

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

Навчально-науковий
інститут електроенергетики
(інститут)

Факультет інформаційних технологій
(факультет)
Кафедра інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

здобувача Лісенка Богдана Вячеславовича
(ПІБ)

академічної групи 123-22ск-1
(шифр)

спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 123 Комп'ютерна інженерія
(офіційна назва)

на тему «Кіберфізична система термокамери обробки харчових продуктів»

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	доц.Ткаченко С.М.			
загального розділу	доц.Ткаченко С.М.			
спеціального розділу	доц.Ткаченко С.М.			
Рецензент				
Нормоконтролер	проф. Цвіркун Л.І.			

Дніпро
2025

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

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

" _ " _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавр

здобувача Лісенка Б.В. академічної групи 123-22ск-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія

за освітньо-професійною програмою Комп'ютерна інженерія
(офіційна назва)

на тему "Кіберфізична система термокамери обробки харчових продуктів"

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 05.05.2025 № 336-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання і постановка задачі	На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел показати актуальність завдання, сформулювати мету та задачі виконання кваліфікаційної роботи	10.02.2025
Розробка технічного рішення для кіберфізичної системи	Висунути технічні вимоги до КФС. Виконати технічне проектування апаратної частини КФС системи з необхідними інженерними розрахунками	20.04.2025
Розробка програмного забезпечення системи	Обґрунтувати технічні характеристики програми й розробити програму КФС термокамери обробки харчових продуктів	07.05.2025

Завдання видано _____
(підпис керівника)

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

Дата видачі 25.01.2025

Дата подання до екзаменаційної комісії _____ 10.06.2025

Прийнято до виконання _____

Лісенко Б.В.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 62 с., 23 рис., 2 табл., 1 дод., 18 джерел.

ТЕРМОКАМЕРА, ПРОЦЕС ТЕРМООБРОБКИ, КОПЧЕННЯ, ДУШУВАННЯ, ТЕМПЛОГЕНЕРАТОР, ДИМОГЕНЕРАТОР, ЗАСУВКА, PROFINET.

Об'єкт професійної діяльності – кіберфізична система термокамери обробки харчових продуктів.

Мета роботи – розробка кіберфізичної системи термокамери обробки харчових продуктів згідно заздалегідь заданої рецептури приготування.

Здійснено огляд принципу роботи термокамери, її технологічного циклу, існуючих технологій і методів контролю й впливу на технологічні характеристики роботи. Сформульовано технічні вимоги до кіберфізичної системи, яка має виконувати наступні функції:

- прийом сигналів ТВ по температурам в камері, в каналі димогенератора, на викиді відпрацьованого повітря;
- прийом сигналів ТВ та ТС по технологічним показникам та стану обладнання;
- подачу сигналів ТК на виконавчі пристрої камери;
- ПАЗ виконавчих пристроїв термокамери;
- регулювання температури й вологості камери;
- керування устаткуванням термокамери згідно рецептури;
- керування операціями обробки харчових продуктів на термокамері згідно рецептури.

Розроблено технічне й програмне рішення, яке задовольняє поставленим вимогам. Результати роботи можуть бути використані для побудови підсистем використання інтелектуальної кіберфізичної камери обробки харчових продуктів у складі гнучкого автоматизованого виробництва.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	6
Вступ	7
1 Стан питання і постановка задачі	8
1.1 Значення кіберфізичної системи для термокамери обробки харчових продуктів	8
1.2 Характеристика, структура, особливості, умови роботи об'єкту впровадження	9
1.3 Огляд існуючих методів, технологій	13
1.4 Обґрунтування напрямку вирішення задачі розробки кіберфізичної системи термокамери обробки харчових продуктів	19
.....	
1.5 Мета і задачі і роботи	23
2 Розробка технічного рішення для кіберфізичної системи	24
2.1 Технічні вимоги до об'єкту професійної діяльності	24
2.1.1 Найменування і призначення об'єкту професійної діяльності	24
2.1.2 Вимоги до структури і функціонування об'єкту професійної діяльності	24
2.1.3 Вимоги до показників призначення	25
2.2 Розробка апаратної частини	26
2.2.1 Розробка функціональної схеми автоматизації	26
2.2.2 Розробка принципової схеми системи керування	27
2.2.2.1 Аналіз входів і виходів об'єкту професійної діяльності	27
2.2.2.2 Вибір елементної бази системи	33
2.2.2.3 Обґрунтування вибору джерела живлення	37
2.2.2.4 Розробка принципової схеми системи	38

				5	
3	Розробка	програмного	забезпечення	системи	40
				
3.1	Призначення і сфера застосування програмного забезпечення			40	
				
3.2	Обґрунтування технічних характеристик програми			40	
	3.2.1	Функції, виконувани програмною		40	
	3.2.2	Вимоги до функцій, виконуваних програмною		41	
	3.2.3	Обґрунтування вхідних і вихідних даних ПЗ		42	
	3.2.4	Обґрунтування алгоритмів і методів програмного			
	забезпечення			43	
	3.2.5	Технічні та програмні засоби, застосовані для реалізації			
	програми			53	
3.3	Опис	розробленої	програми	53	
				
	3.3.1	Загальна інформація		53	
	3.3.2	Функціональне призначення		53	
	3.3.3	Опис логічної структури ПЗ		55	
3.4	Використані технічні засоби			58	
3.5	Виклик та завантаження			58	
3.6	Вхідні й вихідні дані			58	
	Висновки			59	
	Перелік	джерел	посилань	60	
				
	Додаток А. Текст програми кіберфізичної системи термокамери				
	обробки харчових продуктів			63	

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

НМІ	– англ. Human Machine Interface, людино-ма- шинний інтерфейс;
АРМ	– автоматизоване робоче місце;
БД	– база даних;
КТЗ	– комплекс технічних засобів;
ПАЗ	– протиаварійний захист;
ПЗ КФС ТК	– програмне забезпечення КФС ТК;
СУБД	– система управління базою даних;
ТВ	– телевимірювання;
ТК	– телекерування;
ТС	– телесигналізація.

ВСТУП

Термокамери використовують на м'ясопереробних підприємствах для виготовлення сирокочених, варено-копчених, сиро-в'ялених ковбас, сосисок, шинок, делікатесних м'ясних виробів, а також для сушки та в'ялення риби й морепродуктів. Процес виробництва на такій камері складається з кількох послідовних технологічних операцій, які і для різних продуктів, і один від одного відрізняються температурою обробки, тривалістю, вимогами до вологості повітря. Тому розробка кіберфізичної системи термокамери, яка керує процесами обробки харчових продуктів є актуальною задачею.

Мета представленої роботи кваліфікаційної роботи – розробка кіберфізичної системи термокамери обробки харчових продуктів згідно заздалегідь заданої рецептури приготування.

Обрана тема кваліфікаційної роботи актуальна для профільних підприємств харчової галузі промисловості, де є потреба у побудові гнучкого автоматизованого виробництва на основі систем керування інтегрованих до систем керування підприємством.

Вихідними даними для представленої роботи є матеріали передатестаційної практики, присвячені огляду конструкції й принципу дії термокамери, операцій з обробки харчових продуктів за допомогою термокамери, існуючих методів і технологій контролю технологічних параметрів, а також впливів на ці параметри.

Представлена кваліфікаційна робота пов'язана із роботами по вдосконаленню методичного забезпечення дисципліни «Програмно-технічні засоби кіберфізичних систем» кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії НТУ «Дніпровська політехніка».

1 СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Значення кіберфізичної системи для термокамери обробки харчових продуктів

Термокамери призначені для термічної обробки, копчення, сушки, парового варіння м'ясної продукції, риби, морепродуктів та інших видів харчової продукції. Вони класифікуються за типом енергоносія[1]:

- електричні;
- парові;
- газові;
- на рідкому паливі.

Сучасні термокамери використовують на м'ясопереробних підприємствах для виготовлення сирокопчених, варено-копчених, сиро-в'ялених ковбас, сосисок, шинок, делікатесних м'ясних виробів, а також для сушки та в'ялення риби й морепродуктів. Коптильні камери складаються з робочої камери для копчення і димогенератора з контейнером для деревної тріски[1].

Традиційна послідовність етапів всього процесу термообробки м'ясних, рибних, ковбасних продуктів наступна[2]:

- прогрів (відпітніння);
- сушіння;
- копчення;
- обсмажування[3];
- варіння;
- душення.

Ці етапи відрізняються для різних продуктів температурою обробки, тривалістю, вимогами до вологості повітря. Тому актуальне питання розробки кіберфізичної системи термокамери, яка керує процесами обробки харчових продуктів. Розглянемо докладніше технологію термообробки продуктів за допомогою термокамери.

1.2 Характеристика, структура, особливості, умови роботи об'єкту впровадження

Розглянемо етапи термообробки продуктів. Першим етапом є сушіння, або, за іншими назвами, відпітніння, червонення. Фактично, це процедура нагрівання продукту в умовах низької швидкості передачі тепла. Ефект досягається шляхом використання малих обертів двигуна, закриття заслінок подачі й викиду повітря, забезпечення температур, необхідних для дозрівання фаршу й початку коагуляції білка. При цьому температура всередині продукту досягає 30–35 °С, а тривалість процесу становить 20...40 хвилин. Цього достатньо для завершення біохімічних реакцій, активації добавок, формування кольору та підготовки до наступних стадій обробки[2].

Сушіння має на меті підготувати поверхню продукту до копчення, забезпечуючи рівномірне висихання оболонки шляхом поступового зниження вологості в термокамері й утворення рівномірного проміжного кольору, який залежить від складу фаршу. Недостатня насиченість кольору може вплинути на зовнішній вигляд готової продукції, тому процес сушіння продовжують до досягнення бажаного відтінку, навіть коли оболонка суха. Також необхідно контролювати втрати ваги, обмежуючи зниження відносної вологості в камері до 25–30% [2].

Оптимальні параметри сушіння[2]:

- температура теплоносія в камері 55–65 °С;
- тривалість процесу 30–50 хвилин
- температура продукту після сушіння 36–45 °С для ковбас чи 30–35 °С

для шматкового м'яса.

Після сушіння проводиться копчення, яке завершує формування кольору готової продукції та створює консервуючий ефект. Для варених ковбас, делікатесів і курятини копчення зазвичай проводиться після варіння, оскільки варіння після копчення може змінити колір продукту призвести до його втрати під час зберігання. Ця технологія термообробки передбачає повторне сушіння перед копченням і забезпечує консервацію лише поверхні продукту, що скорочує термін його зберігання. Натомість, варіння після копчення, дозволяє

частинкам диму проникати всередину продукту завдяки високій вологості і підвищеному тиску повітря в камері. Це забезпечує кращий ефект консервації [2].

Технологічні параметри копчення [2]:

- вологість повітря в камері: 45...75 %;
- температура повітря в камері: 60...67 °С для ковбаси, 70...72 °С для делікатесів.
- тривалість копчення: 5...10 хвилин для варених ковбас, 15...25 хвилин для сирокочених ковбас і делікатесів.
- температура продукту після копчення 42...52 °С, залежно від виду продукції та оболонки.

Якщо після копчення перед варінням не досягається рівномірність кольору продукту або він втрачається під час зберігання, використовують повторне вологе копчення з вологістю 75...90 % [2].

Обсмажування не є обов'язковою операцією і залежить від рецептури продукту. Це обробка поверхні сосисок, сардельок, варених та напівкопчених ковбас гарячими димовими газами [4]. Технологічні показники обсмажування:

- температура теплоагента 50...120°С,
- тривалість процесу від 30 хв до 3 год у залежності від виду продуктів;
- кінцева температура у центрі продукту: для ковбасного батону чи виробу малого діаметру 40...45°С, для м'ясопродуктів в широкій оболонці 30...35°С.

Після копчення й, можливо, смаження, зазвичай виконують варіння, що дозволяє довести продукт до готовності. Під час варіння висуваються підвищені вимоги до точності регулювання температури і вологості. На цій стадії для варених ковбас у будь-яких видах оболонок слід забезпечити максимальну вологість, підібравши таку температуру камери, яка дозволяє варити продукт у межах 20...40 хвилин. Якщо тривалість варіння становить менш ніж 20 хвилин, це може негативно вплинути на рівномірність прогріву продукту і призвести до його псування під час зберігання [2].

Напівкопчені та варено-копчені ковбаси, а також делікатеси варять в режимі імпульсного зволоження, підтримуючи рівень вологості 95...98 %. Це забезпечує підпікання поверхні продукту, що надає йому товарний вигляд. Низький рівень вологості може призвести до формування глибоких борозен на поверхні, що є недопустимим [2].

Для варено-копчені сортів ковбас у натуральній оболонці з високим вмістом сала застосовують варіння з димом. Ця технологія дозволяє усунути сліди підтікання жиру, які можуть виникнути на цій стадії [2].

Завершальний етап термічної обробки варених ковбас – душення. Це швидке охолодження продукту для запобігання розвитку бактерій, які не загинули під час термообробки, а також для відновлення рівня вологи. Душення повинно тривати до зниження температури продукту до 30...35 °С [2]. При цьому використовують зазвичай камери інтенсивного охолодження, але режим душення варто передбачити й у самій термокамері. Типова термокамера має конструкцію, показану на рисунку 1.1 [3]:

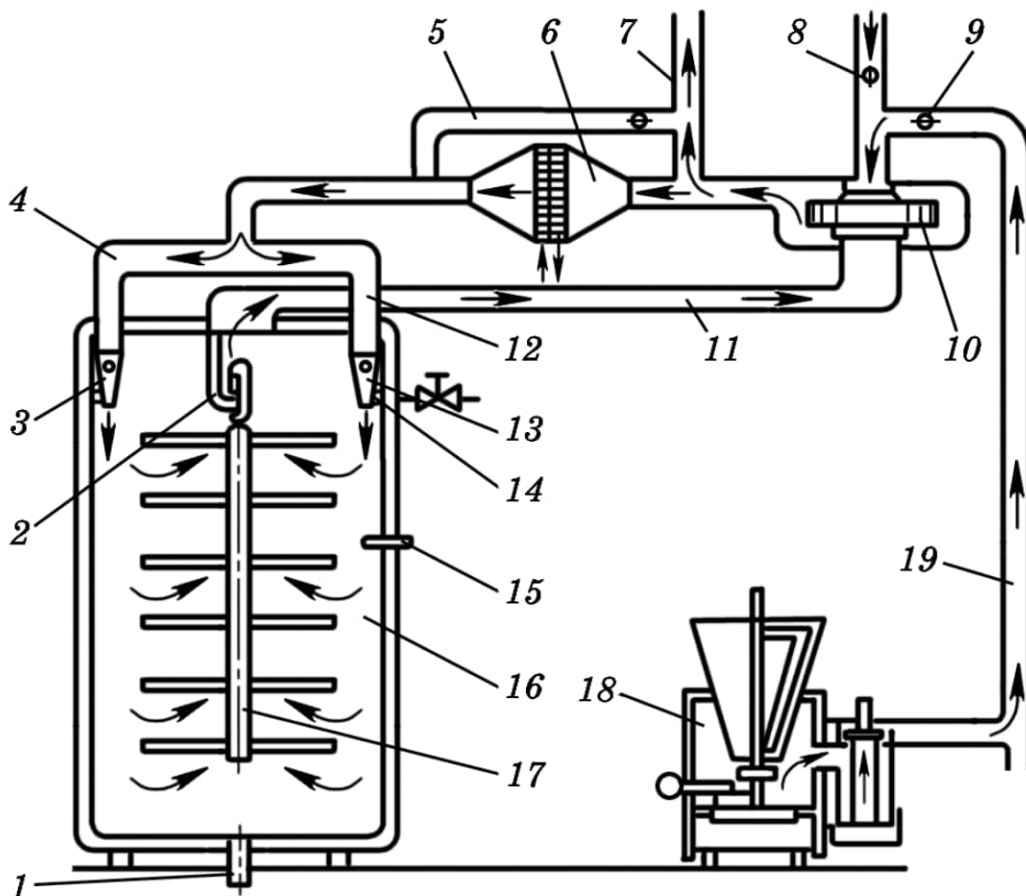


Рисунок 1.1 – Конструкція і принцип дії термокамери обробки харчових продуктів: 1 – люк завантаження; 2 – підвісний шлях; 3, 13 – сопла; 4, 12 – розподільна труба; 5 – обвідна труба; 6 – калорифер; 7 – трубопровід для відводу повітря; 8 – заслінка; 9 – регулятор диму; 10 – вентилятор; 11 – витяжна труба; 14 – паропровід; 15 – термометр; 16 – термокамера; 17 – рама для підвіски продуктів; 18 – димогенератор; 19 – димохід.

Зовнішній вигляд термокамер показано на рисунку 1.2 [3]:

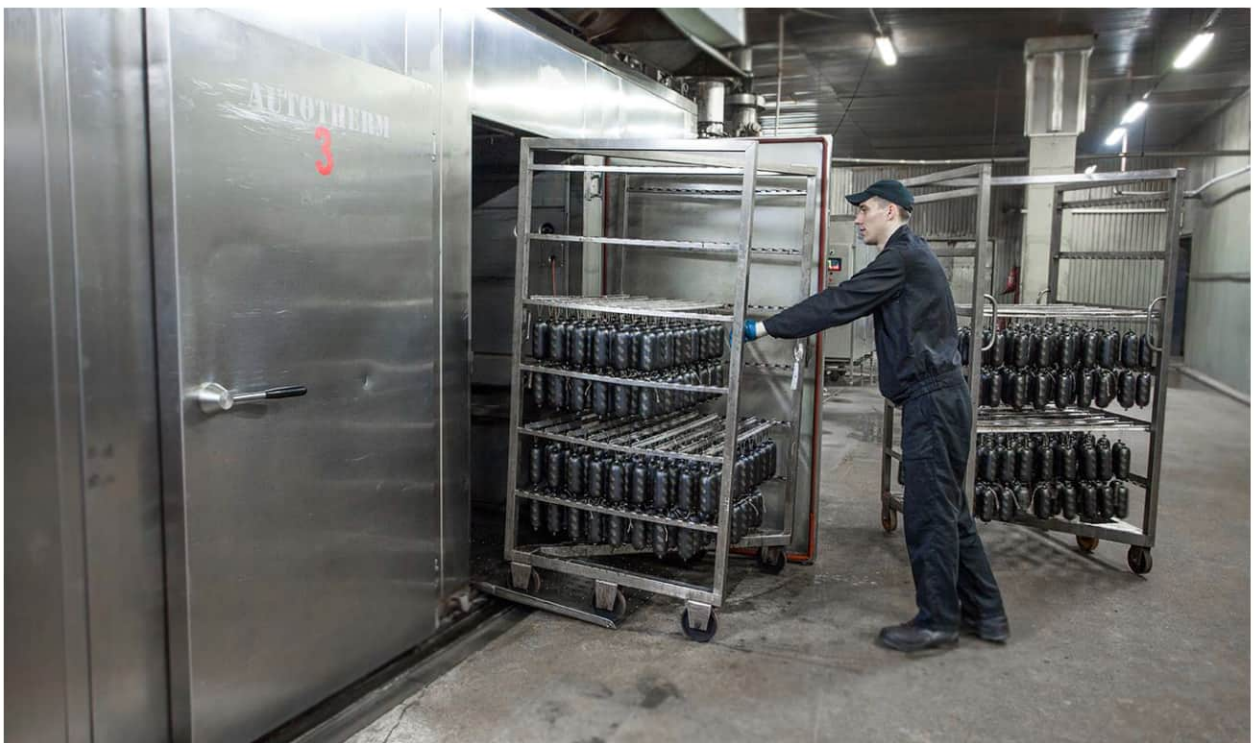


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд термокамер у процесі завантаження

Типове технічне оснащення термокамери може бути наступним [5]:

- система нагрівання: електрична, газова та інші.
- живлення: 3+PE+N 400/230V 50Hz.
- потужність на одну раму: 32 кВт.
- потужність на дві рами: 58 кВт.
- продуктивність: 600–1600 кг/8 год .
- мотори: 1–2 шт. по 4 кВт (циркуляція і підведення диму), 380 В, 50 Гц.; 2 шт. по 0,25 кВт (вентилятор, а також зворушувач щепи).

Розглянемо методи керування термокамерою.

1.3 Огляд існуючих методів і технологій

Виходячи зі схеми на рисунку 1.1, та наведеного прикладу технічного оснащення термокамер у п.1.2, можна стверджувати наступне:

- система нагріву теплоносія є автономною і її особливості залежать від енергоносія, який використовує теплогенератор: електрика, газ, дизельне паливо чи тверде паливо;

- кількість тепла, що надходить від системи нагріву, регулюється заслінкою 8 на рисунку 1.1, причому відбувається контроль температури на вході у термокамеру;

- термокамера має засіб рекуперації тепла, а саме калорифер 6 на рисунку 1.1, який, в принципі, може бути відключений заслінкою байпасу, як показано на рисунку 1.1. Це корисна особливість, якщо для термокамери необхідно додати режим душення;

- зволоження повітря в камері проводиться за допомогою паропроводу 14 на рисунку 1.1, який подає пару на форсунки теплоносія. Проте інформації про наявність контролю вологості в термокамері немає;

- димогенератор входить до складу необхідного обладнання термокамери, й має привод ворушіння щепи. Він може бути з газовим чи іншого типу пальником або з термоелектронагрівачем. В останньому випадку вважається, що потужністю такого нагрівача можна знехтувати порівняно з іншим електричним обладнанням.

Температури на аналогічних термокамерах вимірюють за допомогою платинових термометрів опору з виходом Pt100 [6]:

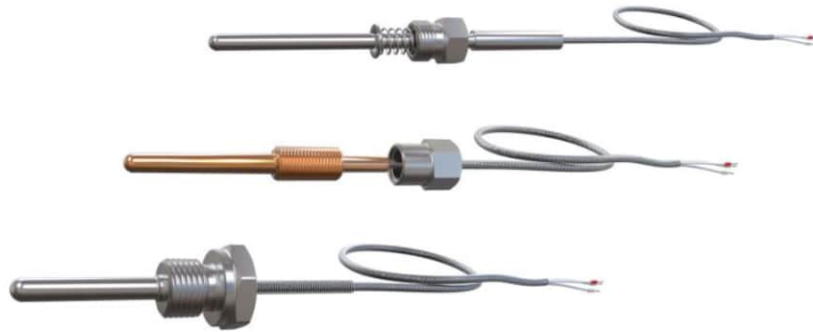


Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд термометрів опору

Доцільно подібний датчик використати не лише для вимірювання температури всередині камери, але й для вимірювання температури на повітря на виході трубопроводу для відводу повітря 7 на рисунку 1.1 для оцінення втрат тепла. А також для вимірювання температури на виході димогенератора для непрямого визначення кількості диму, що подається в термокамеру. Крім того, деякі технологи використовують спеціальні голчасті датчики для вибіркового вимірювання температури всередині продукту [7], які також існують з виходом Pt100:



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд голчастих датчиків

Для контролю вологості повітря термокамер використовують вбудовані в камеру психрометричні станції [7]:



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд психрометричної станції

Рішення, представлене на рисунку 1.5 не є вдалим, оскільки потребує регулярного догляду й чистки психрометричної станції і перерахунку вологості по психрометричним таблицям. На сьогодні більш вдалим рішенням є датчик вимірювання температури й вологості повітря з парою уніфікованих виходів 4...20 мА, показаний на рисунку 1.6 [8]:



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд датчика-перетворювача вологості й температури ПВТ-100

Технічні характеристики ПВТ-100 [8]:

- температурний діапазон $-40 \dots + 80 \text{ }^\circ\text{C}$;
- розширений температурний діапазон до $+120 \text{ }^\circ\text{C}$ за рахунок застосування високотемпературного кабелю;
- абсолютна похибка вимірювання вологості $\pm 2,5\%$;
- абсолютна похибка вимірювання температури $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$;
- два незалежних вихідних канала $4 \dots 20 \text{ mA}$;
- можливість обміну інформацією по інтерфейсу RS-485, протокол Modbus RTU, швидкість до 57600 біт/с .
- ергономічний корпус із ступенем захисту IP65.

Область застосування ОВЕН ПВТ100 – у тому числі системи контролю й керування для сушильних, копильних і холодильних камер, включаючи неопалювані приміщення з важкими температурними умовами [8].

Оскільки на рисунку 1.1 все регулювання технологічних параметрів режимів термокамери зводиться до регулювання засувки, варто розглянути ці засувки й методи впливів на них. Найпростіший варіант – засувки з ручним регулюванням, наприклад такі, як показано на рисунку 1.7 [9]:



Рисунок 1.7 – Засувка шиберна для ручного регулювання потоків середовищ

Рішення для регулюючого органу, показане на рисунку 1.7 може бути використане для керування процесами в термокамерах, але як окремий випадок. Кіберфізична система керування у такому випадку буде системою контролю й моніторингу й при цьому потребуватиме присутності оператора локально біля технологічного об'єкту для здійснення ручного регулювання параметрами процесу. Тому розглянемо інші варіанти, щоб досягти ефектів віддаленого впливу й комп'ютеризованого керування.

Регулюючі дросельні засувки з електроприводом можуть бути різних конструкцій, але з точки зору вирішення задачі регулювання технологічних параметрів термокамери більший інтерес представляє питання вибору принципу дії привода такої засувки.

Розглянемо в якості виконавчого органу трифазний привод засувки, наприклад такий, як на рисунку 1.8 [10]:



Рисунок 1.8 – Привод для засувки Auma SA 14.2/16

Рішення, представлене на рисунку 1.8 дозволяє розвивати значний крутний момент, відкривати й перекривати потік рідини чи газу по трубопроводу, але використання асинхронного двигуна змінного струму не дозволяє регулювати потік з точністю, яка дозволила б задавати ступінь відкриття згідно рецепту, а не вводити в систему обов'язковий зворотний зв'язок з контуром

регулювання. Тому більш перспективно використати сервопривод, як на рисунку 1.9. Вказаний сервопривод здатен працювати як зі змінною напругою ~ 230 В, так і з постійною $+24$ В [11]. Керування положенням в моделі Elettromeccanica Delta VFH MZ здійснюється аналоговим сигналом $0\dots 10$ В або $4\dots 20$ мА [11].



Рисунок 1.9 – Регулюючі дросельні засувки типу батерфляй з сервоприводом Elettromeccanica Delta VFH

Визначимо напрямок вирішення задачі розробки кіберфізичної системи термокамери обробки харчових продуктів.

1.4 Обґрунтування напрямку вирішення задачі розробки кіберфізичної системи термокамери обробки харчових продуктів

Робота системи керування термокамери описана за допомогою схеми функціональної структури, представленої на рисунку 1.10.

Принцип дії системи, показаної рисунку 1.10, такий. Є окремі контури контролю й керування з відповідними функціональними блоками:

- контур контролю й керування температурою камери, який за показниками температури здійснює відповідні керуючі впливи на вентилятор агенту нагрівання, засувки байпасу, душення теплогенератора, у відповідності до заданих налаштувань поточної операції на термокамері, а також протиаварійний захист відповідних виконавчих пристроїв;

- контур контролю й керування вологістю в камері, який за показниками вологості здійснює відповідний керуючий впливи на засувку паропроводу у відповідності до заданих налаштувань поточної операції на термокамері а також протиаварійний захист приводу засувки;
- контур контролю й керування димогенератором, який за показниками датчиків роботи димогенератора здійснює відповідний керуючий впливи на засувку димогенератора у відповідності до заданих налаштувань поточної операції на термокамері а також протиаварійний захист приводу засувки;
- контур контролю й керування теплогенератора, який за показниками датчика роботи теплогенератора здійснює відповідний керуючий впливи на засувку нього у відповідності до заданих налаштувань поточної операції, а також протиаварійний захист теплогенератора за необхідності;
- керування технологічним циклом теплогенератора через згадані вище контури у режимі реального часу відповідно до заданого рецепту;
- надання локального інтерфейсу оператора, який дозволяє спостерігати, керувати процесами переробки харчових продуктів на термокамері, здійснювати доступ до СУБД рецептів з метою створення, редагування використання рецептів переробки харчових продуктів, отримувати доступ з метою перегляду й аналізу до СУБД протоколу процесів термокамери;
- надання можливості доступу до СУБД протоколу процесів із зовнішніх мереж і систем у режимі читання.

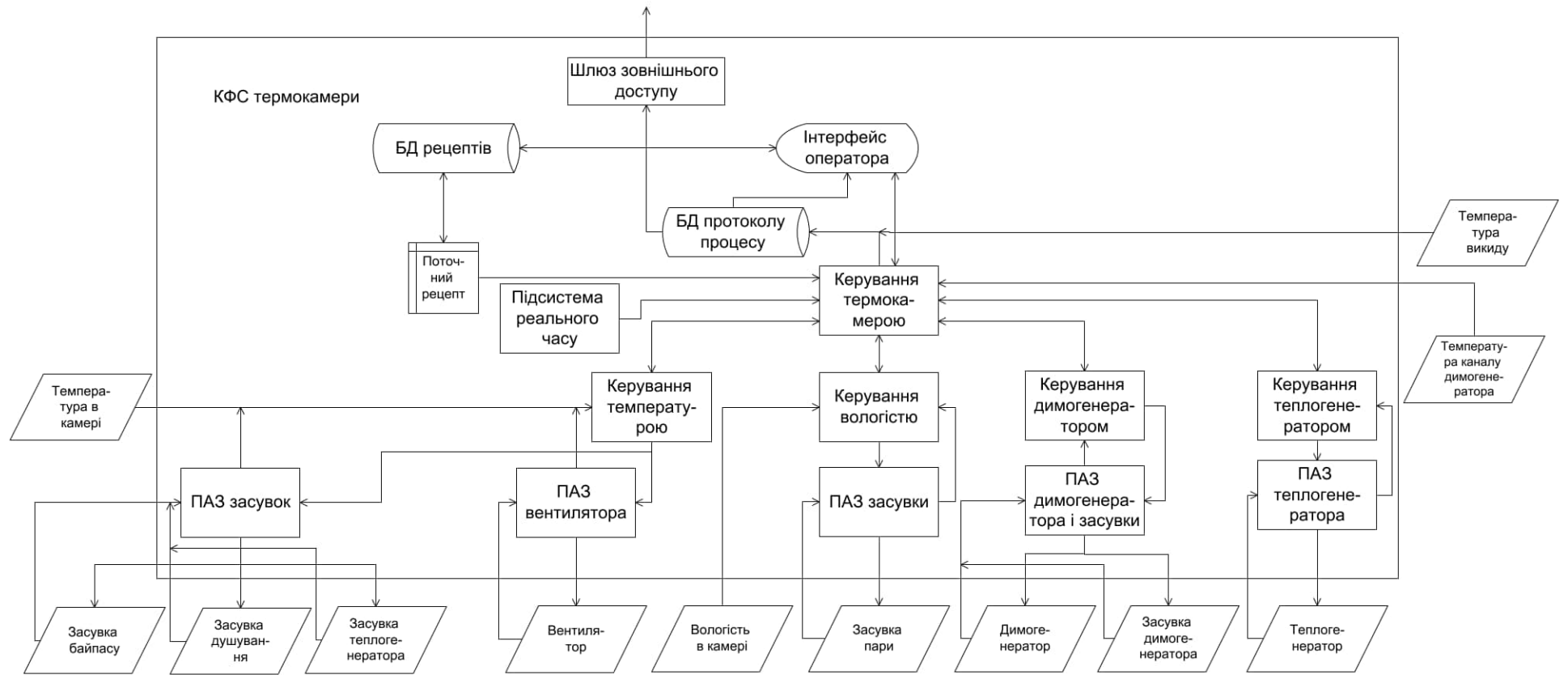


Рисунок 1.5 – Схема функціональної структури кіберфізичної системи термокамери для харчових продуктів

Таким чином, кіберфізична система термокамери обробки харчових продуктів, КФС ТК має виконувати наступні функції:

- прийом сигналів ТВ по температурам в камері, в каналі димогенератора, на викиді відпрацьованого повітря;
- прийом сигналів ТВ по вологості в камері;
- прийом сигналів ТС про положення засувки регулювання;
- подачу сигналів ТК на виконавчі пристрої камери;
- ПАЗ засувки та інших виконавчих пристроїв термокамери;
- регулювання температури камери згідно технологічних еталонів і рецептури;
- регулювання вологості камери згідно технологічних еталонів і рецептури;
- керування димогенератором згідно технологічних еталонів і рецептури;
- керування теплогенератором згідно технологічних еталонів і рецептури;
- облік реального часу під час проведення технологічних операцій на термокамері;
- керування операціями обробки харчових продуктів на термокамері згідно поточного рецепту;
- зберігання й огляд протоколу процесу термокамери;
- зберігання, огляд, редагування рецептів у БД та призначення поточного рецепту;
- візуалізація і надання інтерфейсу керування термокамерою в рамках КФС ТК;
- надання шлюзу доступу до бази даних протоколу процесу із зовнішніх мереж.

1.5 Мета і задачі і роботи

Кваліфікаційна робота спрямована на вирішення задачі керування процесами переробки харчових продуктів на термокамері, мета роботи – розробка

кіберфізичної системи термокамери обробки харчових продуктів згідно заздалегідь заданої рецептури приготування. При цьому необхідно вирішити наступні задачі:

- на основі виконаного аналізу структури принципів роботи, технології обробки продуктів на термокамері, методів і технологій керування процесами на ній, сформулювати технічні вимоги до КФС ТК;
- провести аналіз вхідних і вихідних сигналів КФС ТК, на основі якого обрати КТЗ для її технічного рішення. Провести інженерний розрахунок джерела живлення блоку;
- розробити принципову схему КФС ТК;
- провести аналіз вхідних і вихідних даних, сформулювати алгоритми роботи ПЗ КФС ТК;
- на основі розроблених алгоритмів написати програму, яка буде використовуватись на КТЗ КФС ТК.

2 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ДЛЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Технічні вимоги до об'єкту професійної діяльності

2.1.1 Найменування і призначення об'єкту професійної діяльності

Кіберфізична система термокамери обробки харчових продуктів, далі КФС ТК, призначена для роботи в складі систем керування лініями по виготовленню ковбас, м'ясних делікатесів, копченої риби.

2.1.2 Вимоги до структури і функціонування об'єкту професійної діяльності

КФС ТК повинна включати наступні складові:

– входи Pt100 датчиків температури продукту, каналу димогенератора та викиду відпрацьованого повітря;

– входи 4...20 mA двоканального датчика температури й вологості повітря термокамери;

– входи датчиків ввімкнення вентилятора, теплогенератора, димогенератора;

– входи датчиків положення засувки байпасу, душування, теплогенератора, пари, димогенератора, теплогенератора;

– виходи керування вентилятором, димогенератором, теплогенератором;

– виходи позиціонування засувки;

– блок ПАЗ засувки контуру керування температурою;

– блок ПАЗ вентилятора;

– блок ПАЗ засувки пари;

– блок ПАЗ димогенератора;

– блок ПАЗ теплогенератора;

– блок керування температурою камери;

– блок керування вологістю камери;

– блок керування димогенератором;

– блок керування теплогенератором;

- блок загального керування термокамерою;
- підсистема обліку реального часу;
- блок зберігання уставок керування у вигляді поточного рецепту;
- БД рецептів;
- БД протоколу процесу;
- інтерфейс оператора;
- шлюз зовнішнього доступу.

2.1.3 Вимоги до показників призначення

КФС ТК повинна виконувати технологічний цикл переробки продукту, який може складатись з операцій в залежності від рецепту:

- прогрів;
- сушіння;
- копчення;
- обсмажування;
- варіння;
- душення.

КФС ТК та її функціональні складові повинні забезпечувати показники призначення:

- абсолютна похибка вимірювання температури не більше ± 1 °С;
- абсолютна похибка вимірювання вологості не більше $\pm 0,5$ %.
- температурний діапазон роботи камери від 20 до 130 °С ;
- точність вимірювання тривалості технологічних операцій ± 30 с;
- тривалість технологічної операції не більше 4 год;
- тривалість технологічного циклу операції не більше 20 год;
- шкала степеню регулювання положення засувки від 0 до 100%;
- точність позиціонування засувки ± 1 %;
- швидкість реакції системи відхилення показника вологості чи температури не більше 20 с;
- кількість рецептів у БД рецептів не більше 200;
- глибина зберігання записів по протоколу процесу до 30 діб;

–КТЗ системи повинен використовувати промислове обладнання фірми Siemens;

–провідна лінія зв'язку повинна бути основана на технології PROFINET;

–система повинна працювати автономно або у складі системи керування лінією по виготовленню харчових виробів відповідного профілю;

–система повинна забезпечувати роботу у автоматизованому та ручному дистанційному режимах;

–система є локальною і повинна розміщуватись у безпосередній близькості до термокамери;

Модернізація КФС ТК передбачається у бік використання паралельно на чотирьох камерах.

2.2 Розробка апаратної частини

2.2.1 Розробка функціональної схеми автоматизації

Обладнання КФС ТК має розміщуватись у шафі ступеню захисту IP55 у безпосередній близькості до термокамери. Вона складається з контролера системи, НМІ-панелі оператора, шлюзового пристрою для виходу у мережу підприємства, зовнішнього флеш-носія для зберігання бази протоколу процесу та зовнішнього флеш-носія для зберігання рецептури переробки продуктів. Функціональна схема автоматизації показана на рисунку 2.1:

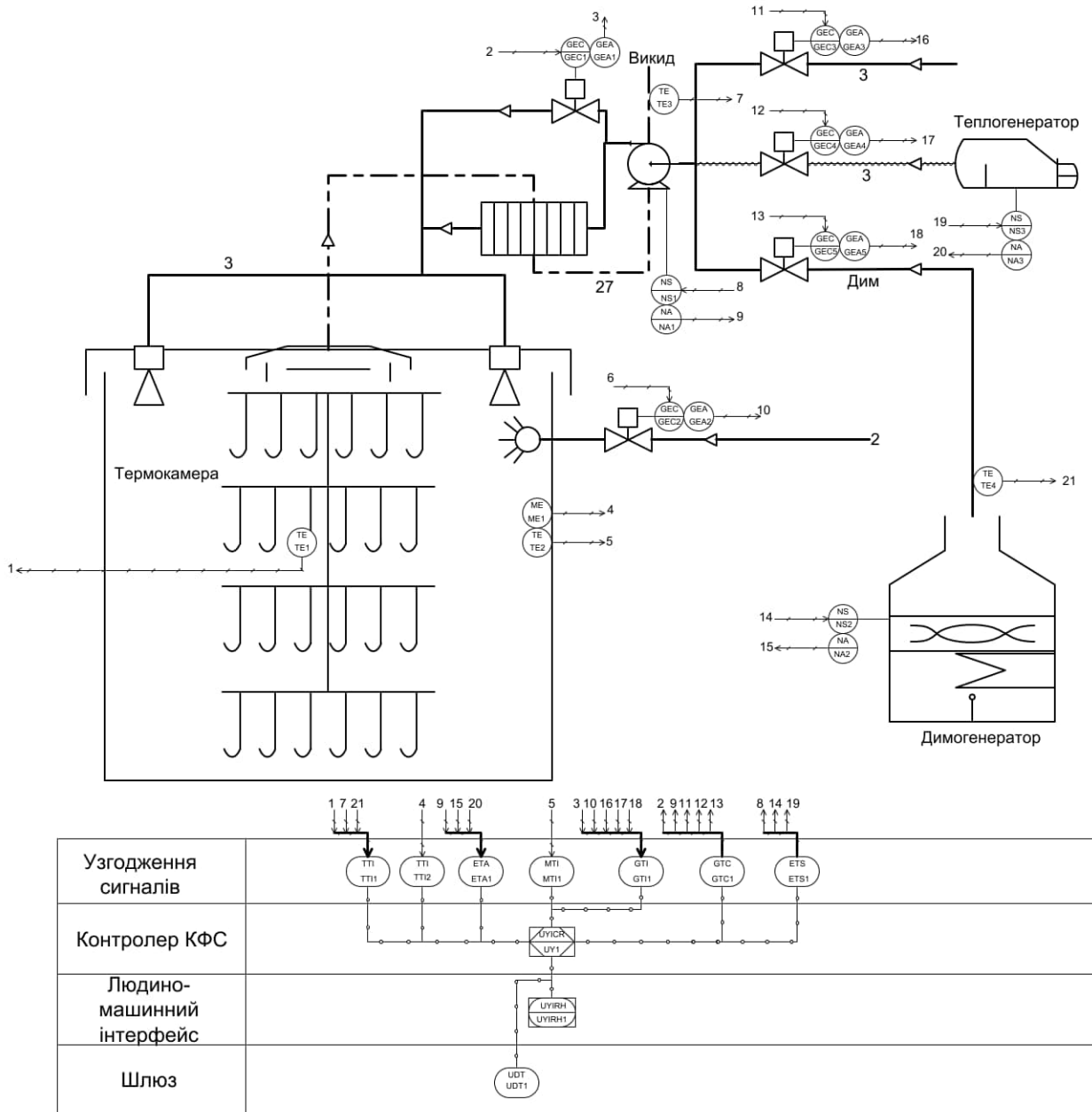


Рисунок 2.1 – Функціональна схема автоматизації КФС ТК

2.2.2 Розробка принципової схеми системи керування

2.2.2.1 Аналіз входів і виходів об’єкту професійної діяльності

Для визначення входів і виходів КФС ТК необхідно провести аналіз і класифікацію входів і виходів устаткування підсистеми.

Класифікація входів і представлена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Перелік вхідних і вихідних сигналів. КФС ТК

№ п/п.	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр. вх./вих.	Функція	Вид	Джерело/Отримувач	Форма представлення				Період вв./вив .
							Зовнішня	Внутрішня	Діапазон	Точність	
1.	Температура продукту	TE1	Вхід	ТВ	Безперервн.	Термометр опору	Pt100	16 біт	20... 120 °C	±1 °C	4 с
2.	Температура повітря в камері	TE2	Вхід	ТВ	Безперервн.	Датчик ПВТ-100	4...20 mA	16 біт	20... 120 °C	±1 °C	4 с
3.	Температура викиду	TE3	Вхід	ТВ	Безперервн.	Термометр опору	Pt100	16 біт	20... 120 °C	±1 °C	4 с
4.	Температура диму	TE4	Вхід	ТВ	Безперервн.	Термометр опору	Pt100	16 біт	20... 120 °C	±1 °C	4 с

Продовження таблиці 2.1

№ п/п.	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр. вх./вих.	Функція	Вид	Джерело/Отримувач	Форма представлення				Період вв./вив.
							Зовнішня	Внутрішня	Діапазон	Точність	
5.	Вологість повітря в камері	ME1	Вхід	ТВ	Безперервн.	Датчик ПВТ-100	4...20 мА	16 біт	20...120 °С	±1 °С	4 с
6.	Вентилятор включено	NA1	Вхід	ТС	Дискр.	Сухий контакт	+24 В	1 біт	–	–	0,5 с
7.	Димогенератор включено	NA2	Вхід	ТС	Дискр.	Сухий контакт	+24 В	1 біт	–	–	0,5 с
8.	Теплогенератор включено	NA3	Вхід	ТС	Дискр.	Сухий контакт	+24 В	1 біт	–	–	0,5 с
9.	Вентилятор включити	NS1	Вихід	ТК	Дискр.	Контактор	~230 В	1 біт	–	–	0,5 с
10.	Димогенератор включити	NS2	Вихід	ТК	Дискр.	Контактор	~230 В	1 біт	–	–	0,5 с
11.	Теплогенератор включити	NS3	Вихід	ТК	Дискр.	Контактор	~230 В	1 біт	–	–	0,5 с

Продовження таблиці 2.1

№ п/п.	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр. вх./вих.	Функція	Вид	Джерело/Отримувач	Форма представлення				Період вв./вив.
							Зовнішня	Внутрішня	Діапазон	Точність	
12.	Положення засувки байпасу	GEA1	Вхід	ТВ	Імп.	Енкодер	+24 В, до 100 кГц	16 біт	0... 100%	1%	0,5 с
13.	Положення засувки пари	GEA2	Вхід	ТВ	Імп.	Енкодер	+24 В, до 100 кГц	16 біт	0... 100%	1%	0,5 с
14.	Положення засувки душування	GEA3	Вхід	ТВ	Імп.	Енкодер	+24 В, до 100 кГц	16 біт	0... 100%	1%	0,5 с
15.	Положення засувки теплогенератора	GEA4	Вхід	ТВ	Імп.	Енкодер	+24 В, до 100 кГц	16 біт	0... 100%	1%	0,5 с
16.	Положення засувки димогенератора	GEA5	Вхід	ТВ	Імп.	Енкодер	+24 В, до 100 кГц	16 біт	0... 100%	1%	0,5 с

Закінчення таблиці 2.1

№ п/п.	Найменування інформації	Ідентифікатор	Напр. вх./вих.	Функція	Вид	Джерело/Отримувач	Форма представлення				Період вв./вив.
							Зовнішня	Внутрішня	Діапазон	Точність	
17.	Регулювання засувки байпасу	GEC1	Вихід	ТК	Безперервн.	Сервопривод	0...10 В, 4...20 мА	–	–	–	0,5 с
18.	Регулювання засувки пари	GEC2	Вихід	ТК	Безперервн.	Сервопривод	0...10 В, 4...20 мА	–	–	–	0,5 с
19.	Регулювання засувки дущування	GEC3	Вихід	ТК	Безперервн.	Сервопривод	0...10 В, 4...20 мА	–	–	–	0,5 с
20.	Регулювання засувки димогенератора	GEC4	Вихід	ТК	Безперервн.	Сервопривод	0...10 В, 4...20 мА	–	–	–	0,5 с
21.	Регулювання засувки теплогенератора	GEC5	Вихід	ТК	Безперервн.	Сервопривод	0...10 В, 4...20 мА	–	–	–	0,5 с

Зведемо перелік входів і виходів таблицю 2.2:

Таблиця 2.2 – Збіркова таблиця входів і виходів. КФС ТК

№ п/п	Обладнання	Опис входу чи виходу	Кількість
		Входи Pt100	
1.	Температура продукту	-/-	1
2.	Температура викиду	-/-	1
3.	Температура диму	-/-	1
РАЗОМ			3
		Струмові входи	
4.	Температура повітря у камері	4...20 мА	1
5.	Вологість повітря камері	4...20 мА	1
РАЗОМ			2
		Дискретні входи	
6.	Вентилятор включено	+24 В	1
7.	Димогенератор включено	+24 В	1
8.	Теплогенератор включено	+24 В	1
РАЗОМ			3
		Дискретні виходи	
9.	Вентилятор включити	~ 230В	1
10.	Димогенератор включити	~ 230В	1
11.	Теплогенератор включити	~ 230В	1
РАЗОМ			3
		Імпульсні входи	
12.	Положення засувки байпасу	+24 В, до 100 кГц	1
13.	Положення засувки пари	+24 В, до 100 кГц	1
14.	Положення засувки душування	+24 В, до 100 кГц	1
15.	Положення засувки теплогенератора	+24 В, до 100 кГц	1
16.	Положення засувки димогенератора	+24 В, до 100 кГц	1
РАЗОМ			5
		Аналогові виходи	
17.	Регулювання засувки байпасу	0...10 В, 4...20 мА	1
18.	Регулювання засувки пари	0...10 В, 4...20 мА	1
19.	Регулювання засувки душування	0...10 В, 4...20 мА	1

Закінчення таблиці 2.2

№ п/п	Обладнання	Опис входу чи виходу	Кількість
20.	Регулювання засувки теплогенератора	0...10 В, 4...20 мА	1
21.	Регулювання засувки димогенератора	0...10 В, 4...20 мА	1
РАЗОМ			5
		Обмін даними	
	Обмін з панеллю НМІ	PROFINET	1
	Обмін із зовнішніми мережами	Ethernet	1
РАЗОМ			2

Згідно схеми функціональної автоматизації, збіркової таблиці 2.2. та обраних у п. 2.2.2.1 датчиків оберемо КТЗ для реалізації КФС ТК.

2.2.2.2 Вибір елементної бази системи

Найбільш вузьким місцем технічного рішення є аналогові входи й виходи. Тому вибір і обґрунтування доцільно почати з відповідних апаратних засобів.



Рисунок 2.2 – Модуль SM 1231 AI4xRTD

Для трьох входів Pt100 доцільно вибрати модель 6ES7 231-5PF32-0XB0 SM 1231 AI4xRTD показаний на рисунку 2.2, який має 8 входів вимірювання температури від термометрів опору, у тому числі відповідно до характеристик сигналу Pt100 [12].

Для вимірювання двох струмових сигналів 4...20 мА оберемо модуль 6ES7 234-4HE32-0XB0 SM 1234 AI4/AQ2, перевага якого у тому, що окрім чотирьох аналогових входів, здатних працювати з сигналом 4...20 мА, є ще два аналогових виходи, які підтримують сигнали 0...10 В та 4...20 мА [13]. Це надає переваги у виборі наступного модуля. Модуль SM 1234 AI4/AQ2 показаний на рисунку 2.3:



Рисунок 2.3 – Модуль SM 1234 AI4/AQ2

Щодо п'яти аналогових виходів керування засувками, то тут доцільно вибрати модуль аналогових виходів з підтримкою сигналів 0...10 В та 4...20 мА 6ES7 232-4HD32-0XB0 SM 1232 AQ4 [14]. Модуль має лише чотири аналогових виходи і це максимум для контролерів серії S7-1200. Щоб не обирати два модулі SM 1232 AQ4, буде задіяно один з аналогових виходів раніше обраного модуля SM 1234 AI4/AQ2.

Оскільки для обміну даними потрібно 2 інтерфейси Ethernet, доцільно обрати модель контролера не нижче 6ES7 215-1BG40-0XB0 CPU 1215C AC/DC/Rly. У цієї моделі на борту є [15]:

- живлення від мережі змінного струму $\sim 85 \dots 264$ В;
- 6 швидкісних апаратних лічильників імпульсів з частотою до 100 кГц, що знадобиться для 5 енкодерів положення засувки;
- 10 дискретних релейних виходів, здатних комутувати струм до 2 А, з яких має бути використано 3;
- 14 дискретних входів сигналу +24В. 10 з них буде використано підходи енкодерів, а 3 – під зворотній зв'язок від контакторів вентилятора й генераторів;
- власне джерело живлення дискретних датчиків +24В, що позбавляє необхідності застосування додаткового джерела.



Рисунок 2.4 – Контролер CPU 1215C AC/DC/Rly

Для АРМ оператора термокамери можна обрати НМІ-панель КТР1000 Basic color PN з характеристиками [16]:

- діагональ 10.4";
- функціональних клавіш 8;
- портів PROFINET 1;
- портів USB 1;
- споживана напруга: 24 В постійного струму;
- споживаний струм: 230 mA Вт.

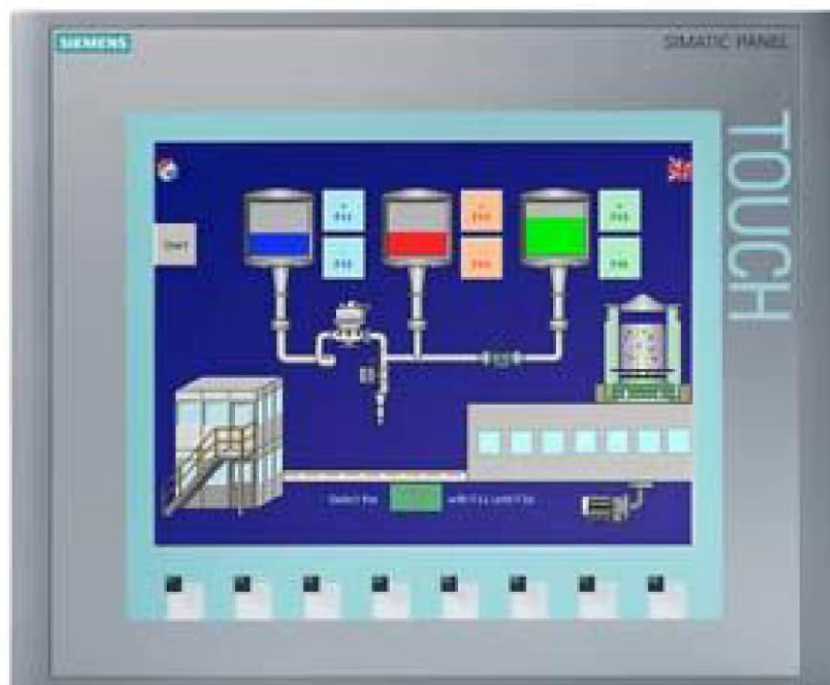


Рисунок 2.5 – HMI-панель KTP 1000 Basic PN

Щодо шлюзу, то у даному випадку недоцільно використовувати промислове мережеве обладнання. Оскільки у контролера CPU 1215C є порт, до якого може бути підключений пристрій через інтерфейс, Ethernet, то має сенс використати більш дешевий шлюз або роутер загального призначення, розміщений в окремому приміщенні в умовах, близьких до офісних. Тому обирається маршрутизатор Cisco 851-K9 з характеристиками [17]:

- протоколи передачі даних Ethernet, Fast Ethernet;
- метод автентифікації RADIUS, TACACS +;

- можливості брандмауера захисту: автоматичне визначення для кожного пристрою, DHCP підтримка, NAT підтримка, апаратне шифрування, VPN підтримка PAT підтримка, (Auto MDI / MDI-X), обмеження трафіку, підтримка IPv6, Weighted;
- робочий діапазон температур від 0 до 40 °С.



Рисунок 2.6 – Роутер Cisco 851-K9

2.2.2.3 Обґрунтування вибору джерела живлення

В якості елементної бази системи використовується модель контролера CPU 1215C AC/DC/Rly, який живиться від мережі ~ 230 В. Те ж саме можна сказати про роутер Cisco 851-K9, та про сервоприводи засувки. Враховуючи, що 3 дискретні входи заплановано жити від вбудованого в CPU 1215C AC/DC/Rly джерела +24 В живлення датчиків, визначимо їх максимальний струм споживання. Споживання одного дискретного входу контролера CPU 1214C AC/DC/Rly не перевищує 2,5 mA [15], тому споживання всіх входів складе:

$$3 * 2,5 = 7,5 \text{ mA.}$$

Отримане значення струму несуттєве і набагато нижче вихідного значення струму 150 mA для вбудованого в контролер джерела живлення датчиків [15]. Тому обирати окреме зовнішнє джерело для трьох дискретних входів немає сенсу, а запропоноване використання джерела вбудованого коректне.

Щодо панелі КТР 1000 Basic PN, то вона споживає +24 В постійного струму. Вхідний струм становить 600 mA [17]. Таким чином, для живлення панелі НМІ з серії S7-1200 підходить джерело живлення мінімальної потужності. Це модуль РМ1207 з максимальним вихідним струмом до 2,5 А [18], показаний на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 – Блок живлення РМ1207

2.2.2.4 Розробка принципової схеми системи

Виходячи з таблиці 2.1 і обраної елементної бази пропонується принципова схема КФС ТК рішення, показана на рисунку 2.8.

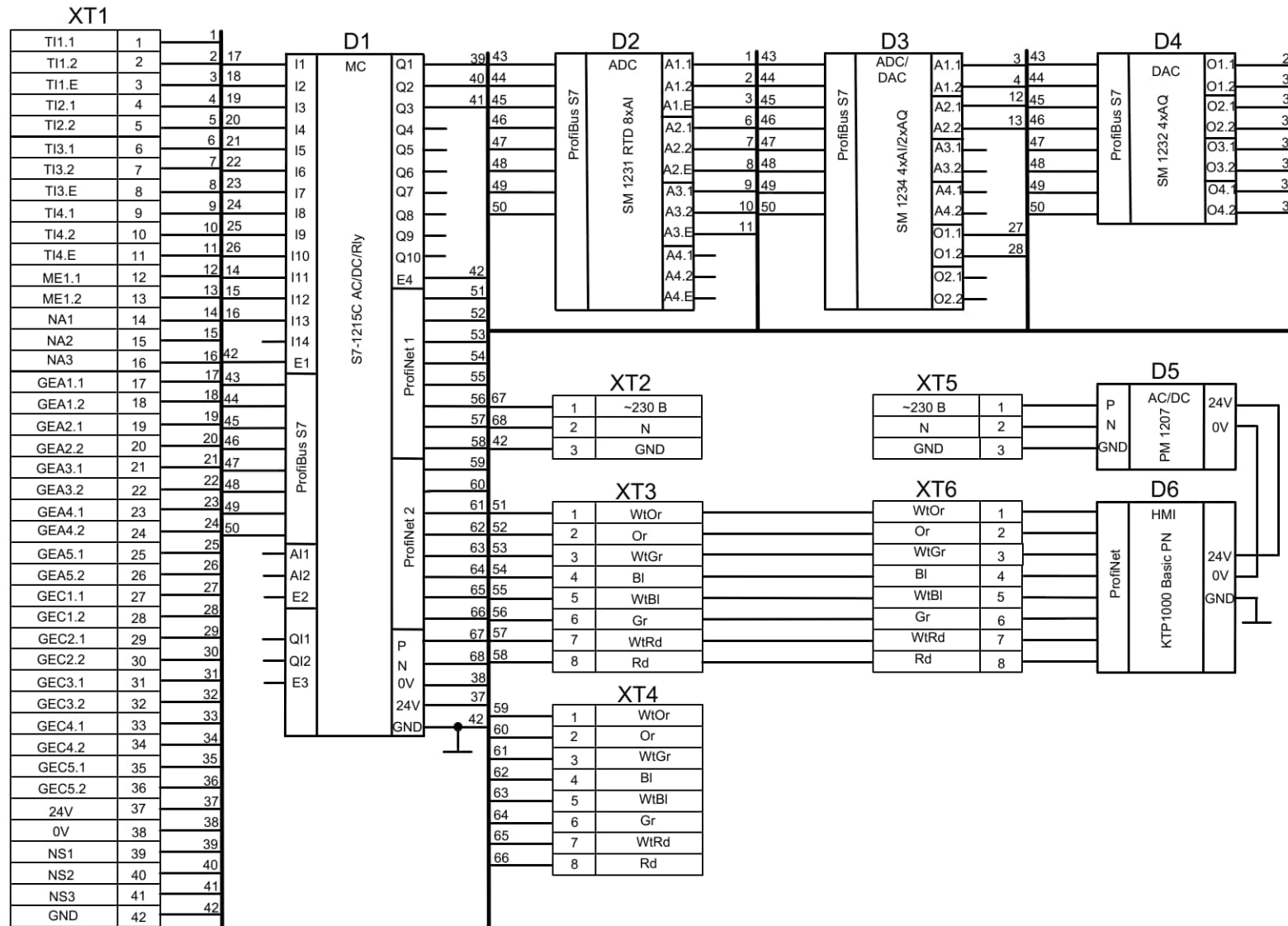


Рисунок 2.8 – Принципова схема КФС ТК

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ

3.1 Призначення і сфера застосування програмного забезпечення

Програмне забезпечення призначене для роботи у складі кіберфізичної системи термокамери обробки харчових продуктів.

Програмне забезпечення призначене для керування температурою, вологістю й подачею диму під час проведення технологічних операцій обробки продуктів харчування, таких як ковбаси, м'ясні делікатеси, риба та інші продукти згідно рецептури.

Програма не керує обміном повідомленнями за протоколом PROFINET на каналному рівні.

3.2 Обґрунтування технічних характеристик програми

3.2.1 Функції, виконувані програмою

ПЗ КФС ТК, реалізована на контролері CPU 1215C AC/DC/Rly та панелі КТР 1000 Basic PN, повинна виконувати наступні функції:

- отримання й обробка сигналів ТС від апаратури автоматики обладнання термокамери;
- отримання й обробка імпульсних сигналів ТВ від енкoderів положення технологічних засувок;
- отримання й обробка сигналів ТВ від датчика температури й вологості повітря у термокамері;
- отримання й обробка сигналів ТВ від технологічних термометрів опору Pt100;
- подачу сигналів ТК на апаратуру автоматики силового технологічного обладнання термокамери;
- подачу сигналів ТК для регулювання положень технологічних засувок;
- підтримку обміну даними між контролером та НМІ-панеллю по мережі PROFINET CBA на рівні представлення даних;
- підтримку обміну даними між контролером та зовнішньою мережею Ethernet на рівні представлення даних;

- ПАЗ технологічних засувки керування температурою повітря термокамери;
- ПАЗ приточно-витяжного вентилятора подачі повітря у термокамеру;
- ПАЗ засувки подачі вологої пари;
- ПАЗ обладнання димогенератора;
- ПАЗ обладнання теплогенератора;
- керування температурою повітря у термокамері у відповідності з поточною технологічною операцією;
- керування вологістю повітря у термокамері у відповідності з поточною технологічною операцією;
- керування подачею диму у термокамеру під час проведення операції копчення;
- керування теплогенератором термокамері у відповідності з поточною технологічною операцією;
- керування технологічним циклом обробки харчового продукту на термокамері у режимі реального часу у відповідності з поточним рецептом;
- відображення стану обладнання й поточного стану технологічного процесу термокамери на інтерфейсі оператора;
- ведення й відображення протоколу технологічного процесу на термокамері з урахуванням станів обладнання;
- врахування у протоколі технологічного процесу показників температури на виході каналу димогенератора та викиду відпрацьованого повітря;
- створення, копіювання, редагування й вибір поточного рецепту ведення технологічного процесу у базі даних рецептів за допомогою інтерфейсу оператора.

3.2.2 Вимоги до функцій, виконуваних програмою

Параметри інтерфейсу PROFINET: 100 Мбіт/с.

IP-адреса контролера 192.168.102.14.

IP-адреса НМІ-панелі 192.168.102.15.

Маска підмережі 255.255.255.0.

Час оновлення даних по протоколу PROFINET CBA до 1 с.

Затримки ПАЗ по неспрацюванню апаратури автоматики 200 мс.

Затримки ПАЗ по неспрацюванню технологічних засувок 10 с.

Точність дотримки вимог реального часу на рівні технологічних операцій до 1 с.

Абсолютна похибка вимірювання температури, не більше $\pm 0,5$ °С.

Абсолютна похибка вимірювання вологості, не більше $\pm 0,5$ %.

Спосіб збереження даних з температури й вологості у базі протоколу процесу – періодичний, період 1 раз на хвилину.

Спосіб збереження повідомлень про внутрішньосистемні події та отримання дискретних сигналів – спорадичний.

Обсяг бази даних процесу – 100 000 записів.

Обсяг бази даних рецептів – 500 записів.

Режими роботи КФС: автоматизований.

3.2.3 Обґрунтування вхідних і вихідних даних ПЗ

Вхідні дані для ПЗ КФС ТК:

- інформаційні ознаки сигналів від технологічних датчиків температур;
- інформаційні ознаки сигналів від датчика температури й вологості повітря термокамери;
- інформаційні ознаки сигналів від датчиків роботи приводів силового технологічного обладнання;
- інформаційні ознаки сигналів від енкодерів положень технологічних засувок;
- задані тривалості технологічних операцій;
- задані еталони технологічних температур у технологічних операціях;
- задані еталони вологості повітря термокамери у технологічних операціях;
- задані еталони положення засувок у технологічних операціях;
- заданий перелік технологічних операцій у поточному рецепті;
- команда від оператора на вибір і призначення поточного рецепту;

- команди від оператора на початок і нештатне завершення технологічного циклу;
- команди від оператора на введення, редагування, збереження й видалення рецепту;
- команди від оператора на виведення протоколу процесу на засоби інтерфейсу оператора за заданий період.

Вихідні дані від ПЗ КФС ТК:

- керуючі впливи на апаратуру приводів силового технологічного обладнання;
- керуючі впливи на позиціонування технологічних засувок;
- дані про поточні технологічні температури;
- дані про поточні температуру й вологість термокамери;
- дані про поточне положення засувок;
- дані про поточний стан засувок;
- дані про поточний стан силового технологічного обладнання;
- дані про поточний стан технологічної операції;
- дані про поточний стан технологічного циклу;
- дані про поточний рецепт обробки харчового продукту.

3.2.4 Обґрунтування алгоритмів і методів програмного забезпечення

Керування технологічним циклом термокамери зручно представити у вигляді графу-автомату. Згідно схеми функціональної структури та переліків даних за п. 3.2.3, граф технологічного циклу для ПЗ КФС ТК, виглядає, як на рисунку 3.1.

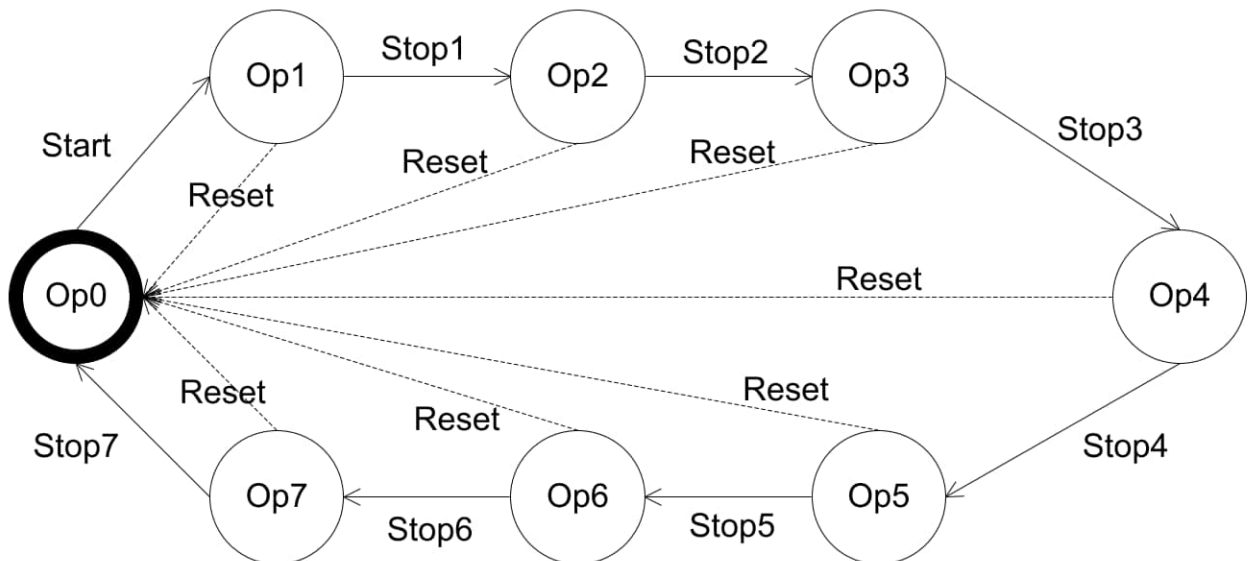


Рисунок 3.1 – Граф технологічного циклу термокамери для ПЗ КФС
ТК

Позначення станів графу технологічного циклу термокамери на рисунку:

Op0 – зупинка;

Op1 – прогрів;

Op2 – сушіння;

Op3 – копчення 1, на випадок використання копчення до варіння;

Op4 – обсмажування;

Op5 – варіння;

Op6 – копчення 2, на випадок використання копчення після варіння;

Op7 – душення.

Умови переходів по графу на рисунку 3.1:

Start – запуск циклу по команді оператора;

Reset – зупинка циклу по команді оператора;

Stop1...Stop7 – штатне завершення призначеної операції.

Операція прогріву Op1 може бути описана графом, представленим на рисунку 3.2.

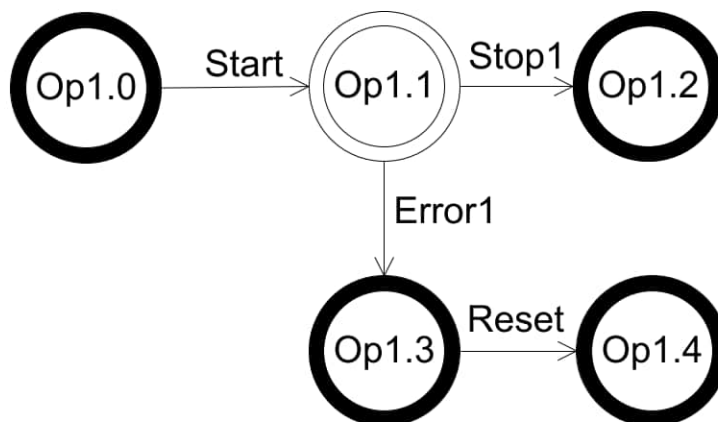


Рисунок 3.2 – Граф технологічної операції сушки на термокамері

При узагальненому підході, всі інші технологічні операції, крім стану зупинки, представлені на рисунку 3.1, можуть бути описані графом, представленим на рисунку 3.3.

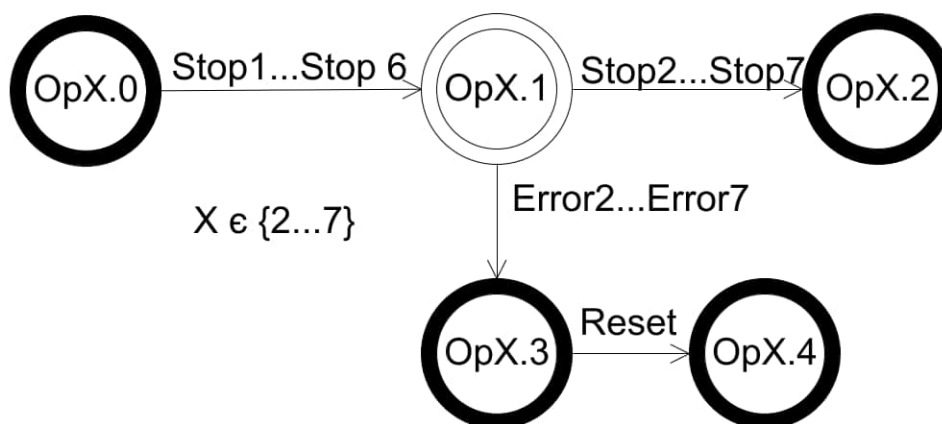


Рисунок 3.3 – Графи технологічних операцій на термокамері

Різниця в операціях, представлених графом на рисунку 3.3 буде полягати в їх тривалості, температурних і вологісних режимах, набору задіяного силового обладнання та положеннях засувки. Узагальнений граф керування обладнанням термокамери в технологічних операціях представлено на рисунку 3.4

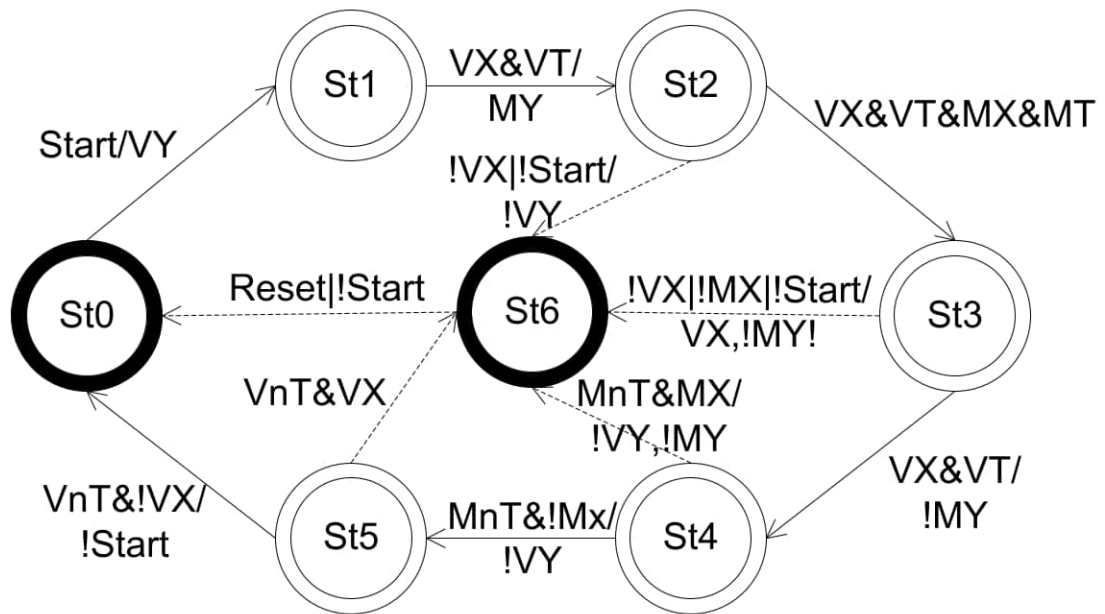


Рисунок 3.4 – Узагальнений граф керування обладнанням термокамери в технологічних операціях

Позначення станів графу керування обладнанням термокамери в технологічних операціях на рисунку 3.4:

St0 – початковий;

St1 – виставлення технологічних засувок згідно рецепту;

St2 – запуск силового технологічного обладнання згідно рецепту;

St3 – робота технологічного обладнання згідно рецепту;

St4 – зупинка силового технологічного обладнання;

St5 – закриття засувок за необхідності згідно рецепту;

St6 – аварія.

Елементи умови переходів по графу на рисунку 3.4:

Start – вхідна-вихідна ознака необхідності виходу з початкового стану;

VX – сукупна ознака виставлення технологічних засувок згідно рецепту;

VT – сукупна ознака закінчення часового інтервалу позиціонування технологічних засувок згідно рецепту;

VnT – сукупна ознака закінчення часового інтервалу позиціонування технологічних засувок у початковий стан за необхідності;

MX – сукупна ознака роботи технологічного обладнання згідно рецепту;

MT – сукупна ознака закінчення часового інтервалу запуску технологічного обладнання згідно рецепту;

MnT – сукупна ознака закінчення часового інтервалу зупинки технологічного обладнання за необхідності;

Reset – вхідна ознака скидання стану помилки.

Елементи вихідних впливів по графу на рисунку 3.4:

VY – сукупний вихідний вплив на виставлення технологічних засувок згідно рецепту;

MY – сукупний вихідний вплив на ввімкнення технологічного обладнання згідно рецепту.

Серед обладнання є п'ять технологічних засувок, якими повинне керувати ПЗ КФС ТК під час виконання графу 3.4. Робота кожної з них може бути описана графом, показаним на рисунку 3.5

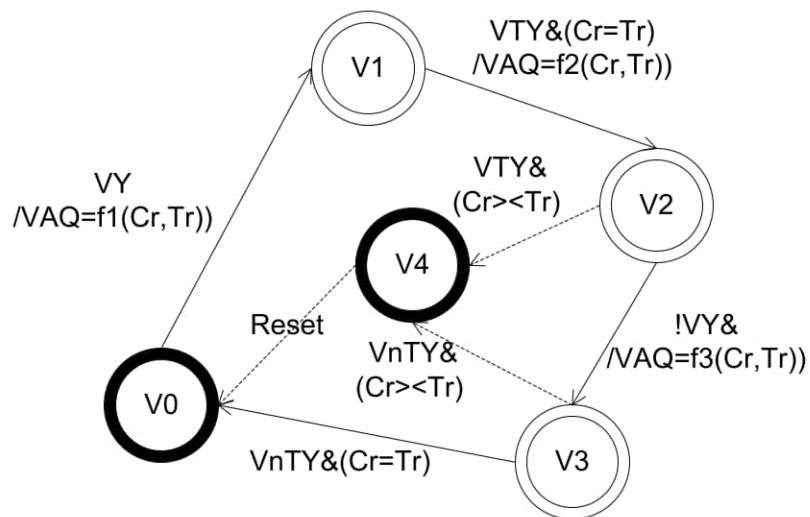


Рисунок 3.5 – Граф керування технологічною засувкою термокамери

Позначення станів графу керування засувкою в технологічних операціях на рисунку 3.5:

V0 – початковий;

V1 – рух в потрібний за рецептом стан;

V2 – регулювання положення;

V3 – рух в початковий за рецептом стан;

V4 – аварія.

Елементи умови переходів по графу на рисунку 3.5:

VY – вхідна-вихідна ознака необхідності керування засувкою;

VTY – витрати часу на досягнення цільового стану;

VnTY – витрати часу на досягнення початкового стану;

Cr – поточний стан засувки, % відкриття;

Tr – цільовий стан засувки, % відкриття;

Reset – вихід зі стану аварії.

Елементи вихідних впливів по графу на рисунку 3.5:

VAQ – вихідний вплив на ступінь відкриття засувки, 4...20 мА;

$f1(Cr, Tr)$ – функція розрахунку позиціонування вихідного впливу на засувку для її переміщення до цільового стану;

$f2(Cr, Tr)$ – функція регулятора вихідного впливу на засувку у цільовому стані;

$f3(Cr, Tr)$ – функція розрахунку позиціонування вихідного впливу на засувку для її переміщення до початкового стану.

Силове технологічне обладнання термокамери може керуватись згідно графу, показаного на рисунку 3.6:

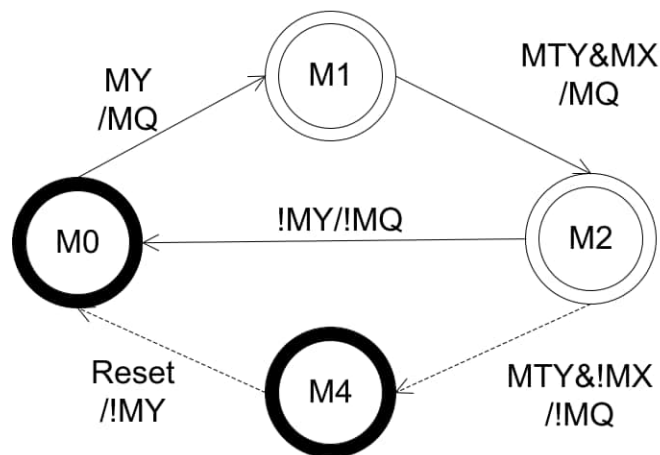


Рисунок 3.6 – Граф керування силовим технологічним обладнання термокамери

Позначення станів графу керування засувкою в технологічних операціях на рисунку 3.6:

M0 – початковий;

M1 – переведення в потрібний за рецептом стан;

M2 – робота в потрібному за рецептом стані;

M3 – аварія.

Елементи умови переходів по графу на рисунку 3.6:

MУ – вхідна-вихідна ознака необхідності керування обладнанням;

MTУ – витрати часу на досягнення цільового стану;

MX – ознака працюючого обладнання;

Reset – вихід зі стану аварії.

Елементи вихідних впливів по графу на рисунку 3.6:

MQ – вихідний вплив на силове обладнання.

Керування температурою камери відбувається за графом, показаним на рисунку 3.7:

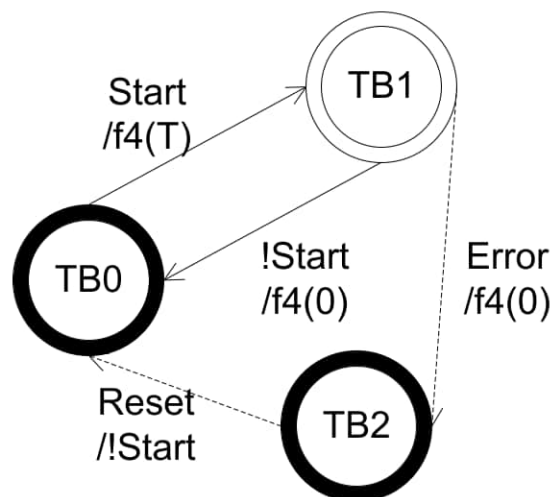


Рисунок 3.7 – Граф керування температурою повітря термокамери

Позначення станів графу керування температурою повітря термокамери на рисунку 3.7:

TB0 – початковий;

TB1 – робота в потрібному за рецептом стані;

ТВ2 – аварія.

Елементи умови переходів по графу на рисунку 3.5:

Start – вхідна-вихідна ознака необхідності керування обладнанням;

Error – порушення роботи регулятора;

T – цільова температура;

Reset – вихід зі стану аварії.

Елементи вихідних впливів по графу на рисунку 3.5:

$f_4(T)$ – регулювання температури камери.

Керування вологістю повітря камери відбувається за графом, показаним на рисунку 3.8:

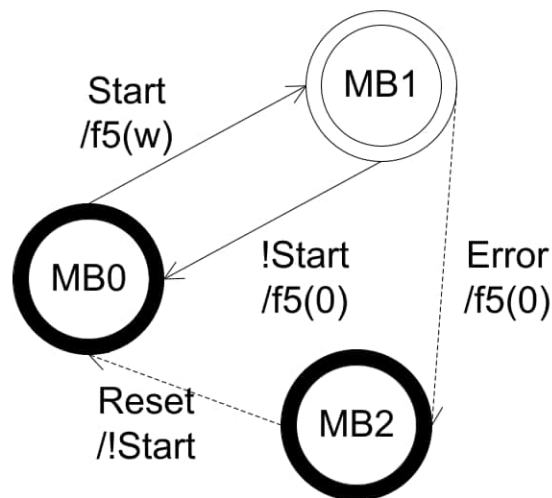


Рисунок 3.8 – Граф керування вологістю повітря термокамери

Позначення станів графу керування вологістю повітря термокамери на рисунку 3.7:

MB0 – початковий;

MB1 – робота в потрібному за рецептом стані;

MB2 – аварія.

Елементи умови переходів по графу на рисунку 3.5:

Start – вхідна-вихідна ознака необхідності керування обладнанням;

Error – порушення роботи регулятора;

w – цільова вологість;

Reset – вихід зі стану аварії.

Елементи вихідних впливів по графу на рисунку 3.5:

F5(T) – регулювання вологості камери.

Для виконання системи графів, показаних на рисунках 3.2–3.8 в рамках графу технологічного циклу, показаного на рисунку 3.1, необхідно реалізувати головний робочий алгоритм ПЗ КФС ТК, показаний на рисунку 3.10. Крім того, знадобиться алгоритм ініціалізації, показаний на рисунку 3.9.

Показані на рисунках 3.1–3.10 графи й алгоритми можуть бути використані для написання ПЗ КФС ТК.



Рисунок 3.9 – Алгоритм ініціалізації ПЗ КФС ТК

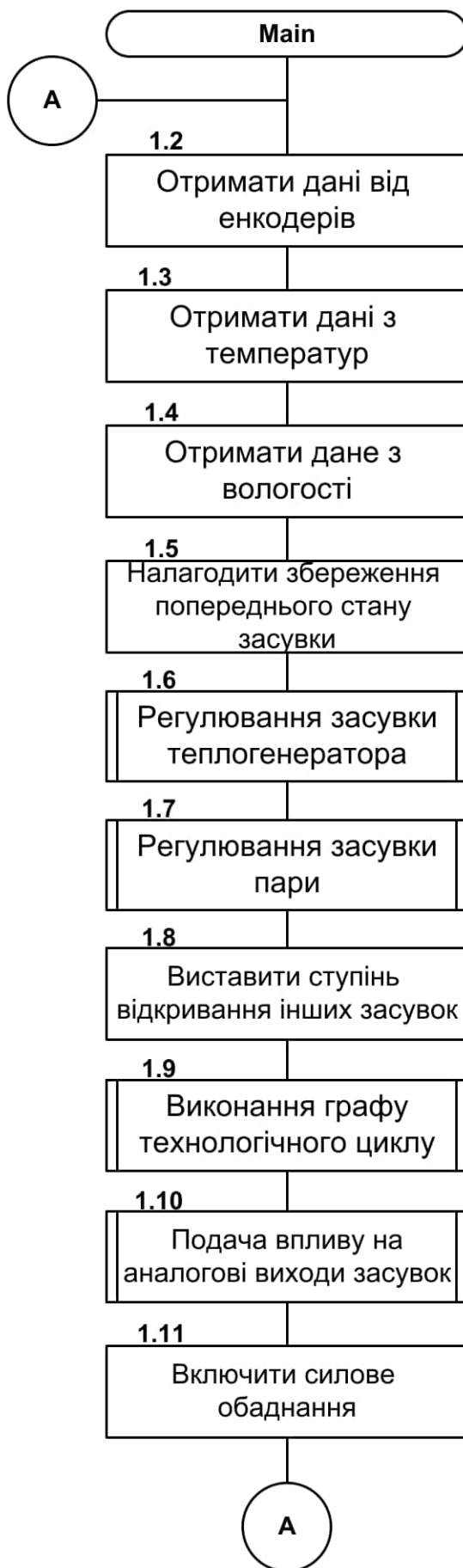


Рисунок 3.10 – Робочий алгоритм ПЗ КФС ТК

3.2.5 Технічні та програмні засоби, застосовані для реалізації програми

Технічні та програмні засоби, застосовані для реалізації програми:

- персональний комп'ютер з інтерфейсом Ethernet;
- операційна система Windows 10;
- УТР-кабель з роз'ємами RJ-45;
- середовище Tia Portal V15;

Мова програмування – LAD.

3.3 Опис розробленої програми

3.3.1 Загальна інформація

Текст програми розташований у проєкті TermoBox для Tia Portal V15.

Для завантаження програми КФС ТК у контролер CPU 1215C потрібне середовище Tia Portal V15. Завантажена програма розміщується в енергонезалежній пам'яті програм контролера. Для виконання програми використовується вбудована в CPU 1215C операційна система з інтерпретатором скрипту, написаного на мові релейно-контактної логіки. Запуск програми на виконання відбувається під час ввімкнення живлення.

Точка входу у програму – організаційний блок StartUp.

3.3.2 Функціональне призначення

ПЗ КФС ТК керує технологічним циклом обробки харчового продукту у термічній камері у відповідності до обраного рецепту. ПЗ керує технологічними операціями:

- прогріву;
- сушіння;
- копчення;
- обсмажування;
- варіння;
- душування.

ПЗ керує тривалістю, переліком і порядком застосування технологічних операцій у технологічному циклі у відповідності до поточного рецепту.

ПЗ отримує сигнали від дискретних датчиків стану силового обладнання термокамери й подає їх на графі керування цим обладнанням.

ПЗ надає керуючі впливи на силове обладнання й подає їх на силове обладнання термокамери від графів керування цим обладнанням.

ПЗ отримує й обробляє імпульсні сигнали переміщення технологічних засувок термокамери для використання у контурах керування технологічними операціями.

ПЗ надає керуючі впливи з кількісними характеристиками, отримані від контурів керування технологічними операціями, на технологічні засувки термокамери.

ПЗ регулює положення технологічних засувок в залежності від рецептурних налаштувань поточної технологічної операції.

ПЗ регулює температуру повітря у робочому просторі термокамери у відповідності до поточної операції та рецепту.

ПЗ регулює вологість повітря у робочому просторі термокамери у відповідності до поточної операції та рецепту.

ПЗ веде облік температури викиду, температури диму на виході димогенератора, температури всередині продукту під час проведення технологічних операцій.

ПЗ здійснює ПАЗ силового обладнання та технологічних засувок термокамери.

ПЗ керує передачею даних по мережі PROFINET на рівні представлення даних в режимі PROFINET CBA.

Ведучим мережі є контролер CPU 1215C AC/DC/Rly. Панель НМІ є веденою.

ПЗ не керує передачею даних по мережі PROFINET на рівні каналу.

ПЗ не керує передачею даних по мережі Ethernet на рівні каналу.

3.3.3 Опис логічної структури ПЗ

Логічна структура ПЗ побудована відповідно до графів і алгоритмів, представлених на рисунках 3.1–3.10, а також з урахуванням схеми функціональної структури, представленої у розділі 1.

ПЗ розміщене в енергонезалежній пам'яті програм контролера CPU 1215C AC/DC/Rly у вигляді виконуваного коду.

Проект, розміщений у контролері CPU 1215C AC/DC/Rly включає:

- апаратну конфігурацію й мережні налаштування у контролері CPU 1215C AC/DC/Rly згідно схеми принципової КФС ТК, визначення входів А та В енкодерів, розподілу мережних адрес;

– таблицю тегів Default tag table;

– глобальний блок даних для обміну з НМІ-панеллю оператора ExchangeDB;

– глобальний блок даних для збереження й використання поточного рецепту CurrReceiptDB;

– організаційний блок Main;

– функціональний блок MainGraph();

– функціональний блок TechOp();

– функціональний блок EquipmentCtrl();

– функціональний блок PowerActuator();

– функціональний блок Valve();

– блок даних MainGraphDB функціонального блоку MainGraph();

– глобальні блоки даних засувок GEC1...GEC5, доступні викликам функціонального блоку Valve() через посилання;

– глобальні блоки даних засувок NS_1...NS_3, доступні викликам функціонального блоку PowerActuator() через посилання.

Таблиця тегів Default tag table містить таблицю вхідних і вихідних інформаційних ознак дискретних, аналогових сигналів, а також лічильників імпульсів від енкодерів згідно принципової схеми КФС ТК.

Глобальний блок даних для обміну з НМІ-панеллю оператора ExchangeDB містить поточні значення показань енкодерів, дискретних датчиків, датчиків температур і вологості, дані по вихідному впливу на силове

обладнання і засувки. Також тут розташовані змінні, що відповідають за приймання команд запуску й нештатної зупинки процесу від оператора.

Глобальний блок даних CurrReceiptDB містить еталони тривалості часу, температури повітря у термокамері, вологості повітря у термокамері, а також ступінь відкриття засувки байпасу, димогенератора, паропроводу по кожній з семи передбачених операцій на термокамері під час виконання технологічного циклу, показаного на рисунку 3.1. Також тут містяться налагодження, які вказують закривати чи не закривати кожну із засувки по закінченню кожної операції. Окрім вказаного блок даних CurrReceiptDB містить переліки всіх використовуваних одиниць силового обладнання по кожній з семи операцій окремо.

Глобальні блоки даних GEC1...GEC5 призначені для взаємодії з викликами функціонального блоку Valve() і містять необхідні службові дані. Тим не менш, вони здатні надавати для НМІ-панелі оператора дані про поточний стан засувки, включаючи поточний час тривалості перехідних станів.

Глобальні блоки даних NS_1...NS_3 призначені для взаємодії з викликами функціонального блоку PowerActuator() і містять необхідні службові дані. Також вони здатні надавати для НМІ-панелі оператора дані про поточний стан одиниць силового обладнання.

Локальний блок даних MainGraphDB містить необхідні службові дані для забезпечення роботи функціонального блоку MainGraph(). Також він надає інформацію про поточну технологічну операцію та її стан для НМІ-панелі оператора.

Організаційний блок Main працює в режимі циклічного виклику. Протягом кожного скану він виконує дії, описані схемою алгоритму на рисунку 3.10, причому для виконання блоків 1.6 та 1.7 використано бібліотечні функціональні блоки спрощених ПІД-регуляторів, які обраховують необхідну ступінь відкриття засувки теплогенератора та подачі пари. Організаційний блок Main готує вхідні дані викликає функціональний блок MainGraph(). Після відпрацювання MainGraph() у блоці Main відбувається розподіл прорахованих вихідних впливів на засувки та силові обладнання згідно принципової схеми КФС ТК.

Функціональний блок MainGraph() керує технологічним циклом обробки продукту в термокамері шляхом послідовного запуску, контролю й регулювання стану, зупинки технологічних операцій згідно поточного рецепту. Функціональний блок MainGraph() в якості внутрішніх методів викликає на кожну з семи передбачених операцій функціональний блок TechOp(). При цьому в якості поля MainGraph() і локальний блок даних MainGraphDB передбачають внутрішній локальний блок даних TechOp_Instance, через поля якого MainGraphDB може надати інформацію про поточний стан операції на НМІ-панель оператора.

Функціональний блок TechOp() надає для блоку MainGraph() деяку абстракцію обладнання, яке в TechOp() може бути запущене, працюватиме, може бути зупинене чи вийде в аварійний стан. Ця абстракція не залежить від виду операції та її порядкового номеру у технологічному циклі. Функціональний блок TechOp() локально використовує функціональний блок EquipmentCtrl(), який не має власного блоку даних, а працює через посилання з глобальними блоками GEC1...GEC5, а також NS_1...NS_3 так, ніби це його локальний блок даних.

Функціональний блок EquipmentCtrl() виконує керування засувками GEC1...GEC5 та силовим обладнанням NS_1...NS_3 згідно поточного рецепту з витримками всіх необхідних ступеней відкриття засувки і тривалостей часу передбачених станів поточної технологічної операції. Для цього у його програмному коді згідно графу на рисунку 3.4 викликаються функціональні блоки Valve() і PowerActuator(). Вказані блоки не мають власних локальних блоків даних, а працюють, відповідно, з глобальними блоками GEC1...GEC5 та NS_1...NS_3 через посилання.

Функціональний блок Valve() здійснює керування технологічною засувкою у відповідності до рецепту у поточній операції.

Функціональний блок PowerActuator() здійснює керування одиницею силового технологічного обладнання у відповідності до рецепту у поточній операції.

Організаційний блок StartUp викликається один раз після подачі живлення на контролер. Вимикає все силове технологічне устаткування, закриває всі засувки, а потім призначає закритим засувкам початкову координату в лічильниках енкодерів.

3.4 Використані технічні засоби

Для виконання програми необхідні: контролер CPU 1215C AC/DC/Rly – 1 шт.; модуль SM 1231 AI4 x RTD – 1 шт.; модуль SM 1234 AI4/AQ2 – 1 шт.; модуль SM 1232 AQ4 – 1 шт.; блок живлення PM1207 – 1 шт.; НМІ-панель КТР 1000 Basic PN – 1 шт.

3.5 Виклик та завантаження

Відповідні модулі програми завантажуються до енергонезалежної пам'яті контролера CPU 1215C AC/DC/Rly, та НМІ-панелі КТР 1000 Basic PN по інтерфейсу Ethernet, де знаходяться весь час експлуатації КФС ТК. Початковий проект знаходиться на окремому енергонезалежному носії у вигляді каталогу TermoBox.

Виклик ПЗ на виконання відбувається після ввімкнення живлення обладнання КФС ТК.

Вхідна точка в ПЗ – організаційний блок StartUp на контролері та екранна форма Root screen на панелі НМІ.

3.6 Вхідні й вихідні дані

Зважаючи на значні обсяги, вхідні та вихідні дані з необхідними коментарями наведено у Додатку А як частину програмного коду.

ВИСНОВКИ

У роботі розроблюються технічне й програмне рішення для кіберфізичної системи термокамери обробки харчових продуктів. У результаті виконаної розробки отримано технічне рішення, що представлене функціональною схемою автоматизації та принциповою схемою КФС ТК. Це рішення ґрунтується на елементній базі фірми Siemens, а саме на основі контролера CPU 1215C, модулів SM 1231 RTD 8xAI, SM 1234 4xAI/2xAQ, SM 1232 8xAQ та 10-дюймової НМІ-панелі оператора. В розділі розробки ПЗ для КФС ТК розроблено графі, алгоритми і програму, яка керує технологічними операціями технологічного циклу переробки харчових продуктів у вигляді ковбас, м'ясних делікатесів, риби, шляхом контролю й керування устаткуванням профільної термокамери.

Таким чином, запропоновані програмне й технічне рішення відповідають технічним вимогам, поставленим до кіберфізичної системи термокамери обробки харчових продуктів.

Ступінь вирішення поставлених задач є достатньою для досягнення мети кваліфікаційної роботи – розробка кіберфізичної системи термокамери обробки харчових продуктів згідно заздалегідь заданої рецептури приготування.

Практичне значення результатів роботи для профільних підприємств харчової промисловості, що спеціалізуються на виготовленні й переробці продуктів з м'яса й риби полягає у можливості використання інтелектуальної кіберфізичної камери обробки харчових продуктів у процесі їх виготовлення у складі гнучкого автоматизованого виробництва.

Перспективи подальшого розвитку системи вбачаються у розробці інтерфейсу НМІ-панелі оператора з відображенням усієї необхідної спорадичної й постійної інформації, веденням баз даних протоколу процесу й рецептів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Термокамери. ТОВ «Аудтехсервіс» 2025. Url: https://foodts.com.ua/index.php?route=product/category&path=59_92. (Дата звертання 24.04.2025).
2. Дмитро Носков. Особливості термообробки ковбасних та м'ясних виробів ч.3. ТОВ НПП «Техінсерв». Url: <http://www.techinserv.com/stat-i/osobennosti-termoobrabotki-kolbasnyh-i-myasnyh-izdeliy-ch-3/>. (Дата звертання 24.04.2025).
3. Експлуатація обладнання з виробництва ковбасних виробів /Самойчук К.О., Циб В.Г., Пупинін А.А. . навч. посібник. Таврійський державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного, 2020 рік [Електронний ресурс]. Url: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_7/page13.html. (Дата звертання 24.04.2025).
4. Л.В. Баль-Прилипко. Технологія зберігання, консервування та переробки м'яса. Підручник – К.: 2010 – 469 с.
5. Універсальні термокамери INOX TIME із європейськими стандартами якості. Компанія INOX TIME. //Харчові технології. Url: <https://harch.tech/2024/03/19/universalni-termokamery-inox-time/>. (Дата звертання 24.04.2025).
6. ДТСхх4. Термоопори з кабельним виводом. ТОВ «АКУТЕК». Url: <https://aqteck.com.ua/ua/datchyky/dtsxx4-termoopory-z-kabelnym-vyvodom>. (Дата звертання 24.04.2025).
7. Особливості термообробки ковбасних та м'ясних виробів ч.1. ТОВ НПП "Техінсерв". Url: <http://www.techinserv.com/stat-i/osobennosti-termoobrabotki-kolbasnyh-i-myasnyh-izdelij/>. (Дата звертання 24.04.2025).
8. Датчики температури і вологості. ТОВ "Спецавтоматика Україна". Url: <https://ukrspecavtomat.com.ua/uk/products/datchiki-temperatury-i-vlazhnosti/>. (Дата звертання 24.04.2025).
9. Засувка шиберна(кран дисковий) нержавіюча різьба-зварка Ду 80 AISI 304. ПП "ТПК "Метсплав". Url: <https://metsplav.com.ua/ua/p719407783-zadvizhka-shibernayakran->

diskovyyj.html?source=merchant_center&gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwqcO_BhDaARIsACz62vOnVMsRGxds0gQ203FDRh6PVI4q72Qlz_YUjItG6g_WHbOd4k5D_x0aAhi4EALw_wcB. (Дата звертання 24.04.2025).

10. Електропривід Аума SA 14.2/16. Компанія PROFIMANN. Url: <https://profimann.com.ua/uk/zaporno-reguliruyuschaya-armatura/elektroprivody/elektroprivod-auma-sa-14.2-16/>. (Дата звертання 24.04.2025).

11. Регулюючі дросельні засувки з електроприводом (автоматизовані) для повітря й газу. ТОВ "Італгаз". Url: https://www.italgaz.com.ua/ua/equipment_pipe/reguliruyushchaya_zaslonka.html. (Дата звертання 24.04.2025).

12. 6ES7 231-5PD32-0XB0. SIMATIC S7-1200, Analog input, SM 1231 RTD, 4xAI RTD module. Url: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Product/6ES7231-5PD32-0XB0>. (Дата звертання 24.04.2025).

13. 6ES7 234-4HE32-0XB0. SIMATIC S7-1200, analog I/O SM 1234. Url: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Product/6ES7234-4HE32-0XB0>. (Дата звертання 24.04.2025).

14. 6ES7232-4HD32-0XB0. SIMATIC S7-1200, Analog output, SM 1232, 4 AO. Url: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Product/6ES7232-4HD32-0XB0>. (Дата звертання 24.04.2025).

15. 6ES7215-1BG40-0XB0. SIMATIC S7-1200, CPU 1215C. Url: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ru/Catalog/Product/6ES72151BG400XB0>. (Дата звертання 24.04.2025).

16. 6AV6647-0AF11-3AX0. SIMATIC HMI KTP1000 Basic Color PN. Url: <https://mall.industry.siemens.com/mall/ru/ru/Catalog/Product/6AV6647-0AF11-3AX0>. (Дата звертання 24.04.2025).

17. Cisco 851-K9. Url: <https://xn--h1aemkx.com.ua/router/cisco-800-series/851-K9?sort=p.model&order=ASC>. (Дата звертання 24.04.2025).

18. 6EP1332-1SH71. SIMATIC S7-1200 Power Module PM1207. Url: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ru/Catalog/Product/6EP13321SH71>. (Дата звертання 24.04.2025).

ДОДАТОК А

Текст програми кіберфізичної системи термокамери обробки харчових продуктів

**Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”**

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА ТЕРМОКАМЕРИ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ
ПРОДУКТІВ**

Текст програми

804.02070743.25018-01 12 01

Листів __

АНОТАЦІЯ

Дана програма містить в собі початковий програмний код кіберфізичної системи термокамери обробки харчових продуктів.

Програма призначена для керування температурою, вологістю й подачею диму під час проведення технологічних операцій обробки продуктів харчування, таких як ковбаси, м'ясні делікатеси, риба та інші продукти згідно рецептури.

Програма написана мовою LAD для контролерів Siemens із застосуванням середовища Tia Portal V15 і призначена для застосування на контролерах Simatic CPU 1215C.

ЗМІСТ

	С.
1. Таблиця Default tag table	
2. Організаційний блок Startup	
3. Організаційний блок Main	
4. Блок даних ExchangeDB	
5. Блок даних CurrReceiptDB	
6. Блок даних GEC1	
7. Блок даних NS_1	
8. Функція F1	
9. Функція F2	
10. Функціональний блок MainGraph	
11. Функціональний блок TechOp	
12. Функціональний блок EquipmentCtrl	
13. Функціональний блок PowerActuator	
14. Функціональний блок Valve	

