

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет Автоматизації і комп'ютерних систем
Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій
систем управління

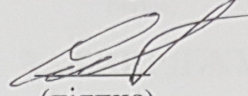
«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Декан факультету

Завідувач кафедри

_____ Форсюк А.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

 _____ Ельперін І.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«__» лютого 2021 р.

«10» лютого 2021 р.

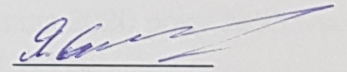
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

з спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр та назва напрямку підготовки (спеціальності))

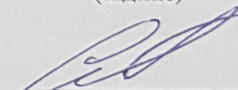
освітньо-професійної програми «Інтелектуальні комп'ютерні системи керування»

на тему: Автоматизація виробництва морозива на базі створення системи керування розпізнавання якості упаковки морозива

Виконав: здобувач 2 курсу, групи АІ-2-1М
Яровий Сергій Володимирович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

 _____
(підпис)

Керівник Смітюх Ярослав Володимирович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

 _____
(підпис)

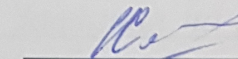
Консультанти _____
(прізвище та ініціали)

(підпис)

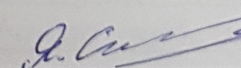
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Харкякєн О.В.
(прізвище та ініціали)

 _____
(підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень із праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Здобувач  _____
(підпис)

Київ – 2021 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Автоматизації та комп'ютерних систем
Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління
Освітній ступінь магістр
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(код і назва)
Освітньо-професійна програма Інтелектуальні комп'ютерні системи
керування
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри АКТСУ Ельмерін І.В.

“18” листопада 2021 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Ярового Сергія Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автоматизація виробництва морозива на базі створення системи керування розпізнавання якості упаковки морозива
керівник роботи к.т.н. доц. Смітюх Ярослав Володимирович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “18” листопада 2020 року №953-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 09 лютого 2021 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. Розробка системи автоматизації виробництва морозива. 2.1.1. Завдання на розробку системи автоматизації. 2.1.2. Схема автоматизації виробництва морозива. 2.1.3. Специфікація приладів та засобів автоматизації виробництва морозива. 2.1.4. Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК). 2.1.5. Загальна схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК. 2.2. Опис функцій, що інтелектуалізуються. 2.2.1. Розробка вимог до ІСК (Requirements diagram). 2.2.2. Визначення функцій користувачів (Use Case diagram). 2.2.3. Розробка блоків складових елементів системи (Block Definition Diagram). 2.2.4. Розробка алгоритмічного забезпечення ІСК.

2.2.4.1. Визначення життєвого циклу ІСК та її процесів (Activity diagram)
 2.2.4.2. Вирішення проблеми синхронізації підсистем (Sequence diagram)
 Розділ 3. Розробка інтелектуальної системи керування розпізнавання якості
 упаковки (ІСРЯУ) морозива. 3.1. Розробка бази знань упаковки морозива. 3.2.
 Розробка структури нейронної мережі. 3.3. Навчання нейронної мережі. 3.4.
 Розробка інтелектуальної системи керування розпізнавання якості упаковки
 морозива. 3.5. Функціонування інтелектуальної системи керування
 розпізнавання якості упаковки морозива.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Схема автоматизації. 2. Схеми підключення датчиків та ВМ до ПЛК.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 18 листопада 2020 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
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 схеми автоматизації та вибір технічних засобів автоматизації	3 тиждень	
4	Розділ 2. Схеми підключення датчиків та ВМ до ПЛК.	5 тиждень	
5	Розділ 2. Розробка діаграм на мові SysML функцій, що інтелектуалізуються	7 тиждень	
6	Розділ 3. Розробка інтелектуальної системи керування розпізнавання якості упаковки (ІСРЯУ) морозива.	11 тиждень	

Здобувач Я. С. В.
(підпис)

Керівник роботи С. В. В.
(підпис)

Яровий С.В.

Смітюх Я.В.

Анотація

В першому розділі кваліфікаційної роботи магістра представлено огляд технології виробництва морозива та аналіз існуючих автоматизованих систем керування процесом виробництва морозива.

В другому розділі кваліфікаційної роботи магістра представлено завдання на розробку системи автоматизації, також наведено опис схеми автоматизації та специфікація приладів та засобів автоматизації, описано компонування модулів ПЛК та представлено опис функцій, що інтелектуалізуються за допомогою діаграм на мові SysML.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи магістра розглядається розробка та функціонування інтелектуальної системи керування розпізнавання якості упаковки морозива. Описано: розробку бази знань упаковки морозива; розробку структури нейронної мережі; процес навчання нейронної мережі.

Ключові слова: морозиво, автоматизація, SysML, Deep Network Designer, MATLAB GUIDE, нейронна мережа.

Annotation

In the first section of the master's qualification work presents the overview of ice cream production technology and analysis of existing automated control systems for the ice cream production process.

In the second section of the master's qualification work presents tasks for the development of automation system, also describes the automation scheme and specification of automation devices and means, describes the layout of PLC modules and describes the functions that are intellectualized using diagrams in SysML.

In the third section of the master's qualification work considers the development and operation of an intelligent control system for recognizing the quality of ice cream packaging. Described: development of knowledge base for ice cream packaging; development of the neural network structure; neural network learning process.

Keywords: ice cream, automation, SysML, Deep Network Designer, MATLAB GUIDE, neural network.

Зміст

Вступ	8
Розділ 1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації та існуючих АСК	10
1.1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації.....	10
1.2. Аналіз існуючих АСК технологічним об'єктом.....	14
1.3. Постановка задачі кваліфікаційної роботи магістра.....	35
Розділ 2. Загальносистемні рішення	37
2.1. Розробка системи автоматизації виробництва морозива.....	37
2.1.1. Завдання на розробку системи автоматизації.....	37
2.1.2. Схема автоматизації виробництва морозива.....	38
2.1.3. Специфікація приладів та засобів автоматизації виробництва морозива.....	39
2.1.4. Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК).....	42
2.1.5. Загальна схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК.....	46
2.2. Опис функцій, що інтелектуалізуються.....	47
2.2.1. Розробка вимог до ІСК (Requirements diagram).....	47
2.2.2. Визначення функцій користувачів (Use Case diagram).....	49
2.2.3. Розробка блоків складових елементів системи (Block Definition Diagram).....	51
2.2.4. Розробка алгоритмічного забезпечення ІСК.....	53
2.2.4.1. Визначення життєвого циклу ІСК та її процесів (Activity diagram).....	53
2.2.4.2. Вирішення проблеми синхронізації підсистем (Sequence diagram).....	55
Розділ 3. Розробка інтелектуальної системи керування розпізнавання якості упаковки (ІСРЯУ) морозива	57
3.1. Розробка бази знань упаковки морозива.....	57
3.2. Розробка структури нейронної мережі.....	61
3.3. Навчання нейронної мережі.....	69
3.4. Розробка інтелектуальної системи керування розпізнавання якості упаковки морозива.....	76
3.5. Функціонування інтелектуальної системи керування розпізнавання якості	

упаковки морозива.....	81
Висновки.....	83
Список використаних джерел.....	84

Вступ

Контроль якості упаковки морозива в процесі виробництва відіграє важливу роль в подальшому для реалізації готової продукції в торгівельних мережах магазинів, оскільки упаковка значно впливає на сприйняття споживачами якості продукції і її вартості.

Завдання контролю якості упаковки морозива вирішує система керування розпізнавання якості упаковки морозива. Дана система в залежності від виду упаковки морозива повинна вирішувати наступні задачі:

- виявлення рваних або відсутніх етикеток;
- виявлення пошкоджень або вм'ятини на коробках;
- перевірка якості друку етикеток;
- перевірка наявності коду дати;
- контроль відповідності продукту його етикетці;
- контроль наявності захисної плівки.

Одним із способів реалізації системи керування розпізнавання якості упаковки морозива є застосування технології машинного зору.

Реалізація системи керування розпізнавання якості упаковки морозива дозволить виявляти неякісно упаковану продукцію та вилучати її до того, як вона потрапить на прилавки торгівельних мереж магазинів, тим самим зменшивши збитки підприємства на реалізацію продукції.

Об'єктом дослідження є технологічний процес виробництва морозива.

Предметом дослідження є аналіз ділянки виробництва та упаковки морозива з метою забезпечення отримання якісно упакованого морозива.

Мета дослідження полягає у розробці системи автоматизації процесу виробництва морозива з використанням сучасних засобів автоматизації та розробки інтелектуальної системи керування розпізнавання якості упаковки морозива.

Методологія досліджень полягає у розробці інтелектуальної системи керування розпізнавання якості упаковки морозива з використанням технологій

машинного зору на основі нейронної мережі.

Наукова новизна полягає у розробці системи автоматизації процесу виробництва морозива з інтелектуальною системою керування розпізнавання якості упаковки морозива та опис процесу розробки інтелектуальної системи керування розпізнавання якості упаковки морозива за допомогою діаграм на мові SysML.

Актуальність дослідження. Розробка системи автоматизації процесу виробництва морозива з інтелектуальною системою керування розпізнавання якості упаковки морозива для виявлення неякісно упакованої продукції є актуальною задачею.

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

1.1. Аналіз технологічного об'єкту автоматизації

Виробництво морозива включає наступні операції: в залежності від наявної сировини вибирають рецептури або розраховують масу компонентів з урахуванням хімічного складу сировини і готового продукту, перевіряють якість сировини, складають суміш для морозива, пастеризують, фільтрують, гомогенізують, охолоджують і проводять дозрівання суміші, заморожують, фасують і загартовують морозиво.

Суміш готують в ємнісних пастеризаторах з мішалкою. Попередньо компоненти підготовляють і відважують. В першу чергу завантажують рідкі компоненти – воду, молоко, вершки, підігрівають їх до температури 35-45 °С, що забезпечує найбільш повне і швидке розчинення. Цукровий пісок вносять в сухому вигляді після просіювання або у вигляді сиропу. Сухі молочні продукти змішують з цукровим піском в співвідношенні 1:2 і розчиняють в невеликій кількості молока до отримання однорідної маси. Згущені молочні продукти вносять в ємнісні пастеризатори безпосередньо.

Обробка суміші. Обробка включає *фільтрацію, пастеризацію і гомогенізацію.*

Фільтрацією видаляються механічні домішки і частки компонентів, що не розчинилися. Щоб попередити вторинне бактеріальне обсіменіння, *фільтрацію* краще проводити до *пастеризації*. Зазвичай використовують пастеризаційно-охолоджувальні установки, в яких входять також фільтр і гомогенізатор.

Обробка суміші проходить в тонкому шарі і в безперервному потоці, без доступу повітря, чим забезпечується висока ефективність *пастеризації*, збереження ароматичних речовин, а також вітамінів. *Пастеризація* проводиться при температурі 85 °С з витримкою 50-60 с.

Суміші на молочній основі необхідно обов'язково *гомогенізувати*, особливо якщо в якості додаткового джерела жиру застосовують вершкове масло. Завдяки *гомогенізації* жирові кульки дробляться і рівномірно розподіляються в суміші. Крім того, дрібні жирові кульки швидше сприймають температури охолодження і загартовування. *Гомогенізацію* необхідно проводити при температурах, близьких до температури пастеризації, але не нижче 63 °С.

Охолодження і дозрівання суміші. Гомогенізовану суміш необхідно швидко охолодити до температури 0-6 °С та направити в ємнісний апарат з мішалкою для дозрівання і зберігання суміші.

При використанні в якості стабілізатора желатину і деяких інших речовин необхідно фізичне дозрівання суміші. Воно проводиться при тій же температурі протягом від 4 до 24 годин, при цьому відбувається гідратація білків молока і стабілізатора, подальша адсорбція різних речовин, що містяться в суміші, на поверхні жирових кульок; затвердіння гліцеридів молочного жиру у вигляді змішаних кристалів в обсязі жирових глобул.

Завдяки отверділого жиру дозріла суміш добре поглинає і утримує бульбашки повітря при заморожуванні суміші і загартовування морозива. Готовий продукт, виготовлений з дозрілої суміші, має високу збитість і ніжну структуру.

Фрізерування суміші. Під час процесу фрізерування суміш насичується повітрям при одночасному частковому заморожуванні. В результаті утворюється нова фаза, розділена прошарками рідкої фази. Від правильності проведення цього процесу залежать структура і консистенція готового продукту.

При заморожуванні відбувається фазове перетворення води, при фрізеруванні сумішей морозива на молочній основі замерзає від 45 до 67 %, а плодово-ягідних – тільки 25 % від загальної частки вологи. Чим більше води заморозити, тим менше часу буде потрібно на загартування і тим краще буде якість морозива. Температура початку заморожування суміші коливається в межах від -2,2 до -3,5 °С в залежності від виду суміші.

У морозиві після фрізеруванні велика частина жиру переходить в твердий стан, рідкого жиру залишається 11-12 %. Температура морозива в кінці фрізеруванні становить від -4,5 до -6 °С.

Для заморожування суміші використовують фрізери періодичної дії (ФПД) з охолодженням за допомогою розсолу або безпосереднім випаровуванням холодильного агента, а також фрізери безперервної дії (ФБД) з безпосереднім охолодженням.

Фасування і загартовування морозива. Морозиво з фрізера швидко фасують і негайно направляють на загартовування, так як при затримці частина закристалізованої води зможе розтанути, це в подальшому може призвести до утворення великих кристалів льоду.

У процесі загартовування температура знижується до -15...-18 °С. Гліцериди молочного жиру майже повністю переходять в твердий стан, рідкого жиру залишається всього лише частки відсотка.

Тривалість загартовування залежить від складу морозива, температури навколишнього середовища, яке застосовується (морозильні апарати, розсолу генератор, холодильні камери та ін.), Виду упаковки та ін.

Зазвичай процес фасування і загартовування морозива повністю механізований: застосовуються потокові лінії, що складаються з ФБД, дозатора-автомата і морозильного апарату, сполучених системою транспортерів.

Завдяки інтенсивному перемішуванню охолодженого до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ повітря в морозильному апараті загартовування триває 35-45 хв. Морозиво, що виходить має температуру $-12\text{...}-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таке швидке загартовування сприяє утворенню дрібних кристаликів льоду з ніжною структурою морозива.

Зберігання морозива. Загартоване морозиво упаковують в картонні коробки та направляють в камери зберігання з температурою $-18\text{...}-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ і відотною вологістю повітря 85-90 %.

В залежності від виду упаковане морозиво може зберігатися до 2 місяців. Під час випуску з підприємства морозива його температура молочних видів не повинна перевищувати $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура фруктов-ягідного і ароматичного морозива – не повинна перевищувати $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ [19].

1.2. Аналіз існуючих АСК технологічним об'єктом.

Машинний зір в харчовій промисловості

За останнє десятиліття технології машинного зору, що застосовуються для промислової автоматизації, зробили великий якісний крок вперед. Технічний машинний зір став стабільніше і надійніше, простіше у використанні і дешевше. В результаті системи машинного зору вже можна зустріти на відносно невеликих виробництвах, в тому числі і в харчовій галузі. Ці системи допомагають підвищувати якість продукції, мінімізувати вплив людського фактору, автоматизувати виконувани вручну операції, відстежувати переміщення продукції та багато іншого.

Разом з тим такі системи дотепер рідкість: вони поки зустрічаються, в основному, на підприємствах з іноземними країнами або з'являються на виробництвах в складі закордонного обладнання.

Довгі роки будь-яка система технічного зору традиційно представляла собою комплекс з відеокамери, комп'ютера і програмного забезпечення (ПО). Основними недоліками таких систем є складність, тривалість і дорожнеча розробки (навіть незважаючи на існування готових програмних бібліотек функцій обробки і аналізу зображень).

Для ряду програм і сьогодні така конфігурація обладнання залишається єдиною можливою. Але більшість найбільш типових задач вже можна вирішити з використанням компактного пристрою в єдиному корпусі – смарт-камери, яка позбавлена зазначених недоліків.

Приклад смарт-камери представлений на рис. 1.1.



Рис. 1.1. Смарт-камера.

Смарт-камера – це відеокамера, яка вже містить в собі комп'ютер, засоби комунікації зі стороннім обладнанням і підсвічування (у деяких моделях). Компактність і вбудовані програмно-апаратні засоби комунікації з контролерами, роботами, сторонніми програмними системами забезпечують дуже просту, швидку і, як результат, недорогу інтеграцію камери в виробничий процес.

ПО Cognex, що включає в себе середовище для програмування смарт-камер і бібліотеку алгоритмів машинного зору, дозволяє програмувати камери, не маючи якихось спеціальних знань або досвіду програмування. Як наслідок, процес розробки програми для камери в більшості випадків займає, в порівнянні з класичним «комп'ютерним» підходом, на порядок менше часу.

Кількість функцій обробки і аналізу зображень в бібліотеці Cognex обчислюється сотнями. Це функції локалізації (виявлення) об'єкта, вимірювання розмірів, порівняння з шаблоном, пошуку дефектів, зчитування текстової маркування, зчитування штрих-кодів і двовимірних матричних кодів та ін. Багато з функцій, незважаючи на простоту використання, засновані на складній математиці.

Існує думка, що при зміні умов освітлення системи технічного зору починають працювати нестабільно і їх потрібно перенастроювати.

У зв'язку з цим слід зазначити функцію PatMax, засновану на високоточному, стабільному алгоритмі для виявлення нефіксованих об'єктів, запатентованому Cognex в 1997 р. PatMax оперує векторним описом зображень. Це дозволяє виявляти об'єкти навіть незважаючи на зміни освітленості і масштабу, а також в інших складних випадках (рис. 1.2).

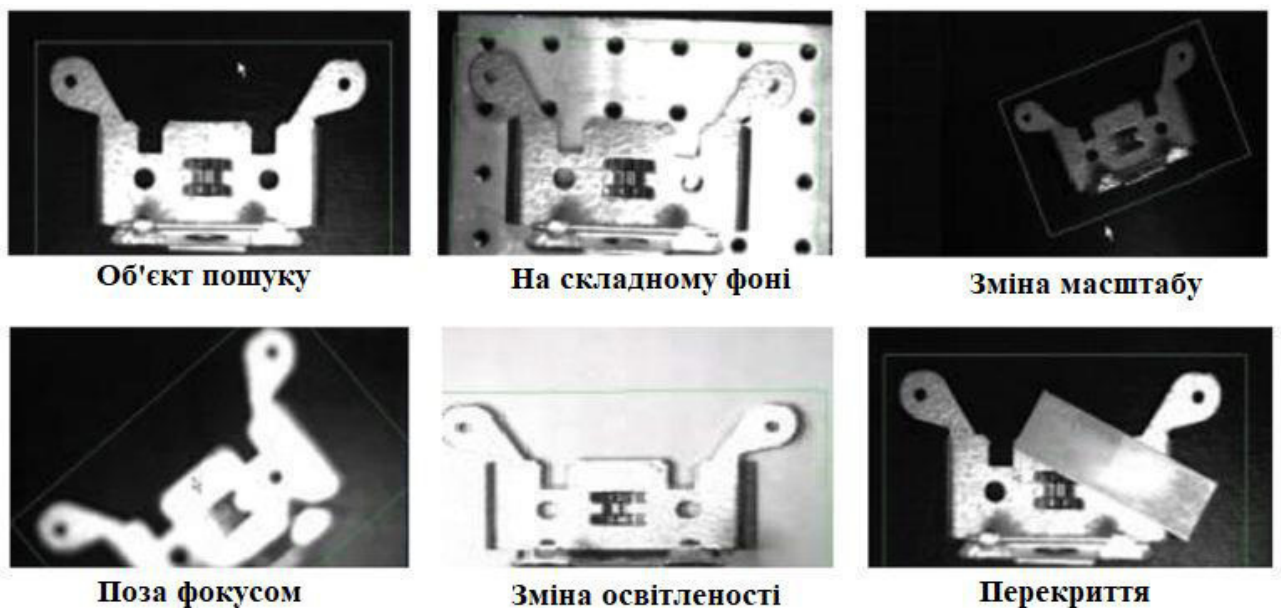


Рис. 1.2. Виявлення об'єкту пошуку.

Окремий набір функцій відповідає за комунікацію камери з іншими пристроями. Смарт-камери Cognex підключаються в мережу Ethernet і підтримують всі поширені протоколи: Profinet, Profibus, Modbus, OPC, TCP,

UDP, FTP, DeviceNet, протоколи роботів і багато інших. Для управління будь-якими виконавчими механізмами на лінії, наприклад для відбраковування, можна використовувати дискретні виходи камери.

Кількість виробничих завдань, для вирішення яких можуть застосовуватися смарт-камери, дуже велике, так як будь-яке виробництво в тій чи іншій мірі унікально і багато завдань теж унікальні. Але разом з тим є ряд досить типових програм, таких як зчитування текстової маркування та кодів, контроль форми продукту, перевірка комплектності, контроль якості упаковки, управління роботами. Технічна реалізація таких проектів має свої особливості, які обов'язково слід враховувати ще на етапі первинної опрацювання ідеї.

Завдання зчитування маркування, незважаючи на уявну простоту, має кілька нюансів. По-перше, слід брати до уваги фон, на якому надрукований текст. Якщо фон може змінюватися, то зчитування маркування стає складним. По-друге, для коректного зчитування маркування якість друку має бути стабільною, якщо, звичайно, перед системою технічного зору не стоїть завдання якраз виявлення неякісного друку. По-третє, бажано, щоб символи були завжди одноманітно розташовані і не зливалися один з одним (рис. 1.3). Інакше це вносить додаткові складності, іноді переборні, іноді – ні. В інших же випадках зчитування маркування являє собою досить просту задачу як для самої смарт-камери, так і для фахівця, який її програмує.



Рис.1.4. Контроль форми випічки.

Контроль форми на площині більш простий, і головне питання, яке зазвичай стоїть перед розробниками в цьому випадку, – як створити такі умови, щоб об'єкт контролю добре контрастував з фоном. Зазвичай це досягається за допомогою спеціалізованої підсвічування, світлофільтрів та інших заходів.

У деяких випадках потрібно контролювати тривимірну форму продукту. В цьому випадку використовуються лазерні триангуляційні камери, які використовують лазерне лінійне підсвічування і, виходячи з форми смужки світла від лазерного променя поперек рухомого продукту і швидкості руху продукту, визначають його форму. Розгляд технології триангуляційних камер, їх можливостей і обмежень – це окрема цікава тема.

Слід лише зазначити, що найкращим чином дана технологія виявляє

себе для завдань контролю наявності/відсутності, контролю порцій, контролю положення ковпачка і т.д. Уникати ж слід завдань, пов'язаних з контролем прозорих і дзеркальних об'єктів, а також завдань, де неможливо лінійне переміщення продукту щодо камери (або навпаки).

Наступна досить поширене завдання – інспекція упаковки. Процес упаковки продукції пов'язаний з операціями, що механічно маніпулюють папером, а також картоном разом з фольгою та пластиком. Практично неминуче такі виробничі процеси іноді дають збої, результатом чого є отримання неякісної упаковки. В умовах зростаючої конкуренції будь який отриманий недолік зовнішнього вигляду упаковки є критичним для виробника. Тому на етапі процесу контролю упаковки системи технічного машинного зору використовуються все частіше (рис. 1.5).



Рис.1.5. Контроль упаковки вафель.

Системи технічного машинного зору мають здатність перевіряти наявність фізичних пошкоджень на упаковці, серед яких можуть бути зморшки, а також застрягання та розриви, ще є можливість виявляти дефекти наклеювання етикеток на продукт (а саме місце розташування етикетки і як рівно етикетка розташована), також наявність та стан будь-яких елементів упаковки (наприклад, наявність кришки на пляшці, рис. 1.6), та некомплектність продукту (рис. 1.7) і інші дефекти.



Рис. 1.6. Контроль наявності та положення пробки на плящі.



Рис. 1.7. Контроль комплектності продукції швидкого харчування.

На харчових виробництвах за кордоном досить поширене застосування

роботів. В Україні ця тенденція тільки набирає обертів. В українській практиці досить часта картина, коли підприємство набуває дуже високопродуктивні сучасні лінії, але на проміжних виробничих етапах, як і раніше застосовується ручна праця, що зводить нанівець всі швидкісні переваги обладнання. У таких ситуаціях застосування роботів спільно з системами технічного машинного зору може допомогти істотно підвищити ефективність виробництва.

Говорячи про можливості машинного зору вирішувати завдання із застосуванням роботів, слід враховувати, що сучасний рівень розвитку машинного зору дозволяє ефективно вирішувати завдання в 2D і поки ще сильно обмежений в здатності вирішувати завдання в 3D.

Наприклад, технології машинного зору легко дозволяють вирішувати завдання по переміщенню і упаковці об'єктів простої форми, наприклад таких, як ковбаса (рис. 1.8) або котлети. Такі вироби можуть мати довільне положення на конвеєрі, система в будь-якому випадку бачить їх одноманітно.



Рис. 1.8. Роботизована упаковка ковбасних виробів.

Маніпулювання ж об'єктами з більш складною тривимірною формою являє собою на порядок складніше завдання, і на сучасному етапі розвитку

технологій це не завжди можливо.

Наприклад, від системи потрібно наводити робота захоплювати тушки курчат. Якщо курчата розташовані на конвеєрі НЕ впорядковано, то для системи вони все виглядають по-різному, тому локалізація (виявлення) об'єкта ускладнена.

Система «пам'ятає» вид курчати в певному ракурсі. Тут можна провести аналогію з людиною. Якщо вам показати чийось фотографію в профіль, то зовсім не обов'язково, що ви дізнаєтеся цієї людини в фас.

Наступна вельми поширена категорія завдань для систем технічного машинного зору – це зчитування всіляких кодів. Cognex виділяє окрему лінійку смарт-камер DataMan, функціонал яких обмежений зчитуванням кодів.

Системи технічного машинного зору пішли далеко вперед від звичних лазерних сканерів (таких, які встановлені на касі будь-якого супермаркету).

Будь сканер Cognex DataMan – це смарт-камера. На відміну від лазерних сканерів, камера аналізує не світло відбитого лазера, а безпосередньо відеозображення коду. Це дає масу переваг: більш високу продуктивність і довговічність (немає обертового дзеркала), можливість читання довільно орієнтованих кодів, можливість читання двовимірних матричних кодів (2D-кодів), а також кількох кодів одночасно, можливість збереження картинки коду (наприклад, код нечитаний, і потрібно зрозуміти чому), можливість читання пошкоджених і неякісно надрукованих кодів, візуалізацію і багато іншого.

Моделі сканерів відрізняються продуктивністю, здатністю зчитувати певні види кодів, дозволом матриці і іншими параметрами. Вартість всередині модельного ряду може варіюватися на порядок, тому підбір сканера краще надати фахівцям. Спеціаліст оперує такими параметрами, як розмір зони контролю, мінімальний розмір коду, мінімальний розмір модуля коду (ширина

смужки штрих-коду або розмір одного елемента 2D-коду), дозвіл і продуктивність камери, визначає необхідність у додатковій посиленій підсвічуванні (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Зчитування кодів на акцизної марки.

Як загальне спостереження слід зауважити, що на відміну від західних покупців український споживач при купівлі обладнання поки дуже рідко мислить категоріями «вартість володіння» і «вартість роботи», в основному лише орієнтуючись на вартість обладнання.

На прикладі сканерів кодів це наочно видно: вартість роботи по ідентифікації продукції складається з вартості сканера, трудовитрат на його обслуговування і вартості ручних операцій в тих випадках, коли сканер не зміг

прочитати код. Кожен непрочитаний код призводить до необхідності повернути оператора і вручну зареєструвати продукт та до затримок на виробничій лінії, в результаті чого виробник непомітно втрачає гроші [20].

Промислові системи технічного зору In-Sight Cognex

Повністю автономні промислові системи технічного зору In-Sight Cognex включають в себе інструменти високошвидкісного захоплення і обробки зображень. Асортимент моделей серії In-Sight, в тому числі камер лінійного сканування і розпізнавання, має широкий ціновий діапазон і різні експлуатаційні характеристики, дозволяючи:

- сортувати продукти харчування за кольором або формі, орієнтувати на розлив або упаковку;

- виявляти дефекти, перевіряти правильність складання, визначати рівень заповнення і давати вказівки роботу на перевантаження або паллетизацію товару;
- визначати неправильно орієнтовані пляшки і подавати сигнал приводного механізму на розворот пляшки в правильне положення;
- контролювати наявність кришок і збереження пломб на пляшках;
- виявляти вставлені або прикріплені до упаковки листки-вкладиші;
- помічати відсутність або пошкодження продукту;
- перевіряти наявність бракованого продукту в пляшках або іншій упаковці;
- контролювати стан етикетки.

Камери In-Sight також оснащені великою бібліотекою засобів машинного зору Cognex, доступних за допомогою простого в експлуатації ПО In-Sight Explorer.

Це засоби зіставлення образів (PatMax Redline, PatMax і PatFind), фільтрації (чорно-білі та кольорові зображення), роботи з кольором (ідентифікація кольору, виявлення кольору, колірна гістограма), перевірки на дефекти (дефекти поверхні і гнучких кабелів, перевірка контурів) і ідентифікації (штрих і 2D коди, OCR).

Інструменти часто оновлюються: наприклад, нове покоління PatMax Redline серії In-Sight 8000 забезпечує високошвидкісне зіставлення образів, яке в 4-7 разів швидше, ніж у PatMax. При цьому на точності і надійності пошуку це не позначається. Використання систем машинного зору і промислової ідентифікації Cognex In-Sight в тому числі дозволяє поліпшити якість випуску готових страв і істотно знизити витрати на їх виробництво.



Рис. 1.10. Контроль процесса производства пиццы интеллектуальной камерой Cognex In-Sight.

На рис 1.10 показані етапи автоматичного виробництва і упаковки готових страв, які контролює інтелектуальна камера Cognex In-Sight. Як приклад розглянемо процес виробництва піци. Компаніям-виробникам з обсягом випуску понад 100 тис. піц щодня необхідно забезпечити контроль якості продукції, що випускається. Ручна інспекція при таких великих обсягах в умовах виробничого процесу цього зробити не може.

Система Cognex In-Sight в поєднанні з ПО Cognex VisionPro інспектує стан піци на конвеєрі, перевіряючи зовнішній вигляд, розмір і форму продукту – навіть шар сиру на поверхні готового продукту. Будь-яка піца, яка не відповідає стандарту, відбраковують. На етапі упаковки процес ускладнюється, якщо різні види піц рухаються по конвеєрній стрічці в довільному порядку.

Система машинного зору Cognex In-Sight ідентифікує піци різних типів у міру їх проходження по конвеєрній стрічці і передає роботу інформацію про становище кожної піци. Подібна система здатна упаковувати 60-80 піц в хвилину, що не деформуючи їх і не гублячи начинку.

Інтелектуальні камери In-Sight також можна застосовувати при виробництві напоїв (рис. 1.11).



Рис. 1.11. Контроль процесу виробництва напоїв інтелектуальною камерою Cognex In-Sight.

Для установки в важкодоступних місцях потрібні дуже компактні камери - як, наприклад, In-Sight Micro 8000 (рис. 1.12). Камери цієї серії вміщують в себе автономну систему машинного зору в корпусі з розмірами стандартної камери (31x31x64 мм) і здатні працювати на високій швидкості.

Кожна система має форм-фактор традиційної «неінтелектуальної» камери GigE Vision. Всі моделі серії In-Sight 8000 оснащені функцією живлення через Ethernet (POE – power over Ethernet).



Рис. 1.12. Камера In-Sight Micro 8000.

Повна лінійка компактних автономних систем машинного зору серії In-Sight 8000 представлена системами з дозволами VGA, 1, 2 і 5 Мпкс. Завдяки підтримці Gigabit Ethernet, що забезпечує високошвидкісну передачу даних, вони відрізняються швидким захопленням зображень і двома рівнями продуктивності. Моделі In-Sight Micro можна кріпити під кутами до 45 ° за допомогою нелінійної калібрування, тому вони підходять для установки в труднодоступних місцях, на роботах, обладнанні або будь-якій ділянці виробничої лінії.

Наприклад, заводам по упаковці в пакетики продуктів швидкого харчування відома проблема контролю склейки пакетів з готовою продукцією на фінальній стадії виробничого процесу. Для безперебійної роботи з нульовим рівнем браку необхідний автоматизований контроль, який гарантує повну відсутність дефектів.

Комплексно вирішувати дану прикладну задачу може установка системи машинного зору In-Sight Micro з технологією розпізнавання образів PatMax, ПО In-Sight Explorer і використання панелі візуалізації Cognex VisionView 700. У чорно-білому режимі роботи камери контраст зварних з'єднань відображається як різниця темних і світлих областей. Це дозволяє виявити нахлести матеріалів або дефектні шви і зняти продукт з виробництва.

Інший важливий параметр якості – кут, утворений звареним швом і зовнішнім краєм пакета. Використовуючи технології розпізнавання образів PatMax, In-Sight Micro обробляє значення, отримані при випробуваннях, перевіряє їх по відношенню до значень допуску за допомогою внутрішнього процесора, і, якщо має місце завищення або заниження значення, на ПЛК надсилається сигнал про розбіжності з допустимими значеннями і продукт

видаляється з процесу. Також, обрізаючи зображення до областей, що відносяться до перевірки якості при налаштуванні, система дає можливість підвищити норму оцінки кадрів в хвилину.

Системи автоідентифікації дозволяють захистити товари від підробки і розкрадання, а також спростити і автоматизувати логістику. Один з найбільш зручних на сьогодні методів автоідентифікації продуктів харчування – їх маркування з нанесенням певних графічних кодів, зчитування яких забезпечують спеціальні прилади – сканери кодів.

Розглянемо як приклад серію камер Cognex DataMan 262X (рис. 1.13).

Ці стаціонарні зчитувачі ідентифікаційних кодів на основі аналізу зображень відрізняються високою продуктивністю, гнучкістю і простотою використання при зчитуванні одновимірних лінійних штрих-кодів, двовірних матричних кодів, а також кодів прямої маркування деталей (DPM).

Параметри Cognex DataMan 262:

- протоколи передачі даних – Ethernet, Profinet, Modbus TCP, RS232;
- зчитування кодів з поганим контрастом і малим дозволом друку;
- контроль якості маркування на виробництві;
- продуктивність – до 70 тис. пляшок за год.;
- зчитування в динаміці при будь-якому освітленні;
- середній час зчитування - 35 мс.



Рис. 1.13. Стационарний зчитувач DataMan 262X.

Комплект зчитувача DataMan 262X включає в себе зчитувач DMR-262X (зчитування на дистанції до 400 мм), «рідкий» об'єктив (6,2 мм з автофокусом) і вбудовану підсвітку червоного кольору. Даний зчитувач кодів зручно використовувати для зчитування 2D-кодів PDF417 та акцизних марок [21].

Програмний продукт MVTec Halcon

Можливості штучного інтелекту для обробки зображень ще розвиваються, але вже зараз ми бачимо великий стрибок з впровадження "Розумного" контролю не тільки на виробництва. Штучний інтелект дозволив замінити багато годин програмування та налагодження систем для пошуку потрібних для перевірки в об'єктів дефектів, зміни форми і т.д.

Застосування TensorFlow, Keras і інших нейромереж в промисловій автоматизації почало зустрічатися все частіше і частіше, завдяки можливості вбудувати нейронну мережу в уже існуючу систему машинного зору. Більшість камер машинного зору мають API для роботи з Python, що дозволяє підключити і TensorFlow до обробки знімків з камери.

Так для камер машинного зору Baumer (рис. 1.14) програмування під Python реалізовано в neoAPI. Програми можна писати як під ОС Windows, так і під Linux (включаючи ARM платформи).



Рис. 1.14. Камера машинного зору Baumer.

Для камер Teledyne Dalsa використовуються бібліотеки GEV Linux API з

прикладями на Python.

Камери можна використовувати з популярною бібліотекою для машинного навчання – TensorFlow з OpenCV. А завдяки підтримки ARM платформ, можливо виготовити компактне вбудовується рішення з Jetson Nano або іншими одноплатними ПК, що підтримують роботу з нейронними мережами.

Якщо стоїть серйозна задача, з високими вимогами на надійність, інформаційну безпеку, довговічність і якісну технічну підтримку – то рекомендується відмовитися від використання відкритого програмного забезпечення і використовувати комплексне програмне забезпечення з інструментом Deep Learning – MVTec Halcon. Воно повністю відповідає вимогам по програмній безпеці, також надається технічна підтримка професіоналами машинного зору, а ліцензія на нього купується довічно з випуском регулярних оновлень безпеки [22].

1.3. Постановка задачі кваліфікаційної роботи магістра

Метою даної кваліфікаційної роботи магістра являється розробка системи автоматизації процесу виробництва морозива з створенням інтелектуальної системи розпізнавання якості упаковки (ІСРЯУ) морозива з використанням інтелектуальних технологій та сучасних технічних засобів автоматизації.

Інтелектуальна система розпізнавання якості упаковки (ІСРЯУ) морозива призначена для:

- розпізнавання незадовільної упаковки морозива на конвеєрі та перенаправлення бракованої продукції на інший маршрут;
- аналітичної обробки результатів розпізнавання упаковки морозива та створення бази знань для подальшого використання, зокрема при управлінні якістю.

Цілями створення інтелектуальної системи розпізнавання якості упаковки (ІСРЯУ) морозива є:

- зменшити час простою технологічного обладнання та збільшити вихід якісно упакованого морозива;
- зменшити вплив людського фактору на процес упаковки морозива та забезпечити якість процесу упаковки морозива;
- облік кількості упакованої продукції та кількості браку для подальшого аналізу та підвищення якості упаковки морозива;
- недопускання втрати товарного виду упаковки морозива та випуск упаковки морозива незадовільної якості.

Технічна структура інтелектуальної системи розпізнавання якості упаковки (ІСРЯУ) морозива, що розробляється, зображена на рис. 1.15.

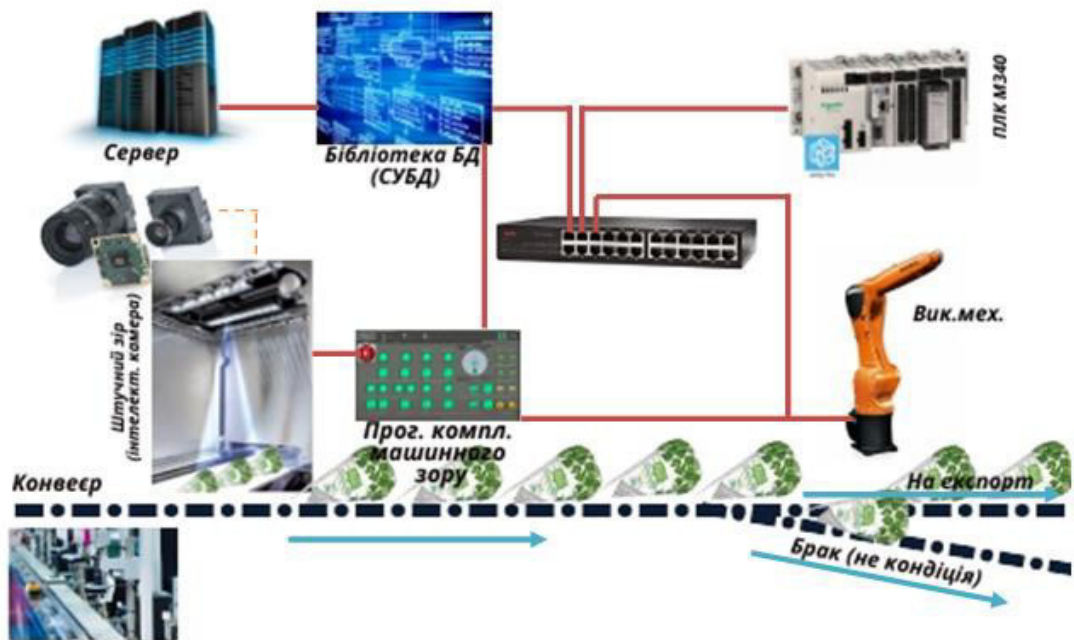


Рис. 1.15. Технічна структура (ІСРЯУ) морозива.

Розділ 2. Загальносистемні рішення

2.1. Розробка системи автоматизації виробництва морозива

2.1.1. Завдання на розробку системи автоматизації

Завдання на розробку системи автоматизації виробництва морозива представлено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Завдання на розробку системи автоматизації.

№ №	Машина, агрегат, установка	Параметр, місце відбору сигналу	Припус- тимо значення параметра	Вид автомати- зації	Характер контролю чи управління	Засоби управління та контролю, реалізації управляючої дії	Додаткові умови
1	Трубопро- від	Витрата аміаку	5 м ³ /год	Регулюва- ння	Стабілізація	Вплив на клапан подачі аміаку	
		Тиск	250 кПа	Контроль	Відобра-ження	АРМ оператора	
		Двигун М5	Вкл/Викл	Управлі-ння	Стан	Вплив на стан роботи двигуна	
2	Ємність	Рівень	90 %	Регулюва- ння	Стан	Вплив на стан роботи двигуна М1	
		Температур а	70 °С	Регулюва- ння	Стабілізація	Вплив на клапан подачі холодної води	
		Двигун М3	Вкл/Викл	Управлі-ння	Стан	Вплив на стан роботи двигуна	
3	Фрізер	Рівень	90 %	Регулюва- ння	Стан	Вплив на стан роботи двигуна М2	
		Двигун М4	Вкл/Викл	Управлі-ння	Стан	Вплив на стан роботи двигуна	

2.1.2. Схема автоматизації виробництва морозива

Функціональна схема автоматизації виробництва морозива відображає контроль тиску в трубопроводі аміаку, регулювання рівня суміші в ємності та у фризери, регулювання температури суміші в ємності, регулювання витрати аміаку у фризери і управління насосами та двигунами.

Температура суміші в ємності визначається датчиком KOBOLD DTM (поз. 1а), та регулюється пневматичним клапаном Dwyer Hi-Flow (поз. 1в), який змінює кількість подачі холодної води в простір між стінками ємності. Пневматичний клапан отримує сигнал управління від ПЛК за допомогою електропневматичного перетворювача Samson 6111 (поз. 1б).

Тиск аміаку в трубопроводі визначається датчиком тиску KOBOLD MAN-LD (поз. 2а) та відбувається його контроль.

Рівень суміші в ємності та у фризери визначається рівнеміром KOBOLD LNP (поз. 3а та 4а), та регулюється насосами Grundfos TP 150-110/6 (поз. М1 та М2). Насоси регулюються дискретно з ПЛК за допомогою магнітних пускачів (поз. КМ1 та КМ2).

Витрата аміаку в трубопроводі визначається витратоміром KOBOLD DVH (поз. 5а), та регулюється пневматичним клапаном Dwyer Hi-Flow (поз. 5в), який змінює кількість подачі аміаку у фризери. Пневматичний клапан отримує сигнал управління від ПЛК за допомогою електропневматичного перетворювача Samson 6111 (поз. 5б).

Двигуни (поз. М3-М5) змішувачів та компресора вмикаються або вимикаються за допомогою магнітних пускачів КМ3-КМ5, що управляються сигналами з модуля дискретних виходів ПЛК.

2.1.3. Специфікація приладів та засобів автоматизації виробництва морозива

Специфікація приладів та засобів автоматизації виробництва морозива представлено в таблиці 2.2.

Таблиця. 2.2. Специфікація приладів та засобів автоматизації.

Поз.	Найменування та технічна характеристика засобу	Тип, марка, позначення документу, листа опитування	Код обладнання, виробу, матеріалу	Завод-виготовлювач/виробник	Одиниця виміру	Кількість	Маса одиниці, кг	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1а	Цифровий термометр опору Pt100 з уніф. вих. сиг. 4-20мА, напр. жив. 24 В DC, діап. вим. -20...+40 °С	КOBOLD DTM технічний опис виробу [23]	DTM-SC 24 P 41 A4G	КOBOLD, Німеччина	шт.	1	-	6 °С, температура в ємності
1б	Перетворювач електропневматичний перетворення уніф. вих. сиг. 4-20мА в уніф. пневм. сиг. 20-100 кПа. Кл.т. 0,5. Рживл.=140 кПа, напр. жив. 24 В DC.	Samson 6111 технічний опис виробу [24]	Samson 6111	Samson, Німеччина	шт.	1	-	
1в	Пневматичний вик. мех., Ржив. = 140 кПа, Рвих. = 20-100 кПа.	Dwyer Hi-Flow технічний опис виробу [25]	Dwyer Hi-Flow 2005VA32-233	Dwyer, Велика Британія	шт.	1	-	Клапан подачі холодної води в ємність

Продовження таблиці 2.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2а	Цифровий манометр з уніф. вих. сиг. 4-20мА, напр. жив. 24 В DC, діап. вим. 0...4 бар	KOBOLD MAN технічний опис виробу [26]	MAN-LD1S 6 В4 S	KOBOLD, Німеччина	шт.	1	-	250 кПа, тиск аміаку в трубо- проводі
3а	Потенціометричний рівнемір з уніф. вих. сиг. 4-20мА, напр. жив. 24 В DC, діап. вим. 0...2000 мм	KOBOLD LNP технічний опис виробу [27]	LNP-G25 TM1 20	KOBOLD, Німеччина	шт.	1	-	90 %, рівень суміші в ємності
4а	Потенціометричний рівнемір з уніф. вих. сиг. 4-20мА, напр. жив. 24 В DC, діап. вим. 0...2000 мм	KOBOLD LNP технічний опис виробу [27]	LNP-G25 TM1 20	KOBOLD, Німеччина	шт.	1	-	90 %, рівень суміші в фрізері
5а	Витратомір вихровий з уніф. вих. сиг. 4-20мА, напр. жив. 24 В DC, діап. вим. 0-9 м ³ /год	KOBOLD DVH- V технічний опис виробу [28]	DVH-V 20 1 S L L 2 S 0H	KOBOLD, Німеччина	шт.	1	-	5 м ³ /год, витрата аміаку в фрізер
5б	Перетворювач електропневматичний перетворення уніф. вих. сиг. 4-20мА в уніф. пневм. сиг. 20-100 кПа. Кл.т. 0,5. Рживл.=140 кПа, напр. жив. 24 В DC.	Samson 6111 технічний опис виробу [24]	Samson 6111	Samson, Німеччина	шт.	1	-	
5в	Пневматичний вик. мех., Ржив. = 140 кПа, Рвих. = 20-100 кПа.	Dwyer Hi-Flow технічний опис виробу [25]	Dwyer Hi- Flow 2005VA32- 233	Dwyer, Велика Британія	шт.	1	-	Клапан подачі холодної води в ємність

Продовження таблиці 2.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
КМ1 - КМ5	Електромагнітне реле. 3 контакти. Напр. макс. 440 В АС, струм комутації 20 А.	СВ «Альтера» катагол виробів [29]	relpol R3(N)-2013- 23-5024- WTL	СВ «Альтера» м. Київ	шт.	5	-	
М1, М2	Насос з 3-х фаз. асинх. двигуном, пот. 5.5 кВт, напр. жив. 380 В.	Grundfos TP технічний опис виробу [31]	Grundfos TP 150-110/6	Насос- Монтаж м. Київ	шт.	2	-	
М3, М4, М5	3-х фаз. асинх. двигун, пот. 3 кВт, напр. жив. 380 В	АИР90L2 технічний опис виробу [30]	АИР90L2	ООО "Систе- макс" м. Київ	шт.	3	-	

2.1.4. Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК)

Для системи автоматизації виробництва морозива використовується промисловий логічний контролер (ПЛК) Schneider Electric M340.

В таблиці 2.3 наведено використаний процесорний модуль, модуль живлення, модуль аналогових входів, модуль аналогових виходів та модуль дискретних виходів.

Таблиця 2.3. Використані модулі для ПЛК.

Модулі вводу/виводу		Примітка
Найменування	Кількість	
BMX P34 2020	1	модуль процесора
BMX CPS 2000	1	блок живлення
BMX AMI 0810	1	модуль 4-х аналогових входів
BMX AMO 0410	1	модуль 8-ми аналогових виходів
BMX DDO 1602	1	модуль 16-ти дискретних виходів

Аналогові входи. Датчики температури, рівня, витрати та тиску підключені до модуля аналогових входів ВМХ АМІ 0810 за допомогою уніфікованих струмових сигналів 4-20 мА (рис. 2.1).

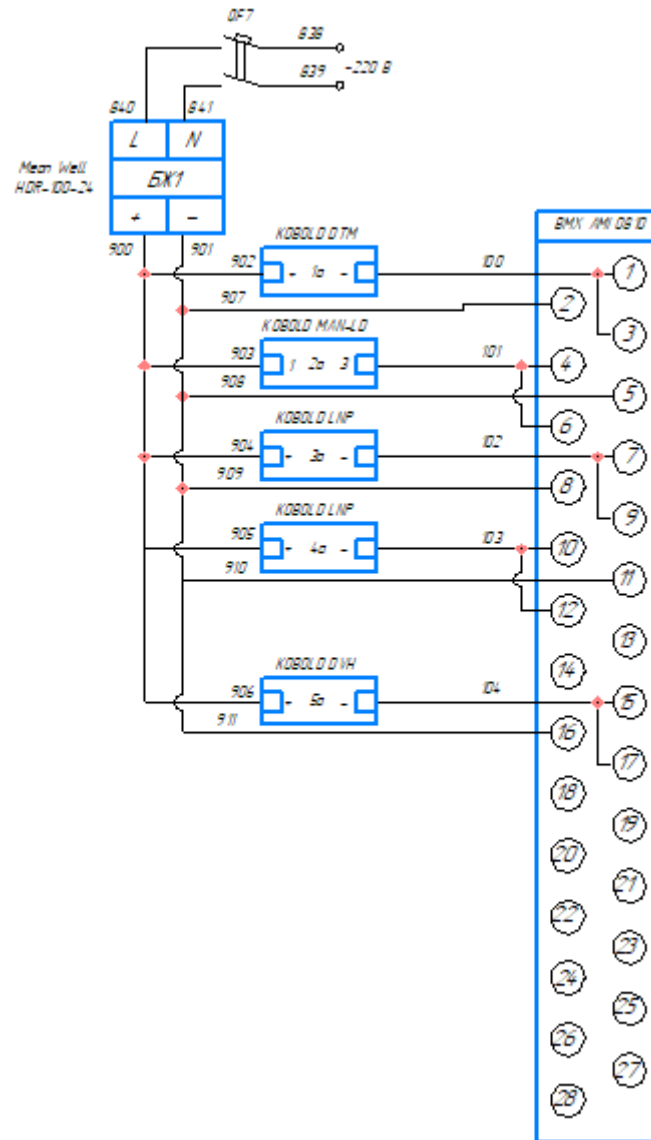


Рис. 2.1. Підключення датчиків до аналогового модуля входів ВМХ АМІ 0810.

Аналогові виходи. Сформовані сигнали управління, подаються на модуль аналогових виходів ВМХ АМО 0410 де перетворюються з цифрової форми в аналогову (уніфікований струмовий сигнал 4-20 мА). Уніфіковані струмові сигнали подаються до електропневматичних перетворювачів для управління пневматичними клапанами (рис. 2.2).

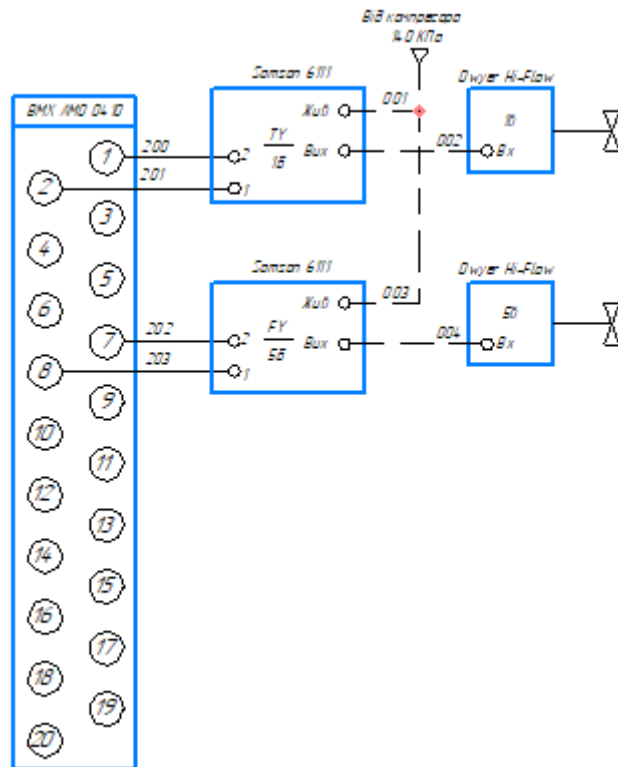


Рис. 2.2. Підключення електропневматичних перетворювачів до модуля аналогових виходів ВМХ АМО 0410.

Дискретні виходи. Насоси М1-М2 та двигуни М3-М5 змішувачів та компресора вмикаються та вимикаються за допомогою магнітних пускачів КМ1-КМ5, що підключені до модуля дискретних виходів ВМХ DDO 1602 (рис. 2.3).

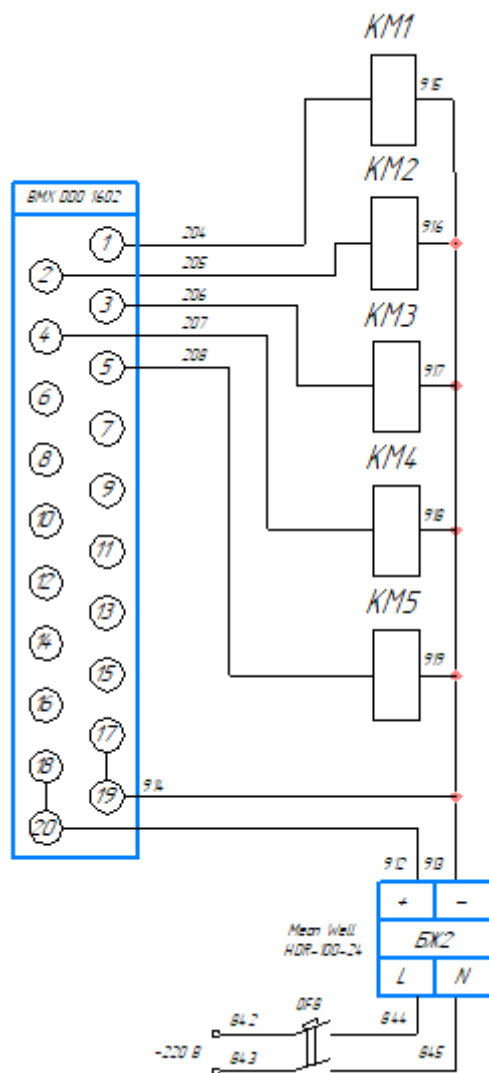


Рис. 2.3. Підключення магнітних пускачів до модуля дискретних виходів ВМХ DDO 1602.

2.1.5. Загальна схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК

При розробці принципової схеми підключення датчиків та ВМ до ПЛК використані наступні компоненти для управління живленням технічних засобів автоматизації виробництва морозива:

- автоматичні вимикачі QF1-QF8 в які вбудований захист по струму, що використовуються для управління подачею живлення на технічні засоби автоматизації;
- блоки живлення БЖ1-БЖ2 живлять постійною напругою 24 В технічні засоби автоматизації.

Розроблена принципова схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК використовує таку нумерацію провідників:

- 800-845 – провідники з змінним струмом;
- 900-919 – провідники з постійним струмом;
- 001-004 – провідники з пневматичним сигналом;
- 100-104 – провідники з вимірювальним сигналом від датчиків;
- 200-223 – провідників з сигналами управління до електропневматичних перетворювачів та магнітних пускачів насосів та двигунів.

2.2. Опис функцій, що інтелектуалізуються

2.2.1. Розробка вимог до ІСК (Requirements diagram)

Вимоги, які поставлені до розробки системи керування розпізнавання якості упаковки морозива описані за допомогою діаграми вимог (Requirements diagram) на рис. 2.4.

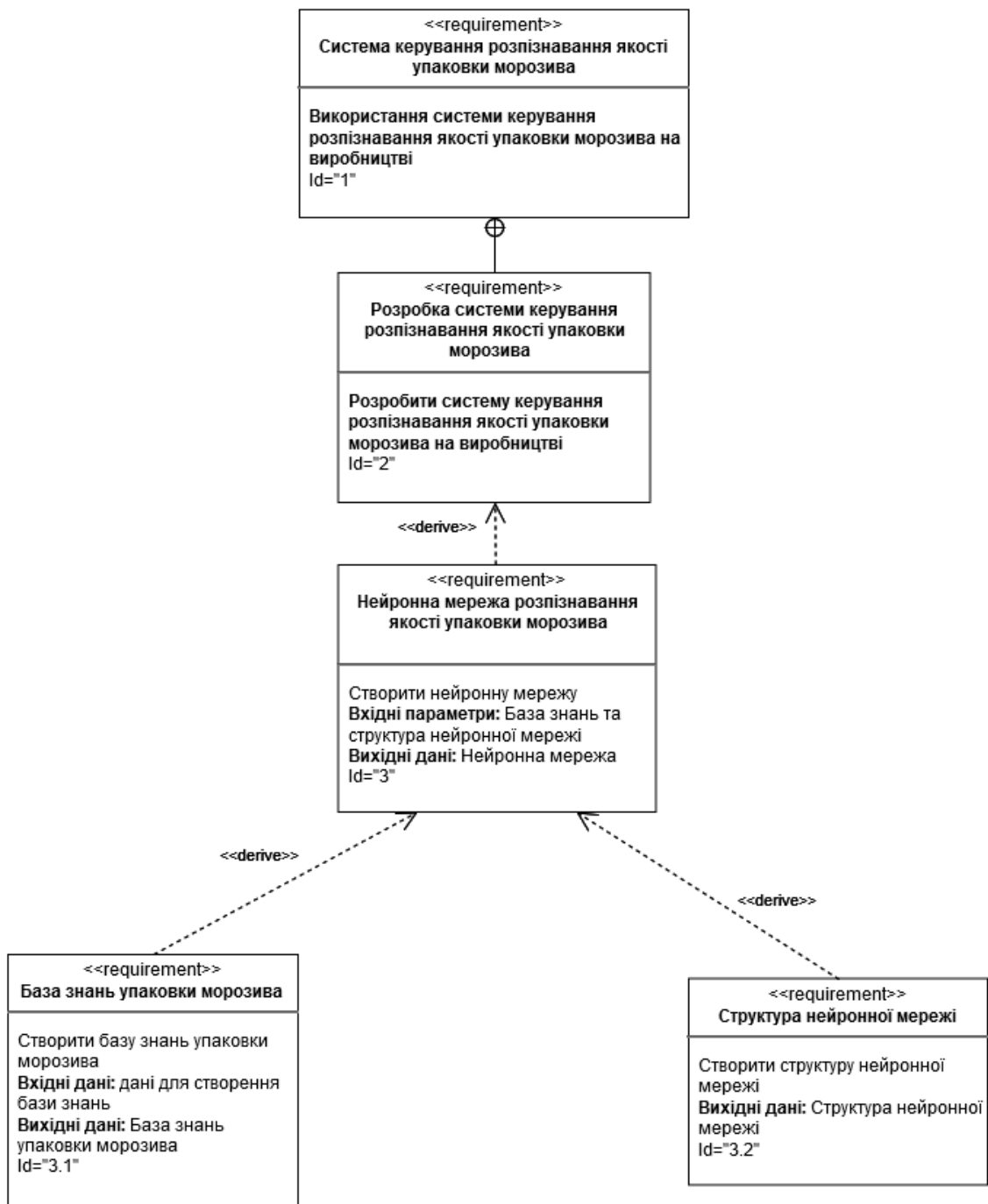


Рис. 2.4. Requirements diagram – діаграма вимог.

Для навчання нейронної мережі розпізнавання якості упаковки морозива необхідно:

- створити базу знань упаковки морозива: яка включає в себе зображення упаковки з браком і без для подальшого навчання нейронної мережі;
- створити структуру нейронної мережі для подальшого навчання нейронної мережі.

Після створення та навчання нейронної мережі розпізнавання якості упаковки морозива необхідно розробити систему керування розпізнавання якості упаковки морозива.

Розроблену систему керування розпізнавання якості упаковки морозива далі впроваджують на виробництво.

2.2.2. Визначення функцій користувачів (Use Case diagram)

Взаємодія розробника та оператора під час процесу розробки та використання системи керування розпізнавання якості упаковки морозива описані у вигляді діаграми функцій користувачів (Use Case diagram) на рис. 2.5.



Рис. 2.5. Use Case diagram – діаграма функцій користувачів.

Розробник системи керування розпізнавання якості упаковки морозива при розробці системи спочатку:

- наповнює базу знань упаковки морозива зображенням упаковки з браком і без для подальшого навчання нейронної мережі;
- створює структуру нейронної мережі для подальшого навчання нейронної мережі.

Після створення та навчання нейронної мережі розпізнавання якості упаковки морозива розробник розробляє систему керування розпізнавання якості упаковки морозива, яка в подальшому буде взаємодіяти з технологічним обладнанням на виробництві для управління конвеєром.

Розроблену систему керування розпізнавання якості упаковки морозива далі впроваджують на виробництво для її подальшого функціонування.

Систему керування розпізнавання якості упаковки морозива розпізнає на конвеєрі браковану упаковку та впливає на роботу конвеєра для вилучення з конвеєра бракованої продукції.

Оператор контролює роботу системи керування розпізнавання якості упаковки морозива та роботу конвеєра. Перевіряє брак упаковки та направляє продукцію на повторну упаковку.

2.2.3. Розробка блоків складових елементів системи (Block Definition Diagram)

Блоки з яких складається процес розробки та використання системи керування розпізнавання якості упаковки морозива описані у вигляді діаграми визначення блоків (Block Definition Diagram) на рис 2.6.

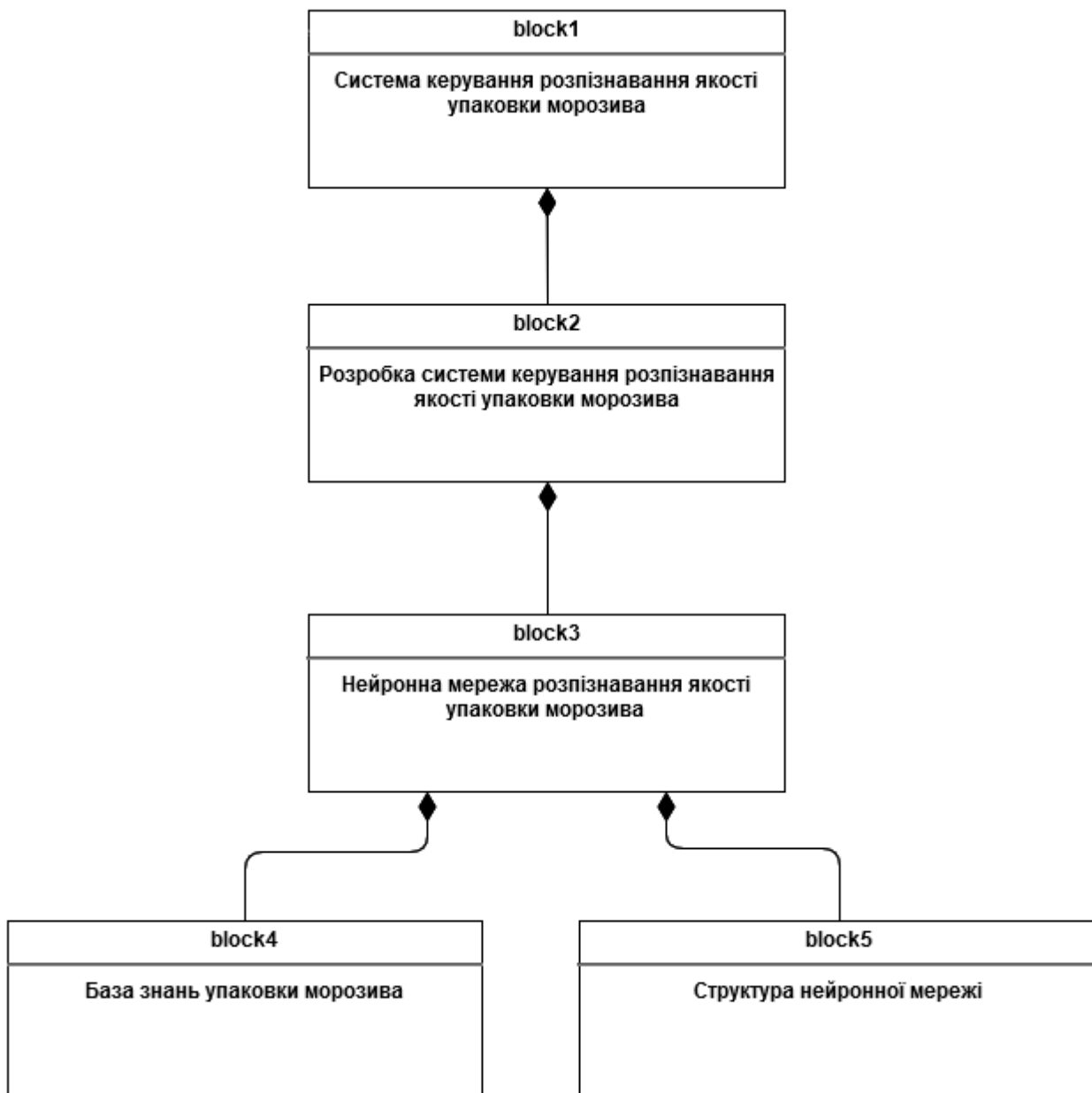


Рис. 2.6. Block Definition Diagram – діаграма визначення блоків.

Виходячи з розробленої діаграми вимог (Requirements diagram) розробляється діаграма визначення блоків (Block Definition Diagram).

Діаграма визначення блоків (Block Definition Diagram) включає наступні блоки:

- **block5** – база знань упаковки морозива: яка включає в себе зображення упаковки з браком і без для подальшого навчання нейронної мережі;
- **block4** – структура нейронної мережі: для подальшого навчання нейронної мережі;
- **block3** – навчання нейронної мережі: для розпізнавання якості упаковки морозива;
- **block2** – розробка системи керування розпізнавання якості упаковки морозива: для взаємодії нейронної мережі з технологічним обладнанням на виробництві;
- **block1** – система керування розпізнавання якості упаковки морозива: функціонування системи керування розпізнавання якості упаковки морозива.

2.2.4. Розробка алгоритмічного забезпечення ІСК

2.2.4.1. Визначення життєвого циклу ІСК та її процесів (Activity diagram)

Взаємодія блоків системи керування розпізнавання якості упаковки морозива описані за допомогою діаграми діяльності (Activity diagram) на рис. 2.7.

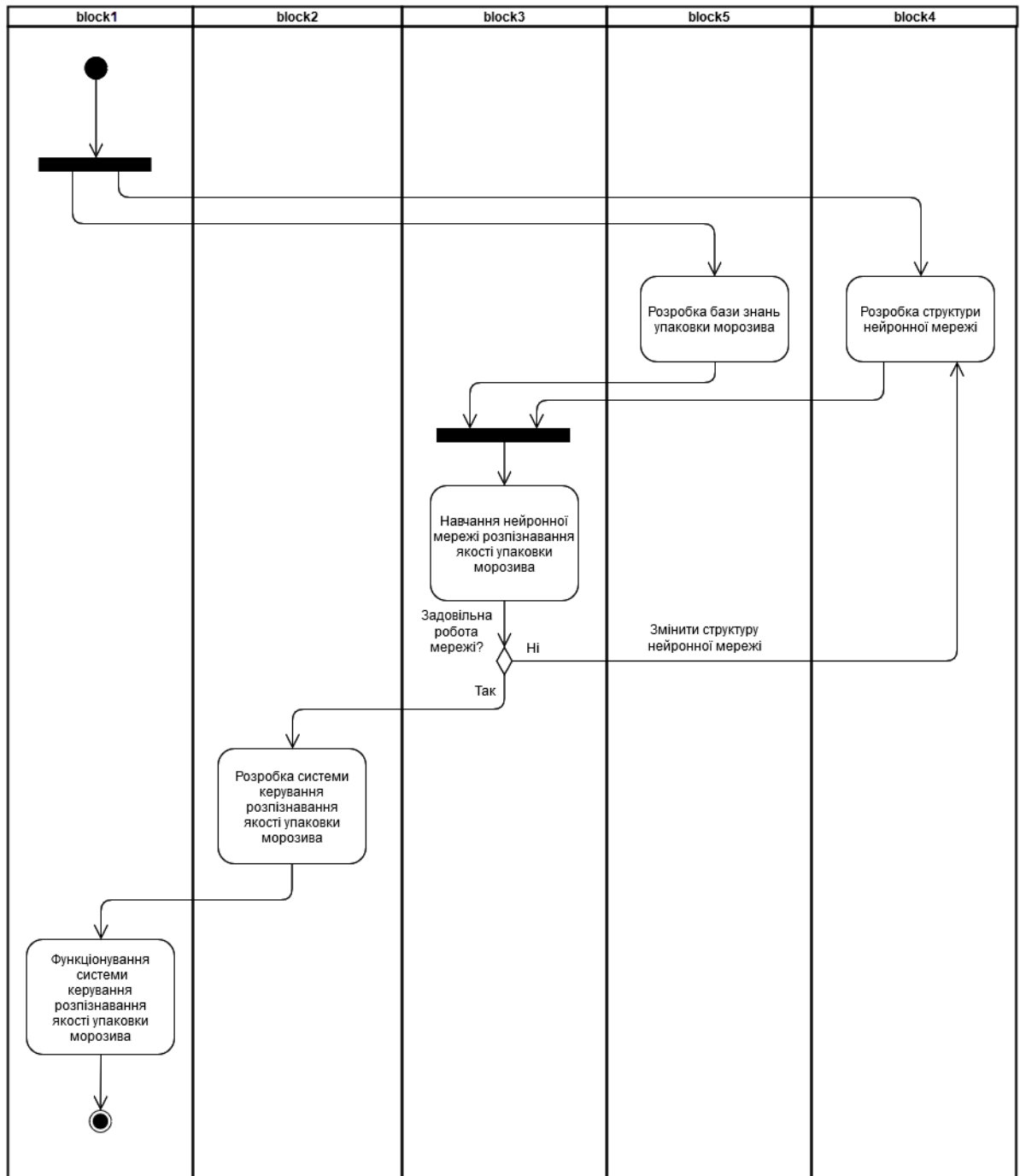


Рис. 2.7. Activity diagram – діаграма діяльності.

Взаємодія між собою наступних блоків:

- block5 – база знань упаковки морозива;
- block4 – структура нейронної мережі;
- block3 – навчання нейронної мережі;
- block2 – розробка системи керування розпізнавання якості упаковки морозива;
- block1 – система керування розпізнавання якості упаковки морозива;

які представлені на діаграмі визначення блоків (Block Definition Diagram) описано за допомогою діаграми діяльності (Activity diagram).

З діаграми діяльності (Activity diagram) видно, що процес створення структури нейронної мережі та її навчання може проходити не один раз. І він повторюється доки не досягнеться задовільна похибка процесу навчання нейронної мережі розпізнавання якості упаковки морозива.

2.2.4.2. Вирішення проблеми синхронізації підсистем (Sequence diagram)

Взаємодію блоків системи керування розпізнавання якості упаковки морозива на часовій послідовності описана за допомогою діаграми послідовності (Sequence diagram) на рис. 2.8.

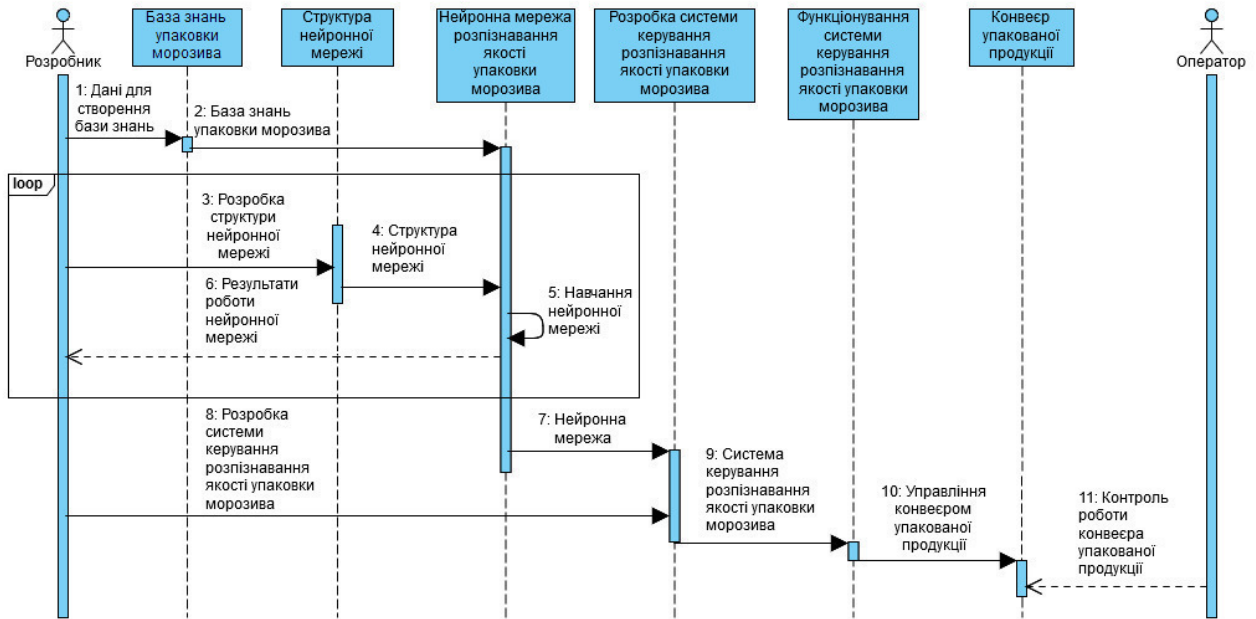


Рис. 2.8. Sequence diagram – діаграма послідовності.

Діаграма послідовності (Sequence diagram) зображує, як враховуючи часову послідовність відбуваються процеси між наступними блоками:

- база знань упаковки морозива;
- структура нейронної мережі;
- нейронна мережа розпізнавання якості упаковки морозива;
- розробка системи керування розпізнавання якості упаковки морозива;
- функціонування системи керування розпізнавання якості упаковки морозива.

Також на діаграма послідовності (Sequence diagram) зображується, як взаємодіють з системою керування розпізнавання якості упаковки морозива розробник та оператор.

На діаграмі послідовності (Sequence diagram) циклом loop зображено процес створення структури нейронної мережі та її навчання, оскільки він потребує повторення не один раз доки не досягнеться задовільна похибка процесу навчання нейронної мережі розпізнавання якості упаковки морозива.

Розділ 3. Розробка інтелектуальної системи керування розпізнавання якості упаковки (ІСРЯУ) морозива

3.1. Розробка бази знань упаковки морозива

Інтелектуальна системи керування розпізнавання якості упаковки (ІСРЯУ) морозива функціонуватиме на базі нейронної мережі.

Для навчання нейронної мережі необхідно створити базу знань, в якій будуть міститися зображення упаковки морозива з браком та без браку.

База знань для нейронної мережі створюється на основі наступного зображення упаковки, що представлено на рис. 3.1.



Рис. 3.1. Вид упаковки морозива.

Для зменшення потужності необхідних ресурсів для навчання нейронної мережі та зменшення часу навчання нейронної мережі зображення в базі знань зберігаються у сірому форматі зображення – greу.

Зображення упаковки морозива в базі знань представлено під різним кутом оскільки на конвеєрі морозиво може знаходитися в довільному положенні.

База знань нейронної мережі містить наступні зображення упаковки морозива без браку, що представлені на рис. 3.2.



Рис. 3.2. Зображення упаковки морозива без браку.

База знань нейронної мережі містить наступні зображення упаковки морозива без браку, що представлені на рис. 3.2.



Рис. 3.3. Зображення упаковки морозива з браком.

Зображення для бази знань нейронної мережі знаходяться в папці –
D:\workspace\ice, в ще знаходяться 2 папки:

D:\workspace\ice\ice-bad – в дані папці знаходяться зображення з браком;

D:\workspace\ice\ice-good – в дані папці знаходяться зображення без
браку.

Командою `imageDatastore` в середовищі MATLAB для створюється база
знань нейронної мережі:

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

```
imds =
```

`ImageDatastore` with properties:

```
Files: {
```

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

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

```
    'D:\workspace\ice\ice-bad\012b.png'
```

```
    ... and 18 more
```

```
}
```

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

```
AlternateFileSystemRoots: { }
```

```
ReadSize: 1
```

```
ReadFcn: @readDatastoreImage
```

Зображення в базі знань зберігаються з мітками `ice-bad` та `ice-good`
відповідно до назви папок.

3.2. Розробка структури нейронної мережі

Структура нейронної мережі створюється за допомогою редактора Deep Network Designer. Вид редактора Deep Network Designer зображення на рис. 3.4.

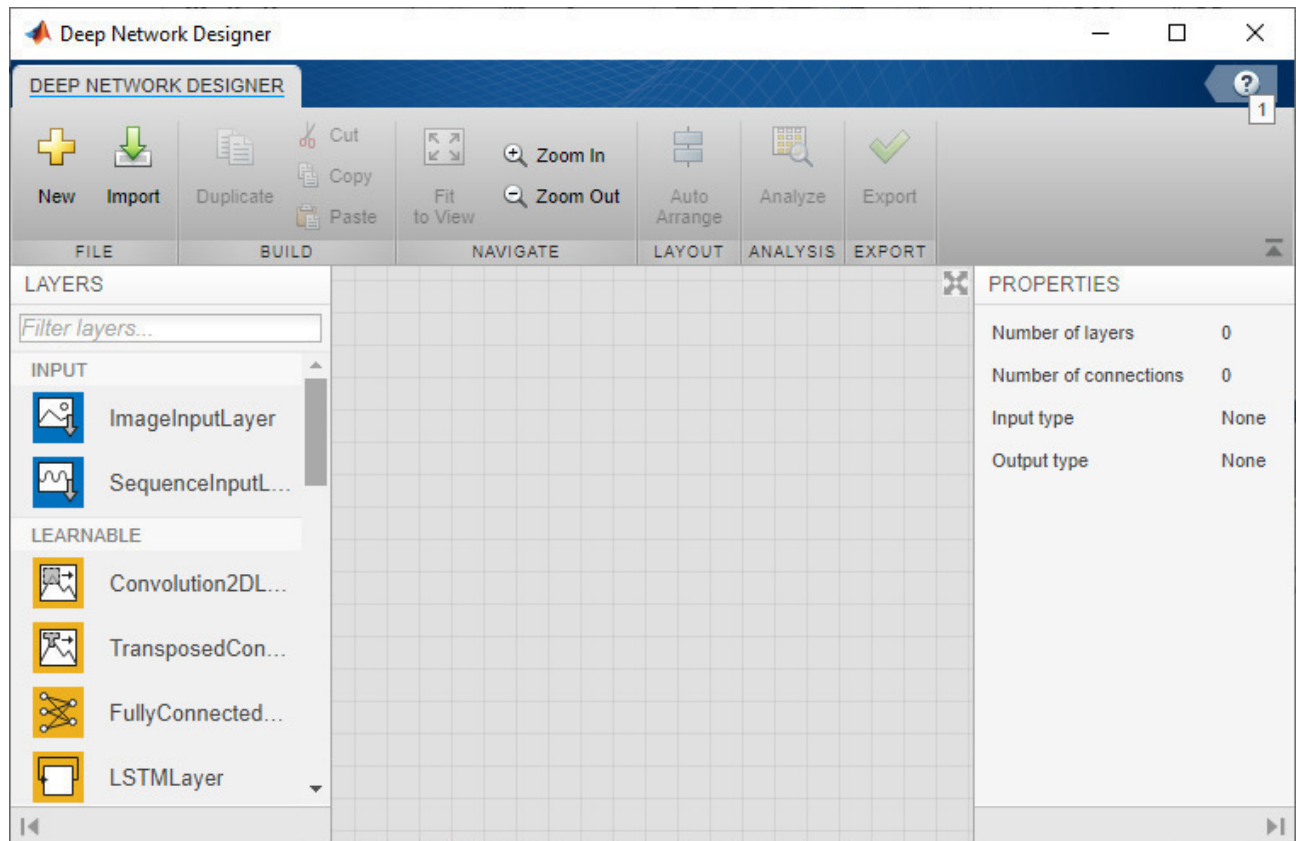


Рис. 3.4. Редактор Deep Network Designer.

Після проведення дослідження вибрано наступну структуру нейронної мережі, що представлено на рис. 3.5.

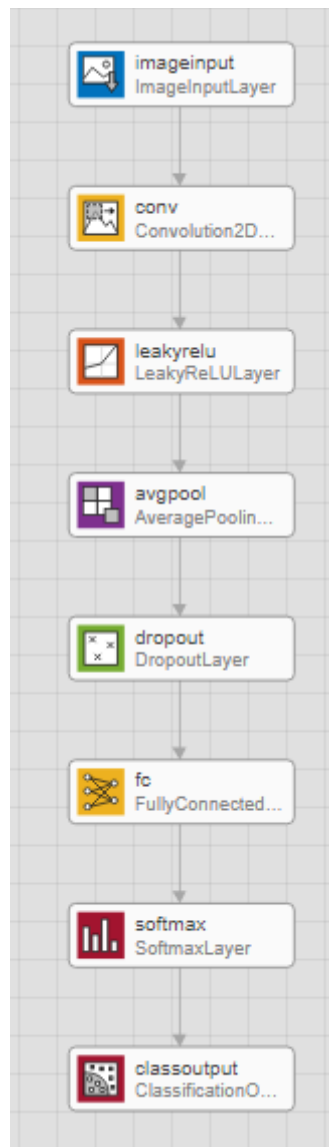


Рис. 3.5. Структура нейронної мережі в редакторі Deep Network Designer.

Аналіз структури нейронної мережі створеної в редакторі Deep Network Designer представлено на рис. 3.6.

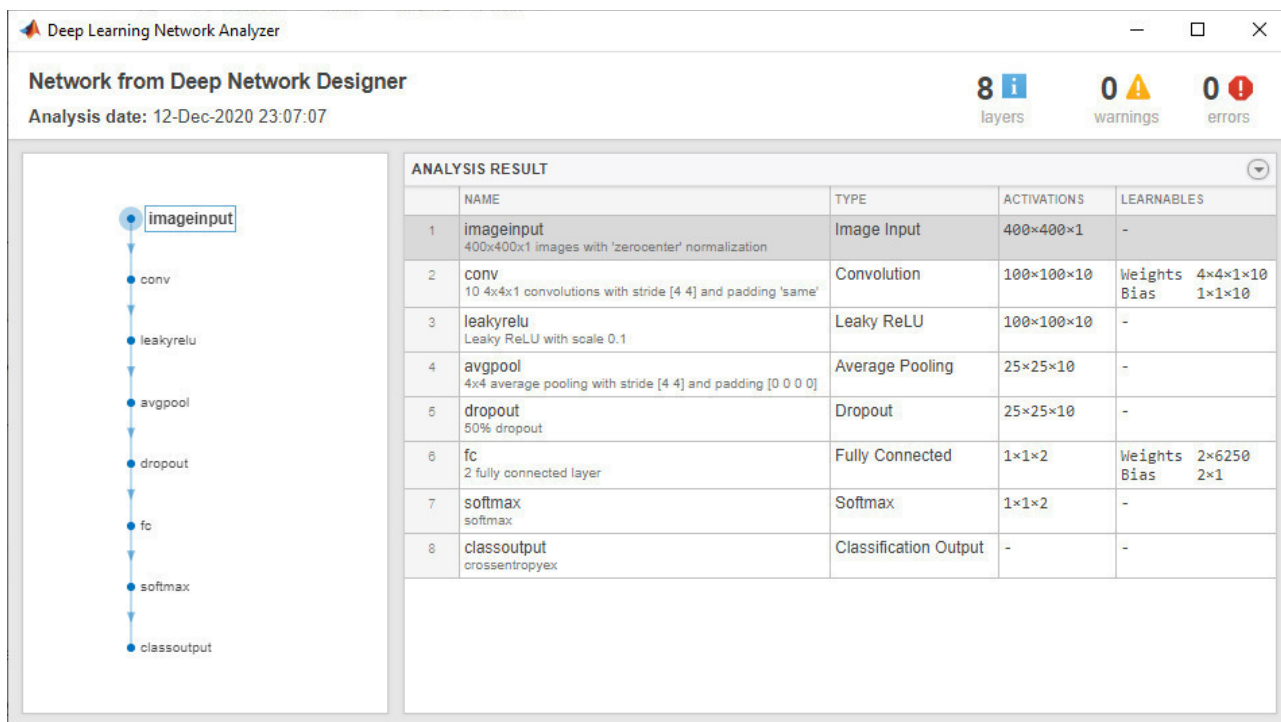


Рис. 3.6. Аналіз структури нейронної мережі в редакторі Deep Network Designer.

Нейронна мережа складається з наступних шарів:

imageinput (Image input layer) – шар введення зображення. Вхідний рівень зображення, вводить зображення в мережу і застосовує нормалізацію даних. Параметри шару ***Image input layer*** представлені на рис. 3.7. Формат вхідного зображення 400x400.

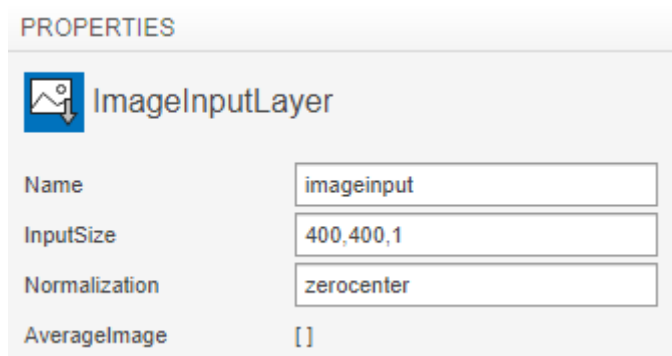


Рис. 3.7. Параметри шару ***Image input layer***.

conv (*Convolution2DLayer*) – двовимірний згортковий шар застосовує ковзні згорткові фільтри до входу. Шар згортає вхідні дані, переміщуючи фільтри вздовж вхідного зображення вертикально та горизонтально, обчислюючи добуток ваг та значень вхідного зображення, а потім додаючи значення зміщення.

Параметри шару *Convolution2DLayer* представлені на рис. 3.8.


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. 3.8. Параметри шару *Convolution2DLayer*.

Параметр *FilterSize* задає висоту та ширину фільтрів, задані як вектор $[h \ w]$ двох додатних цілих чисел, де h – висота, а w – ширина. *FilterSize* визначає розмір локальних областей, до яких нейрони підключаються на вході. В даному шарі використовується розмір фільтру 4×4 .

Параметр *NumFilters* – кількість фільтрів, вказаних як додатне ціле число. Це число відповідає кількості нейронів у згортковому шарі, які підключаються до тієї самої області на вході. В даному шарі використовується 10 фільтрів.

Параметр *Stride* – розмір кроку для обходу вхідних даних по вертикалі та горизонталі, заданий як вектор [a b] двох додатних цілих чисел, де *a* – вертикальний розмір кроку, а *b* – розмір горизонтального кроку. В даному шарі використовується крок 4 по горизонталі та вертикалі.

leakyrelu (*LeakyReLU Layer – Leaky Rectified Linear Unit (ReLU) layer*) – виконує порогову операцію, де будь-яке вхідне значення менше нуля множиться на фіксований скаляр:

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

В даному шарі використовується значення $scale=0.1$. Параметри шару *LeakyReLU Layer* представлені на рис. 3.9.

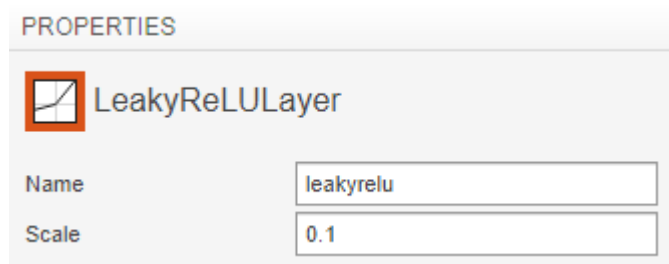


Рис. 3.9. Параметри шару *LeakyReLU Layer*.

avgpool (*AveragePooling2d Layer – Average pooling layer*) – виконує об'єднання вибірку шляхом поділу вхідних даних на прямокутні області об'єднання та обчислення середніх значень кожної області.

Параметри шару *AveragePooling2d Layer* представлені на рис. 3.10.

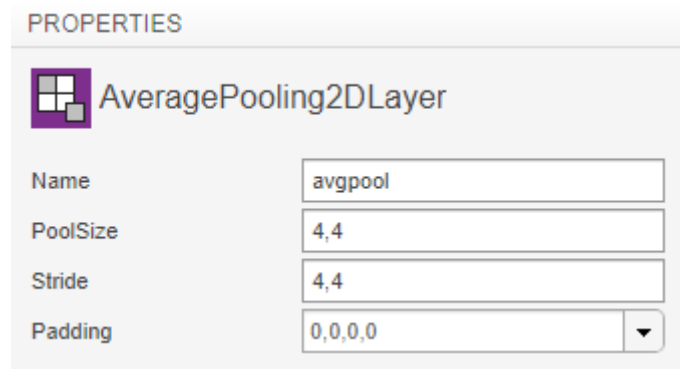


Рис. 3.10. Параметри шару *AveragePooling2dLayer*.

Параметр *PoolSize* – розміри прямокутної області об'єднання, задані як вектор двох натуральних чисел $[h\ w]$, де h – висота, а w – ширина. Створюючи шар, ви можете вказати *PoolSize* як скаляр, щоб використовувати одне і те ж значення для обох вимірів. Якщо розміри кроку *Stride* менші за відповідні розміри об'єднання, тоді області об'єднання перекриваються. Розміри заповнення *PaddingSize* повинні бути меншими за розміри області об'єднання *PoolSize*. В даному шарі використовується розмір прямокутної області об'єднання – 4×4 .

Параметр *Stride* – розмір кроку для обходу вхідних даних по вертикалі та горизонталі, заданий як вектор двох додатних цілих чисел $[a\ b]$, де a – вертикальний розмір кроку, а b – розмір горизонтального кроку. Створюючи шар, ви можете вказати *Stride* як скаляр, щоб використовувати одне і те ж значення для обох вимірів. В даному шарі використовується крок 4 по горизонталі та вертикалі.

dropout (DropoutLayer) – шар випадково видаляє зв'язки між нейронами із заданою ймовірністю.

Параметри шару *DropoutLayer* представлені на рис. 3.11.

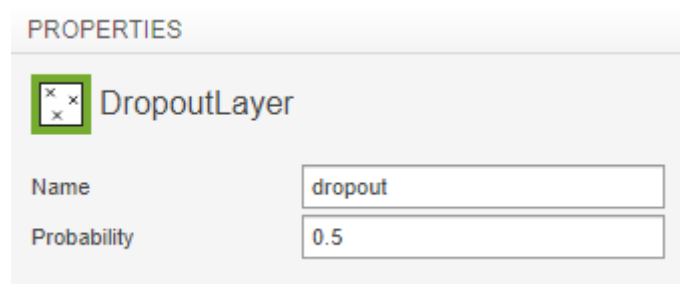


Рис. 3.11. Параметри шару *DropoutLayer*.

Параметр *Probability* – ймовірність видалення зв'язків між нейронами під час навчання, зазначеного як числовий скаляр в діапазоні 0–1. Більша кількість призводить до того, що більше нейронів відпадає під час тренування. В даному шарі використовується значення 0.1.

fc (FullyConnectedLayer) – повністю пов'язаний шар, який множить вхідні дані на матрицю ваги, а потім додає вектор зміщення.

Параметри шару *FullyConnectedLayer* представлені на рис. 3.12.

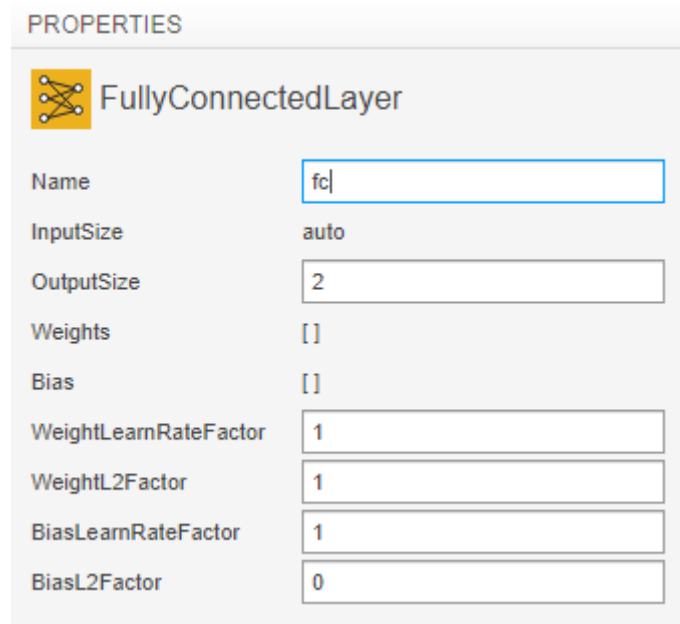


Рис. 3.12. Параметри шару *FullyConnectedLayer*.

Параметр *OutputSize* – вказує кількість виходів нейронної мережі, залежить від задачі класифікації, тобто кількість класів на виході. В даному шарі використовується значення 2 (клас *ice-bad* та *ice-good*).

softmax (SoftmaxLayer) – шар *softmax* застосовує функцію *softmax* до входу.

В даному шарі відсутні параметри (рис. 3.13).

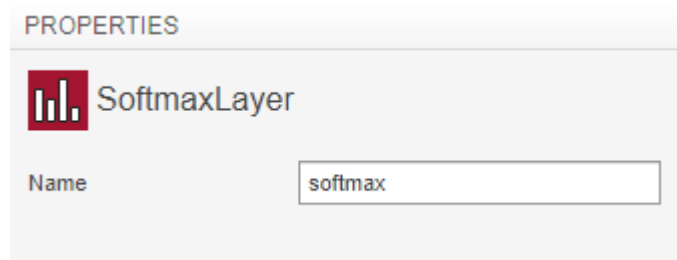


Рис. 3.13. Шар *SoftmaxLayer*.

classoutput (*ClassificationOutputLayer*) – шар класифікації, визначає клас зображення, що подається на вхід нейронної мережі.

В даному шарі відсутні параметри (рис. 3.14).

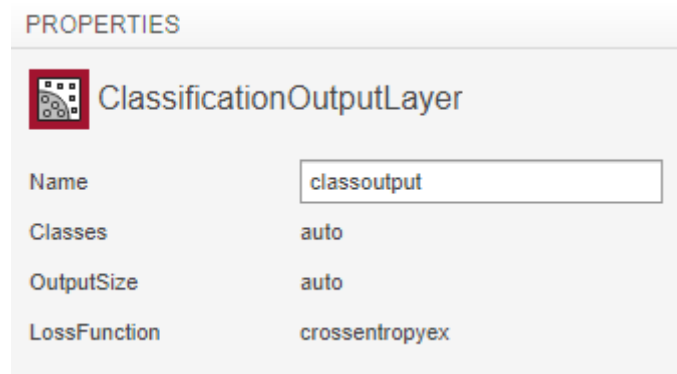


Рис. 3.14. Шар *ClassificationOutputLayer*.

3.3. Навчання нейронної мережі

Створена база знань для нейронної мережі та розроблена структура нейронної мережі дозволяє перейти до процесу навчання нейронної мережі.

Для початку процесу навчання нейронної мережі необхідно задати параметри навчання за допомогою наступної команди в програмному середовищі MATLAB:

```
>> 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: [1x1 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

Серед основних параметрів необхідно задати наступні параметри:

'sgdm' – стохастичний градієнтний спуск з оптимізатором імпульсу (stochastic gradient descent with momentum (SGDM)).

'MaxEpochs' – максимальна кількість епох, яку потрібно використовувати для навчання, вказана як пара, розділена комами, що складається з 'MaxEpochs' і цілого додатного числа.

Ітерація – це один крок, зроблений в алгоритмі градієнтного спуску, до мінімізації функції втрат за допомогою міні-партії. Епоха – це повний прохід навчального алгоритму за весь навчальний набір, в даному випадку це число має значення 1000;

'InitialLearnRate' – початкова швидкість навчання, що використовується для навчання, визначається як пара, розділена комами, що складається з 'InitialLearnRate' та позитивного скаляра. Значення за замовчуванням 0,01 для вирішувача 'sgdm' та 0,001 для вирішувачів 'rmsprop' та 'adam'. Якщо рівень навчання занадто низький, то навчання займає багато часу. Якщо рівень навчання занадто високий, тоді навчання може досягти неоптимального результату або розходитися. В даному випадку це число має значення $1e-4$.

Процес навчання нейронної мережі задається за допомогою наступної команди в програмному середовищі MATLAB:

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

net =

[DAGNetwork](#) with properties:

Layers: [8×1 nnet.cnn.layer.Layer]

Connections: [7×2 table]

Параметри команди необхідно задати наступні:

imds – створена база знань нейронної мережі, що включає в себе зображення упаковки морозива з браком та без браку;

lgraph – розроблена структура нейронної мережі та імпортована з редактору Deep Network Designer в змінну lgraph;

options – параметри навчання нейронної мережі.

Процес навчання нейронної мережі зображено на графіках, які представлені на рис. 3.15.

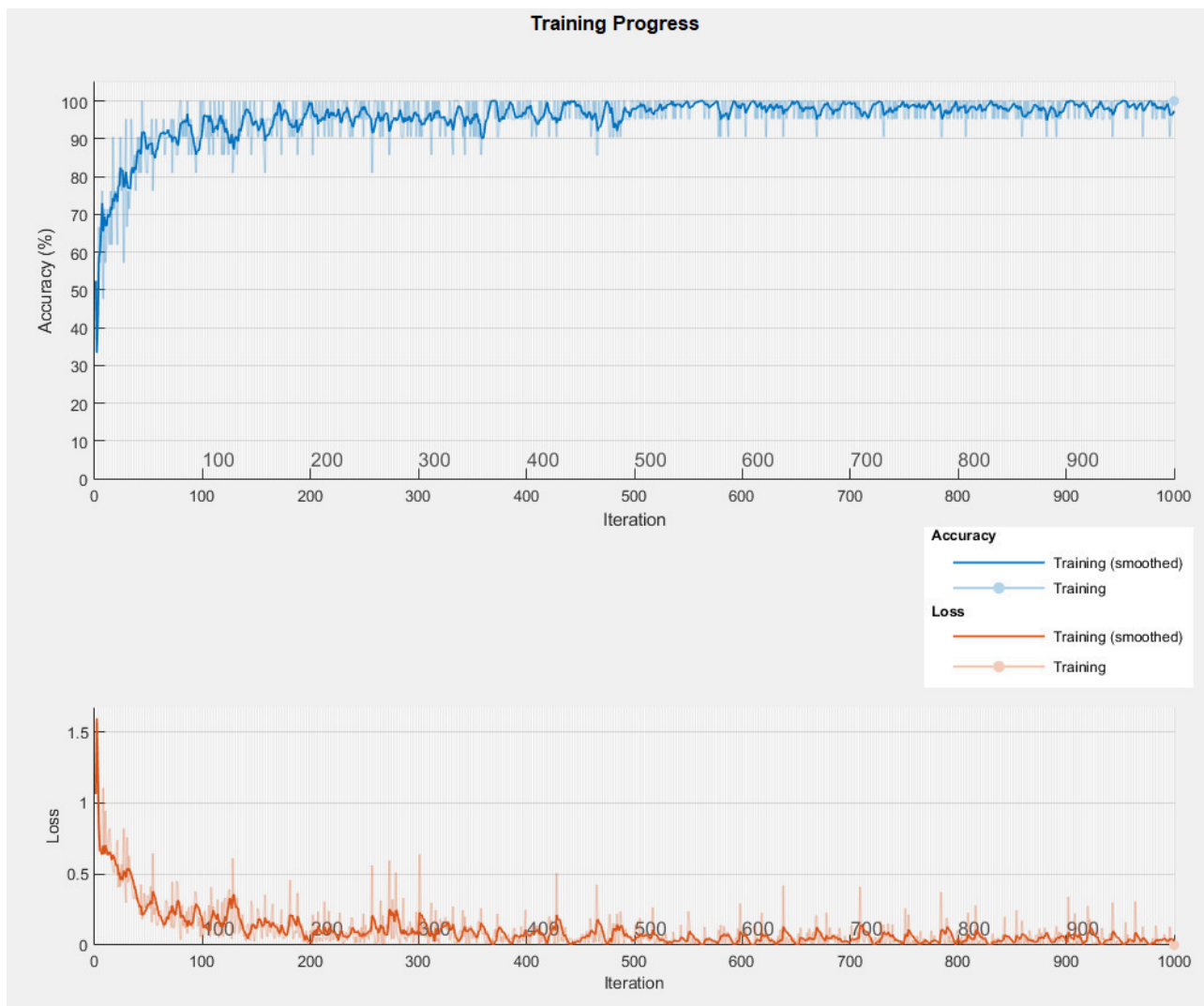


Рис. 3.15. Процес навчання нейронної мережі.

На графіку зверху зображено точність нейронної мережі на кожному кроці, а на графіку знизу представлено похибка навчання нейронної мережі на кожному кроці

Для перевірки роботи нейронної мережі створюємо базу зображень в якій містяться зображення упаковки морозива з браком та без браку за допомогою наступної команди в програмному середовищі MATLAB:

```
>> 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 в якій містяться зображення упаковки морозива з браком та без браку для перевірки нейронної мережі представлено на рис. 3.16.



Рис. 3.16. База зображень для перевірки нейронної мережі.

За допомогою команди `classify` в програмному середовищі MATLAB відбувається перевірка нейронної мережі. Параметри команди наступні:

`net` – навчена нейронна мережа;

`test` – база зображень для перевірки нейронної мережі.

Результати перевірки нейронної мережі представлено нижче:

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

```
YPred =
```

```
14×1 categorical array
```

```
ice-bad
```

```
ice-good
```

```
ice-bad
```

```
ice-good
```

```
ice-bad
```

```
ice-good
```

```
ice-bad
```

```
ice-good
```

```
ice-bad
```

```
ice-bad
```

```
ice-good
```

```
ice-bad
```

```
ice-bad
```

```
ice-bad
```

3.4. Розробка інтелектуальної системи керування розпізнавання якості упаковки морозива

Використовуючи редактор графічного інтерфейсу GUIDE в програмному забезпеченні MATLAB розробляється графічний інтерфейс інтелектуальна система керування розпізнавання якості упаковки морозива для щита оператора (рис. 3.17).

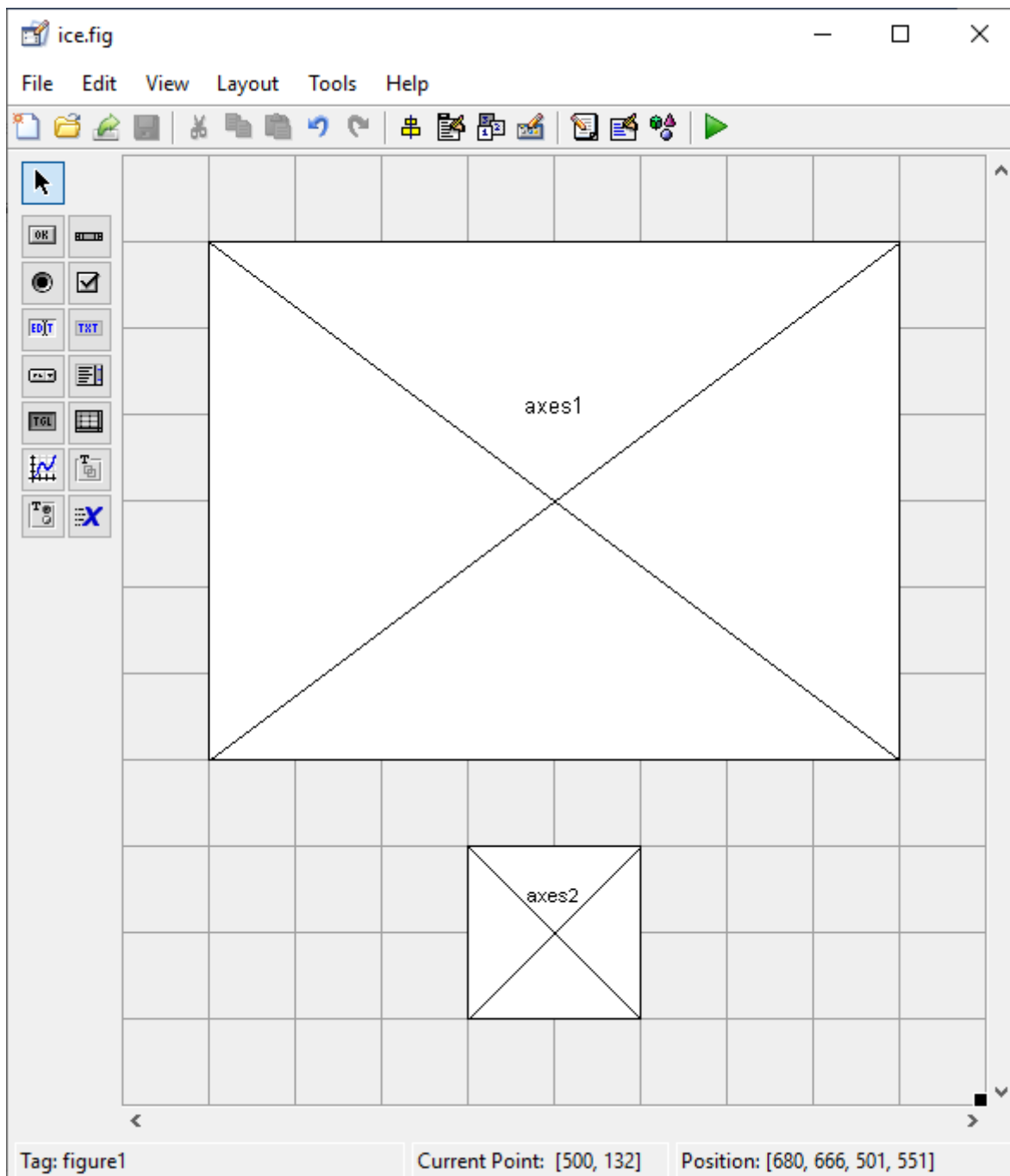


Рис. 3.17. Редактор графічного інтерфейсу GUIDE в MATLAB.

Програмний код для функціонування графічного інтерфейсу зображено нижче:

```
function varargout = ice(varargin)
% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
                  'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @ice_OpeningFcn, ...
```

```

        'gui_OutputFcn', @ice_OutputFcn, ...
        'gui_LayoutFcn', [], ...
        'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

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

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

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
newnet = matfile('D:\ice\net.mat');
im2 = imread('D:\ice\good.png');
im3 = imread('D:\ice\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)) == "ice-good"
        axes(handles.axes2);
        imshow(im2);
    elseif string(YPred(i)) == "ice-bad"

```

```

axes(handles.axes2);
imshow(im3);
end
pause(2);
end

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

```

Зображення розробленого інтерфейсу користувача на щиті оператора для контролю оператора за функціонуванням інтелектуальної системи керування розпізнавання якості упаковки морозива представлено на рис. 3.18. та рис. 3.19.

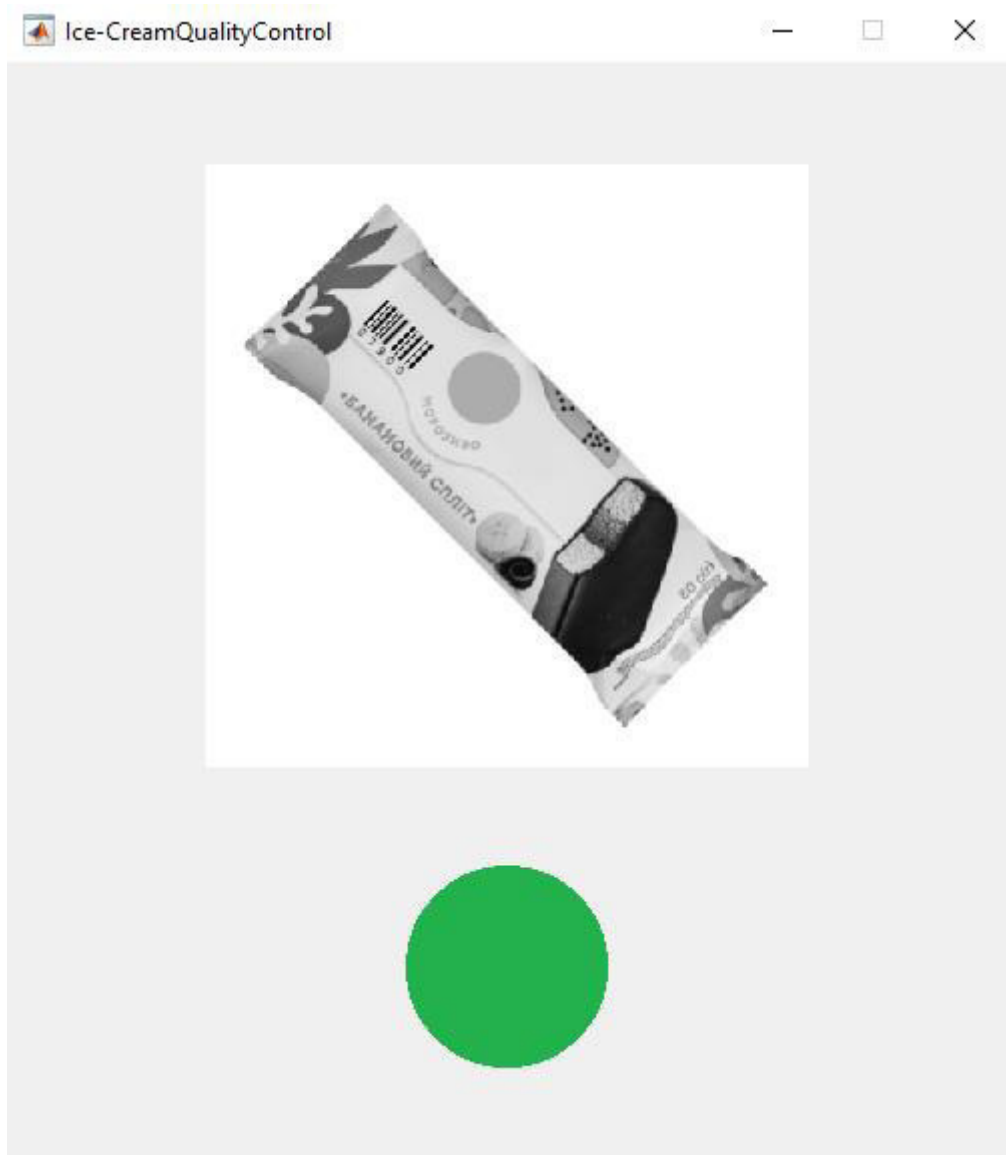


Рис. 3.18. Відсутній брак на упаковці морозива.

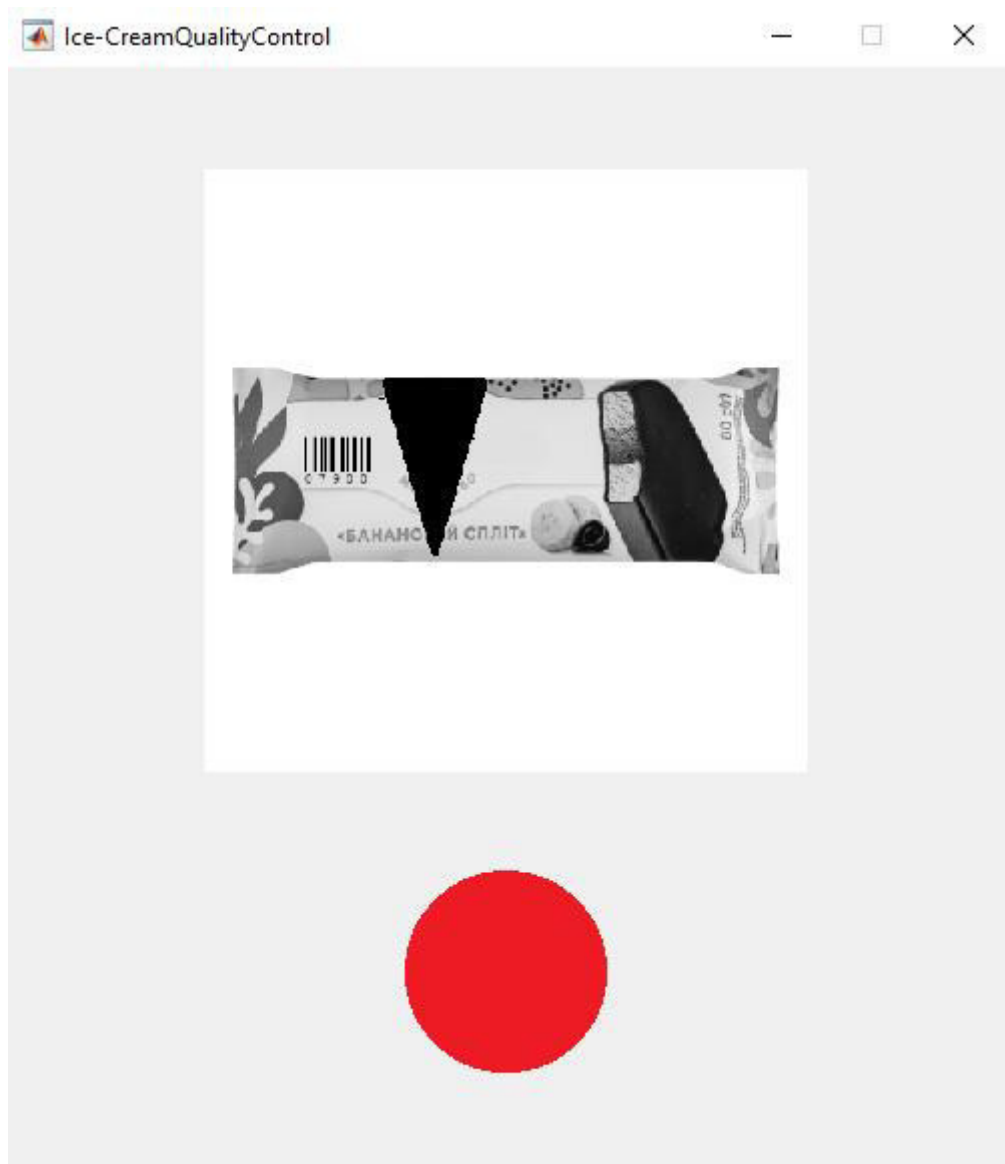


Рис. 3.19. Присутній брак на упаковці морозива.

3.5. Функціонування інтелектуальної системи керування розпізнавання якості упаковки морозива

Технічна структура інтелектуальної системи керування розпізнавання якості упаковки (ІСРЯУ) морозива зображена на рис. 3.20.

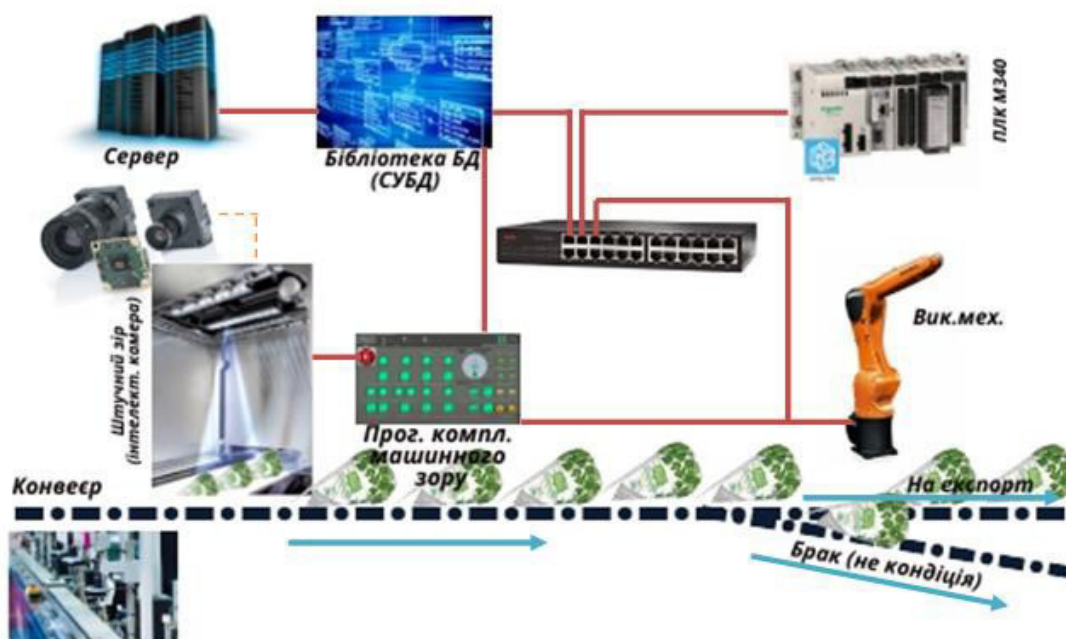


Рис. 3.20. Технічна структура інтелектуальної системи керування розпізнавання якості упаковки (ІСРЯУ) морозива.

Згідно технічної структури інтелектуальна система керування розпізнавання якості упаковки (ІСРЯУ) морозива функціонує наступним чином.

Зображення упаковки морозива на конвеєрі отримане камерою надходить до інтелектуальної система керування розпізнавання якості упаковки (ІСРЯУ) морозива. Нейронна мережа інтелектуальної системи керування розпізнавання якості упаковки (ІСРЯУ) морозива розпізнає якість упаковки, зображує результат в графічному інтерфейсі на щиті оператора.

В залежності від якості упаковки морозива інтелектуальна система керування розпізнавання якості упаковки (ІСРЯУ) морозива подає команду для ПЛК, який управляє механізмами конвеєра.

Конвеєр в залежності від команди ПЛК направляє якісно упаковане морозиво на склад, а упаковане морозиво з браком направляє у місце тимчасового накопичення браку.

За допомогою розробленого графічного інтерфейсу оператор контролює функціонування інтелектуальної системи керування розпізнавання якості упаковки (ІСРЯУ) морозива.

Висновки

В кваліфікаційній роботі магістра проведено огляд технології виробництва морозива та існуючих технологій та технічних засобів розпізнавання якості упаковки продукції.

Розроблено систему автоматизації процесу виробництва морозива з використанням сучасних технічних засобів автоматизації та ПЛК Schneider Electric Modicon M340.

На мові SysML розроблено діаграми, за допомогою яких проводиться опис функцій, що інтелектуалізуються.

Розроблено інтелектуальну систему керування розпізнавання якості упаковки (ІСРЯУ) морозива з використанням технологій машинного зору на основі нейронної мережі.

Розроблена інтелектуальна система керування розпізнавання якості упаковки (ІСРЯУ) морозива дозволяє виявити неякісно упаковану продукцію та вилучати її до того, як вона потрапить на прилавки торговельних мереж магазинів, тим самим зменшивши збитки підприємства на реалізацію продукції.

Список використаної літератури

1. Луцька Н.М. Сучасні технології проектування інтелектуальних систем керування [Електронний ресурс] конспект лекцій для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньо-професійної програми «Інтелектуальні комп'ютерні системи керування» денної та заочної форм навчання / Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк К.: НУХТ, 2019. – 117 с.
2. Ицкович Э.Л. Методы комплексной автоматизации производства предприятий технологических отраслей / Э.Л. Ицкович. – М.: КРАСАНД, 2013. – 232 с.
3. Методичні рекомендації до виконання випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Інтелектуальні комп'ютерні системи керування» денної та заочної форм навчання / Уклад.: А.П. Ладанюк, Н.М. Луцька, Я.В. Смітюх, В.Д. Кишенько.[Електронний ресурс]. – К. : НУХТ, 2020. – 70 с.
4. 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.
5. Нестеров А. Л. Проектирование АСУТП. Книга 1 / А.Л. Нестеров. – СПб.: ДЕАН, 2006. –552 с.
6. Нестеров А. Л. Проектирование АСУТП. Книга 2 / А.Л. Нестеров. – СПб.: ДЕАН, 2009. – 944 с.
7. Про КРІ та ОЕЕ. Загальні розрахунки згідно ISO 22400-2. URL: <http://www.slideshare.net/pupenasan/kpi-oee>.

8. 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.
9. 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.
10. Трегуб В.Г. Автоматизація об'єктів періодичної дії: [підручник] / В.Г. Трегуб. – К.: Ліра-К, 2016. – 136 с.
11. Фёдоров Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка. Учебно-практическое пособие / Ю.Н. Фёдоров. – М.: Инфра-Инженерия, 2008. – 928 с.
12. A Practical Guide to SysML. The Systems Modeling Language. 2-d ed/ /Sanford Friedenthal, Alan Moore, Rick Steiner, Elsevier Inc. 2012.
13. Буч Г., Рамбо Д., Якобсон И. Б90 Язык UML. Руководство пользователя. 2-е изд.: Пер. с англ. Мухин Н. – М.: ДМК Пресс, 2006. – 496 с.
14. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: навч. посібник / В.Г. Трегуб. – К.: Ліра-К, 2014.
15. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП. Книга 1 / А.Л. Нестеров // СПб.: Издательство ДЕАН. – 2006. – 844 с.
16. Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП. Книга 2 / А.Л. Нестеров // СПб.: Издательство ДЕАН. – 2009. – 944 с.
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. Технология производства и приготовления мороженого. URL: <https://mastermilk.com/blog/tehnologiya-proizvodstva-morojenogo>
20. Техническое зрение в пищевой промышленности: технологии и приложения. URL: <https://controleng.ru/otraslevye-resheniya/tehnicheskoe-zrenie-v-pishhevoj-promy-shlennosti-tehnologii-i-prilozheniya/>
21. Контроль качества продукции, безопасности и целостности упаковки с помощью технологий COGNEX. URL: <https://www.sensotek.ru/catalog/cognex/use/kontrol-kachestva-produktsii-bezopasnosti-i-tselostnosti-upakovki-s-pomoshchyu-tekhnologiy-cognex/>
22. Машинное зрение на Python, TensorFlow и Keras. URL: <https://www.cameraiq.ru/faq/mashinnoe-zrenie-na-Python-TensorFlow-i-Keras>
23. Digital Thermometers. URL: https://www.kobold.com/uploads/files/t2gb_dtm.pdf
24. Система 6000 Электропневматические преобразователи сигналов постоянного тока. URL: <http://www.samson.ru/upload/iblock/780/780639fac90c761a661e22ac170b9980.pdf>
25. Dwyer. Регулирующие клапаны. URL: https://dwyer.nt-rt.ru/images/manuals/klapan_regulyator.pdf
26. Digital Manometer with LCD Display. URL: <https://www.kobold.com/uploads/files/man-sd-ld-gb-pressure.pdf>
27. Continuous Level Probe: potentiometric measuring technique. URL: <https://kobold.com/uploads/files/lnp-gb-level.pdf>
28. Vortex Flowmeter. URL: <https://kobold.com/uploads/files/dvh-gb-flow.pdf>
29. Коммутация и защита. URL: https://www.svaltera.ua/upload/iblock/54d/price_2_commut.pdf
30. Электродвигатель АИР90L2. URL: <https://systemax.com.ua/p22563502-elektrodivigatel-air90l2-air.html>
31. Grundfos TP 150-110/6. URL: https://nasos-m.com.ua/nasosi/grundfos_tp_150-110_6.html