

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Факультет Автоматизації і комп'ютерних систем

Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем

управління ім. проф. А.П. Ладанюка

«До захисту в ЕК»

Декан факультету

Андрій ФОРСЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

« » грудня 2024 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Ярослав СМІТЮХ
(підпис) (ім'я та прізвище)

« » грудня 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Комп'ютерні технології та програмування в
автоматизованих системах управління»

на тему: Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління
виробництвом хлібобулочних виробів з використанням системи машинного
зору

Виконав: здобувач 2 курсу, групи АК-2-1М

ВОЛОДЬКО Станіслав Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

_____ (підпис)

Керівник ЛУЦЬКА Наталія Миколаївна
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

_____ (підпис)

Консультанти _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Рецензент _____
(ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет Автоматизації і комп'ютерних систем

Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління

ім. проф. А.П. Ладанюка

Освітній ступінь магістр

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

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерні технології та програмування в автоматизованих системах управління»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри АКТСУ

ім. проф. А.П. Ладанюка

Ярослав СМІТЮХ

« » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

ВОЛОДЬКО Станіславу Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління виробництвом хлібобулочних виробів з використанням системи машинного зору

керівник роботи д.т.н. проф. ЛУЦЬКА Наталія Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ ” _____ 2024 року № _____

2. Строк подання здобувачем роботи “ ” _____ 2024 року

3. Вихідні дані до роботи

Короткі відомості про об'єкт автоматизації, відомості про умови експлуатації об'єкта автоматизації та вимоги до системи автоматизації. Матеріали переддипломної практики.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Розділ 1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації та існуючих АСК.

1.1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації. 1.2. Аналіз існуючих АСК технологічним об'єктом. 1.3. Постановка задачі кваліфікаційної роботи магістра.

Розділ 2. Загальносистемні рішення. 2.1. Загальний опис об'єкту та системи. 2.2. Функціональна структура системи. 2.3. Опис функцій, що автоматизуються. 2.4. Структурна схема комплексу технічних засобів. 2.5. Опис інформаційного забезпечення виробництва та основного відділення.

Розділ 3. Розробка підсистеми керування технологічним процесом. 3.1. Схема автоматизації та специфікація приладів та засобів автоматизації польового рівня. 3.2. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК. 3.3. Схеми з'єднань

та підключень проводок промислових мереж. 3.4. Схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж. Розділ 4. Розробка системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів. 4.1. Розробка бази знань готових випечених хлібобулочних виробів. 4.2. Розробка структури нейронної мережі. 4.3. Навчання нейронної мережі. 4.4. Розробка системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів. 4.5. Функціонування системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів. Висновки. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Схема функціональної структури КІСУ. 2. Структурна схема КТЗ. 3. Схема з'єднань проводок мереж. 4. Схема інформаційної структури. 5. Схема автоматизації. 6. Схеми електричні принципи контурів вимірювання, управління, сигналізації та живлення.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача та затвердження завдання	Перед переддипломною практикою	
2	Розділ 1. Аналіз технології та існуючих АСК технологічним об'єктом	Захист переддипломної практики	
3	Розділ 2. Розробка структурної схеми комплексу технічних засобів	3 тиждень	
4	Розділ 3. Розробка схеми автоматизації та вибір технічних засобів автоматизації	5 тиждень	
5	Розділ 3. Розробка схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж	7 тиждень	
6	Розділ 4. Розробка системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів.	11 тиждень	

Здобувач _____
(підпис)

Станіслав ВОЛОДЬКО

Керівник роботи _____
(підпис)

Наталія ЛУЦЬКА

Анотація

В кваліфікаційній роботі магістра приводиться процес розробки комп'ютерно-інтегрована система управління виробництвом хлібобулочних виробів в хлібопекарській печі (КІСУ ХБПЧ) на хлібозаводі для отримання готових хлібобулочних виробів високої якості.

КІСУ ХБПЧ використовує в своєму складі ПЛК M221 від Schneider Electric.

Розроблено систему машинного зору для моніторингу випечених хлібобулочних виробів в хлібопекарській печі.

Ключові слова: КІСУ ХБПЧ, моніторинг, автоматизація, хлібопекарська піч, система машинного зору.

Annotation

The master's qualification work presents the process of developing the computer-integrated management system for the production of bakery products in a bakery oven (CIMS BPO) at a bakery to obtain high-quality finished bakery products.

CIMS BPO uses the M221 PLC from Schneider Electric in its composition.

A machine vision system has been developed for monitoring baked bakery products in a bakery oven.

Keywords: CIMS BPO, monitoring, automation, bakery oven, machine vision system.

Зміст

Вступ	7
Розділ 1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації та існуючих АСК.....	8
1.1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації.....	8
1.2. Аналіз існуючих АСК технологічним об'єктом.....	13
1.3. Постановка задачі кваліфікаційної роботи магістра.....	17
Розділ 2. Загальносистемні рішення.....	18
2.1. Загальний опис об'єкту та системи.....	18
2.2. Функціональна структура системи.....	19
2.3. Опис функцій, що автоматизуються.....	21
2.4. Структурна схема комплексу технічних засобів.....	22
2.5. Опис інформаційного забезпечення виробництва та основного відділення.....	24
Розділ 3. Розробка підсистеми керування технологічним процесом.....	29
3.1. Схема автоматизації та специфікація приладів та засобів автоматизації польового рівня.....	29
3.2. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК.....	32
3.3. Схеми електричні принципові контурів вимірювання, керування, сигналізації та живлення.....	36
3.4. Схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж.....	37
Розділ 4. Розробка системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів.....	41
4.1. Розробка бази знань готових випечених хлібобулочних виробів.....	
4.2. Розробка структури нейронної мережі.....	45
4.3. Навчання нейронної мережі.....	56
4.4. Розробка системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів.....	63
4.5. Функціонування системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів.....	68
Висновки	69
Список використаних джерел	70

Вступ

Випічка хлібобулочних виробів являється останнім кроком в технологічному процесі виготовлення хлібобулочної продукції на хлібозаводі.

Від проходження технологічного процесу випічки хлібобулочних виробів в хлібопекарській печі залежить якість готових хлібобулочних виробів.

Для отримання випечених хлібобулочних виробів в хлібопекарській печі високої якості необхідно дотримуватися оптимального проходження технологічного процесу випічки хлібобулочних виробів.

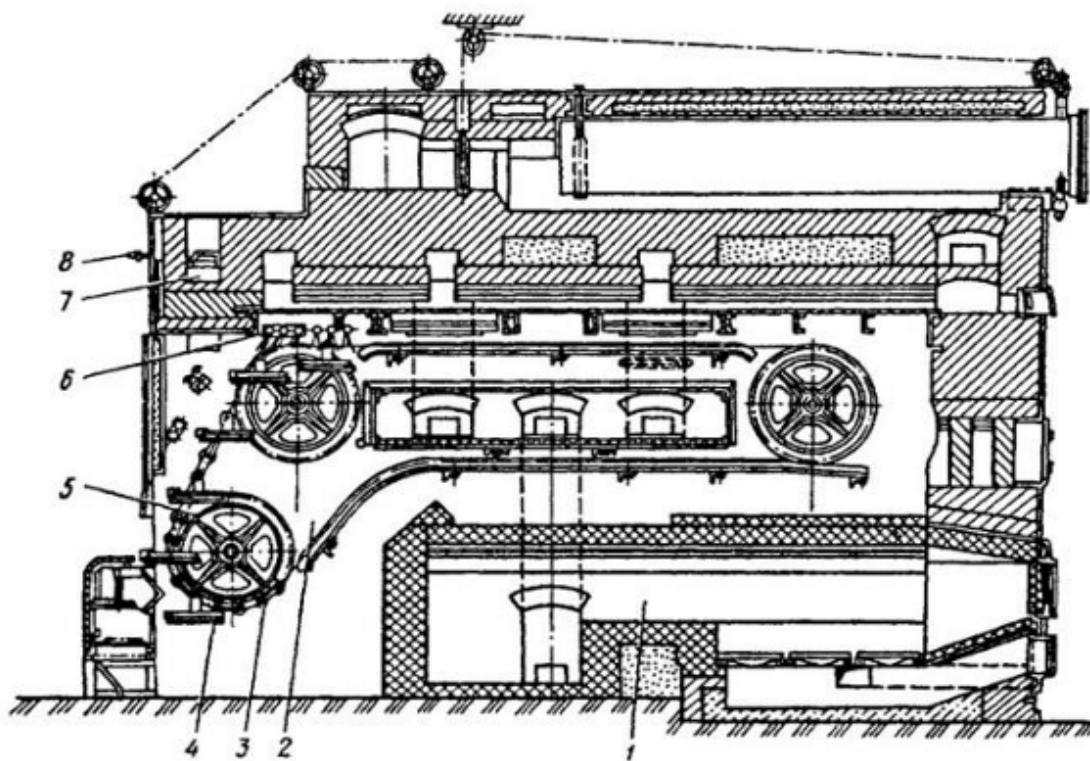
Застосування на хлібозаводах систем машинного зору для моніторингу випечених хлібобулочних виробів в хлібопекарській печі дозволяє зменшити відправку на упаковку неякісно випечених хлібобулочних виробів, для того щоб неякісно випечені хлібобулочні вироби не потрапляли на прилавки магазинів і виключити збитки від реалізації неякісно випеченої продукції, а зменшення збитків дозволить збільшити прибутковість хлібозаводу.

Розділ 1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації та існуючих АСК

1.1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації

Для випікання хлібобулочних виробів на хлібозаводах використовують різні види хлібопекарських печей.

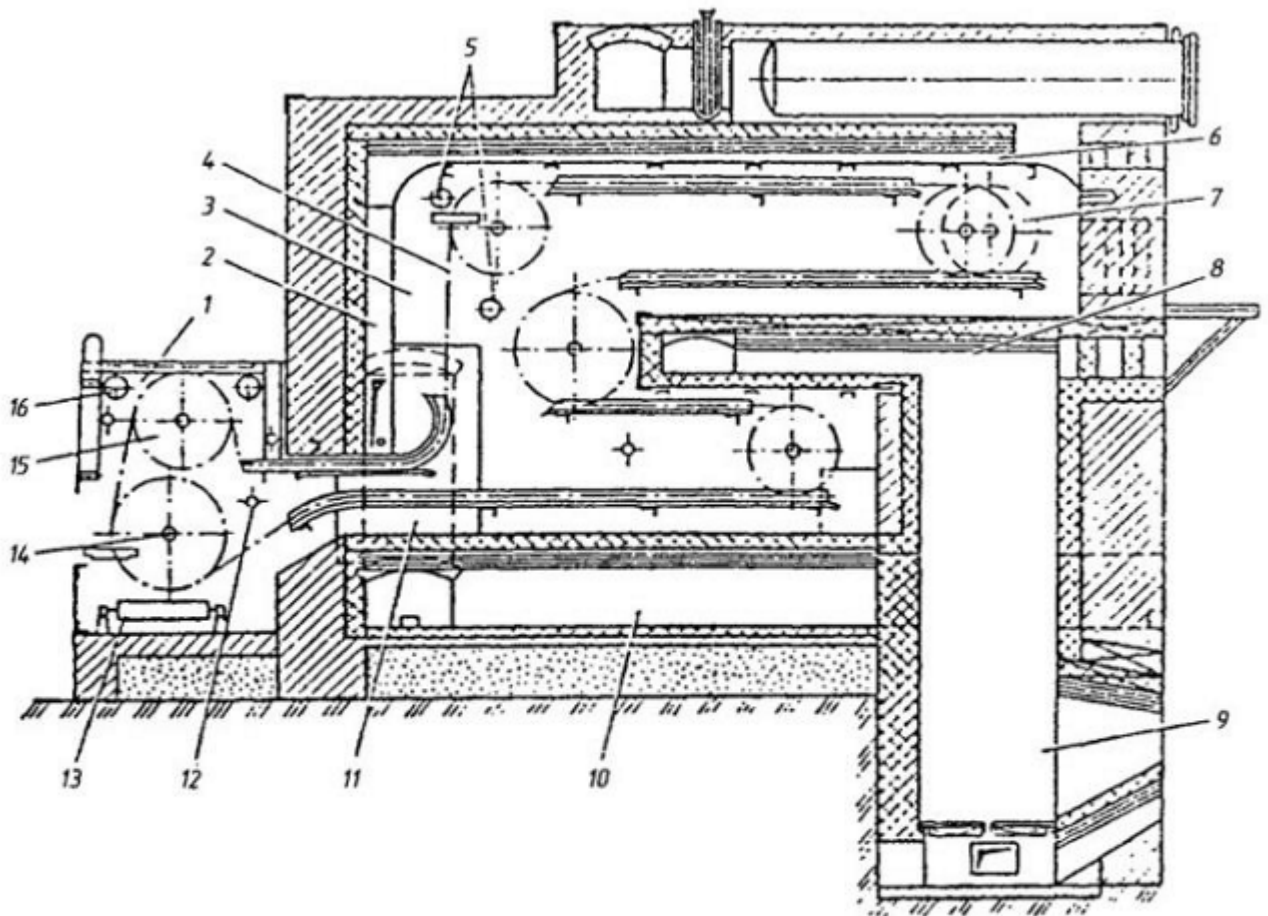
На рис. 1.1 приводиться схема конструкції тупикової хлібопекарської печі ФТЛ-2, що має ланцюговий люльковий поди, а також каналний обігрів для випічки виробів широкого асортименту.



1 – топка; 2 – пекарна камера; 3 – конвеєр; 4 – люльки; 5, 6, 9 – механізми конвеєра;
7 – газохід; 8, 11, 13 – шибєр; 10 – бори; 12 – водогрійні казанки; 14 – вертикальні
канали.

Рис. 1.1. Схема конструкції хлібопекарської печі ФТЛ-2.

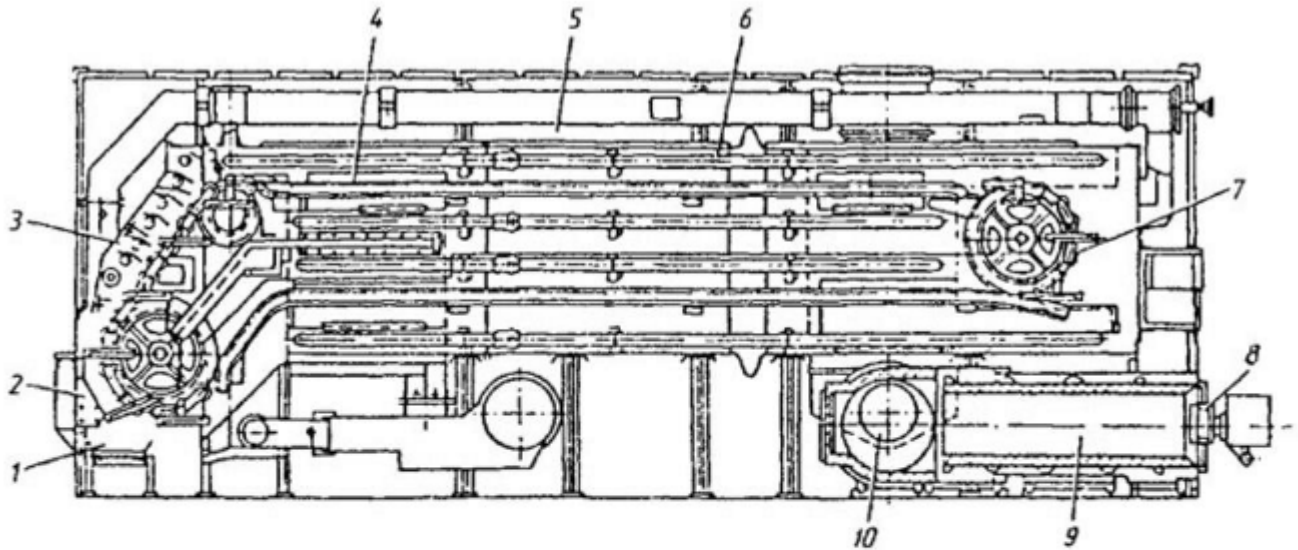
На рис. 1.2 приводиться схема конструкції модернізованого варіанту печі ФТЛ-2 – тупикової хлібопекарської печі ХПП-25. Хлібопекарська піч ХПП-25 має 4-х ярусний люлечно-подовий конвеєр з 43 чи 65 люльками.



1, 4 – конвеєр; 2 – газохід; 3 – пекарна камера; 5 – труби подачі пари; 6 – верхні канали; 7 – камера зволоження; 8 – підвісний канал; 9 – топка; 10 – нижні канали; 11 – стояки; 12, 16 – труби; 13 – транспортер; 14, 15 – направляючі вали;

Рис. 1.2. Схема конструкції хлібопекарської печі ХПП-25.

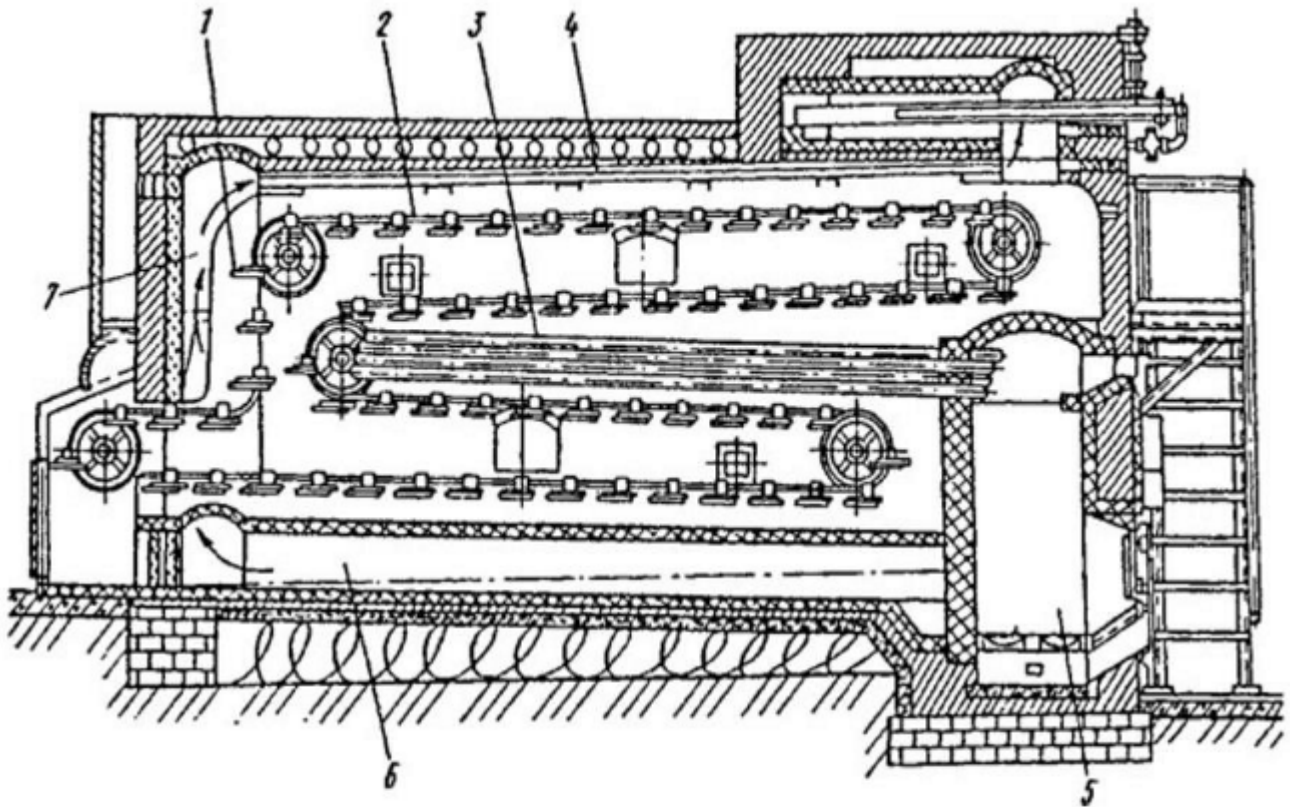
На рис. 1.3 приводиться схема конструкції тупикової хлібопекарської печі РЗ-ХПА. Хлібопекарська піч РЗ-ХПА має каналний обігрів з рециркуляцією продуктів згоряння та 36 люльками.



- 1 – транспортер; 2 – посадкове гирло; 3 – зволожувальний пристрій;
4 – люлечно-подіковий конвеєр; 5 – тупикова пекарська камера;
6 – обігрівальні канали; 7 – барабан; 8 – пальниковий пристрій;
9 – топка; 10 – камера змішування.

Рис. 1.3. Схема конструкції хлібопекарської печі РЗ-ХПА.

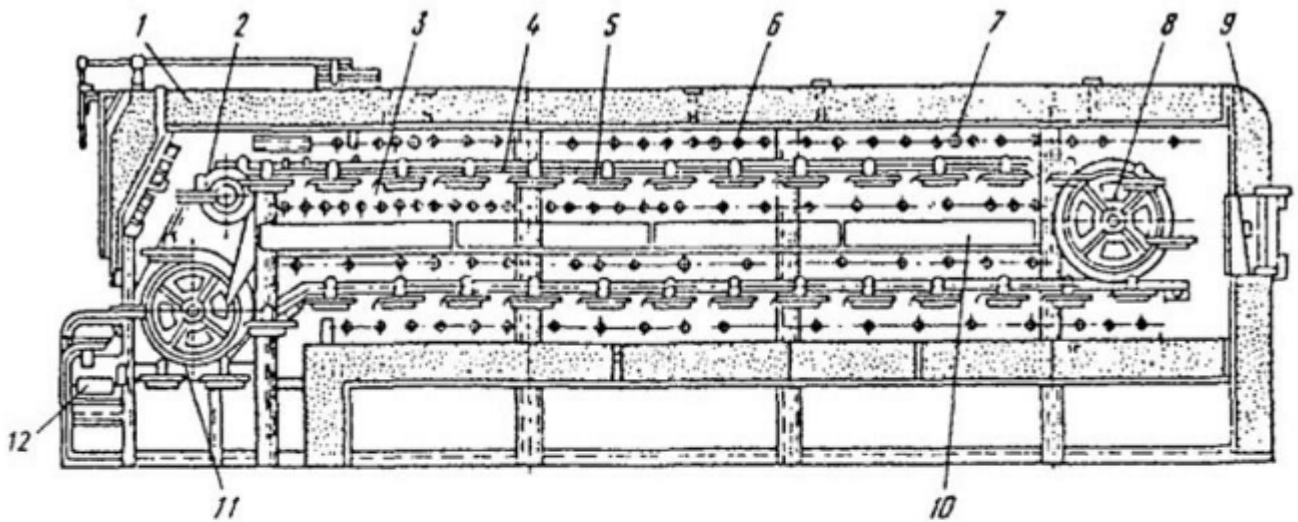
На рис. 1.4 приводиться схема конструкції тупикової хлібопекарської печі ХПА-40. Хлібопекарська піч ХПА-40 має пароводяні трубки та канали для обігріву та 100 люльок.



- 1 – люльки;
- 2 – люльковий конвеєр;
- 3 – нагрівальні трубки;
- 4 – димогарні труби;
- 5 – топка;
- 6 – канали.

Рис. 1.4. Схема конструкції хлібопекарської печі ХПА-40.

На рис. 1.5 приводиться схема конструкції тупикової хлібопекарської печі П-104. Хлібопекарська піч П-104 має електропідігрів та 34 люльки. [1]



- 1 – блочно-каркасне огороження; 2 – напрямні зірочки;
3 – пекарська камера; 4 – двонитковий конвеєр; 5 – люльки; 6, 7 –
термопари; 8 – вал; 9 – корпус; 10 – коробка;
12 – вузол автоматичного розвантаження.

Рис. 1.5. Схема конструкції хлібопекарської печі П-104.

Температура в I-й зоні хлібопекарській печі становить 110 °С, а в II-й зоні хлібопекарській печі становить 200 °С Температуру регулюють трубчастими електричними нагрівачами (ТЕН-ми), вологість в печі підтримують на рівні 80 % подачею пари в камеру випікання.

1.2. Аналіз існуючих АСК технологічним об'єктом

ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод» пропонує тунельні хлібопекарські печі марки А2-ХПК з системою автоматизації (рис. 1.6). [2]



Рис. 1.6. Тунельна хлібопекарська піч марки А2-ХПК.

Характеристики тунельних хлібопекарських печей марки А2-ХПК:

А2-ХПК. Технічні характеристики.					
Найменування параметрів і розмірності	А2-ХПК 25.60	А2-ХПК 25.61	А2-ХПК 25.32	А2-ХПК 25.38	А2-ХПК 50
Рабочая площа пода, м ²	25	25	32	38	50
Ширина конвеєра пода, мм	2100	2100	2100	2100	2100
Продуктивність, кг/год					
- для хліба подового білого з суміші борошна пш. В і 1 сортів (овальний, 0,65 кг, мех. укладка)	360	360	460	540	720
- для хліба подового з суміші борошна пш. і рж. (овальний, 0,8 кг, мех. укладка)	450	450	570	680	900
- для батонів нарізних з борошна пш. В сорту (0,5 кг, ручна укладка)	600	600	720	910	1200
Встановлена потужність електрообладнання, кВт	15,2	17,2	17,2	18,7	26,9
Вид палива	газ природний низького тиску				
Питома витрата природного газу, Нм ³ /т	23	28	27	25	23
Продуктивність вбудованого парогенератора регульована, кг/год	5-100 або 5-150	5-100 або 5-150	5-150	5-150
Питома витрата пару на обробку тестових заготовок, кг/т					
- при виготовленні хліба білого з суміші борошна пш. В і 1 сортів	120	120	120	120	120
- при виготовленні хліба з суміші борошна пш. і рж.	90	90	90	90	90
Габаритні розміри, м					
- довжина*	14,95	14,95	17,5	20,9	26,7
- ширина	3,41	3,41	3,41	3,41	3,41
- висота	3,35	3,7	3,7	3,7	3,7
Маса,* кг	17 700	19 800	23 600	26 900	33 500

Виробник KUMKAYA пропонує автоматичні хлібопекарські подові лінії (рис. 1.7). Лінія включає конвеєрну стрічку, механізми завантаження, розвантаження та охолодження продукції. [3]



Рис.1.7. Автоматична хлібопекарська подова лінія.

Компанія AMF Bakery Systems пропонує тунельну піч Multibake® VITA від AMF Den Boer. Пальники тунельної піч працюють на водневому паливі, що зменшує викид шкідливих речовин в атмосферу під процесу випічки хлібобулочних виробів. [4]

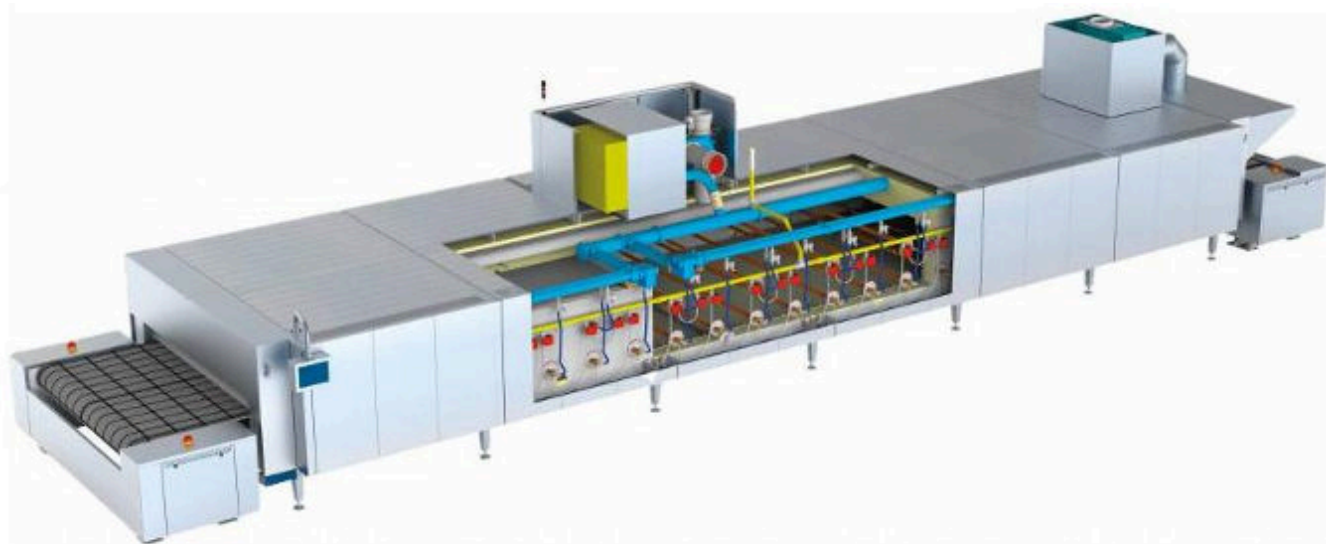


Рис. 1.8. Тунельна піч Multibake® VITA від AMF Den Boer.

1.3. Постановка задачі кваліфікаційної роботи магістра

В магістерській кваліфікаційній роботі розробляється комп'ютерно-інтегрована система управління виробництвом хлібобулочних виробів в хлібопекарській печі (КІСУ ХБПЧ) на хлібозаводі для отримання готових хлібобулочних виробів високої якості.

В КІСУ ХБПЧ використовуватимуться сучасні технічні засоби автоматизації для забезпечення оптимального проходження процесу випічки хлібу та зменшення витрати енергоресурсів для збільшення прибутковості процесу випічки хлібу.

В КІСУ ХБПЧ також реалізується система машинного зору для моніторингу якості випечених хлібобулочних виробів. Система машинного зору дозволить зменшити відправку на упаковку неякісно випечених хлібобулочних виробів, для того щоб неякісно випечені хлібобулочні вироби не потрапляли на прилавки магазинів і виключити збитки від реалізації неякісно випеченої продукції.

Розділ 2. Загальносистемні рішення

2.1. Загальний опис об'єкту та системи

Комп'ютерно-інтегрованої системи управління виробництвом хлібобулочних виробів в хлібопекарській печі (КІСУ ХБПЧ) на хлібозаводі призначена для отримання готових хлібобулочних виробів високої якості.

КІСУ ХБПЧ здійснює координацію з відділенням тісто-приготування (ВТП) для координації управління конвеєрами між відділеннями.

В КІСУ ХБПЧ здійснюється регулювання таких технологічних параметрів для отримання готових хлібобулочних виробів високої якості:

- ❖ регулювання температури I-ї зони хлібопекарської печі;
- ❖ регулювання температури в II-ї зони хлібопекарської печі;
- ❖ регулювання вологості в хлібопекарській печі;
- ❖ регулювання швидкості обертання двигуна М1.

2.2. Функціональна структура системи

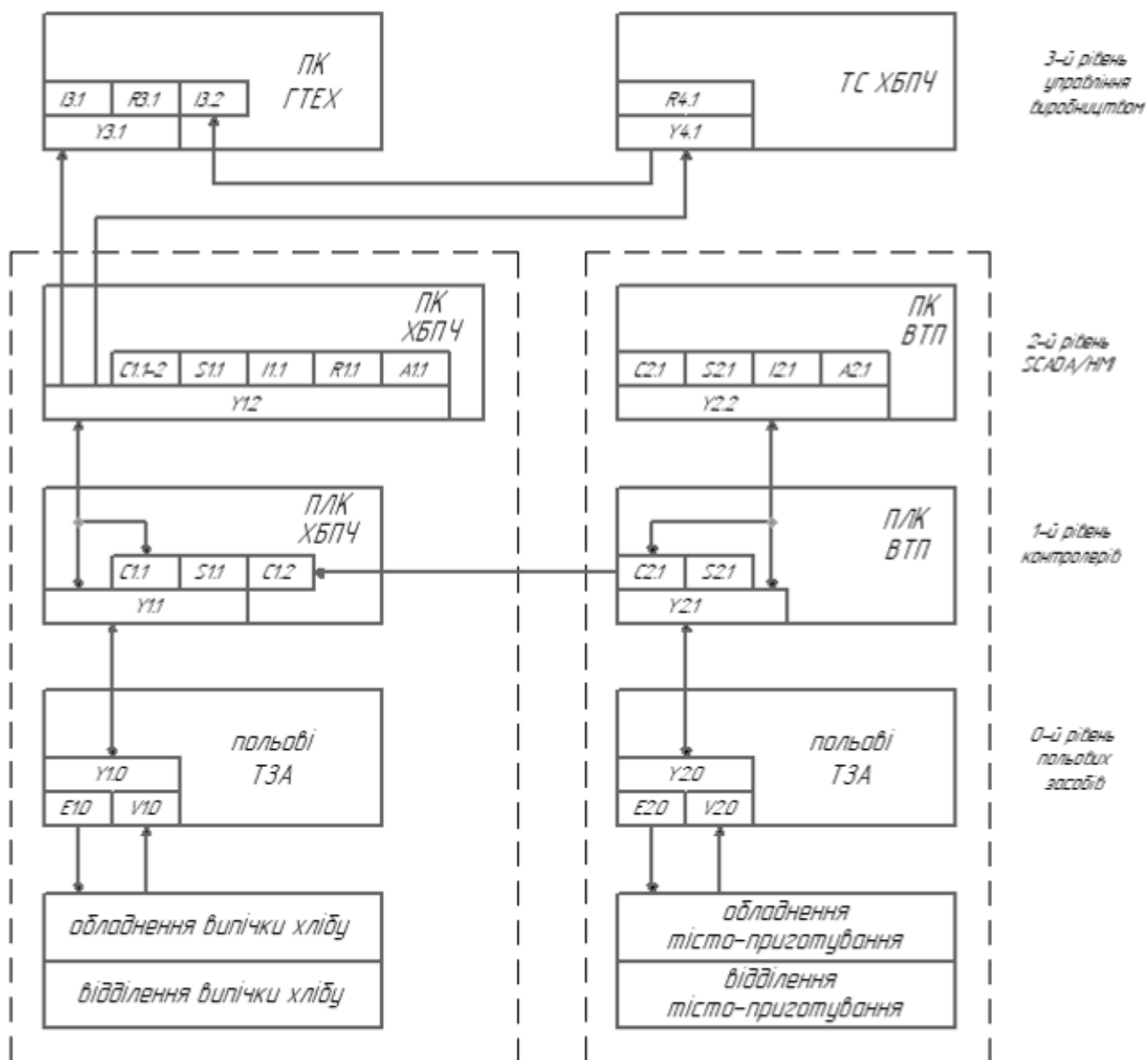


Рис. 2.1. Схема функціональної структури (СФС) КІСУ ХБПЧ.

Позначення застосовані в СФС КІСУ ХБПЧ на рис. 2.1 приводяться в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Умовні позначення СФС КІСУ ХБПЧ.

Найменування	Позначення
польові ТЗА	технічні засоби автоматизації, які відносяться до польового рівня
ПЛК ХБПЧ	промисловий логічний контролер хлібопекарської печі
ПЛК ВТП	промисловий логічний контролер для відділення тісто-приготування
ПК ХБПЧ	АРМ оператора хлібопекарської печі (на базі комп'ютера)
ПК ВТП	АРМ оператора для відділення тісто-приготування (на базі комп'ютера)
ПК ГТЕХ	персональний комп'ютер головного технолога
ТС ХБПЧ	технологічний сервер хлібопекарської печі
E1.0, E2.0	вимірювальне перетворення
V1.0, V2.0	управління технологічним обладнанням та виконавчими механізмами
Y	перетворення та обробка інформації
C1.1, C2.1	автоматизоване регулювання
C1.2	координація роботи відділення тісто-приготування
S1.1, S2.1	автоматизоване управління
I1.1, I2.1	відображення для контролю за технологічним процесом
I3.1	відображення для диспетчерського контролю за виробничим процесом
R1.1	реєстрація параметрів технологічного процесу
R3.1, R4.1	реєстрація основних виробничих параметрів
A1.1, A2.1	контроль стану обладнання, технологічна сигналізація

2.3. Опис функцій, що автоматизуються

Таблиця 2.2. Перелік функцій, що автоматизуються.

Найменування функції/ сигналу	Польові ТЗА (Y1.0)		ПЛК (Y1.1)		ПК (Y1.2)				
	E1.0	V1.0	C1.1	S1.1	П.2	C1.1	R1.1	S1.1	A1.1
Температура I-ї зони печі	+	-	+	-	+	+	+	-	+
Температура II-ї зони печі	+	-	+	-	+	+	+	-	+
Вологість в печі	+	-	+	-	+	+	+	-	+
Клапан подачі пари	-	+	+	-	+	+	+	-	-
Управління ТЕН1	-	+	+	-	+	+	+	-	-
Управління ТЕН2	-	+	+	-	+	+	+	-	-
Управління двигуном М1	-	+	+	-	+	+	+	-	+
Команда на пуск/стоп двигуна М1	-	+	-	+	+	-	+	+	+
Дистанційна команда на пуск двигуна М1	-	+	-	+	+	-	+	+	+

2.4. Структурна схема комплексу технічних засобів

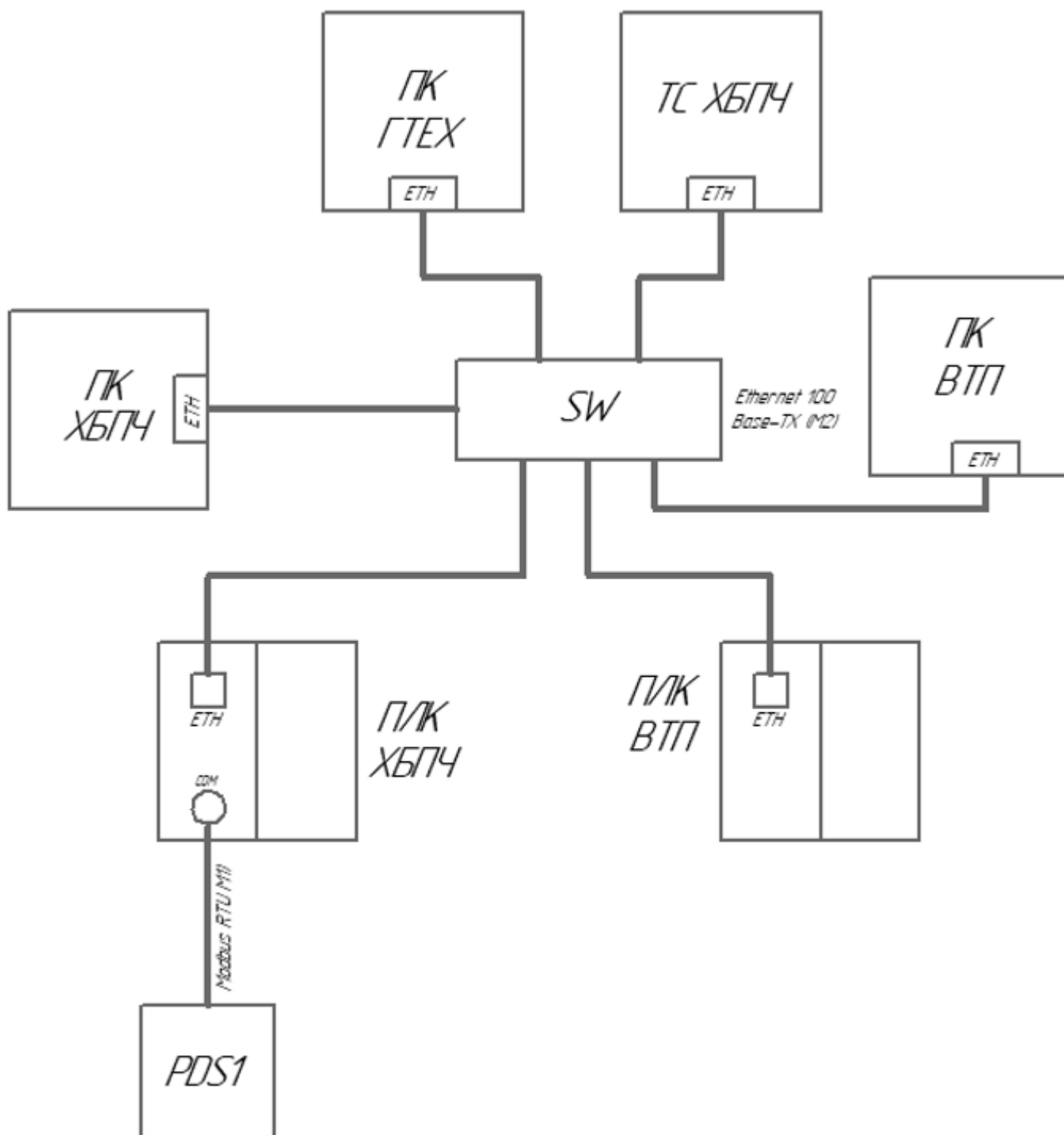


Рис. 2.2. Структурна схема комплексу технічних засобів (КТЗ) КІСУ ХБПЧ.

Структурна схема КТЗ КІСУ ХБПЧ та специфікація застосованих приладів приводиться на рис. 2.2 та в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3. Відомість мережних технічних засобів.

Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1	2	3	4
ПК ГТЕХ	ПК головного технолога	1	Intel Core-i3 2,3 GHz, RAM 4 Gb
ТС ХБПЧ	Технологічний сервер хлібопекарської печі	1	Intel Core-i5 3,2GHz, RAM 8Gb
ПК ХБПЧ	АРМ оператора відділення випічки хлібу	1	Intel Core-i5 3,2GHz, RAM 8Gb
ПЛК ХБПЧ	Програмований логічний контролер відділення випічки хлібу	1	Modicon M221 TM221CE16T (Schneider Electric)
ПК ВТП	АРМ оператора відділення тісто-приготування	1	Intel Core-i3 2,3GHz, RAM 4Gb
ПЛК ВТП	Програмований логічний контролер відділення тісто-приготування	1	Modicon M221 TM221CE16T (Schneider Electric)
SW	8-портовий 1 Гбіт/с комутатор TP-Link	1	TP-Link TL-SG108
PDS1	Частотний перетворювач	1	Altivar 71 (Schneider Electric)

2.5. Опис інформаційного забезпечення виробництва та основного відділення

Комп'ютерно-інтегрованої системи управління виробництвом хлібобулочних виробів в хлібопекарській печі (КІСУ ХБПЧ) на хлібозаводі реалізується двома промисловими мережами М1-М2.

Загальний вид реалізованих промислових мереж М1-М2 та інформаційних потоків в них приводиться на рис. 2.3.

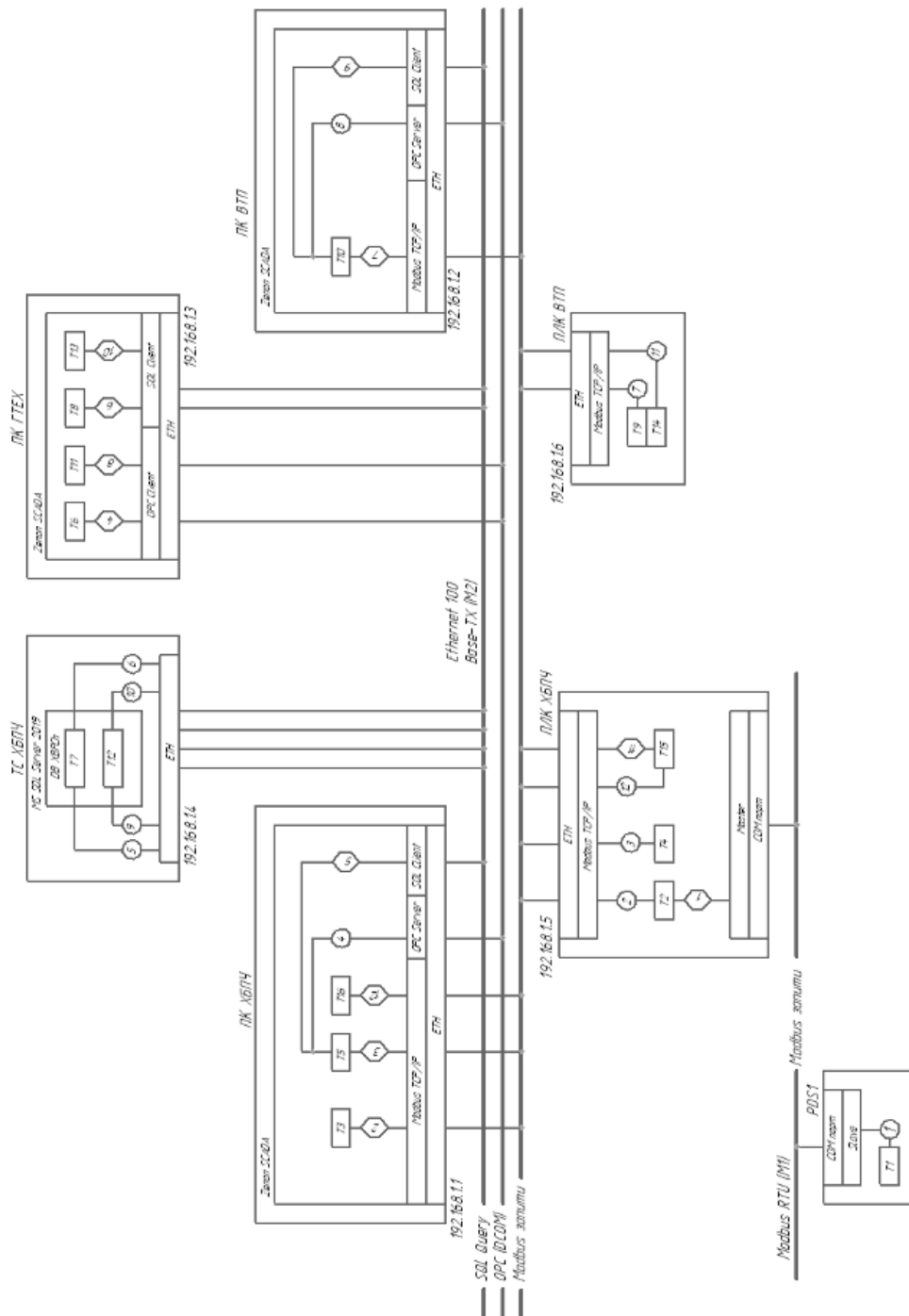


Рис. 2.3. Загальний вид промислових мереж М1-М2 та їх інформаційних потоків.

Промислова мережа M1 це Modbus RTU з частотним перетворювачем PDS1 та ПЛК ХБПЧ та їх інформаційний потік приводиться на рис. 2.4.

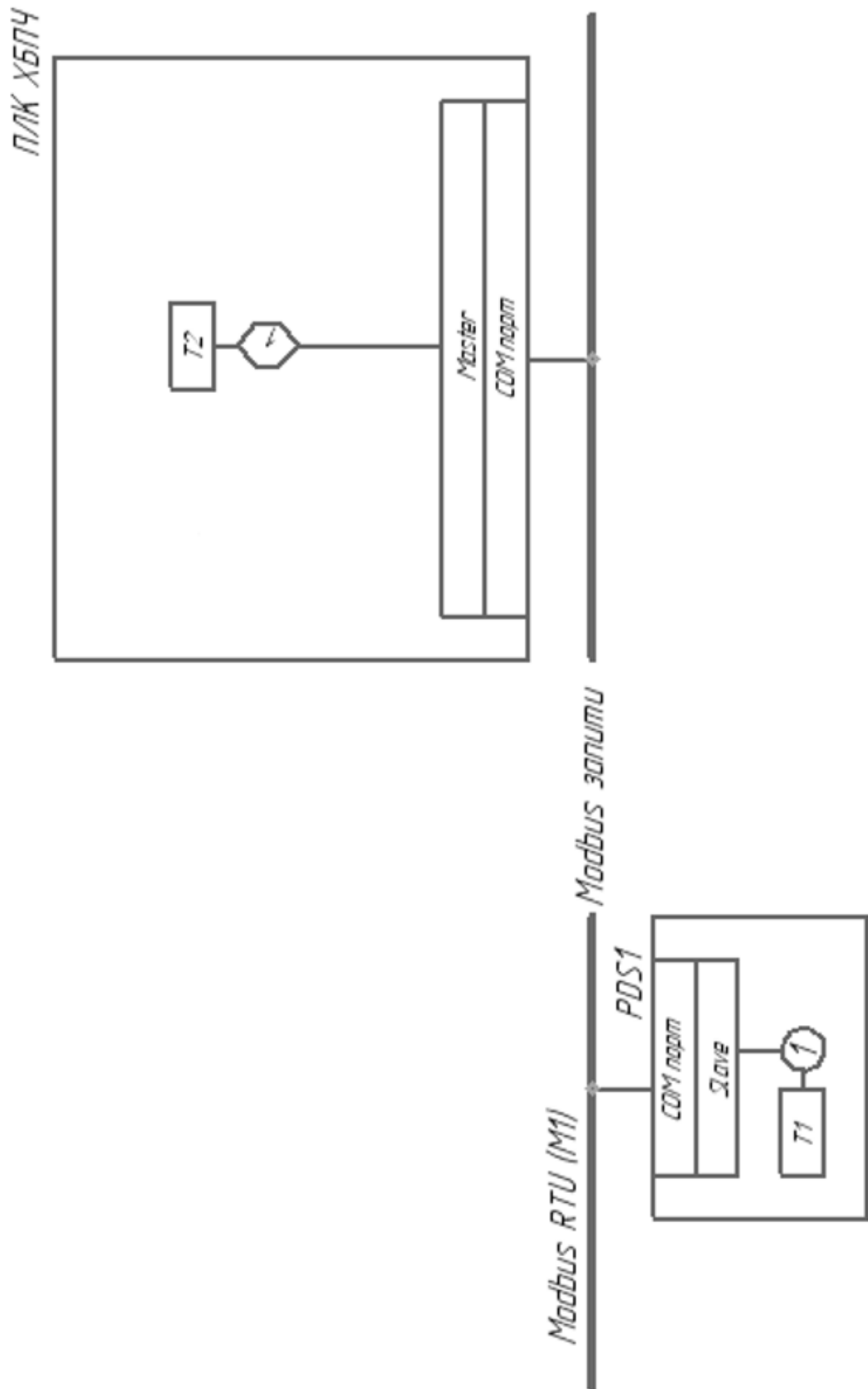


Рис. 2.4. Загальний вид промислової мережі M1 та її інформаційного потоку.

Промислова мережа M1 це Ethernet 100 Base-TX з ПЛК ХБПЧ, ПК ХБПЧ, ТС ХБПЧ, ПЛК ВТП, ПК ВТП та ПК ГТЕХ та їх інформаційні потоки приводиться на рис. 2.5.

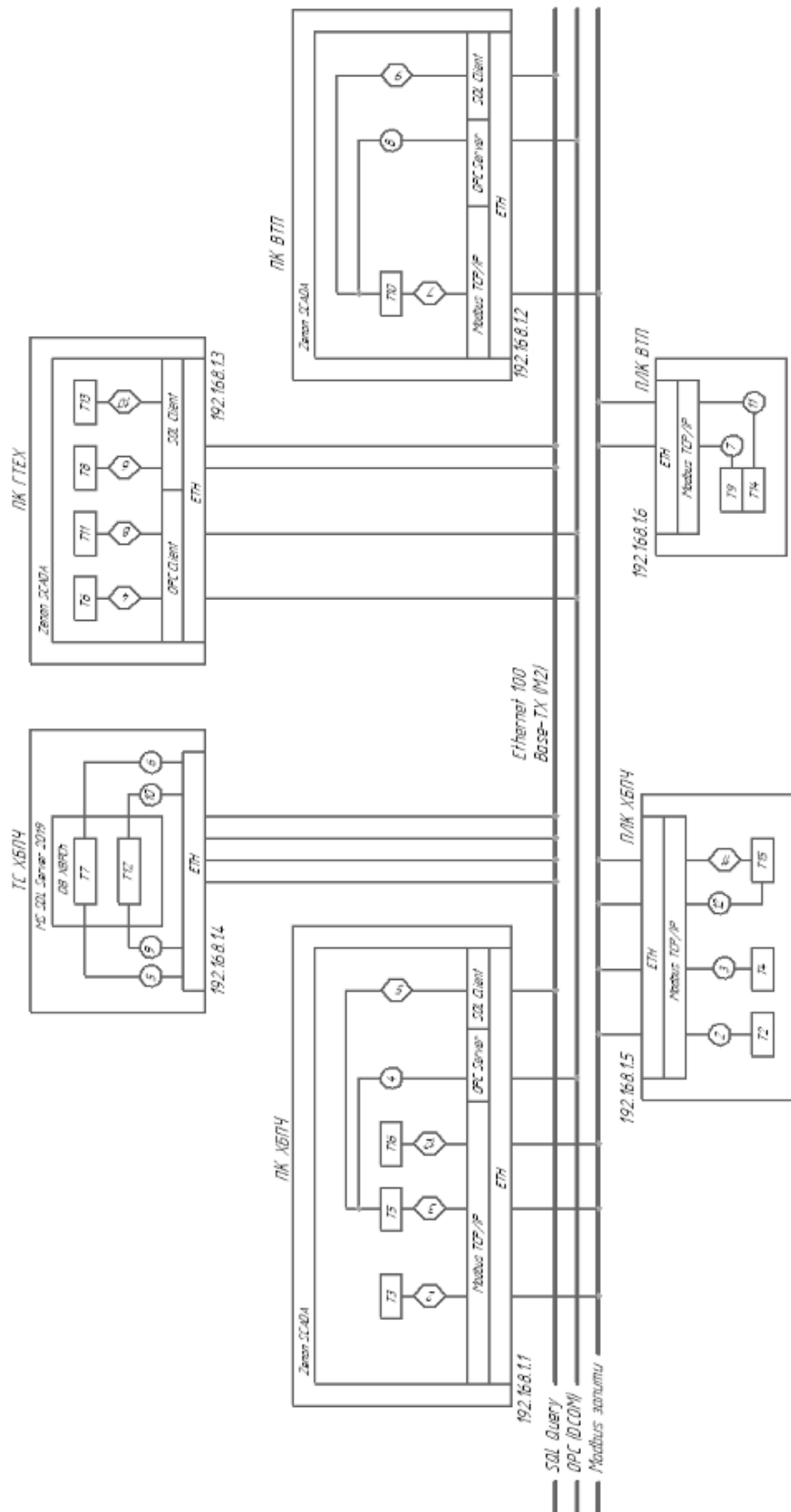


Рис. 2.5. Загальний вид промислової мережі M2 та її інформаційних потоків.

Інформаційні потоки та їх описання для промислових мереж М1-М2 приводяться в табл. 2.4.

Таблиця 2.4. Мережні змінні КІСУ ХБПЧ.

Призначення	ПЛК ХБПЧ	ПК ХБПЧ	PDS1	ПЛК ВТП	ПК ВТП	ПК ГТЕХ	ТС ХБПЧ
Температура I-ї зони печі	T4	T5	-	-	-	T6	T7
Температура II-ї зони печі	T4	T5	-	-	-	T6	T7
Вологість в печі	T4	T5	-	-	-	T6	T7
Клапан подачі пари	T4	T5	-	-	-	T6	T7
Управління ТЕН1	T4	T5	-	-	-	T6	T7
Управління ТЕН2	T4	T5	-	-	-	T6	T7
Управління двигуном М1	T2	T3	T1	-	-	-	-
Команда на пуск/стоп двигуна М1	T2	T3	T1	-	-	-	-
Дистанційна команда на пуск двигуна М1	T2	T3	T1	-	-	-	-
Завдання швидкості конвеєрів між відділеннями	T15	T16	-	T14	T10	-	-

Інформаційне забезпечення для промислових мереж М1-М2 та його описання приводяться в табл. 2.5.

Таблиця 2.5. Інформаційне забезпечення КІСУ ХБПЧ.

Тип програмного засобу	Виробник	Назва	Примітки
<i>ПЗ для ПК ХБПЧ</i>	<i>COPA-DATA</i>	<i>Zenon SCADA</i>	
<i>ПЗ для ПЛК ХБПЧ</i>	<i>Schneider Electric</i>	<i>SoMachine</i>	
<i>ПЗ для ПК ВТП</i>	<i>COPA-DATA</i>	<i>Zenon SCADA</i>	
<i>ПЗ для ПЛК ВТП</i>	<i>Schneider Electric</i>	<i>SoMachine</i>	
<i>ПЗ для ПК ГТЕХ</i>	<i>COPA-DATA</i>	<i>Zenon SCADA</i>	
<i>ПЗ для ТС ХБПЧ</i>	<i>Microsoft</i>	<i>MS SQL Server 2019</i>	

Розділ 3. Розробка підсистеми керування технологічним процесом

3.1. Схема автоматизації та специфікація приладів та засобів автоматизації польового рівня

В схемі автоматизації комп'ютерно-інтегрованої системи управління виробництвом хлібобулочних виробів в хлібопекарській печі (КІСУ ХБПЧ) на хлібозаводі приводиться схематичний опис регулювання технологічних параметрів, що забезпечують отримання готових хлібобулочних виробів високої якості:

- ❖ проведення регулювання вологості (вимір, поз. 1а) в хлібопекарській печі з ПЛК через електропневматичний перетворювач (поз. 1б) пневматичним клапаном (поз. 1а) подачі пари;
- ❖ проведення регулювання температури І-ї зони хлібопекарської печі (вимір, поз. 2а) з ПЛК через твероділе реле (поз. 2б) ТЕН-ом (поз. 2в);
- ❖ проведення регулювання температури ІS-ї зони в хлібопекарській печі (вимір, поз. 3а) з ПЛК через твердотіле реле (поз. 3б) ТЕН-ом (поз. 3в);
- ❖ проведення управління швидкості обертання двигуна конвеєра М1 (вимір, поз. 4а) частотними перетворювачами (поз. PDS1) з ПЛК через промислову мережу Modbus RTU. Датчик вимічу швидкості обертання двигуна конвеєра М1 (поз. 4а) підключено безпосередньо до частотного перетворювача (поз. PDS1).

Специфікація в виді таблиці для схеми автоматизації КІСУ ХБПЧ приводиться в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Специфікація приладів схеми автоматизації КІСУ ХБПЧ.

Поз.	Найменування та технічна характеристика засобу	Тип, марка, позначення документу, листа опитування	Код обладнання, виробу, матеріалу	Завод-виготовлювач/виробник	Одиниця виміру	К-сть	Маса одиниці, кг	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1а	Промисловий гігрометр з уніфікованим вихідним сигналом 4-20мА, діапазон вимірювань 0–100 %	BZK3.0H.F182.A2 9.054 Каталог Galltec+mela	-	Galltec+mela	%	1	-	80%
1б	Перетворювач електропневматичний для перетворення аналогового сигналу постійного струму: 4-20 мА в уніфікований пневматичний сигнал 20-100 КПа. Уживл.=24 V	PC-28A/G Каталог Aplisens	-	Aplisens	шт.	1	-	-
1в	Пневматичний виконавчий механізм, Ржив. = 140 кПа, Рвих. = 20-100 кПа	Hi-Flow Каталог виробів "СВ Альтера"	-	Dwyer	шт.	1	-	-
2а, 3а	Термометр опору Pt100 з уніфікованим вихідним сигналом 4-20мА, напруга живлення 24 В DC, діапазон вимірювань -50...+400 °С	902020 Каталог JUMO	-	JUMO	°С	2	-	I зона: 100 °С II зона: 200 °С
2б, 3б	Твердотіле реле з управляючим уніфікованим сигналом постійного струму 4-20 мА для управління напругою 220 В AC ТЕН	FOTEK SSR-75LA-H Каталог PROMSAT	-	PROMSAT	шт.	2	-	-
2в, 3в	Трубчастий електричний нагрівач (ТЕН) потужність 12 кВт, напруга 220 В AC	CONVO-THERM Каталог Technodelo.com	416028	CONVO-THERM	шт.	2	-	-

Продовження таблиці 3.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4a	Індуктивний датчик наближення, напруга живлення 24 DC	Autonics PR30-15DP Каталог СВ «Альтера»	-	Autonics	шт.	1	-	-
PDS1	Перетворювач частоти Altivar 71 електроприводу від 0,75 до 75 кВт	Altivar 71 Каталог Schneider Electric	-	Schneider Electric	шт.	1	-	-
M1	Трьохфазний асинхронний двигун, потужність 4 кВт, напруга живлення 380 В	АИР132S8 каталог виробів Системакс	АИР 132S8	ООО "Системакс"	шт.	1	-	-

3.2. Схема компоновання та специфікація модулів ПЛК

ПЛК ХБПЧ – Schneider Electric (SE) M221. Конфігурація ПЛК ХБПЧ SE M221 в КІСУ ХБПЧ приводиться на рис. 3.1 та в табл. 3.2.



The image shows a Schneider Electric M221 PLC rack with three modules installed. From top to bottom: a power supply module (PSM), a CPU module (TM221CE16T), and a terminal block. The CPU module has a green Ethernet port highlighted. To the right of the rack, a dashed blue box contains a plus sign, indicating additional modules.

Контролер та вводи-виводи			
Ні	Артикул	Опис	Кількість
1	TM221CE16T	ПЛК M221 16 ВХ/ВИХ ТРАНЗ 1RS485 1ETH	1
2	TM3AI4	МОДУЛЬ ТМ3 4 АНАЛОГ ВХ 12 БІТ	1
3	TM3AQ4	МОДУЛЬ ТМ3 4 АНАЛОГ ВИХ 12 БІТ	1

Рис. 3.1. Конфігурація модулів ПЛК ХБПЧ SE M221.

Таблиця 3.2. Специфікація модулів ПЛК ХБПЧ.

Поз	Найменування та технічна характеристика засобу	Тип, марка, позначення документу, листа опитування	Код обладнання	Завод-виготовлювач/виробник	Одиниця виміру	К-сть	Маса одиниці, кг	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	ПРОГРАМОВАНІЙ ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР ПЛК ХБПЧ – M221							
1	Процесорний модуль	Каталог M221	TM221CE16T	Schneider Electric, Франція	шт	1		
2	Модуль 4AI	Каталог M221	TM3AI4	Schneider Electric, Франція	шт	1		
3	Модуль 4AO	Каталог M221	TM3AQ4	Schneider Electric, Франція	шт	1		

В ПЛК ХБПЧ в КІСУ ХБПЧ аналогові входи та виходи та їх описання приводиться в таблиці 3.3 та в таблиці 3.4.

Таблиця 3.3. Аналогові вхідні сигнали для ПЛК ХБПЧ.

Поз.	Найменування вимірювальної величини	Одиниці та діапазон виміру	Тип та діапазону вимір. сигналу	Періодичність, с	Точність виміру, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
1a	Вологість в печі	0-100 %	4-20 мА	60	0.5	датчик 1a
2a	Температура I-ї зони печі	-50... +400 °С	4-20 мА	60	0.5	датчик 2a
3a	Температура II-ї зони печі	-50... +400 °С	4-20 мА	60	0.5	датчик 3a

Таблиця 3.4. Перелік аналогових вихідних сигналів для ПЛК ХБПЧ.

Поз.	Найменування вихідної величини	Одиниці та діапазон виходу	Тип та діапазон вихідного сигналу	Періодичність, с	Точність формування, %	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
16	Клапан подачі пари	0-100 %ХРО	4-20 мА	60	0.5	ЕПП
26	Управління ТЕН1	0-220 В	4-20 мА	60	0.5	Твердотіле реле
36	Управління ТЕН2	0-220 В	4-20 мА	60	0.5	Твердотіле реле

3.3. Схеми електричні принципові контурів вимірювання, керування, сигналізації та живлення

При розробленні електричної принципової схеми контурів вимірювання, керування та сигналізації в КІСУ ХБПЧ застосовуються компоненти описання яких приводиться в таблиці 3.5.

Таблиця. 3.5. Позначення в схемі для КІСУ ХБПЧ.

Позначення	Опис
QF1-QF4	автоматичні вимикачі 2-х фазні
БЖ	блок живлення на 24 В постійного струму
800-813	провідники з змінним струмом для живлення
900-905	провідники з постійним струмом для живлення
100-105	провідники вимірювальними з сигналами від датчиків до ПЛК
200-205	провідники з сигналами управління від ПЛК
0800	провідник з пневматичним сигналом живлення
0200	провідник з пневматичним сигналом управління

3.4. Схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж

В КІСУ ХБПЧ розроблена схема з'єднань та підключень проводок (СЗПП) промислових мереж М1-М2 приводиться на рис. 3.2.

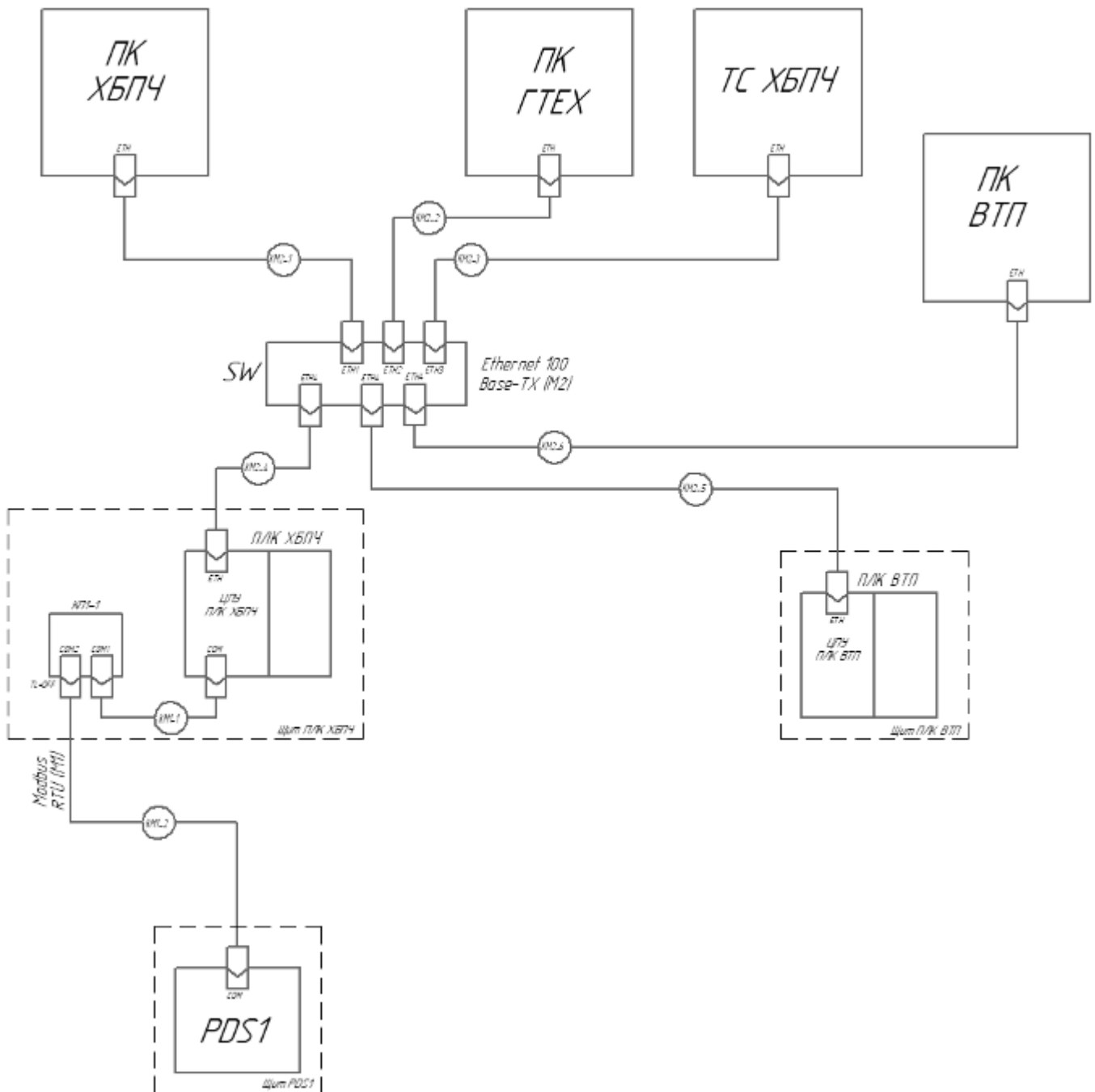


Рис. 3.2. СЗПП промислових мережі М1-М2 для КІСУ ХБПЧ.

СЗПП промислової мережі М1 для КІСУ ХБПЧ приводиться на рис. 3.3.

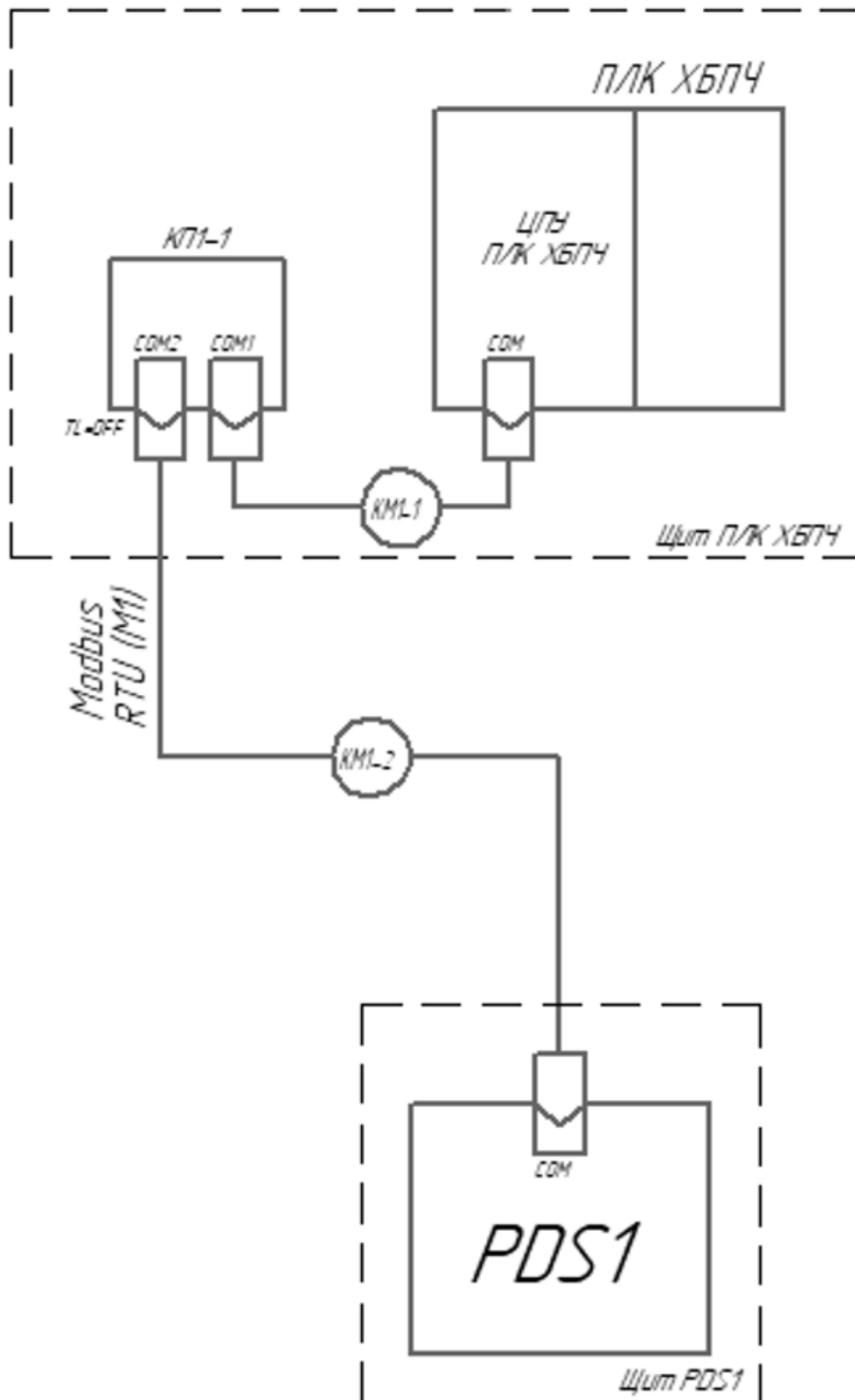


Рис. 3.3. СЗПП промислової мережі М1 для КІСУ ХБПЧ.

СЗПП промислової мережі M2 для КІСУ ХБПЧ приводиться на рис. 3.4.

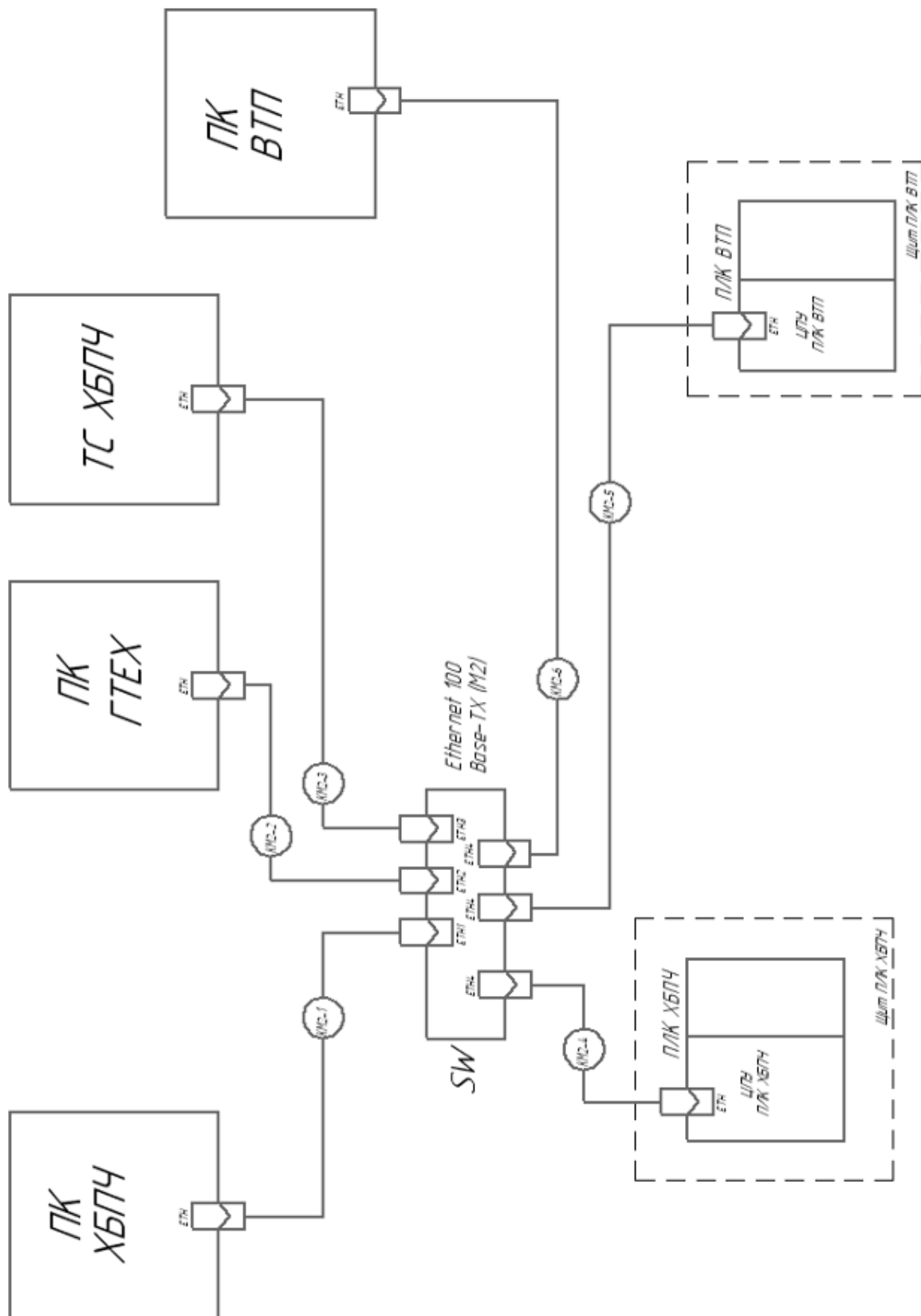


Рис. 3.4. СЗПП промислової мережі M2 для КІСУ ХБПЧ.

Специфікація елементів СЗППІ приводиться в таблиці 3.5.

Таблиця 3.6. Специфікація елементів до СЗППІ КІСУ ХБПЧ.

Позначення	Найменування	К-ть	Примітка
1	2	4	5
<i>Коробки з'єднувальні</i>			
КП1-1	LU9 GC3 – коробка розгалуження з 8-ми портами RJ-45 (Schneider Electric) з термінатором лінії VW3 A8 306RC	1	
<i>Мережні кабелі</i>			
КМ1-1 КМ1-2	VW3 A8 306 R30 – кабель з роз'ємами RJ45 (Schneider Electric)	2	
КМ2-1, КМ2-2, КМ2-3, КМ2-4, КМ2-5, КМ2-6	STP 5 кабель екранована подвійна вита пара для під'єднання карти Ethernet (RJ-45) та порту ETH комутатора (SW1)	6	
<i>Мережеве обладнання</i>			
SW	TP-Link TL-SG108 – 8-портовий 1 Гбіт/с комутатор TP-Link	1	

Розділ 4. Розробка системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів

4.1. Розробка бази знань готових випечених хлібобулочних виробів

Система машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів на реалізована базі нейронної мережі.

Навчання нейронної мережі відбувається по створеній базі знань. В базі знань міститися зображення випечених хлібобулочних виробів з дефектами та без.

База знань нейронної мережі створена на основі зображення випеченого хлібобулочного виробу, що приводиться на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Вид випеченого хлібобулочного виробу.

Для збільшення швидкодії навчання нейронної мережі зображення в базі знань зберігаються у сірому форматі – grey.

Зображення випеченого хлібобулочного виробу в базі знань приводиться під різним кутом бо на конвеєрі хлібобулочний виріб може перебувати в довільному положенні.

База знань для нейронної мережі має зображення випеченого хлібобулочного виробу без дефектів, що приводиться на рис. 4.2.



Рис. 4.2. Зображення випеченого хлібобулочного виробу без дефекту.

База знань нейронної мережі має зображення випеченого хлібобулочного виробу з дефектом, що приводиться на рис. 4.3.



Рис. 4.3. Зображення випеченого хлібобулочного виробу з дефектом.

Зображення бази знань нейронної мережі знаходяться в папці –
D:\workspace\bread, в 2 папках:

D:\workspace\bread\bread-bad – в папці знаходяться зображення з дефектом;

D:\workspace\bread\bread-good – в папці знаходяться зображення без дефекту.

Команда `imageDatastore` в MATLAB для створює базу знань нейронної мережі:

```
>> imds = imageDatastore('D:\workspace\bread', 'IncludeSubfolders', true, 'LabelSource',  
'foldernames')
```

imds =

[ImageDatastore](#) with properties:

Files: {

'D:\workspace\bread\bread-bad\010b.png';

'D:\workspace\bread\bread-bad\011b.png';

'D:\workspace\bread\bread-bad\012b.png'

... and 18 more

}

Labels: [bread-bad; bread-bad; bread-bad ... and 18 more categorical]

AlternateFileSystemRoots: {}

ReadSize: 1

ReadFcn: @readDatastoreImage

Зображення бази знань зберігаються з мітками `bread-bad` та `bread-good` відповідно з назвами папок.

4.2. Розробка структури нейронної мережі

Структура нейронної мережі розробляється редактором Deep Network Designer. На рис. 4.4 приводиться вид редактора Deep Network Designer.

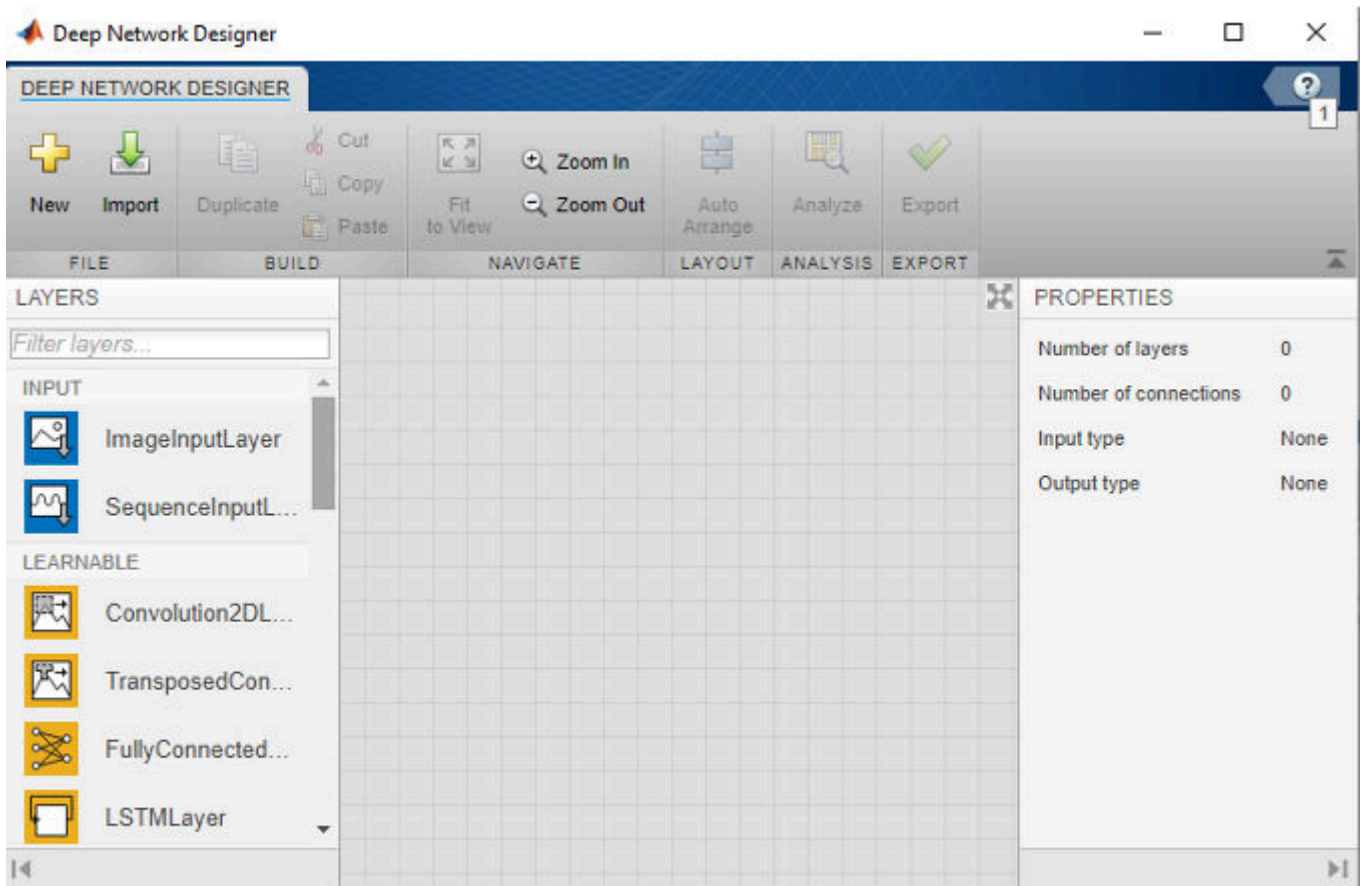


Рис. 4.4. Вид редактор Deep Network Designer.

Для нейронної мережі вибрано структуру, що приводиться на рис. 4.5.

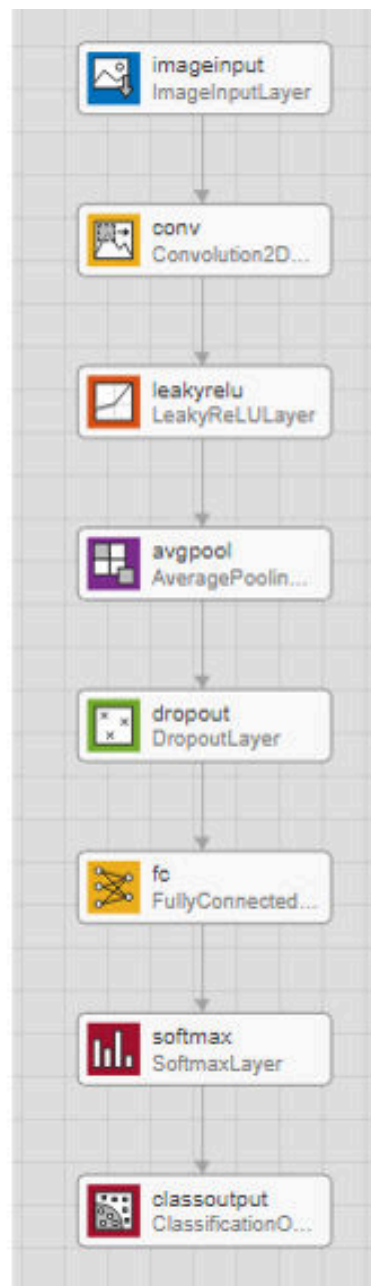


Рис. 4.5. Структура нейронної мережі в редакторі Deep Network Designer.

Проведений аналіз для структури нейронної мережі в редакторі Deep Network Designer приводиться на рис. 4.6.

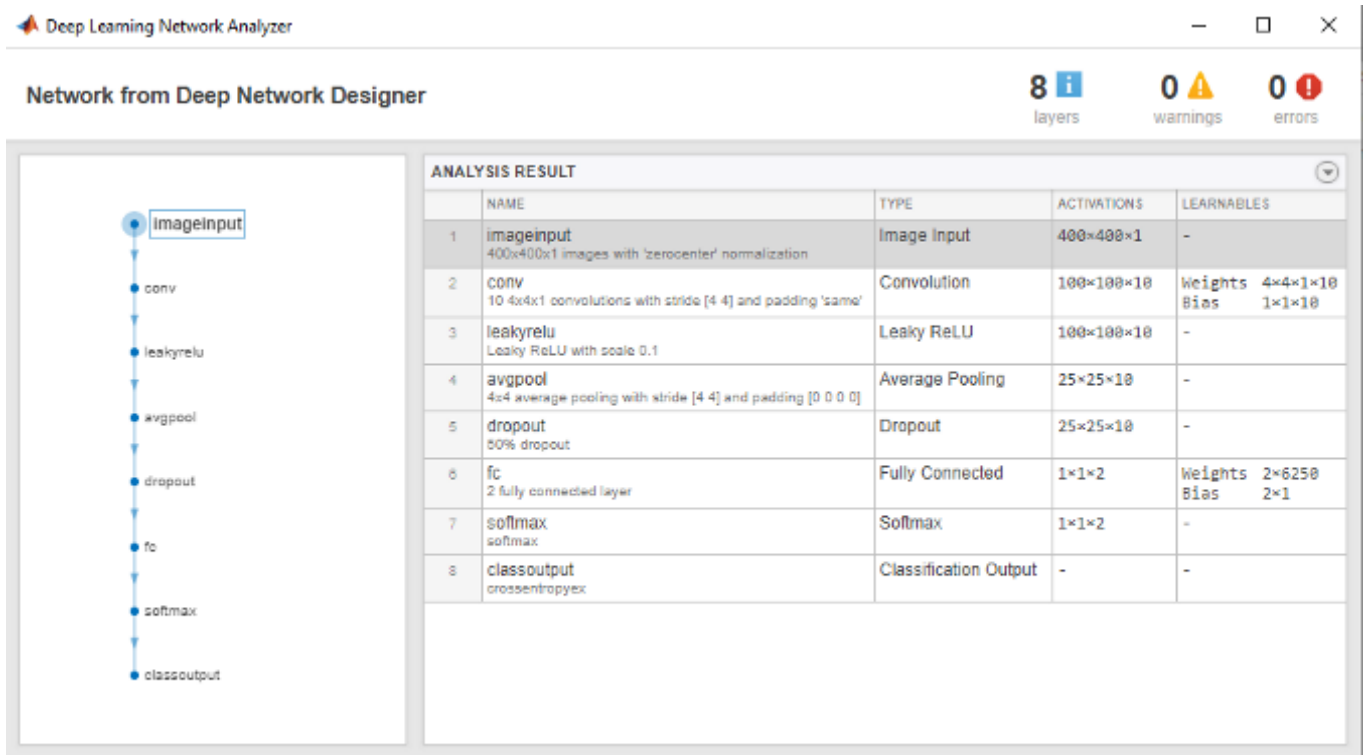


Рис. 4.6. Аналіз структури нейронної мережі в редакторі Deep Network Designer.

Нейронна мережа складається з наступних шарів:

imageinput – шар вводу зображення (ImageInputLayer). Це вхідний рівень, що вводить зображення в нейронну мережу та робить нормалізацію даних. Параметри цього шару приводяться на рис. 4.7. Формат для вхідного зображення має розміри 400x400.

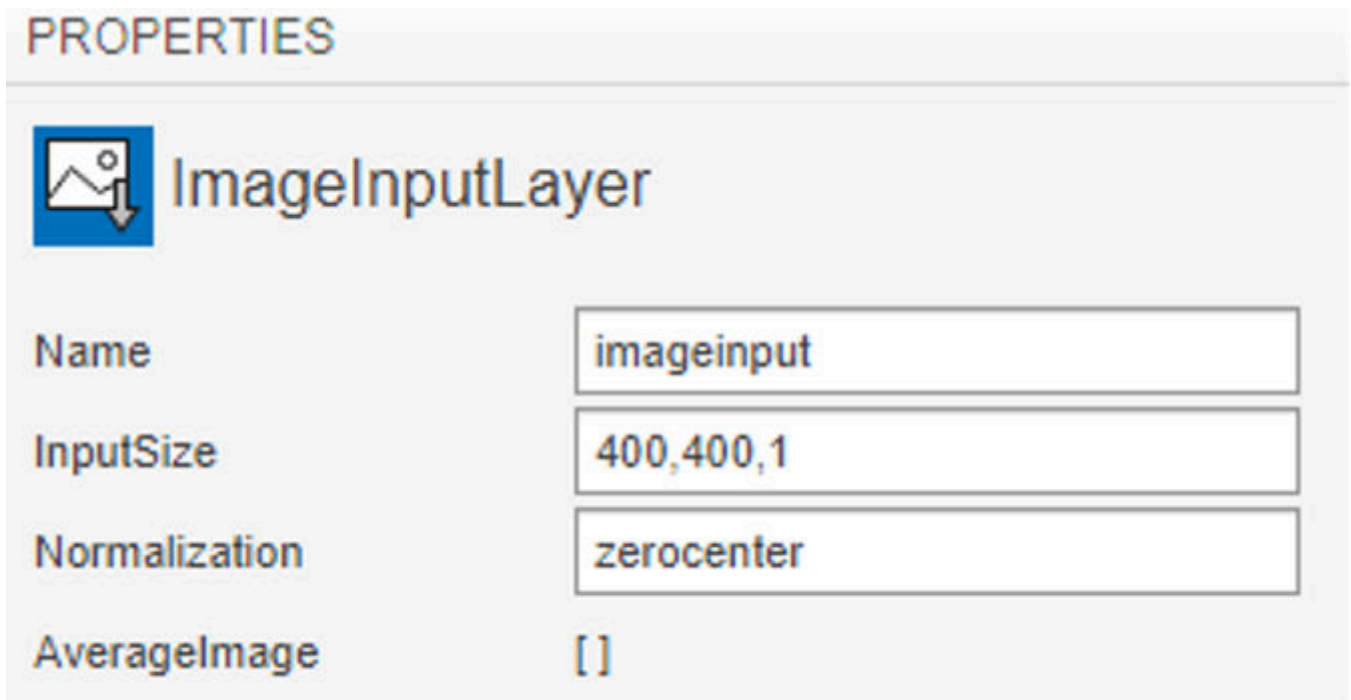


Рис. 4.7. Параметри шару *Image input layer*.

conv – шар двовимірної згортки (*Convolution2DLayer*) використовує ковзні згорткові фільтри для входу. Цей шар згортає вхідні дані, відбувається переміщення вертикально та горизонтально фільтрів вздовж вхідного зображення, також обчислюється добуток ваг з значеннями вхідного зображення і додається значення зміщення.

Параметр *FilterSize* вказує висоту та ширину фільтрів. Шар використовує розмір фільтру – 4x4.

Параметр *NumFilters* вказує кількість фільтрів. Шар використовує 10 фільтрів.

Параметр *Stride* вказує розмір кроку для обходу вхідного зображення по вертикалі та горизонталі. Шар використовує крок 4 по горизонталі та вертикалі.

На рис. 4.8 приводяться параметри шару *Convolution2DLayer*.


PROPERTIES	
 Convolution2DLayer	
Name	conv
FilterSize	4,4
NumFilters	10
Stride	4,4
DilationFactor	1,1
Padding	same
Weights	[]
Bias	[]
WeightLearnRateFactor	1
WeightL2Factor	1
BiasLearnRateFactor	1
BiasL2Factor	0

Рис. 4.8. Параметри шару *Convolution2DLayer*.

leakyrelu – шар (LeakyReLU Layer – Leaky Rectified Linear Unit (ReLU) layer) робить порогову операцію, де значення, що менше нуля множиться на фіксоване значення:

$$f(x) = \begin{cases} x, & x \geq 0 \\ scale * x, & x < 0 \end{cases}$$

Шар використовує значення 0.1.

На рис. 4.9 приводяться параметри шару *LeakyReLU Layer*.

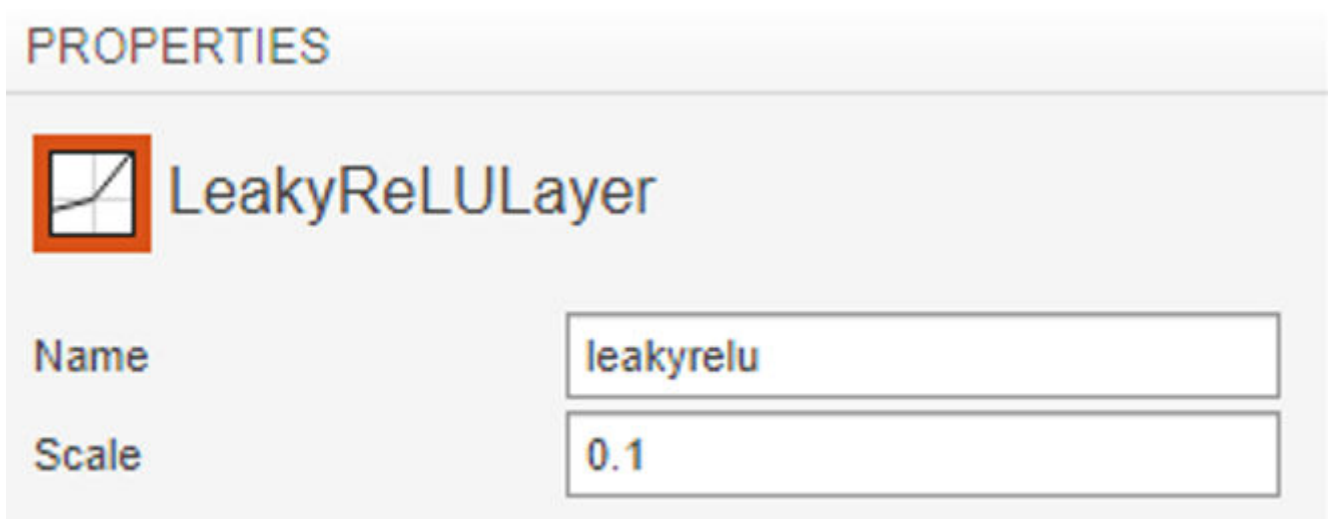


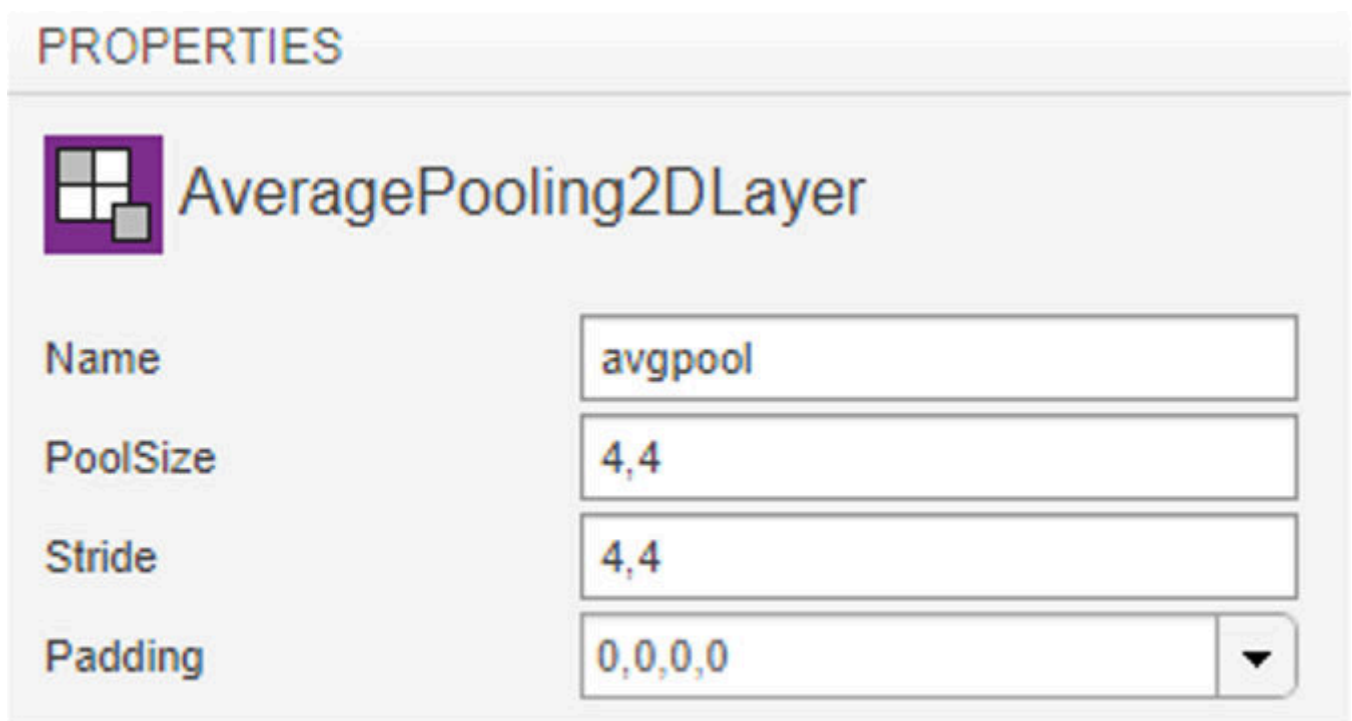
Рис. 4.9. Параметри шару *LeakyReLU Layer*.

avgpool – шар (*AveragePooling2dLayer* – Average pooling layer) робить об'єднання вибірки методом поділу вхідних зображень на прямокутні області, а далі обчислення середніх значень кожної області.

Параметр *PoolSize* – задає розміри прямокутної області об'єднання, В даному шарі використовується розмір прямокутної області об'єднання – 4x4.

Параметр *Stride* – задає розмір кроку для обходу вхідних зображень по вертикалі та горизонталі. Шар використовує крок 4 по горизонталі та вертикалі.

На рис. 4.10 приводяться параметри шару *AveragePooling2dLayer*.




PROPERTIES	
 AveragePooling2DLayer	
Name	avgpool
PoolSize	4,4
Stride	4,4
Padding	0,0,0,0

Рис. 4.10. Параметри шару *AveragePooling2dLayer*.

dropout – шар (**DropoutLayer**) робить випадкове видалення зв'язків між нейронами з заданою ймовірністю.

Параметр *Probability* – задає ймовірність видалення зв'язків між нейронами в процесі навчання, значення в діапазоні 0 – 1. Шар використовує значення 0.5.

На рис. 4.11 приводяться параметри шару **DropoutLayer**.

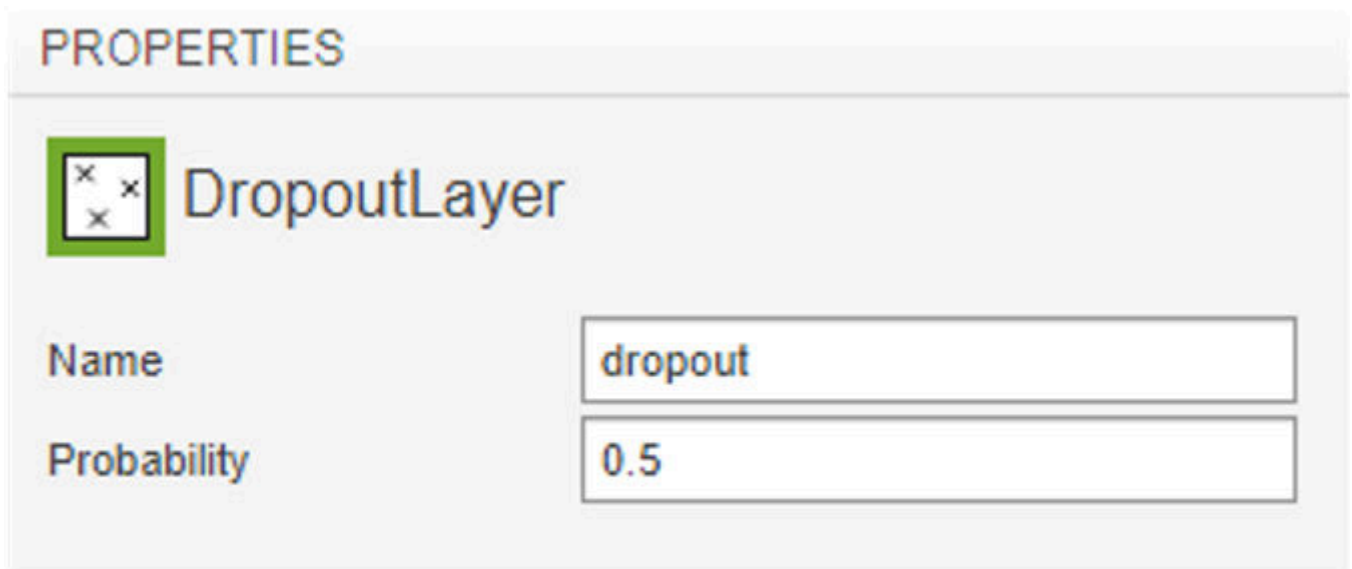
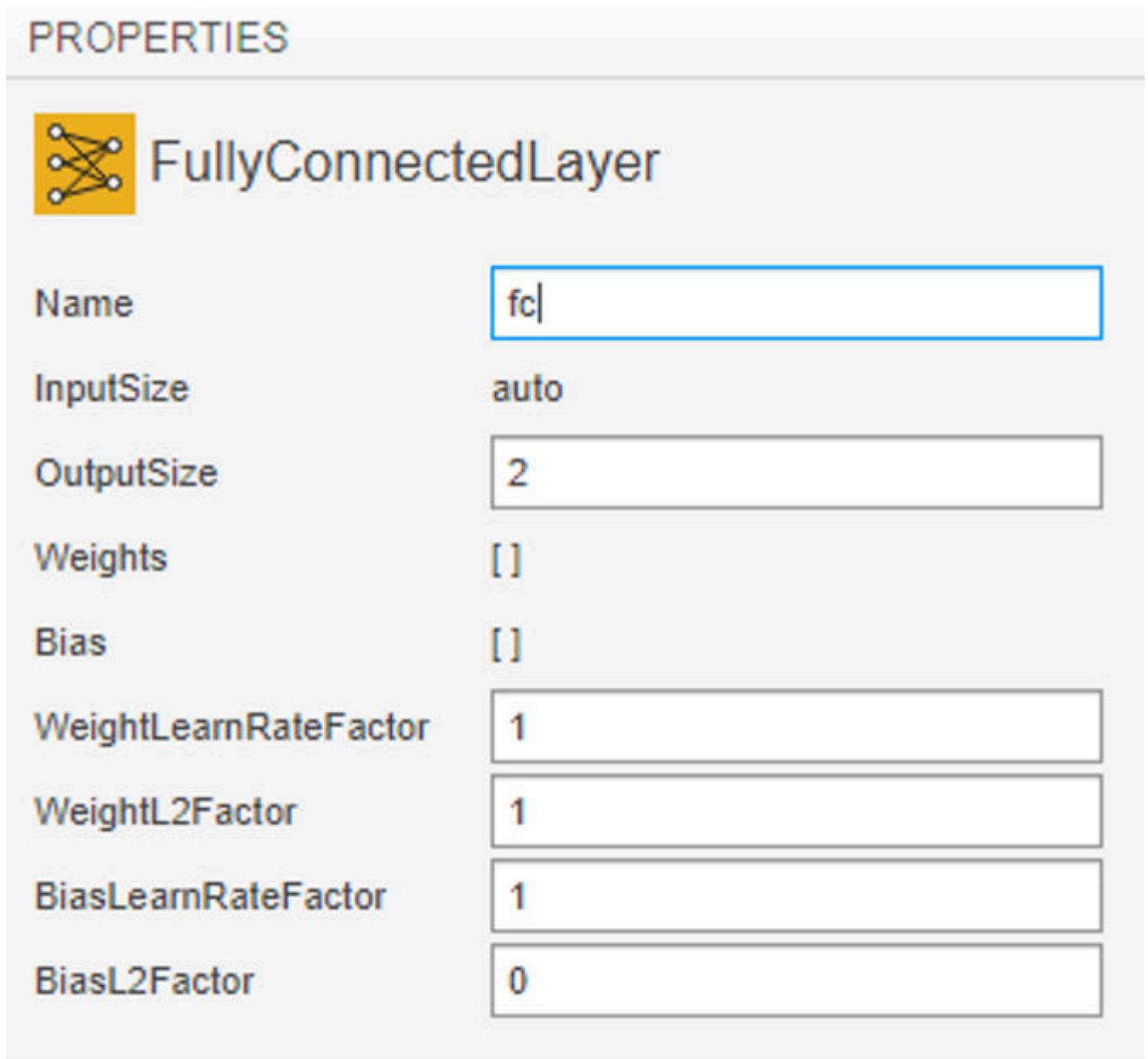


Рис. 4.11. Параметри шару **DropoutLayer**.

fc – повністю пов'язаний шар (*FullyConnectedLayer*), проводить множення вхідних даних на матрицю ваги та додає вектор зміщення.

Параметр *OutputSize* – задає кількість виходів нейронної мережі, це залежить від задачі класифікації, тобто кількості класів на виході. Шар використовує значення 2 (клас bread-bad та bread-good).

На рис. 4.12 приводяться параметри шару *FullyConnectedLayer*.




PROPERTIES	
 FullyConnectedLayer	
Name	fc
InputSize	auto
OutputSize	2
Weights	[]
Bias	[]
WeightLearnRateFactor	1
WeightL2Factor	1
BiasLearnRateFactor	1
BiasL2Factor	0

Рис. 4.12. Параметри шару *FullyConnectedLayer*.

softmax – шар (SoftmaxLayer) виконує функцію softmax до вхідних даних. Шар немає параметрів (рис. 4.13).

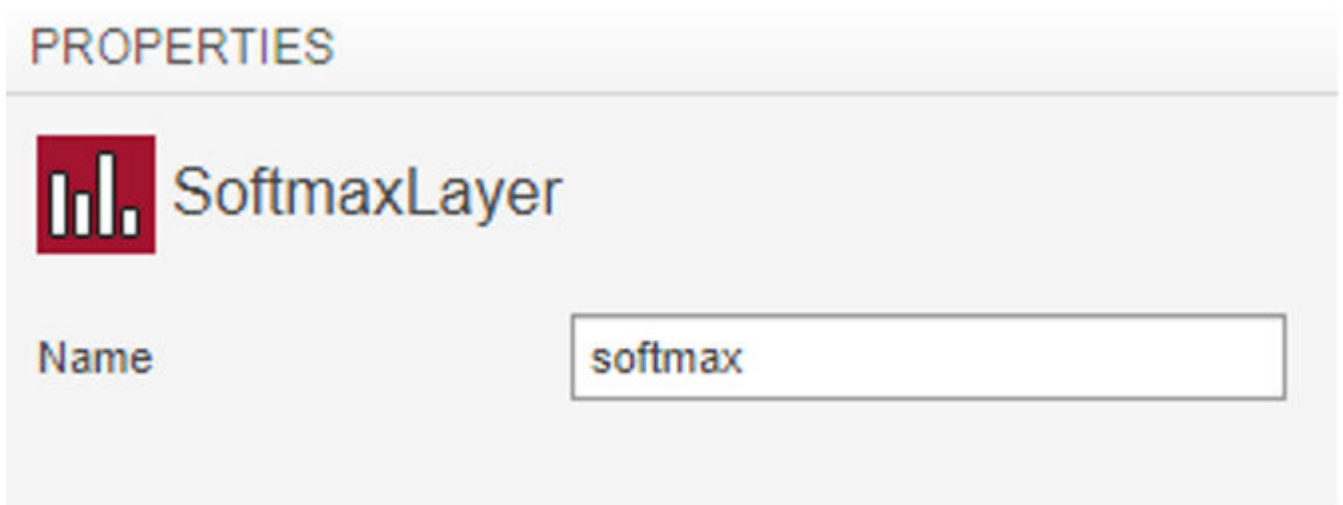


Рис. 4.13. Шар *SoftmaxLayer*.

classoutput (ClassificationOutputLayer) – шар класифікації (ClassificationOutputLayer), шар визначає клас зображення, який подається на вихід до нейронної мережі.

Шар немає параметрів (рис. 4.14).

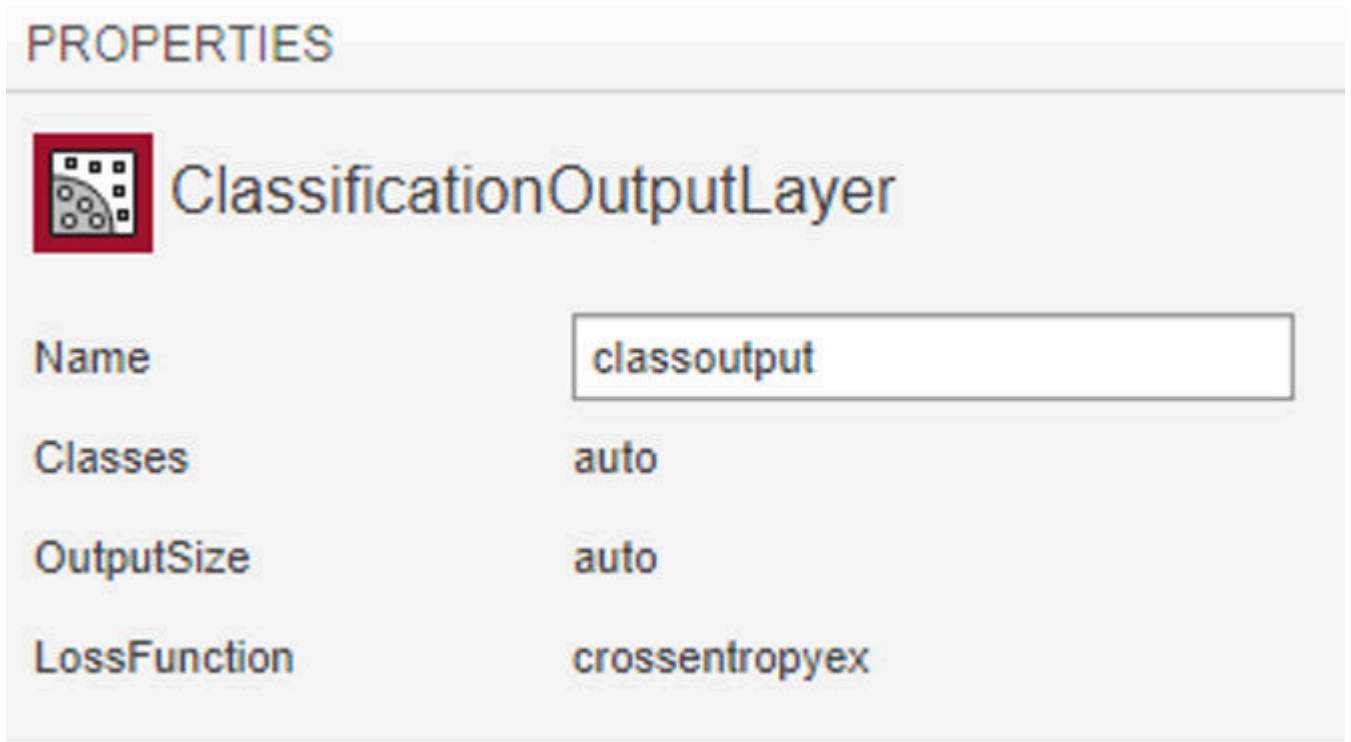


Рис. 4.14. Шар *ClassificationOutputLayer*.

4.3. Навчання нейронної мережі

Отримані база знань для нейронної мережі та її структура дозволяє перейти до початку процесу навчання нейронної мережі.

На початку процесу навчання для нейронної мережі треба задати параметри навчання наступною командою:

```
>> options = trainingOptions('sgdm', 'MaxEpochs', 1000, 'InitialLearnRate', 1e-4, 'Verbose',  
false, 'Plots', 'training-progress', 'ExecutionEnvironment', 'parallel')
```

```
options =
```

[TrainingOptionsSGDM](#) with properties:

```
Momentum: 0.9000  
InitialLearnRate: 1.0000e-04  
LearnRateScheduleSettings: [1×1 struct]  
L2Regularization: 1.0000e-04  
GradientThresholdMethod: 'l2norm'  
GradientThreshold: Inf  
MaxEpochs: 1000  
MiniBatchSize: 128  
Verbose: 0  
VerboseFrequency: 50  
ValidationData: []  
ValidationFrequency: 50  
ValidationPatience: Inf
```

Shuffle: 'once'
CheckpointPath: "
ExecutionEnvironment: 'parallel'
WorkerLoad: []
OutputFcn: []
Plots: 'training-progress'
SequenceLength: 'longest'
SequencePaddingValue: 0

Проведення процесу навчання нейронної мережі виконується командою:

```
>> net = trainNetwork(imds, lgraph, options)
```

net =

[DAGNetwork](#) with properties:

Layers: [8×1 nnet.cnn.layer.Layer]

Connections: [7×2 table]

Параметри команди:

imds – база знань для нейронної мережі, яка включає в себе зображення випечених хлібобулочних виробів з дефектами та без;

lgraph – створена і імпортована структура нейронної мережі з редактору Deep Network Designer;

options – параметри для навчання нейронної мережі.

На рис. 4.15 приводяться графік процесу навчання нейронної мережі.

На верхньому графіку зображено точність нейронної мережі на кожному кроці, а на нижньому графіку зображено похибка навчання нейронної мережі на кожному кроці.

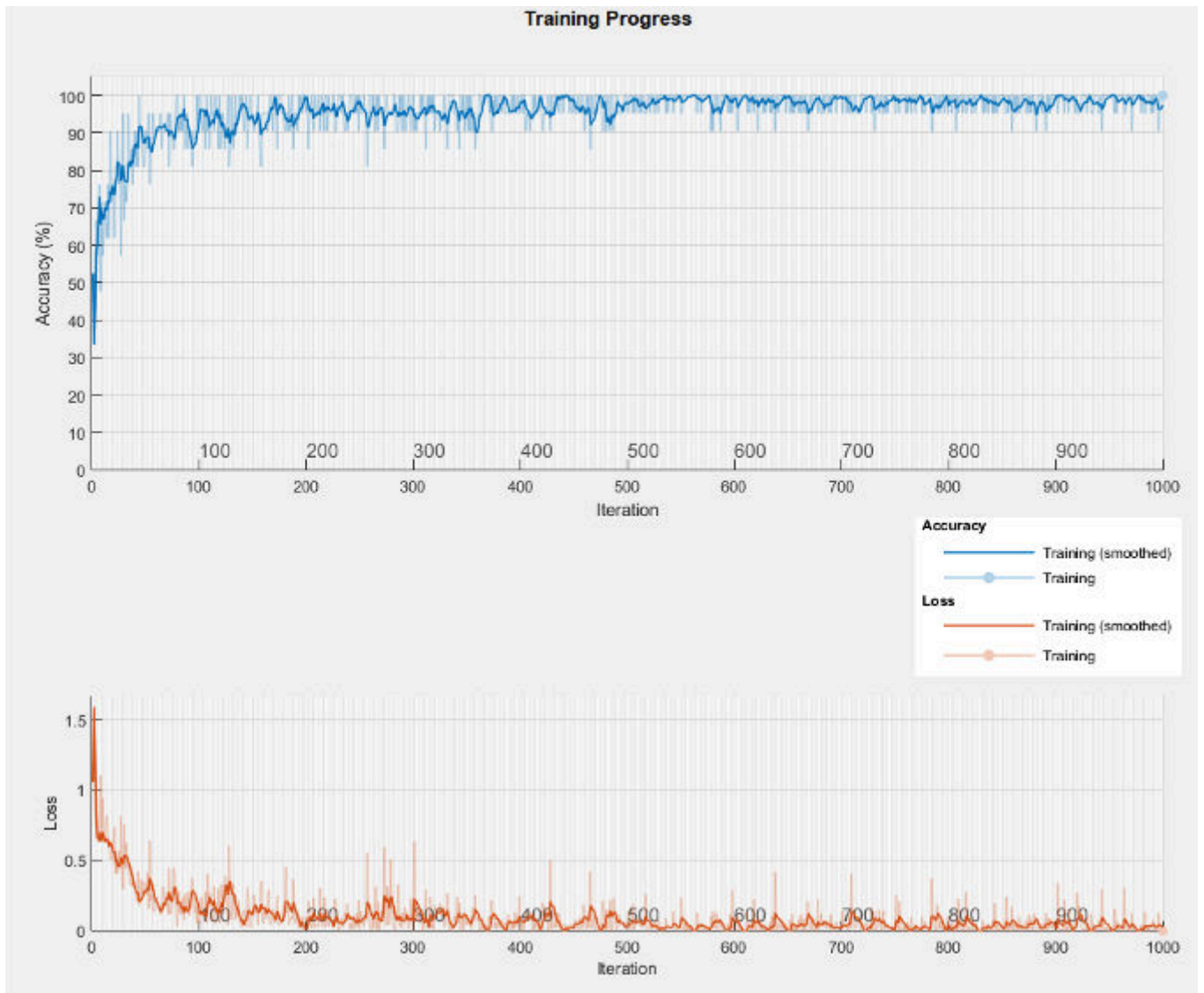


Рис. 4.15. Процес навчання нейронної мережі.

Перевірка роботи нейронної мережі проводиться на створеній базі зображень що вміщує зображення готових випечених хлібобулочних виробів з дефектом та без наступною командою:

```
>> test = imageDatastore('D:\workspace\Test', 'IncludeSubfolders', true, 'LabelSource',  
'foldernames')
```

```
test =
```

[ImageDatastore](#) with properties:

```
Files: {  
    'D:\workspace\Test\001.png';  
    'D:\workspace\Test\002.png';  
    'D:\workspace\Test\003.png'  
    ... and 11 more  
}
```

```
Labels: [Test; Test; Test ... and 11 more categorical]
```

```
AlternateFileSystemRoots: {}
```

```
ReadSize: 1
```

```
ReadFcn: @readDatastoreImage
```

База зображень з зображеннями зображення готових випечених хлібобулочних виробів з дефектом та без, що використовується для перевірки нейронної мережі приводяться на рис. 4.16.



Рис. 4.16. База зображень для перевірки нейронної мережі.

Командою `classify` проводиться перевірка нейронної мережі.

Параметри команди:

`net` – нейронна мережа, що пройшла навчання;

`test` – база зображень, що використовується для перевірки нейронної мережі.

```
>> YPred = classify(net, test)
```

```
YPred =
```

```
14×1 categorical array
```

```
bread-bad
```

```
bread-good
```

```
bread-bad
```

```
bread-good
```

```
bread-bad
```

```
bread-good
```

```
bread-bad
```

```
bread-good
```

```
bread-bad
```

```
bread-bad
```

```
bread-good
```

```
bread-bad
```

```
bread-bad
```

```
bread-bad
```

4.4. Розробка системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів

За допомогою графічного редактора інтерфейсу GUIDE в MATLAB розроблено графічний інтерфейс системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів для АРМ оператора (рис. 4.17).

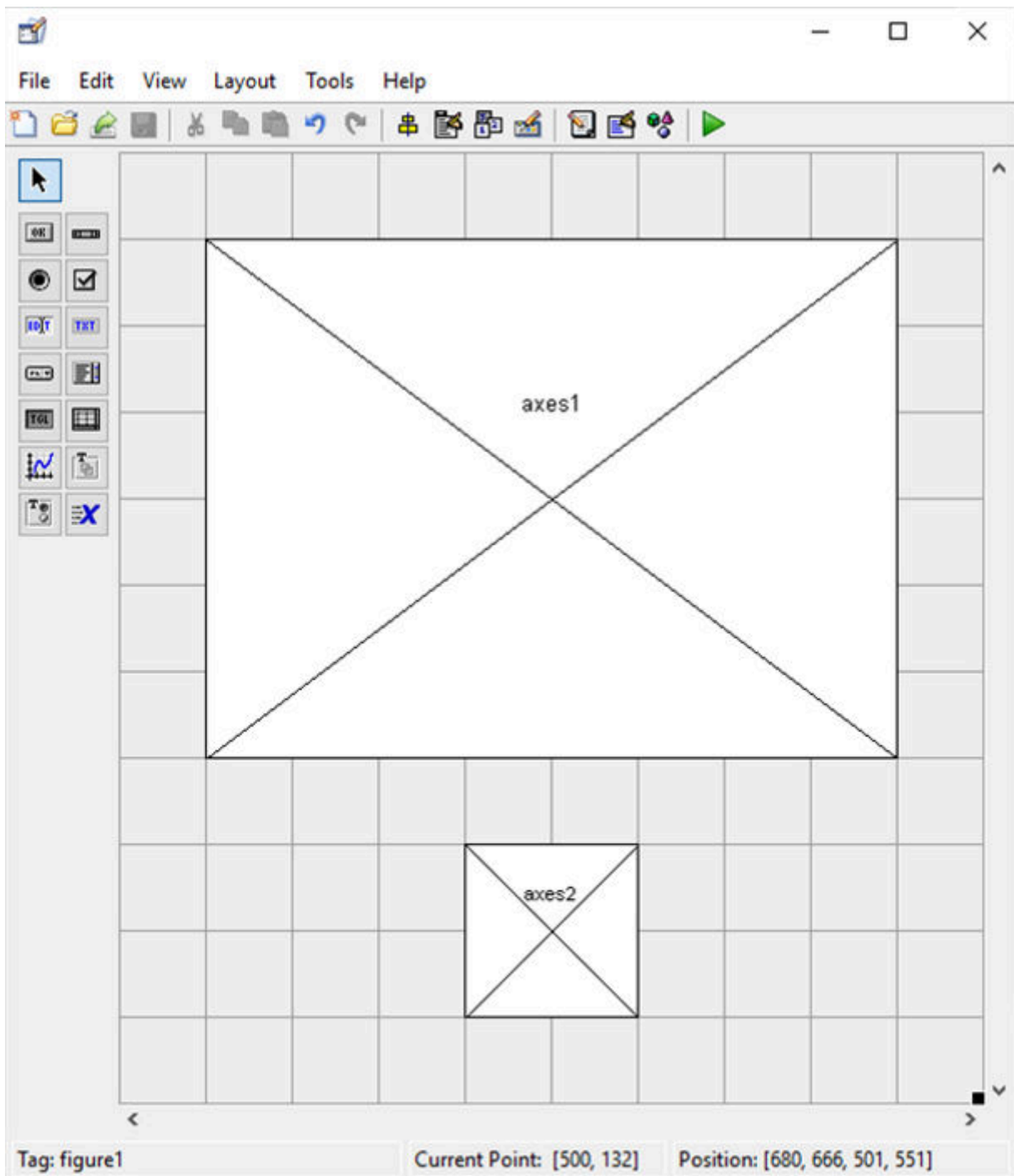


Рис. 4.17. Редактор графічного інтерфейсу GUIDE в MATLAB.

Програмний код створеного графічного інтерфейсу:

```
function varargout = bread(varargin)
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @bread_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn', @bread_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn', [], ...
                  'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before bread is made visible.
function bread_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% Choose default command line output for bread
handles.output = hObject;
```

```

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
newnet = matfile('D:\bread\net.mat');
im2 = imread('D:\bread\good.png');
im3 = imread('D:\bread\bad.png');

for i=1:1:14
    test = imageDatastore('D:\workspace\Test', 'IncludeSubfolders', true, 'LabelSource',
'foldernames');
    axes(handles.axes1);
    im1 = imread(string(test.Files(i)));
    imshow(im1);
    YPred = classify(newnet.net, test);

    if string(YPred(i)) == "bread-good"
        axes(handles.axes2);
        imshow(im2);
    elseif string(YPred(i)) == "bread-bad"
        axes(handles.axes2);
        imshow(im3);
    end
    pause(2);
end

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = bread_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

```

Робота системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів для АРМ оператора приводяться на рис. 4.18. та рис. 4.19.

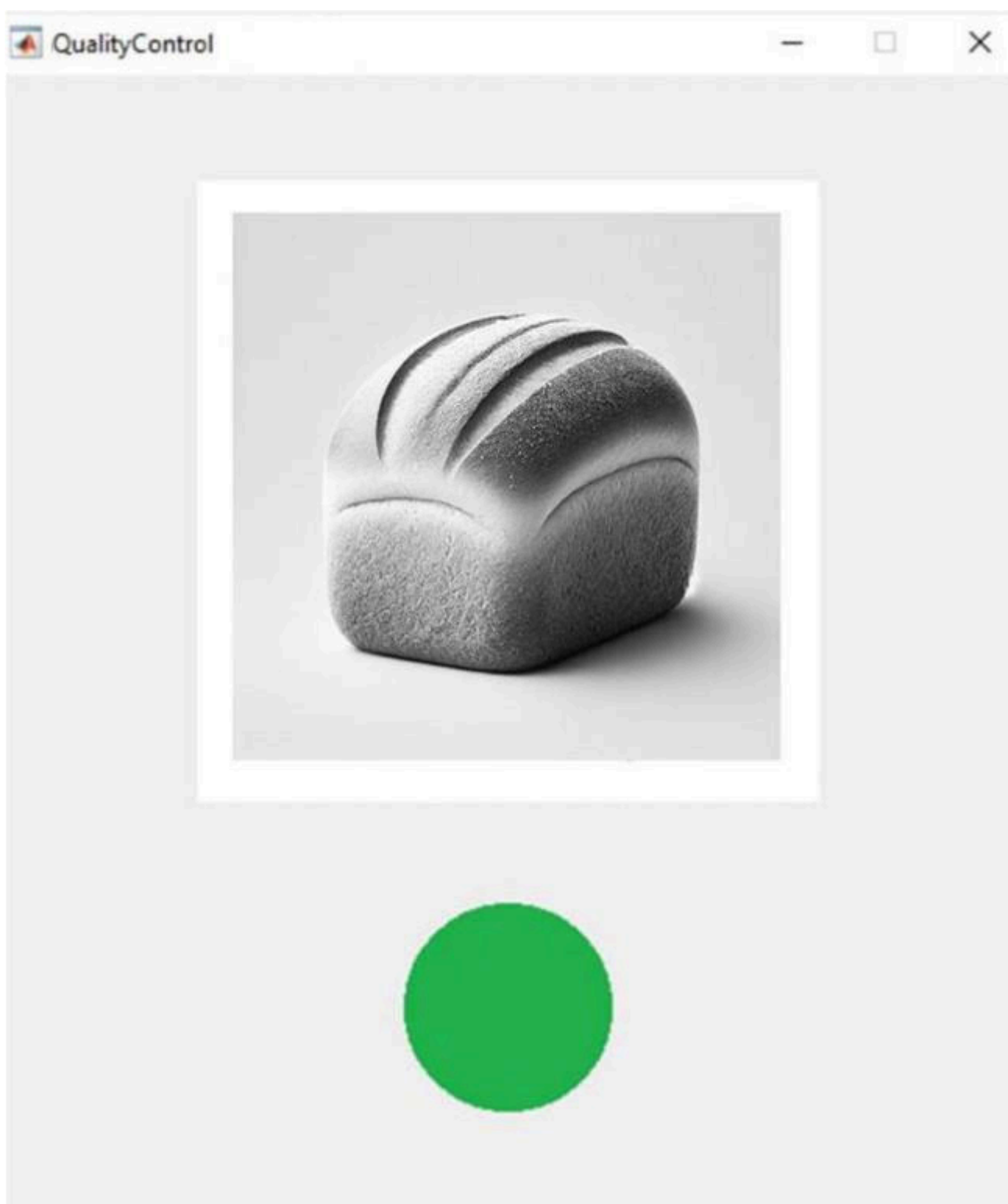


Рис. 4.18. Відсутній дефект на випеченому хлібобулочному виробі.

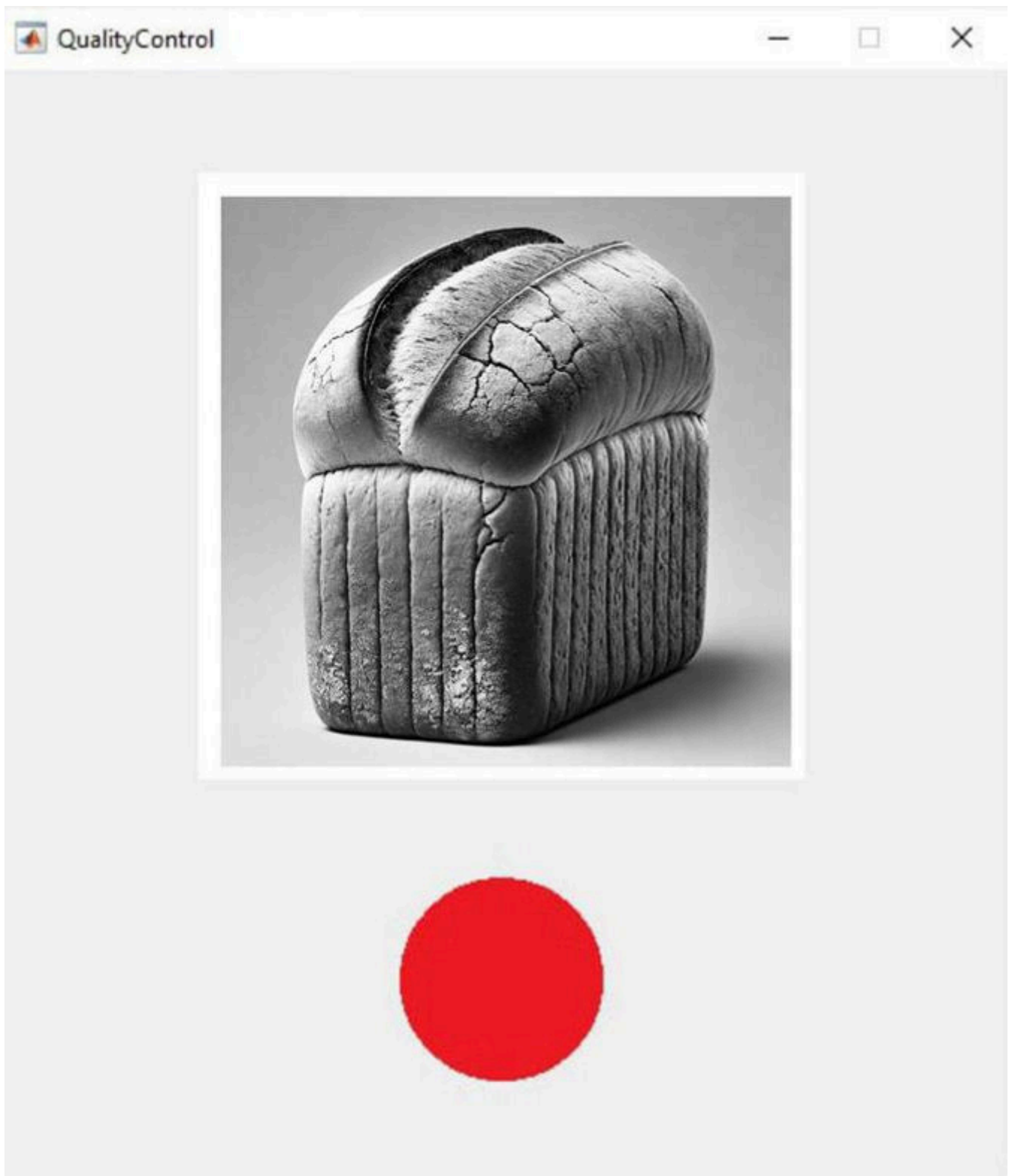


Рис. 4.19. Присутній дефект на випеченому хлібобулочному виробі.

4.5. Функціонування системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів

Технічна структура системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів приводиться на рис. 4.20.

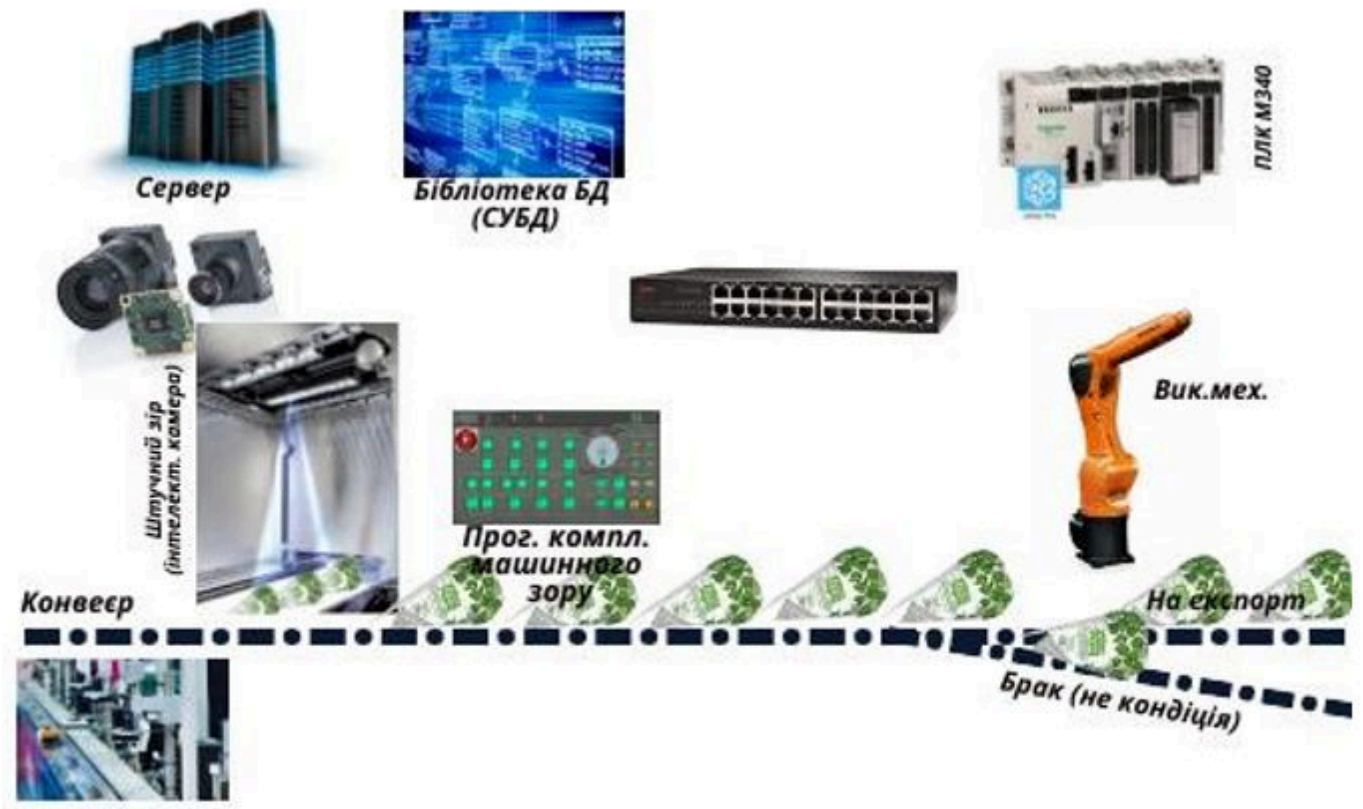


Рис. 4.20. Технічна структура системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів.

Відповідно до технічної структури система машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів працює таким чином.

Зображення готового випеченого хлібобулочного виробу на конвеєрі, що отримане камерою приходить до системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів. Нейронна мережа системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів проводить розпізнавання випеченого хлібобулочного виробу та зображує результат в графічному інтерфейсі на АРМ оператора.

Залежно від якості випеченого хлібобулочного виробу системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів подає команду до ПЛК, який проводить управління механізмом конвеєра.

Залежно від команди ПЛК конвеєр направляє якісно випечені хлібобулочні вироби на упаковку, а випечені хлібобулочні вироби з дефектом конвеєр відправляє у тимчасове накопичення продукції з дефектом.

Розроблений графічний інтерфейс оператора АРМ дозволяє контролювати роботу системи машинного зору для моніторингу якості готових випечених хлібобулочних виробів.

Висновки

В магістерській кваліфікаційній роботі розроблялася комп'ютерно-інтегрована система управління виробництвом хлібобулочних виробів в хлібопекарській печі (КІСУ ХБПЧ) на хлібозаводі для отримання готових хлібобулочних виробів високої якості.

В КІСУ ХБПЧ використані сучасні технічні засоби автоматизації для забезпечення оптимального проходження процесу випічки хлібобулочних виробів в хлібопекарській печі та зменшення витрати енергоресурсів та збільшення прибутковості процесу випічки хлібобулочних виробів.

В КІСУ ХБПЧ також розроблена система машинного зору для моніторингу якості випечених хлібобулочних виробів. Система машинного зору дозволить зменшити відправку на упаковку неякісно випечених хлібобулочних виробів, для того щоб неякісно випечені хлібобулочні вироби не потрапляли на прилавки магазинів і виключити збитки від реалізації неякісної випеченої продукції.

Список використаних джерел

1. Тупикові хлібопекарські печі. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/tupikovi-hlibopekarski-pechi.pdf>
2. Піч хлібопекарська А2-ХПК. URL: <https://www.kmbp.com.ua/produksiya/rishennia-dlia-khlibopekarskoi-promyslovosti/pechi-khlibopekarski>
3. Автоматизація хлібопекарського виробництва: інноваційне обладнання. URL: <https://harch.tech/2022/05/10/avtomatyzacija-hlibopekarskogo-vyrobnytva-innovacijne-obladnannia/>
4. AMF BAKERY SYSTEMS представляє першу у світі водневу тунельну піч без викидів. URL: <https://harch.tech/2022/12/28/amf-bakery-systems-predstavljae-vodnevy-tynelny-pich-bez-vykydiv/>
5. Inductive proximity sensors XS range. Catalogue. URL: https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=Catalogue+Inductive+proximity+sensors+XS+range.pdf&p_Doc_Ref=DIA4ED2150801EN
6. HI-FLOW CONTROL VALVES. URL: https://www.dwyer-inst.com/PDF_files/Hi_Flow.pdf
7. Перетворювач частоти Altivar 71 електроприводу від 0,75 до 630 кВт. URL: https://www.altivar.com.ua/pdf/atv_71_manual_2012_tip.pdf
8. Термометри опору JUMO. Вкручуваний термометрперетворювач опору з головкою типу В. URL: <https://www.jumo.ua/web/products/apps/productdetailpage?pdpId=902020>
9. Електропневматичний міжсистемний перетворювач РС-28G/A. URL: <https://aplisens.com.ua/product/pc-28g-a/>
10. Твердотілі реле серії SSR та TSR. URL: <http://www.fotek.com.ua/rele.html>

11. Проектування систем автоматизації галузі [Електронний ресурс]: Метод. рекомендації до викон. курс. проекту для студ. освітнього ступеня «магістр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» спеціалізації «Інтелектуальні комп'ютерні системи керування» ден. форм навч. / уклад.: Трегуб В.Г., Луцька Н.М., А.П. Ладанюк. – К.: НУХТ, 2017. – 48 с.
12. Про КРІ та ОЕЕ. Загальні розрахунки згідно ISO 22400-2. URL: <http://www.slideshare.net/pupenasan/kpi-oee>.
13. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навч. посібник / О.М. Пупена, І.В. Ельперін, Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк. – К.: Ліра-К, 2011. – 552 с.
14. Пупена О.М. [Електронний ресурс]: Автоматизовані системи управління виробництвом (MES-рівень): курс лекцій для студ. освіт. ст. "магістр" спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" спеціалізації "Інтегровані автоматизовані системи управління " денної та заочної форм навчання / О.М. Пупена, Р.М. Міркевич. – К.: НУХТ, 2016. – 135 с.
15. Трегуб В.Г. Автоматизація об'єктів періодичної дії: [підручник] / В.Г. Трегуб. – К.: Ліра-К, 2016. – 136 с.
16. A Practical Guide to SysML. The Systems Modeling Language. 2-d ed/ /Sanford Friedenthal, Alan Moore, Rick Steiner, Elsevier Inc. 2012.
17. Ельперін І.В. Промислові контролери: Навчальний посібник / І.В. Ельперін // К.: НУХТ. – 2003. – 320 с.
18. Ладанюк А.П. Автоматизація технологічних процесів та виробництв харчової промисловості: Підручник / Ладанюк А.П, Трегуб В.Г., Ельперін І.В., Цюцюра В.Д. // К.: Аграрна освіта. – 2001. – 224 с.
19. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: навч. посібник / В.Г. Трегуб. – К.: Ліра-К, 2014.

20. Ельперін І.В. Промислові контролери: Навчальний посібник / І.В. Ельперін // К.: НУХТ. – 2003. – 320 с.
21. Ладанюк А.П. Автоматизація технологічних процесів та виробництв харчової промисловості: Підручник / Ладанюк А.П, Трегуб В.Г., Ельперін І.В., Цюцюра В.Д. // К.: Аграрна освіта. – 2001. – 224 с.
22. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К. : Видавництво Ліра-К, 2015. — 378 с.
23. Ладанюк А.П. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, Архангельська К.С., Власенко Л.О.— К.: НУХТ, 2014. —274 с.
24. Трегуб В.Г. Основи комп'ютерно-інтегрованого управління: навчальний посібник / В. Г. Трегуб.– К.: НУХТ, 2006 – 139 с.
25. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій: підручник / Б.М. Гончаренко, А.П. Ладанюк. — К. : НУХТ, 2014. – 600 с.
26. Системний аналіз складних систем управління: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, Я.В. Смітюх, Л.О. Власенко, Н.А. Заєць, І.В. Ельперін. – К., НУХТ, 2013. – 276 с.
27. Ладанюк А.П. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного керування», ч.1 / А.П. Ладанюк. – К.: НУХТ, 2004. – 184 с.
28. Ладанюк А.П. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія автоматичного керування», ч.2 / А.П. Ладанюк. – К.: НУХТ, 2005. – 115 с.
29. Гончаренко Б.М. Цифрові системи керування: навчальний посібник / Б.М. Гончаренко, О.П. Лобок, А.П. Ладанюк. – Вінниця: Нова книга, 2007.–160 с.

30. Автоматизоване управління технологічними процесами. Конспект лекцій до вивчення дисципліни для студентів спеціальності 6.08040 „Інформаційні управляючі системи та технології” напряму підготовки 0804 “Комп’ютерні науки” ден. та заоч. форм навчання/ Уклад.: І.В.Ельперін, С.М.Швед – К: НУХТ, 2007. – 71 с.
31. Луцька Н.М. Оптимальні та робастні системи керування технологічними об’єктами : монографія / Н.М.Луцька, А.П.Ладанюк. – К. : Видавництво Ліра-К, 2015. – 288 с.
32. Пупена О.М. Контролери та їх програмне забезпечення. Курс лекцій для студ. напр. 6.50202 "Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології" денної та заочної форм навчання. Частина 3. / О.М. Пупена, І.В. Ельперін. – К.: НУХТ, 2011. – 48 с.
33. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: навчальний посібник / А.М. Пупена, І.В. Ельперін, Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк. – К.: Вид-во «Ліра-К», 2011. – 552 с.
34. Пупена О.М. Програмування промислових контролерів у середовищі UNITY PRO: Навч. посібник / О.М. Пупена, І.В. Ельперін. – К.: Видавництво Ліра – К, 2013. – 376 с.
35. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології: курс лекцій для студ. напряму 6.050202 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання. / О.М. Пупена. – К.: НУХТ, 2011. – 67 с.
36. Ладанюк А.П. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об’єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування) : монографія / А.П.Ладанюк, Заєць Н.А., Л.О.Власенко. – К. : Видавництво Ліра-К, 2016. – 312 с.

37. Трегуб В.Г. Автоматизація об'єктів періодичної дії: підручник / В.Г. Трегуб. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2017. – 136 с.
38. Інноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу: монографія / А.П. Ладанюк, В.М. Решетюк, В.Д. Кишенько, Я.В. Смітюх. – Київ: Центр учбової літератури, 2014. – 280 с.
39. Innovative energy-saving technologies in biotechnological objects control / A. Chochowski, I. Chernyshenko, V. Kozyrskyi, V. Kyshenko, A. Ladaniuk, V. Lysenko, V. Reshetiuk, I. Smitiukh, V. Shtepa, V. Shcherbatiuk. - K.: Tsentr Uchbovovii Literatury, 2014.- 240 p.
40. Сучасні методи автоматизації технологічних об'єктів: монографія / А.П. Ладанюк, О.А. Ладанюк, Р.О. Бойко, В.В. Іващук, Д.О. Кроніковський, Д.А. Шумигай. – К.: Інтер Логістик Україна, 2015. – 408 с.
41. Ладанюк А.П. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування): монографія / А.П. Ладанюк, Н.А. Заєць, Л.О. Власенко. - К.: Видавництво Ліра-К, 2016. – 312с.
42. Методи сучасної теорії управління: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, В.Д. Кишенько, Н.М. Луцька, В.В. Іващук.– К.: НУХТ, 2010. – 196 с.
43. Системний аналіз складних систем управління: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, Я.В. Смітюх, Л.О. Власенко, Н.А. Заєць, І.В. Ельперін. - К.: НУХТ, 2013. – 274 с.
44. Системний аналіз складних систем управління. Практикум: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, Я.В. Смітюх, Л.О. Власенко, Н.А. Заєць, І.В. Ельперін. – К.: НУХТ, 2014. – 157 с. (№37.49 - 02.07.2014)
45. Методи сучасної теорії управління: підручник / А.П. Ладанюк Н.М. Луцька, В.Д. Кишенько, Л.О. Власенко, В.В. Іващук. – К.: Видавництво Ліра-К, 2018. – 368 с.

46. Ладанюк А.П. Методологія наукових досліджень: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, Л.О. Власенко, В.Д. Кишенько. – К.: Видавництво Ліра-К, 2018. – 352 с.
47. Пупена О. М. Програмування промислових контролерів у середовищі Unity Pro: навчальний посібник / О. М. Пупена, І. В. Ельперін. — Київ : Ліра-К, 2015. — 376 с.
48. Сценарний підхід при автоматизації технологічних процесів: монографія / Я.В. Смітюх, А.П. Ладанюк, В.Д. Кишенько, Б.М. Гончаренко . – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019. – 173 с. – ISBN: 978-613-9-87035
49. Оптимізація процесів переробки сільськогосподарської сировини: монографія / В.О. Мірошник В.О., М.А. Гачковська, В.Д.Кишенько, О.В. Грабовська.– К.:ЦП “Компринт”, 2019.– 479 с.
50. Кишенько В.Д. Ідентифікація та моделювання об'єктів автоматизації: конспект лекцій для студ. спец. 6.092500 "Автоматизовані системи управління технологічними процесами", 6.092500 "Комп'ютерно-інтегровані процеси та виробництва" напряму 0925 ден. та заоч. форм навч. / В. Д. Кишенько. – К. : НУХТ, 2007. — 102 с.
51. Кишенько В.Д. Інтелектуальні системи: конспект лекцій для студ. спец. 6.092500 "Автоматизовані системи управління технологічними", 6.092500 "Комп'ютерно-інтегровані процеси та виробництва" напряму 0925 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" ден. та заоч. форм навч. / В. Д. Кишенько. – К. : НУХТ, 2008. — 133 с.
52. Кишенько В.Д. Інтелектуальні системи. Практикум [Електронний ресурс]: навчальний посібник / В. Д. Кишенько, Ю. О. Самойленко, Я. В. Смітюх. – Київ : НУХТ, 2017. — 67 с.

53. Кишенько В.Д. Моделювання систем [Електронний ресурс]: конспект лекцій для студ. освіт. ступ. "Магістр" спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" спеціал. "Автоматизація та інтелектуальні системи керування технологічними комплексами" ден. форми навч. / В. Д. Кишенько. – К. : НУХТ, 2016. — 205 с.
54. Романов М.С. Синергетичні основи сталого інноваційного розвитку харчової промисловості: концептуальний підхід, наукове видання / М.С. Романов. – К.: НУХТ, 2019. – 71 с.