==0, "S8Graph_DB".State==1 |
| 3. | Присвоїти "ODS".ARMCommand:=0 | "ODS".FCY1==0, "ODS".FCY2==0, "ODS".FCY3==0,, "ODS".GraphState8==0, "ODS".NS6==0, "S8Graph_DB".Y2==0, "S8Graph_DB".Y3==0, "S8Graph_DB".Y4==0, "S8Graph_DB".State==0 |

5.3.11 Перевірка режиму чистки

Таблиця 5.11 – Контрольний приклад і протокол випробувань графу

ЧИСТКИ

| № п/п | Дія | Результат |
|----------|--|--|
| 1. | Відкрити блок даних ODS та ФБ S9Graph у режимі «Розділення області редагування навпіл». Стиснути зайві вікна. Ввімкнути онлайн-моніторинг обох вікон у області редагування | Ті ж самі, що і у п.п.1-2 табл. 5.2 |
| 2. | Присвоїти "ODS".W1:=false, ODS".W2:=false, потім присвоїти "ODS".ARMCommand:=9 | "ODS".NS1==0, "ODS".NS2==0, "ODS".NS3==0, "ODS".NS4==0, "ODS".NS5==0, "ODS".GraphState9==1 "S9Graph_DB".Y1==0, "S9Graph_DB".Y2==0, "S9Graph_DB".Y3==0, "S9Graph_DB".Y4==0, "S9Graph_DB".Y5==0, "S9Graph_DB".State==1 |
| 3. | Присвоїти "ODS".ARMCommand:=0 | "ODS".FCY1==0, "ODS".FCY2==0, "ODS".FCY3==0, "ODS".GraphState9==0, "ODS".NS6==0, S9Graph_DB".Y1==0, "S9Graph_DB".Y2==0, "S9Graph_DB".Y3==0, "S9Graph_DB".Y4==0, "S9Graph_DB".Y5==0, "S9Graph_DB".State==0 |

5.4 Аналіз результатів експериментів

За результатами виконання контрольного прикладу було виявлено повну відповідність отриманих результатів заявленим у таблицях 5.2-10. Це підтверджує дієздатність графів керування обладнанням і програмного забезпечення комп'ютерної системи холодильного тунелю.

ВИСНОВОК

У результаті експериментальних досліджень шляхом було підтверджено за допомогою виконання контрольного прикладу дієздатність блоків ПЗ КС ХТ у частині виконання графів-автоматів вибору й керування режимами роботи обладнання. Це підтверджує сформульоване у розділі 2 наукове положення: холодильний тунель є об'єктом з детермінованими станами і керування ним може здійснюватися з використанням графів-автоматів керування обладнанням технологічних режимах.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра вирішено завдання обґрунтування схеми функціональної структури, комплексу технічних засобів, алгоритмів контролю та керування температурою у технологічних секціях охолоджувального тунелю. Основні висновки та результати роботи полягають у наступному:

1. Обґрунтовано метод контролю технологічного процесу холодильного тунелю та методи керування ним у вигляді графів-автоматів режимів роботи обладнання;
2. Розроблено технічне рішення для комп'ютерної системи холодильного тунелю на основі комплексу технічних засобів Simatic S7-1200;
3. Розроблено програмне забезпечення КС холодильного тунелю з використанням мови LAD в середовищі Tia Portal V15;
4. Проведено експериментальні дослідження ПЗ КС холодильного тунелю, які підтвердили дієздатність запропонованих графів керування.

Таким чином, задача, поставлена у даній кваліфікаційній роботі вирішена у повному обсязі.

Мета даної магістерської роботи – розробити програмно-технічне рішення комп'ютерної системи контролю і керування процесом охолодження продукції в охолоджувальному тунелі лінії виробництва кондитерських виробів – досягнута.

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було сформульовано й підтверджено наукове положення: холодильний тунель є об'єктом з детермінованими станами і керування ним може здійснюватися з використанням графів-автоматів керування обладнанням технологічних режимах.

Запропоноване програмно-технічне рішення може бути застосовано для контролю стану та керування холодильним технологічним обладнанням, зокрема холодильними тунелями, для роботи у лініях з виготовлення виробів кондитерської фабрики «Квітень». Подальший розвиток досліджень має бути спрямований на створення інтерфейсу оператора, а також баз даних як рецептів, так і протоколу технологічного процесу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кондитерська фабрика «Квітень». Режим доступу: <https://kviten.com/about-company/istoriya-kf-kviten/>
2. Delicia Technology. Холодильний тунель. Режим доступу: <https://deliciatechnology.com.ua/confectionery-equipment/freezing-tunnel/>
3. Кондитерський холодильний тунель. Виробник: Компанія Фрост. Режим доступу: <https://frost.prom.ua/ua/p405745926-konditerskij-holodilnyj-tonnel.html>
4. Датчик температури WIKA TF44 PT100/A/4-L/6X6MM/200°C/5.0M. Режим доступу: <https://peko.com.ua/process-sensors/temperature-sensors/wika-tf44-pt100-a-4-l-6x6mm-200c-5-0m-14132814>
5. Двохходовий моторизований клапан Yoshitake MD-36R. Режим доступу: <https://opeks.ua/ua/dvoxxodovij-motorizovaniy-klapan-yoshitake-md-36r/>
6. Охолоджуючий тунель Impex CT-400.4. Режим доступу: <https://impexmash.com/product/cooling-tunnel-impex-ct-400-4-2/>
7. Siemens. Basic Panels, Comfort Panels, Unified Basic Panels, Unified Comfort Panels, Industrial Thin Client, Industrial Flat Panels, Classic Panels. Режим доступу: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/241/109797241/att_1066673/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf
8. Siemens. S7-1200 Programmable controller System Manual, V4.5 05/2021, A5E02486680-AO. Режим доступу: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/241/109797241/att_1066673/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf
9. Siemens. S7-1200, модуль дискретних виходів SM 1222 16DQ RLY. Режим доступу: <https://abr.com.ua/ua/siplus-s7-1200-modul-dyskretnyih-vyihodov-sm-1222-16dq-rly-dlya-tyajelyih-uslovyuy-prymenenyua-so-stoykym-pokrytyem-na-osnove-6es7222-1hh32-0xb0-modul-dyskretnyih-vyihodov-sm-1222-16-dq-rele-2a-6ag1222-1hh32-4xb0-en>

10. Siemens. SM 1231 RTD specifications. Режим доступу: <https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/91696622?c=61290177035&dl=sk&lc=en-BY>
11. Siemens. SM 1232 specifications. Режим доступу: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/448367?pdtd=td&dl=en&lc=en-BY>
12. Siemens. SCALANCE S615 EEC LAN-Router. Режим доступу: <https://support.industry.siemens.com/cs/products/6gk5615-0aa01-2aa2/scalance-s615-eec-lan-router?pid=1658946&mlfb=6GK5615-0AA01-2AA2&mf=ps&lc=en-BY>
13. Siemens. PM1207. Режим доступу: <https://support.industry.siemens.com/cs/pd/399209?pdtd=td&dl=en&lc=en-BY>
14. ДСТУ 2853-94 Програмні засоби ЕОМ. Підготовка і проведення випробувань.
15. ДСТУ 2851-94 Програмні засоби ЕОМ. Документування результатів випробувань.

Додаток А

Текст програми

програмного забезпечення комп'ютерної системи холодильного тунелю

НТУ «Дніпровська політехніка»

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ХОЛОДИЛЬНОГО ТУНЕЛЮ**

**Текст програми
_____ .000 __ -01**

Листів ____

АННОТАЦІЯ

Даний документ містить ПЗ комп'ютерної системи холодильного тунелю.

Текст програми реалізовано мовою LAD для PLC Simatic.

Середовище розробки та налагодження – Siemens TIA Portal V15, сумісне з комп'ютерами x64 у середовищі операційної системи Windows 10.

ЗМІСТ

1. Таблиця тегів меркерної пам'яті IO Tag Table
2. Організаційний блок Main
3. Функція GetInputs
4. Функція GraphContainer
5. Функція SetOutputs
6. Функція AirRegulation
7. Функція ValveAdjustment
8. Функціональний блок MainGraph
9. Функціональний блок S1Graph
10. Функціональний блок S2Graph
11. Функціональний блок S3Graph
12. Функціональний блок S4Graph
13. Функціональний блок S6Graph
14. Функціональний блок S7Graph
15. Функціональний блок S8Graph
16. Функціональний блок S9Graph
17. Блок даних ODS