

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Приладобудівний факультет
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА СИСТЕМ НЕРУЙНІВНОГО
КОНТРОЛЮ**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Юрій Киричук

«__» _____ 20__ р.

Дипломний проєкт

**на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології
проектування приладів»**

**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
на тему: «Система автоматизованого сортування плодів овочевих культур
з елементами штучного інтелекту»**

Виконав:

студент ІV курсу, групи ПМ-91
Підбуцький Микита Юрійович

Керівник:

Професор, д.т.н,
Черепанська Ірина Юріївна

Рецензент:

Професор, д.т.н,
Шевченко Костянтин Леонідович

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент: Підбуцький М.Ю.

Київ – 2023 рік

Відомість дипломного проєкту

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ДПБ.ПМ-91.18.1760.000.ПЗ	Пояснювальна записка		
3	A2	ДПБ.ПМ-91.18.1760.001.СхФ	Схема функціональна	1	
4	A1	ДПБ.ПМ-91.18.1760.002.СхЕ	Схема електрична принципова	1	
5	A2	ДПБ.ПМ-91.18.1760.003.СхП	Схема електропневматична принципова	1	
				ДПБ.ПМ-91.18.1760.000.ПЗ	
		ПБ	Підп.	Дата	
Розробн.		Підбуцький М.Ю.			Лист
Керівн.		Черепанська І.Ю.			1
Консульт.					Листів
Н/контр.					1
Зав.каф.		Киричук Ю.В.			КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АСНК Гр. ПМ-91
Відомість дипломного проєкту					

Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему «**Система автоматизованого сортування плодів овочевих культур з
елементами штучного інтелекту**»

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультету

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технології
проекування приладів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту
Підбуцькому Микиті Юрійовичу

1. Тема проєкту «Система автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту», керівник проєкту Черепанська Ірина Юріївна, професор, д.т.н., затверджені наказом по університету від «30» травня 2023 р. №2057-с

2. Термін подання студентом проєкту «09» червня 2023

3. Вихідні дані до проєкту опис технологічного процесу сортування огірків, ДСТУ 3247-95 Огірки свіжі. Технічні умови, стандарт ISO 9001. Система управління якістю,

4. Зміст пояснювальної записки вступ, стан сучасних рішень на ринку методів сортування плодів овочевих, структурна схема системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту, функціональна схема автоматизації сортування плодів овочевих культур, розробка електричної принципової схеми системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту, розробка архітектури штучної нейронної мережі системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту, висновки, напрямки подальших досліджень, перелік інформаційних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) структурна схема, функціональна структура, функціональна схема, електропневматична принципова схема, електрична принципова схема, багатошаровий перцептрон, презентація

6. Дата видачі завдання «17» лютого 2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Стан сучасних рішень на ринку методів сортування плодів овочевих,	19.02.2023	
2	Структурна схема системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту	16.03.2023	
3	Функціональна схема автоматизації сортування плодів овочевих культур	02.04.2023	
4	Розробка електричної принципової схеми системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту	22.04.2023	
5	Розробка архітектури штучної нейронної мережі системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту	10.05.2023	
6	Вступ	15.05.2023	
7	Висновки	23.05.2023	
8	Напрямки подальших досліджень	26.05.2023	
9	Оформлення списку літератури та додатків	31.05.2023	

Студент

Микита ПІДБУЦЬКИЙ

Керівник

Ірина ЧЕРЕПАНСЬКА

Анотація

Метою дипломного проєкту є розробка автоматизованої системи сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту.

В дипломному проєкті розроблено систему автоматизованого сортування плодів овочевих культур (САСПО), зокрема огірків. Розроблена САСПО є альтернативою відомим зарубіжним аналогам. Вона дозволяє здійснювати сортування плодів овочевих культур, зокрема огірків, з високою точністю, якістю та продуктивністю в автоматизованому режимі.

У дипломному проєкті проведено аналіз сучасних методів та засобів сортування, зокрема механічних, оптичних та інтелектуальних методів. Розроблено загальну структурну схему системи автоматизованого сортування, а також розроблено функціональну та електропневматичну принципові схеми системи.

Також розроблено електричну принципову схему керування асинхронним електродвигуном та зіштовхувачами плодів. Завершаючий розділ присвячено обґрунтуванню архітектури штучної нейронної мережі для розпізнавання показників якості плодів та розробці її структурної схеми.

Ключові слова: автоматизоване сортування, штучні нейронні мережі, гнучкість, автоматизація, високоточні датчики, сервопривід, поршень.

Abstract

The aim of the thesis project is to develop an automated vegetable fruit sorting system with elements of artificial intelligence.

In the thesis project, we developed a system for automated sorting of vegetable crop (SASVC), in particular cucumbers. The developed SASVC is an alternative to well-known foreign analogues. It allows sorting vegetable fruits, in particular cucumbers, with high accuracy, quality, and productivity in an automated mode.

The thesis project analyzes modern methods and means of sorting, including mechanical, optical, and intelligent methods. A general structural diagram of the automated sorting system was developed, as well as functional and electropneumatic schematic diagrams of the system.

An electrical circuit diagram for the control of the induction motor and the fruit pushers was also developed. The final section is devoted to the substantiation of the architecture of an artificial neural network for recognizing fruit quality indicators and the development of its structural diagram.

Keywords: automated sorting, artificial neural networks, flexibility, automation, high-precision sensors, servo drive, piston.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
1. СТАН СУЧАСНИХ РІШЕНЬ НА РИНКУ МЕТОДІВ СОРТУВАННЯ ПЛОДІВ ОВОЧЕВИХ.....	13
1.1. Сутність та зміст задачі автоматизації процесу сортування плодів овочевих культур.....	13
1.2. Аналіз сучасних методів та засобів сортування плодів овочевих культур.....	19
1.2.1. Механічні засоби сортування.....	22
1.2.1.1. Аналіз сортувальної машини TOMRA 5A.....	25
1.2.1.2. Аналіз сортувальної машини TOMRA 5B.....	27
1.2.2. Оптичні методи сортування.....	28
1.2.2.1. Аналіз оптичної сортувальної машини RaytecVisionRainbow STD.....	29
1.2.2.2. Аналіз оптичної сортувальної машини EXTRA SORTER PROTEC.....	30
1.2.3. Інтелектуальні методи сортування.....	32
1.3. Мета та задачі дипломного проекту.....	35
2. СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО СОРТУВАННЯ ПЛОДІВ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....	37
2.1. Загальна інформація про структурну схему системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту.....	37

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.01.000</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Підбуцький				<i>Пояснювальна записка</i>	Лім	Арк.	Акрушів
Перевір.	Черепанська					Н	7	
Реценз.						<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського</i>		
Н. Контр.						<i>ПМ-91</i>		
Затверд.								

2.2. Структурна схема системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту.....	37
2.3. Структурна схема функціонування системи автоматичного сортування плодів овочевих з елементами штучного інтелекту.....	40
3. ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ СОРТУВАННЯ ПЛОДІВ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР	45
3.1. Загальні відомості про функціональну схему.....	45
3.2. Розробка функціональної схеми автоматизації процесу сортування плодів овочевих культур.....	46
3.3. Розробка специфікації функціональної схеми автоматизації сортування плодів овочевих культур.....	50
3.4. Розробка електропневматичної принципової схеми автоматизації сортування плодів овочевих культур.....	51
4. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО СОРТУВАННЯ ПЛОДІВ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....	53
4.1. Елементна база схеми електричної принципової системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту.....	53
4.1.1. Інфрачервоний датчик наявності плодів овочевих культур у робочій зоні.....	54
4.1.2. Ультразвуковий датчик визначення розмірів та форми плодів овочевих культур.....	55
4.1.3. Ультрафіолетовий датчик для визначення кольору плодів овочевих культур.....	56
4.1.4. Акустичний датчик для визначення щільності плодів овочевих культур.....	58
4.2. Розробка схеми електричної принципової реверсивного керування асинхронним електродвигуном з короткозамкненим ротором конвеєрної стрічки.....	60

4.2.1. Безконтактне керування асинхронним електродвигуном з короткозамкненим ротором на базі оптронів.....	61
4.2.2. Безконтактне керування асинхронним електродвигуном з короткозамкненим ротором за допомогою частотного перетворювача.....	63
4.3. Розробка схеми електричної принципової керування зіштовхувачами плодів овочевих культур на основі пневматичних циліндрів.....	68
4.4. Схема електрична принципова системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту.....	70
4.5. Розробка специфікації схеми електричної принципової системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту.....	72
5. РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО СОРТУВАННЯ ПЛОДІВ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....	74
5.1. Формалізований опис органолептичних показників якості плодів овочевих культур на прикладі огірків.....	74
5.2. Формування векторного опису плодів овочевих культур на прикладі огірків.....	76
5.3. Обґрунтування архітектури штучної нейронної мережі для автоматичного розпізнавання органолептичних показників якості плодів овочевих культур на прикладі огірків та розробка її структурної схеми.....	80
ВИСНОВОК.....	83
НАПРЯМКИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	85
ПЕРЕЛІК ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ.....	86
ДОДАТКИ.....	92

ПЕРЕЛІК ПРИЙНЯТИХ УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

САСПО – системи автоматизованого сортування плодів овочевих

SASVC – system for automated sorting of vegetable crop

ШНМ – штучна нейронна мережа

NIR – Near Infra Red

СК – система керування

МС – механізм скидання

МШІ – модуль штучного інтелекту

ОК – об'єкт керування

ВМ – виконавчий механізм

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

ФСА – функціональна схема автоматизації

ДРН – дискретний регулятор напруги

ПЛК – програмований логічний контролер

ЧП – частотний перетворювач

СС – семантичні сітки

СПЗ – система подання знань

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

ВСТУП

Усі сучасні підприємства існують у середовищі конкурентної боротьби за споживача. Це середовище формується постійно зростаючими вимогами до якості готової продукції згідно з міжнародними стандартами ISO 9001, а також динамічністю та невизначеністю попиту на ринку. Вказане стимулює виробників до підвищення якості готової продукції. Одним із шляхів підвищення якості продукції сільськогосподарських підприємств, зокрема плодів овочевих культур, у тому числі огірків, є їх сортування у відповідності до показників якості визначених ISO 9001 та ДСТУ 3247-95 [24].

З цих позицій, очевидно, що автоматизація сортування плодів овочевих культур в промислових масштабах є надзвичайно важливою та актуальною задачею, успішне вирішення якої дозволяє підвищити продуктивність виконуваних робіт, збільшити строки зберігання продукції, зменшити фінансові витрати та підвищити ефективність функціонування сільськогосподарських та харчових підприємств в цілому [24].

Актуальність теми полягає в тому, що традиційні методи сортування, засновані на ручній праці, вже не відповідають вимогам сучасного ринку, де висуваються високі стандарти якості і швидкості обробки. У зв'язку з цим, виникає потреба в автоматизованих системах сортування, які забезпечують точність, швидкість і надійність процесу. Застосування штучного інтелекту в сортуванні плодів овочевих культур відкриває нові можливості для покращення цього процесу.

З врахуванням вказаного **метою** дипломного проекту бакалавра є розробка системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту, що буде конкурентоспроможною зарубіжним аналогам.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

1. Провести аналіз сучасної бази засобів та методів автоматизованого сортування плодів овочевих культур, зокрема огірків.
2. Визначити показники якості за якими здійснюється сортування плодів овочевих культур, зокрема огірків.

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

3. Розробити структурну схему системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур, зокрема огірків.
4. Розробити функціональну схему автоматизації сортування плодів овочевих культур, зокрема огірків.
5. Розробити схему електричну принципову керування асинхронним двигуном конвеєра та пневматичними циліндрами.
6. Розробити архітектуру штучної нейронної мережі для автоматизованого розпізнавання плодів овочевих культур, зокрема огірків, за визначеними показниками їх якості.

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1. СТАН СУЧАСНИХ РІШЕНЬ НА РИНКУ МЕТОДІВ СОРТУВАННЯ ПЛОДІВ ОВОЧЕВИХ

1.1. Сутність та зміст задачі автоматизації процесу сортування плодово овочевих культур

Під плодово овочевими культурами розуміють різні овочі, починаючи від картоплі, моркви, цибулі та закінчуючи ягодами та фруктами. Необхідність їх сортування обумовлюється вимогами ринку. Різні ринки можуть мати свої власні вимоги щодо сортування плодово-овочевих культур. Наприклад, деякі ринки можуть вимагати окреме сортування за розміром або кольором для задоволення попиту споживачів.

Сортування плодово овочевих культур з урахуванням трудомісткості виконуваних операцій та їх об'ємів може здійснюватися у промислових та непромислових масштабах.

У непромислових масштабах сортування плодів відбувається за кольором, розміром, діаметром, зовнішнім виглядом тощо. Яскравий представником зосередження відсортованих таким чином продуктів є стихійні ринки, базари, маленькі крамниці, в яких представлено результати сортування вручну. Таке сортування виконується на малих підприємствах, невеликих фермерських та приватних господарствах без застосування високотехнічних та високоточних автоматизованих машин і засобів у зв'язку із їх високою вартістю, а також передбачає додаткові витрати на навчання персоналу та вимагає наявності висококваліфікованих робітників з ремонту та обслуговування такого обладнання, крім того така техніка є вузькоспеціалізованою та досить дорогою в експлуатації. Адже вказані об'єкти сільського господарства характеризуються потенційно великою різноманітністю продукції, яка через високу трудомісткість виконуваних робіт щодо її сортування відрізняється високою собівартістю

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

продукції, що частково обумовлюється значними витратами на заробітну плату величина яких за даними літератури [1] становить близько 20-25%.

Крім того, з розвитком сучасного сільськогосподарського виробництва спостерігається помітна тенденція до скорочення масштабів масового виробництва, збільшення кількості дрібних і середніх фермерів. Внаслідок цього спостерігається процес технічного оновлення виробництва у дрібних і середніх фермерських господарствах, зокрема заміна спеціалізованого устаткування на універсальне. Фермери отримують все більше замовлень на виробництво порівняно невеликих та різноманітних партій сільськогосподарської продукції. При цьому з боку покупця все частіше висувається вимога щодо задоволення потреб щодо високої якості продукції, у тому числі плодово-овочевих культур.

Загальновідомий факт, що глобальна мета діяльності будь якого підприємства, у тому числі сільськогосподарського, направлена на отримання максимального прибутку та забезпечення сталого розвитку. При цьому усі сучасні підприємства існують у середовищі конкурентної боротьби за споживача. Це середовище формується постійно зростаючими вимогами до якості готової продукції згідно з міжнародними стандартами якості ISO 9001 [17], а також динамічністю та невизначеністю попиту на ринку. Вказане стимулює виробників до підвищення якості готової продукції.

Відповідно до міжнародних стандартів ISO 9001 [17] якість сільськогосподарської продукції, зокрема плодів та овочів, є комплексним поняттям, яке охоплює наступні показники:

- *фізичні властивості*: розмір, форма, колір, текстура, структура тощо;
- *хімічний склад*: вміст вітамінів, мінеральних речовин, цукрів, кислот, амінокислот тощо;
- *органолептичні характеристики*: смак, аромат, зовнішній вигляд тощо;
- *фізіологічні властивості*: ступінь зрілості, стійкість до пошкоджень, тривалість зберігання тощо;

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

– *безпе́чність споживання*: вміст шкідливих речовин (пестицидів, важких металів, мікробіологічних забруднень тощо), відповідність нормам і стандартам щодо безпе́чності продуктів харчування;

– *соціально-економі́чні*: вартість, ринкова конкурентоспроможність, відповідність вимогам технічних регламентів та стандартів.

Отже, якість сільськогосподарської продукції не обмежується тільки зовнішнім виглядом та смаковими якостями, а охоплює різноманітні параметри, які визначають якість та безпеку продукту для споживання.

Одним із шляхів забезпечення необхідної якості плодів овочевих культур є їх сортування.

При цьому, у кожного виду овочів і фруктів є свої параметри, що визначають особливості їх сортування. Так, наприклад, огірки, що є мають значну харчову цінність сортують за сукупністю органолептичних та технологічних показників, наприклад, вигляд, колір, форма, розмір, призначенням у харчуванні. Відповідно до цього виділяють наступні типи огірків.

Салатні, що використовуються у своїй переважній більшості для приготування салатів і вживання в їжу у свіжому вигляді. Такі огірки зазвичай покриті білими шипами. Для салату вони незамінні – соковиті, хрусткі, видовжені. Але зовсім не підходять для засолювання, адже стають м'якими і позбавленими смаку [2].

Для маринування. Такі огірки маленького розміру, мають тонку шкіру та щільну м'якоть. Після консервування їх смак залишається незмінним, вони не стають «водянистими» [2].

Універсальні. Підходять як для споживання у свіжому вигляді і приготування салатів, так і для маринування. Але мають значний мінус – це дуже

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

маленька врожайність, тому фермери рідко їх використовують для великих плантацій [2].

У залежності із призначенням до плодів овочевих культур висувають різні вимоги щодо їх якості. Так наприклад, показники якості огірків, що підлягають тривалому зберіганню шляхом їх маринування та квашення з наступним консервуванням нормовані державним стандартом ДСТУ 3247-95 (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Вимоги і норми стосовно якості огірків при оцінці їх органолептичних показників

При огляді *зовнішнього вигляду*, зразки оглядають, встановлюють цілісність огірків, наявність або відсутність вм'ятин, механічних пошкоджень. Тут же визначається відношення довжини до найбільшим поперечним діаметром.

При огляді огірків визначають їх *колір*: встановлюють однорідність, а також інтенсивність забарвлення.

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Технологічні операції з огірками

Найменування операції

Зміст операції

Призначення операції

1 ➡ Прибирання огірків

Відокремлення плодів від стебла

Механізація збирання врожаю, зменшення пошкоджених плодів



2 ➡ Мийка

Видалення з поверхні огірка будь-яких забруднених речовин, таких як ґрунт, бруд або залишки хімічних речовин.

Очищення плодів від забруднень



3 ➡ Сортування

У сортовщику відокремлюються плоди значної товщини, на транспортері відбракуюються плоди неправильної форми

Сортування плодів на два сорти по діаметру - Проте і більше 20 мм; на 3 сорти за довжині - 70, 70 - 90, 90-110 мм



4 ➡ Калібрування

Огірки калібрують по довжині або діаметру

Отримання партій огірків, однорідних за розміром



Рис. 1.2. Вимоги до операцій з обробки огірків

Залежно від показників якості та розмірів консервовані огірки поділяють на сорти: вищий і перший. За органолептичними показниками

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

огірки повинні відповідати вимогам ДСТУ 7989:2015 [23], наведені на рис. 1.3.

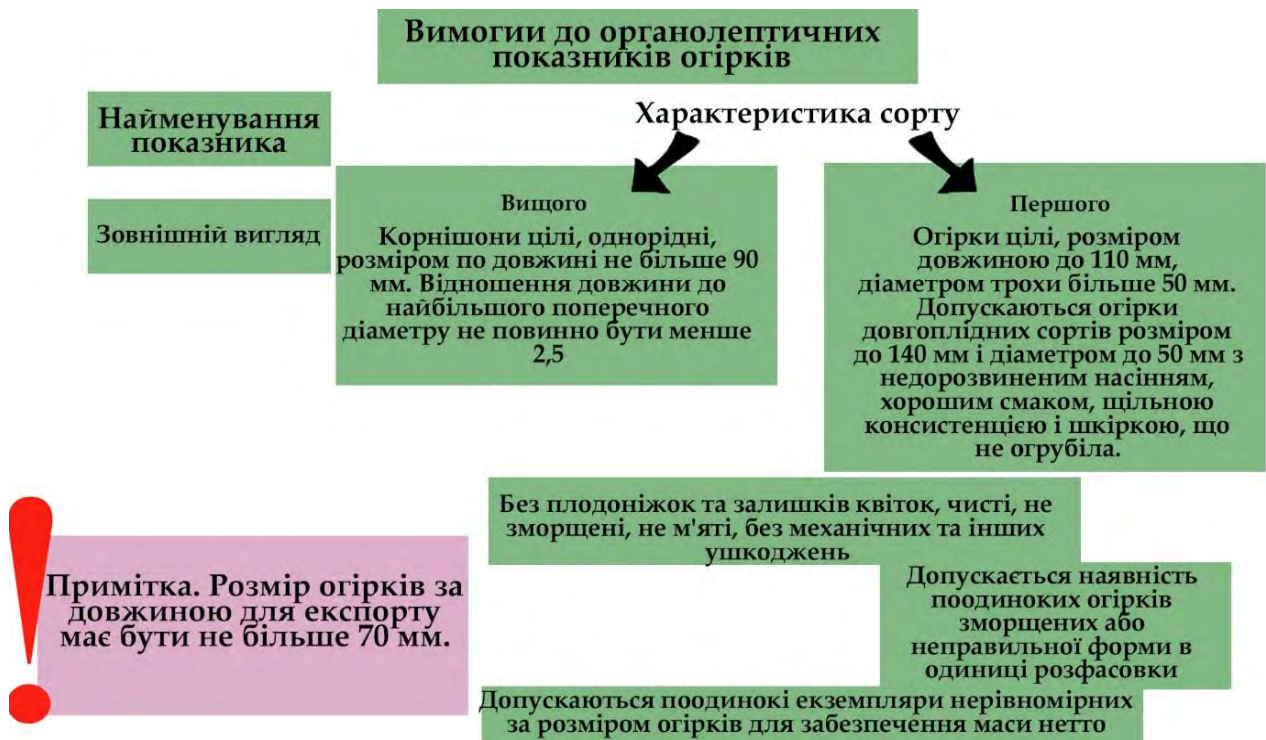


Рис. 1.3. Вимоги до органолептичними показниками огірків

Відсортовані плоди огірків сортуються в різні тари для подальшого консервування, збуту або утилізації. Зокрема, відповідно до визначених ДСТУ 3247-95 та ДСТУ 7989:2015 огірки повинні бути відсортовані та розділені на п'ять груп, а саме :

1. Огірки , що не відповідають нормованим стандартом показникам якості, наприклад, для відправки на ферми в якості корму для сільськогосподарських тварин;
2. Пікулі (30-50 мм);
3. Корнішони першої групи (51-70 мм);
4. Корнішони другої групи (71-90 мм);
5. Зеленці (91-110 мм).

Відповідно машини для сортування продуктів діляться на чотири основні категорії: для поділу продукції за діаметром, довжиною, вагою та / або кольором. При цьому бажано на етапі сортування визначати наявність деяких специфічних характеристик продуктів. Машини для сортування продуктів можуть виявляти наявність дефектів, розпізнавати форму або текстуру, визначати ступінь зрілості тощо.

1.2. Аналіз сучасних методів сортування плодів овочевих

Стійкий розвиток будь-якого сільськогосподарського підприємства вимагає комплексного підходу до вирішення глобальних викликів, таких як задоволення попиту споживачів і ефективне використання ресурсів підприємства. Ці цілі досягаються шляхом скорочення всіх видів витрат на виробництво продукції та послуг, раціонального використання ресурсів, включаючи людські, підвищення конкурентоспроможності та впровадження нової техніки та технологій для подальшого розвитку виробництва.

Сільськогосподарські підприємства повинні приділяти увагу оптимізації своїх витрат, що включає зниження енергетичних, матеріальних та трудових витрат, а також зменшення витрат виробництва. Підвищення конкурентоспроможності сільськогосподарського підприємства вимагає постійного вдосконалення його продукції, зокрема шляхом освоєння та впровадження нових технік, технологій і інновацій. Це дозволяє підприємству відповідати на змінювані потреби ринку, забезпечувати якість продукції і займати конкурентну позицію [1].

Одним із шляхів забезпечення необхідної якості плодів овочевих культур є підвищення ефективності та зменшення трудомісткості сортувальних робіт

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

плодів овочевих культур на етапі їх підготовки до реалізації та зберігання. Вказане передбачає комплексний підхід до процесу сортування і включають в себе рішення щодо застосування відповідного автоматизованого обладнання та інформаційно-комп'ютерних технологій для забезпечення транспортування плодів, їх миття та безпосереднього сортування з наступним упаковуванням. Сортувальні машини плодів овочевих культур найчастіше входять до складу автоматизованих ліній та виробничих систем та комплексів, які можуть бути карусельного або лінійного типу і зазвичай використовуються на великих підприємствах харчової промисловості.

На даний момент існує множина методів та засобів для автоматизованого сортування плодово-овочевих культур. Найбільш розповсюдженими є механічні методи, які передбачають використання сортувальних машини. Сортувальні машини відносяться до категорії харчової техніки. Парк сучасних сортувальних машин представлений як вузькоспеціалізованими так і універсальними моделями які є адаптованими для роботи з плодами різних розмірів і форм.

Проведений аналіз сучасної бази автоматизованих засобів сортування плодів овочевих культур вказує на те, що перелік застосовуваних засобів, систем та технологічних комплексів є досить значним, всі вони мають різну якість, переваги та недоліки, а також базуються на застосуванні різних технологій і фізичних принципів роботи. Зокрема, найбільш поширеними методами сортування залишаються механічні машини, оптичні технологічні комплекси, комбіновані системи (рис. 1.4.) та інтелектуальні системи, наприклад, розробка японського інженера Макото Койке, у якій використовується RaspberryPi 3 в якості основного контролера для отримання зображень огірків з камери та штучні нейронні мережі (ШНМ) на TensorFlow [24].

Необхідно відмітити, що переважна більшість сучасних засобів для автоматизованого сортування плодів овочевих культур, які ґрунтуються на

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

застосуванні передових інформаційно-комп'ютерних технологій зокрема, штучного інтелекту, є зарубіжного виробництва. Тому вітчизняні аграрії змушені нести додаткові фінансові витрати на придбання дорого вартісного зарубіжного обладнання, його ремонт та обслуговування, підвищення рівня професіоналізму робітників. З огляду на вказане, актуальність розробки вітчизняної конкурентно спроможної технологічної системи для автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту є очевидною [24].



Рис. 1.4. Сучасні методи сортування

Оптичні методи сортування передбачають використання камер та спеціального програмного забезпечення для аналізу колірних, формових та інших характеристик продуктів. Це дає можливість сортувати продукти за розміром, формою, кольором, ступенем дозрівання та виявляти дефекти, такі як плями, потрісканість, гниль тощо. Такі методи широко використовуються в сортуванні фруктів, наприклад, яблук, апельсинів, ківі, та овочів, наприклад,

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

помідорів, огірків, перцю тощо [3].

Комбіновані методи передбачають інтеграцію механічних та оптичних методів. Наприклад, машина може використовувати механічне сортування за розміром, а потім оптичне сортування за кольором та дефектами. Це дає більш точний та ефективний результат. Результати робіт у цьому напрямку представлені в літературі [3].

Одним з найновіших технологічних рішень в сортуванні плодів та овочів є використання *штучного інтелекту*. Системи зі штучним інтелектом використовують глибоке навчання для аналізу відомостей про продукти, що проходять через машину, та дозволяють виявляти навіть найменші дефекти, що можуть бути непомітні для людського ока. Такі системи можуть також навчатися індивідуально для кожного типу продукту, що дозволяє досягти більш точних та ефективних результатів [3].

1.2.1. Механічні методи сортування

Сортування продуктів в цьому випадку може проводитися на обладнанні такого типу:

1. *Барабанні машини*. Це обладнання засноване на обертанні встановленого барабана. Барабан розділений на кілька секцій, кожна з яких має отвори різного діаметру. Барабан обертається та калібрує вхідний матеріал. Як правило, перша порція визначає мінімальний розмір сировини, тобто найдрібніший плід, який насипається в транспортний лоток першим, або меншої якості. Найбільша частина вивантажується останньою. Такі машини мають деякі очевидні переваги, такі як низька вартість, проста конструкція та простота використання. Для огірків такі установки не підходять. Крім того, важливо

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

розуміти, що це пристосування дуже громіздке і псує плоди овочевих, завдаючи мікротравми [3].

2. *Віброкалібрувальні сортувальники.* Їх частіше використовують для картоплі та цибулі. Принцип роботи цього обладнання полягає в наступному: основу конструкції представляють віброполотна або сита. Сировина переходить з одного рівня на інший, забезпечуючи таким чином калібрування розмірів. Після такого сортування сировина подається на конвеєр і відправляється на фасування або подальшу переробку. Віброкалібрувальні сортувальники набули популярності через довговічність та надійність, працюють з високою точністю та хорошою ефективністю. Однак вони найчастіше використовуються тільки для картоплі або цибулі. Крім того, ці машини досить дорогі і мають досить високий рівень споживання електроенергії. Також в конструкції цього обладнання багато складних механічних вузлів, які значно ускладнюють обслуговування обладнання. Для роботи з цими машинами також знадобиться висококваліфікований персонал. До недоліків можна віднести підвищений рівень шуму при роботі [3].

3. *Машини для сортування валками.* Такі пристрої не призначені для тонкого сортування. Вони потрібні для відділення сухого ґрунту, а також для відділення середніх коренеплодів від великих. Принцип тут такий: обертові вали закріплені на одній рамі. Вони можуть бути різної ширини, а також різної кількості: це залежить від виду сировини та продуктивності тих чи інших пристроїв. До їх переваг можна віднести: ефективність, зручність використання, та легкість в налаштуванні. Машини цього класу ідеально підходять для огірків. Однак є дуже великий мінус: після дуже великого навантаження даної машини, сортування відбувається не точно[3].

4. *Стрічкові машини.* Ці установки широко використовуються на підприємствах з переробки овочів і фруктів. Вони ефективні та прості у використанні, зазвичай використовуються для сортування та калібрування сферичних овочів і фруктів. Основою конструкції тут є конвеєрні стрічки, що

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

5. складається з перфорованих смуг. Кожна секція має отвори різного розміру, від менших до більших. Вони прості в обслуговуванні, практично не псують сировину, а також можуть транспортувати вологу сировину, тобто відразу після операції миття. Однак варто враховувати, що стрічкові сортувальники будуть мати більші енерговитрати, оскільки кожна секція потребує власного електроприводу. Також даний вид обладнання чутливий до перевантажень, як і сортування валками. Овочі та коренеплоди подовженої форми тут не калібрують[3].

6. *Дискові сортувальники.* Використовуються для сферичної сировини (наприклад, яблук). Використовується для овочів і фруктів, які легко пошкоджуються, і відрізняється доступною ціною. Основними перевагами цього виду сортування є низьке енергоспоживання, надійність і простота обслуговування, варіативність налаштувань і можливість обробки плодів після очищення. Однак цей метод схильний до перевантаження. Крім того, слід мати на увазі, що продуктивність цієї техніки обмежена. Навіть найпотужніші машини ніколи не перевищують 800 кілограмів на годину. Для яблук найчастіше використовують саме ці сортувальники, так як вони найбільш вразливі до мікротравм [3].

7. *Струнне сортування.* Принцип роботи полягає в наступному. Основою робочого механізму є два ролики, між якими в пучок натягнуті струни, які рухаються «нескінченно». Сама робоча струна також може бути шиною або ланцюгом. Плоди всередині розташовані уздовж і між нитками. Від початку роботи машини струни розташовані нерівномірно, утворюючи зони калібрування. Як правило, цей прийом використовується для сферичної сировини, яка може обертатися навколо осі на шнурі. Але й з циліндричними коренеплодами й овочами безперебійно працюють нанизувачі (наприклад, їх можна використовувати для сортування огірків і моркви). Основний недолік полягає в тому, що цей метод сортування не підходить для ніжних плодів, оскільки вони падають з відносно великої висоти до 70 см. Струни також чутливі

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

до корозії, тому їх не можна використовувати для сортування сировини після миття[3].

8. *Роликові калібрувальники.* Цей тип сортування дуже поширений і використовується на більшості переробних підприємств. Особливості конструкції тут такі: роликовий конвеєр відповідає за сортування у вигляді двох тягових ланцюгів з обертовими роликами. Роликові елементи кріпляться на рухомих напрямних. Висоту можна регулювати, щоб забезпечити необхідний сортувальний зазор. За допомогою такого пристрою можна сортувати від 3 до 6 фракцій різного розміру. Для транспортування відсортованих плодів використовується стрічковий конвеєр. Підходить для сферичних і циліндричних матеріалів, висока точність і налаштування менш ніж за 1 хвилину. Такі машини є високоефективними і можуть сортувати до 20 000 кг за хвилину. Вони тихі, довговічні, надійні, їх можна використовувати з вологими матеріалами, але коштують дуже дорого. Не підходить для фруктів, схильних до травм, оскільки вони можуть впасти з невеликої висоти до 30 секунд [3].

1.2.1.1. Аналіз машини для сортування TOMRA 5A

Одним з провідних виробників машин для сортування плодів та овочів є компанія TOMRA [5], яка використовує комбіновані та оптичні методи в своїх машинах. Крім того, компанії, такі як Aweta [6], Greefa [7] та Compac [8], пропонують сучасні технології для сортування плодів та овочів.

Сортувальна машина TOMRA 5A забезпечує видалення сторонніх предметів більш ніж на 98%, контроль якості та контроль якості шкірки. Цей технологічний сортувальник картоплі, що працює з найвищими в галузі потужностями, значно підвищує рівень безпеки харчових продуктів і врожайність[9].

Сортувальна машина з подавальною стрічкою TOMRA 5A ефективно відкидає широкий спектр сторонніх матеріалів, як-от важке та плаваюче каміння, кукурудзяні качани й коріння, дерево, скло, пластик, м'ячі для гольфу, м'ячі для

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гольфу, метали, а також багато інших. Цей процес зводить до мінімуму ризик подальшого забруднення харчових продуктів і призводить до підвищення якості продукції[9].



Рис. 1.5. TOMRA 5A для контролю якості [11]

До них відносяться важкі і плаваючі камені, кукурудзяні качани і коріння, дерево, скло, пластик, м'ячі для гольфу і метали, а також багато інших. Сортиувальник оснащений новітніми засобами управління якістю продукції, що забезпечує швидке і просте виведення продукту постійної якості, що визначається клієнтом, для подальшої обробки[9].

1.2.1.2 Аналіз машини для сортування TOMRA 5B

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Оптична конвеєрна сортувальна установка TOMRA 5B спроектована на базі установки TOMRA5A, що займає провідні у світі позиції у сфері сортування плодоовочевої продукції.



Рис 1.6. TOMRA 5B для сортування [12]

Найбільшим мінусом даної установки є її ціна – близько 200 тисяч \$, оскільки на даному ринкові немає конкуренції та декілька компаній є монополістами.

Ці машини дозволяють використовувати оптичне сортування для визначення розміру, форми, кольору та ступеня зрілості огірків, а також механічне сортування для відокремлення огірків з недоліками від огірків зі стандартними параметрами[10].

Крім того, деякі виробники машин для сортування огірків використовують

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технології сортування за електричними параметрами, такими як електричний опір та діелектрична проникність, для відокремлення огірків з різними характеристиками. Такі методи дозволяють виявити огірки з недоліками, які не можуть бути визначені з використанням оптичного та механічного сортування[10].

У сучасних методах сортування огірків також використовуються різні технології управління якістю, такі як системи моніторингу та контролю якості продукту. Ці системи дозволяють автоматично визначати та коригувати параметри сортування, що забезпечує більш точне та ефективне сортування огірків.

1.2.2. Оптичні методи сортування

Оптичні методи сортування плодів та овочів базуються на використанні різноманітних оптичних технологій та обладнання для розпізнавання та класифікації овочів за різними параметрами, такими як розмір, форма, колір, структура, наявність дефектів та інші[4].

Оптичні сортувальники виконують дуже важливу функцію. Багато домішок мають дуже схожі характеристики - форму, колір і вагу - тому процес очищення продуктів і матеріалів від їх наявності дуже складний. Метод сортування цих продуктів ґрунтується на порівнянні кольорових особливостей. Якість роботи такого агрегату дуже висока та забезпечує 99,99% чистоти[4].

Окрім того, оптичні системи сортування можуть бути інтегровані в лінії автоматичного пакування та етикетування продуктів, що дозволяє знизити трудомісткість та збільшити продуктивність виробництва.

Проте, використання оптичних методів сортування овочів та плодів має свої обмеження. Наприклад, він не завжди може дати точні результати при відсутності відповідних оптичних властивостей, таких як кольору або форми [4].

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Також, оптичні методи сортування можуть бути впливати на вартість продукту та вимагати значних витрат на обладнання та налагодження процесу сортування.

Загалом, оптичні методи сортування овочів мають багато переваг перед традиційними методами ручного сортування, включаючи вищу точність, швидкість та ефективність. Вони також можуть допомогти зменшити кількість відходів і підвищити якість і безпеку продукції, що робить їх важливою технологією для сучасного сільського господарства та харчової промисловості.

1.2.2.1. Аналіз оптичної машини для сортування RaytecVisionRainbow STD

Rainbow - це сортувальник із датчиками високої роздільної здатності. Він оснащений технологією видимого кольору та NIR (Near Infra Red). Система може визначити наявність органічних або неорганічних чужорідних тіл (навіть повністю чорних), зіпсовані продукти та дефекти кольору. Ethernet-з'єднання доступне для віддаленого доступу. Відстеження продукту: встановлене програмне забезпечення дає змогу збирати дані в процесі для автономного аналізу та/або відстеження. Програмне забезпечення працює з чотирма рівнями управління, які можуть бути параметризовані незалежно один від одного, і має простий інтерфейс. Потрібні мінімальні повторні калібрування машини, як правило, тільки двічі на рік[13].

Rainbow може переглядати товар з обох боків. Блоки датчиків, розташовані над і під продуктом, забезпечують повний набір зображень для системи технічного зору. Висока якість і розташування використовуваних сенсорів дають змогу використовувати розмір пікселя 4x4 мм[13].

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рис.1.7. Машина для сортування Raytec Vision Rainbow STD[14]

Rainbow використовує твердотільну (світлодіодну) технологію освітлення з 5 монохромними довжинами хвиль віддзеркалення і однією монохромною хвилею передачі. Використання джерел світла у видимому спектрі та в інфрачервоному спектрі дає змогу класифікувати вироби за кольорами та за кольоронезалежними параметрами[13].

1.2.2.2. Аналіз оптичної сортувальної машини EXTRA SORTER PROTEC

У конфігурації з 3-стороннім сортуванням Extrasorter поділяє продукт на три різні класи за кольором, дефектами або сторонніми включеннями. Його можна застосовувати до різних категорій продуктів, таких як картопля, оливки, помідори, волоські горіхи, мідії. Він працює з системами подвійного бачення та подвійного відбракування: шляхом повної та точної перевірки продукту, у тому числі у великих кількостях[20].

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Ця серія машин відбирає за допомогою високоточної електронної системи помідори, фрукти чи овочі в відтінку бажаного кольору та дозволяє, залежно від застосування, відкидати продукт небажаного кольору або будь-які сторонні тіла з потоку продукту. Застосування є найрізноманітнішим і варіюється від помідорів до очищених помідорів і перцю чилі. Сімейство сортувальників включає в себе як системи одного зору, які оглядають продукт зверху, так і системи подвійного зору, які також оглядають продукт знизу. Кожен візуальний блок оснащений системою очищення щіток, яка циклічно очищає оптичну частину[21].

Швидкість потоку продукту змінюється в залежності від розміру апарату: доступні машини різної ширини з 20, 30, 40, 60 каналами. Машини Protec орієнтовані на мінімізацію обслуговування; зокрема, блоки зору є незалежними, щоб підвищити їхню надійність, крім того, вони включають функції самодіагностики, які сповіщають оператора про виникнення проблем [21].

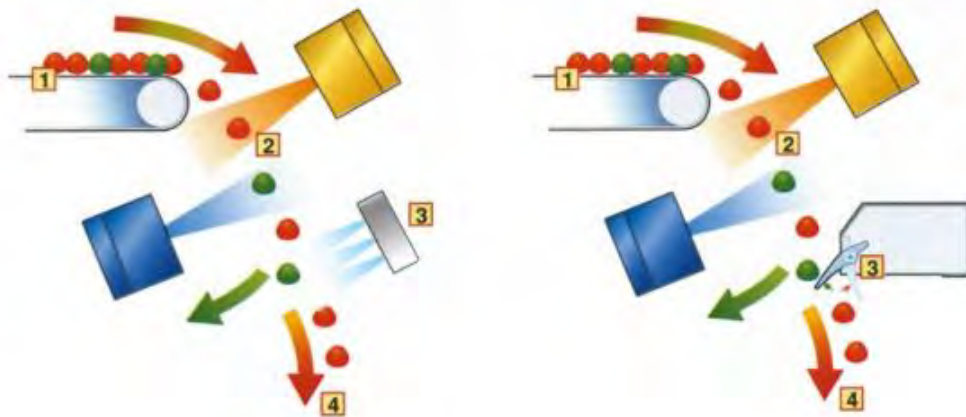


Рис. 1.8. Механізм сортування у EXTRA SORTER PROTEC [21]

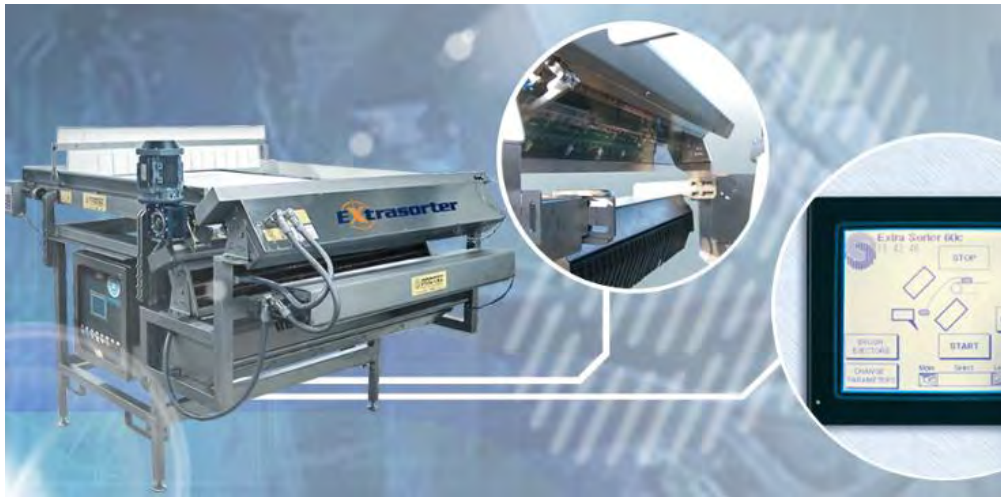


Рис. 1.9. Машина для сортування EXTRA SORTER PROTEC [21]

1.2.3. Інтелектуальні методи сортування

В 2016 році Макото Койке, колишній розробник вбудованих систем у японській автомобільній промисловості, отримав досвід роботи на огірковій фермі і був вражений об'ємом ручної роботи, необхідної для сортування огірків за розміром, формою, кольором та іншими характеристиками.

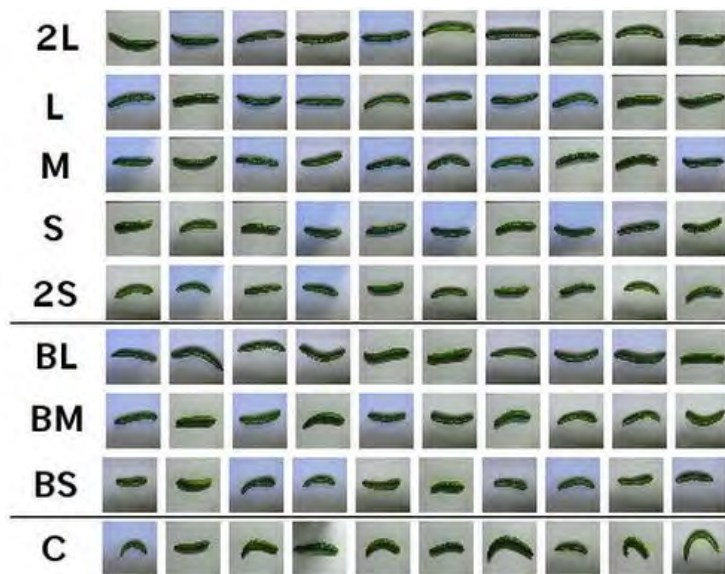


Рис.1.10. Деформовані або криві огірки прирівнюються до неякісної продукції [15]

Кожна ферма в Японії має свої власні стандарти класифікації овочів, включаючи огірки, і відсутність універсального галузевого стандарту ускладнює процес сортування. На фермі, де він працював, огірки сортувалися на дев'ять різних класів (див. рис. 1.10.), і на цю операцію у піковий час збору врожаю витрачалося до восьми годин щодня. [15].

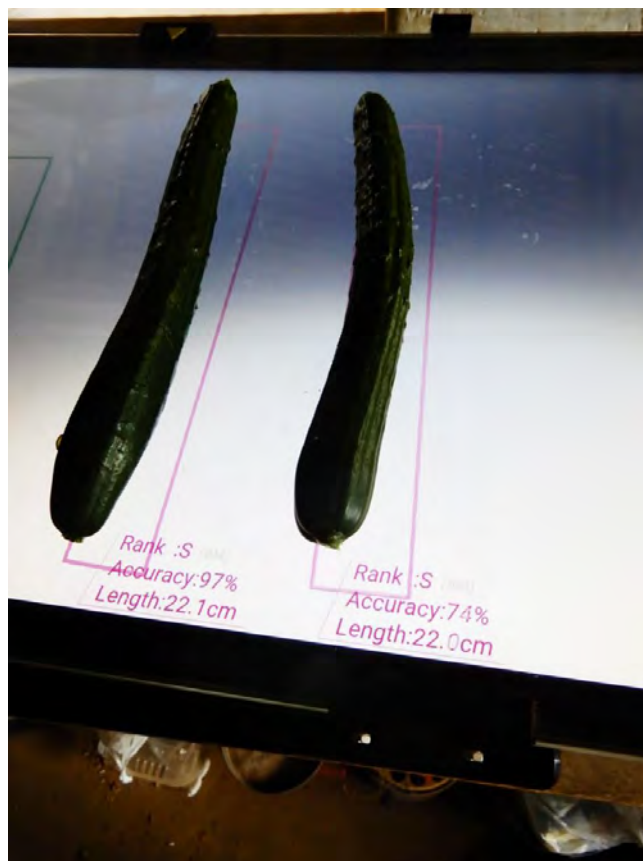


Рис.1.11. Приклад роботи штучного інтелекту[16]

Макото розробив системну схему, в якій Raspberry Pi 3 виконує роль основного контролера для отримання зображень огірків за допомогою підключеної камери (див. рис. 1.11).

На першому етапі роботи системи, Raspberry Pi запускає невелику нейронну мережу на TensorFlow, щоб визначити, чи зображення належить огіркам. Після цього він передає зображення до більш потужної нейронної мережі, яка працює на сервері з операційною системою Linux. Ця більша нейронна мережа здійснює

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

більш детальну класифікацію огірків (див. рис. 1.13).

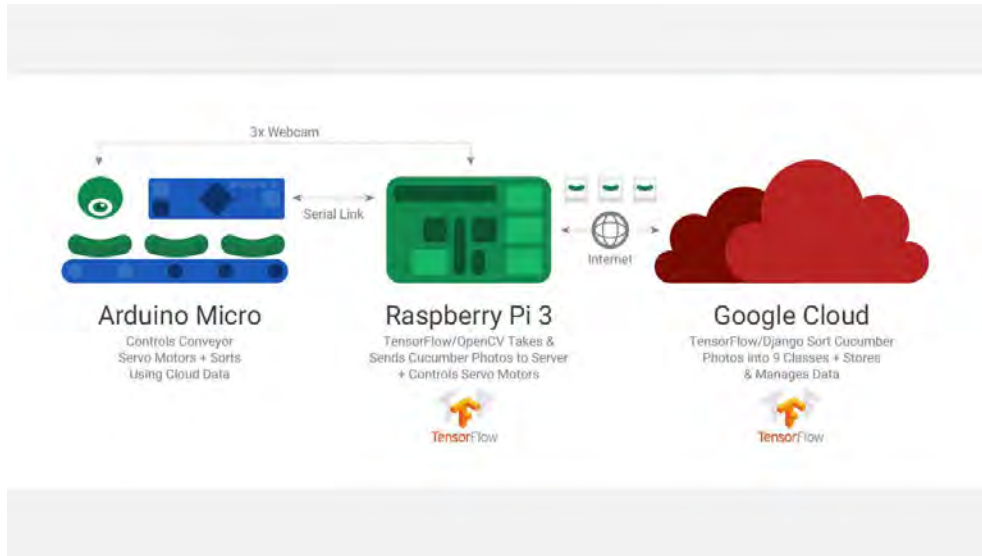


Рис. 1.12. Схема сортування з контролером RaspberryPi 3 [15]

Таким чином, система використовує Raspberry Pi як контролер для передачі та обробки зображень огірків, використовуючи нейронні мережі на TensorFlow для розпізнавання та класифікації огірків. [16].

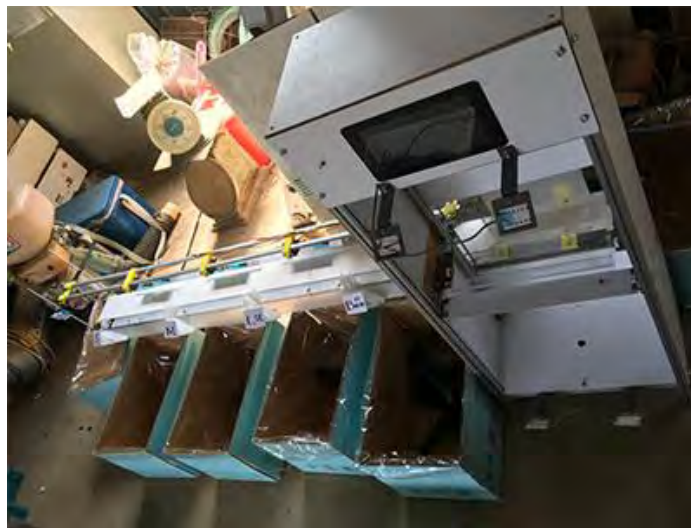


Рис. 1.13. Машина для сортування зі штучним інтелектом (розроблена Макото Койке, Японія) [15]

Узагалі, сучасні методи сортування огірків забезпечують значний рівень автоматизації та точності, що дозволяє значно збільшити продуктивність та знизити витрати на ручну роботу. Враховуючи зростаючі потреби у виробництві та постачанні якісної та безпечної продукції, сучасні методи сортування огірків стають все більш популярними та необхідними для ефективної роботи виробників[16].

1.3. Мета та постановка задач

Таким чином, можна стверджувати, що розвиток сучасного сільськогосподарського виробництва вимагає створення та застосування різноманітних автоматизованих систем у тому числі для сортування плодів овочевих культур, зокрема огірків. На сьогодні в галузі автоматизації сільського господарства набуто багаторічного досвіту та досягнутий значний прогрес. Проведений аналіз сучасної бази автоматизованих засобів сортування плодів овочевих вказує на те, що перелік застосовуваних засобів є досить значним, всі вони мають різну якість, переваги та недоліки, а також базуються на застосуванні різних технологій і фізичних принципів роботи. При чому переважна більшість сучасних засобів для автоматизованого сортування плодів овочевих культур, що ґрунтуються на застосуванні передових інформаційно-комп'ютерних технологій зокрема, штучного інтелекту, є зарубіжного виробництва. Незважаючи на це, потреби щодо якості автоматизації сортувальних робіт плодів овочевих культур, у тому числі огірків, постійно зростають. Тому актуальність розробок у даній галузі є очевидною.

З врахуванням вказаного **метою** дипломного проекту бакалавра є розробка системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту, що буде конкурентоспроможною зарубіжним аналогам.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

1. Провести аналіз сучасної бази засобів та методів автоматизованого сортування плодів овочевих культур, зокрема огірків.
2. Визначити показники якості за якими здійснюється сортування плодів овочевих культур, зокрема огірків.
3. Розробити структурну схему системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур, зокрема огірків.
4. Розробити функціональну схему автоматизації сортування плодів овочевих культур, зокрема огірків.
5. Розробити схему електричну принципову керування асинхронним двигуном конвеєра та пневматичними циліндрами.
6. Розробити архітектуру штучної нейронної мережі для автоматизованого розпізнавання плодів овочевих культур, зокрема огірків, за визначеними показниками їх якості.

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

2. СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО СОРТУВАННЯ ПЛОДІВ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР

2.1. Загальна інформація про структурну схему системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур

Структурна схема являє собою абстрактну модель пропонованої системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур (САСПО). Вона описує функціональні зв'язки між елементами системи і визначає склад в цілому. Структурні схеми відображають взаємозв'язки і дозволяють визначити конфігурацію між функціонально сумісними технічними засобами та елементами системи, що визначають її конфігурацію і структуру. Як відомо з літератури [1], структура будь-якої системи, в тому числі запропонованої САСПО, може бути попередньо визначена. Зокрема САСПО повинна мати багаторівневу структуру та містити такі наступні складові елементи, як прилади вимірювання параметрів (первинні перетворювачі, датчики); пристрої перетворення (обробки) інформації (наприклад, підсилювачі, фільтри, аналого-цифрові перетворювачі тощо); пристрої зв'язку або передачі інформації (наприклад, провідні або безпроводні канали зв'язку); пристрої зберігання та відображення інформації тощо.

2.2. Структурна схема системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур

Структурна схема пропонованої САСПО є замкненою системою управління зі зворотним зв'язком. З урахуванням того, що управління – це процес, який відбувається в режимі реального часу і забезпечує нормальний хід технологічного процесу, зокрема сортування огірків відповідно до визначених у пункті 1.1. показників якості, пропонована САСПО є підкласом динамічних систем, а її організаційна структура може бути представлена у класичній схемі управління, яка застосовується в динамічних системах зі зворотним зв'язком за станом. (рис. 2.1).

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Вона відображає взаємодію елементів системи та їх функції. Побудова організаційної структури дозволяє визначити та відобразити функціональне призначення кожної складової САСПО та вирішувати ними задачі. При цьому на схемі (рис. 2.1) стрілками показано напрямки інформаційних потоків. Зокрема, x_1 , x_2 , x_3 , x_4 – задані вхідні сигнали певного значення, що вказують нормовані значення показників огірків, щодо ДСТУ 3247-95 (рис. 1.1), пункт 1.1 (рис, пункт). Так, x_1 – вихідний сигнал датчика для порівняння з с сигналом з датчика наявності. x_2 – вихідний сигнал датчика для порівняння з сигналом від датчика кольору (ультрафіолетового). x_3 – вихідний сигнал датчика для порівняння з сигналом акустичного датчика. x_4 – вихідний сигнал датчика для порівняння з сигналом від ультразвукового датчика. Вхідний сигнал $f(t)$ може використовуватись для врахування зовнішніх факторів, таких як температура або вологість повітря.

Отримані від датчиків сигнали надсилаються до системи керування, де вони оброблюються і аналізуються модулем штучного інтелекту. Результатом цього аналізу є управління приводом конвеєру та механізмом скидання, які забезпечують правильне розташування огірків на стрічці та їх подальшу сортування. Остаточним результатом є вихідний сигнал $y(t)$, який показує, який огірок повинен бути скинутий, а який продовжувати рухатись по конвеєру.

Датчики передають значення логічної одиниці (1) відповідає наявності певного електричного струму або напруги на вході, тоді як нуль (0) відповідає їх відсутності. Ці значення можуть використовуватись для передачі та обробки інформації. Наприклад, датчик наявності може відправити логічну одиницю, якщо на конвеєрну стрічку попав об'єкт, і нуль, якщо стрічка порожня. Датчик контролю розміру може відправити логічну одиницю, якщо об'єкт відповідає заданим розмірам, та нуль, якщо ні і відправляти на механізм скидання. Датчик кольору відправляє логічну одиницю, якщо колір об'єкта відповідає заданим параметрам, і нуль, якщо ні. Датчик внутрішніх дефектів може відправити логічну одиницю, якщо об'єкт не має дефектів, і нуль, якщо вони є.

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

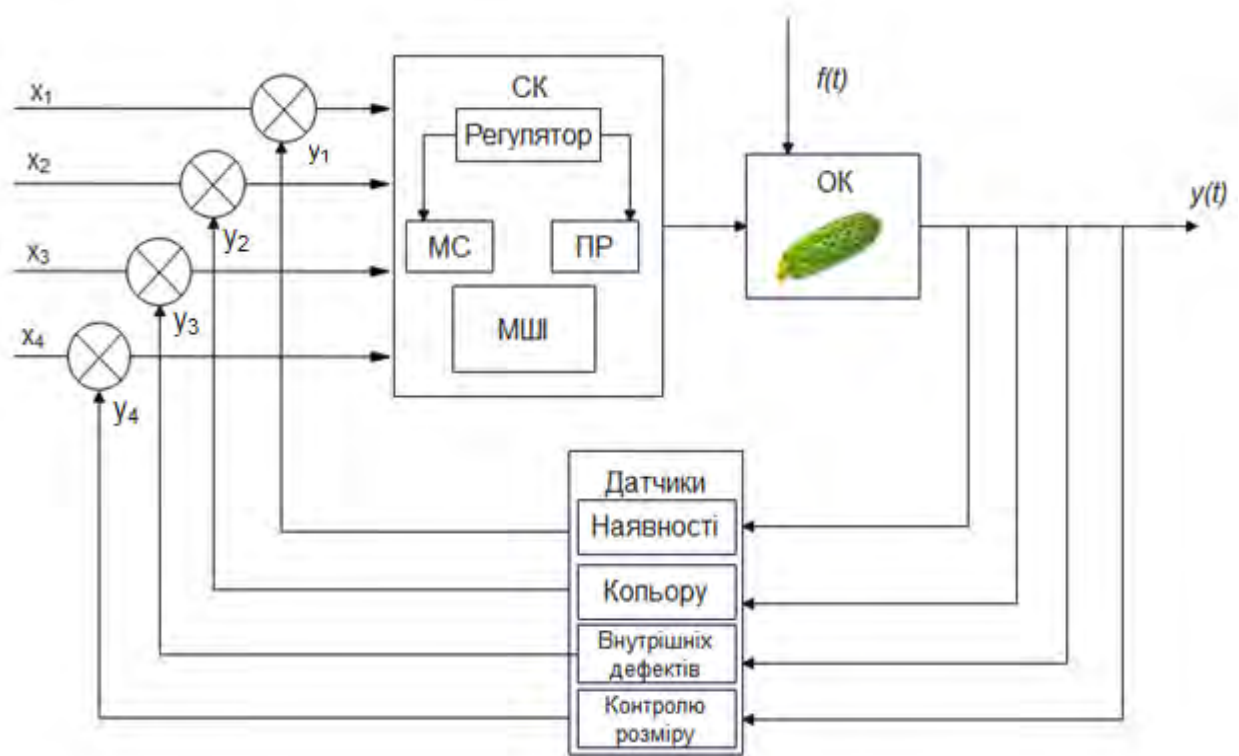


Рис. 2.1. Організаційна структурна схема автоматизованої системи сортування плодів овочевих

1. x_1, x_2, x_3, x_4 – вхідні сигнали задатчиків;
2. СК - Система керування;
 - 2.1 ПР – привід конвеєру;
 - 2.2 МС – механізм скидання;
 - 2.3 МШІ – Модуль штучного інтелекту;
 - 2.4 Регулятор;
3. ОК – об’єкт керування, представлений огірком
4. $f(t)$ – вплив зовнішнього середовища;
5. Модуль датчиків складається з:
 - 5.1 Датчик наявності;
 - 5.2 Датчик контролю розміру;
 - 5.3 Датчик кольору(інфрачервоний);
 - 5.4 Датчик внутрішніх дефектів(акустичний);

- 6. Сигнали з датчиків:
 - 6.1 y_1 – сигнал з датчика наявності;
 - 6.2 y_2 – сигнал з датчика контролю розміру;
 - 6.3 y_3 – сигнал з інфрачервоного датчика;
 - 6.4 y_4 – сигнал з акустичного датчика;
- 7. $y(t)$ – вихідний сигнал.

Взаємодія між інформаційними потоками відбувається наступним чином. На конвеєрну стрічку попадає об'єкт керування (в нашому випадку огірок). Отримуємо вхідні сигнали з модуля датчиків, а конкретніше з:

- 1. Датчика наявності;
- 2. Датчика контролю розміру;
- 3. Датчика кольору(інфрачервоний);
- 4. Датчика внутрішніх дефектів(акустичного).

Потім сигнали з датчиків передаються в блок обробки даних, яким може виступити персональний комп'ютер, ми порівнюємо вхідні сигнали з датчиків з закладеними сигналами, яким ми навчили нашу штучну нейронну мережу і на виході отримуємо певне рішення(сигнал), який подає цю величину на регулятор, що призводить до зміни керуючого сигналу і змінення положення та швидкості механізму скидання або швидкості конвеєрної стрічки.

2.3. Структурна схема функціонування системи автоматичного сортування плодів овочевих

Для відображення складу та взаємодії елементів запропонованої САСПО зручно розробити її функціональну структуру, яка формується на підставі уявлень про функціонування САСПО. Це дозволяє здійснити декомпозицію всієї системи та подати її у вигляді окремих, проте функціонально взаємопов'язаних

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

модулів (рис. 2.2). При цьому, необхідно відзначити, що розташування елементів на схемі не обов'язково відповідає реальному. Так, модулі рознесені по відповідних рівнях можуть бути як розподілені у просторі, так і бути розташованими у загальних фізичних блоках (наприклад, в пультах та щитах керування).

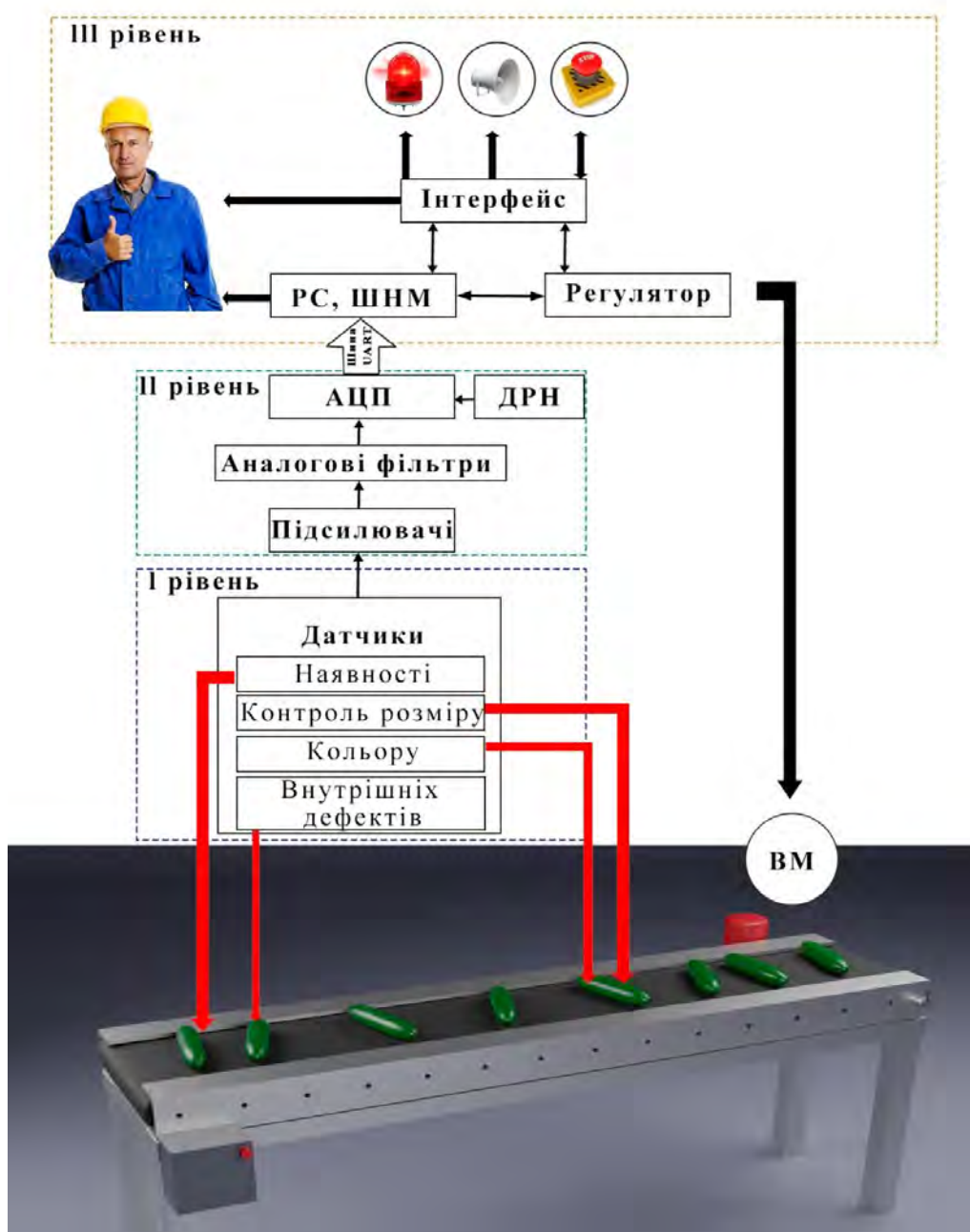


Рис. 2.2 Функціональна структура САСПО

САСПО побудована за модульним принципом з використанням уніфікованих технічних складових, що забезпечує гнучкість, яка проявляється в її легкому

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

переналагодженні на роботу з іншими видами плодів овочевих культур, відмінних від огірків, а також забезпечує надійність, завдяки застосуванню таких технічних засобів автоматизації, які широко випускаються промисловістю відповідно до принципів взаємозамінності та стандартизації, мають покращені технічні показники та надзвичайно позитивно зарекомендували себе на ринку. При цьому, в САСПО використовується оригінальна ШНМ для автоматичного розпізнавання та класифікації плодів, зокрема огірків, що реалізована у вигляді спеціально розробленого програмного продукту. Крім того, пропонована САСПО може бути легко інтегрована у загальнопромислову виробничу систему, наприклад великих сільськогосподарських корпорацій [24].

Зокрема САСПО побудована за модульним принципом з використанням уніфікованих технічних складових, що забезпечує гнучкість, яка проявляється в її легкому переналагодженні на роботу з іншими видами плодів овочевих культур, відмінних від огірків, а також забезпечує надійність, завдяки застосуванню таких технічних засобів автоматизації, які широко випускаються промисловістю відповідно до принципів взаємозамінності та стандартизації, мають покращені технічні показники та надзвичайно позитивно зарекомендували себе на ринку. При цьому, в САСПО використовується оригінальна ШНМ для автоматичного розпізнавання та класифікації плодів, зокрема огірків, що реалізована у вигляді спеціально розробленого програмного продукту. Крім того, пропонована САСПО може бути легко інтегрована у загальнопромислову виробничу систему, наприклад великих сільськогосподарських корпорацій [24].

І рівень представлений ультразвуковими, ультрафіолетовими, акустичними датчиками, пневматичними циліндрами та виконавчими механізмами (на схемі показаний як ВМ), зокрема трифазним асинхронним двигуном, який керується частотним перетворювачем, наприклад, Siemens Sinamics S120 [25]. Частотний перетворювач використаний в даній системі для можливого майбутнього вдосконалення. На цьому рівні формується вхідні вимірювальні сигнали з комплексу датчиків. Зокрема ультразвукові датчики, наприклад, SRF08 UltrasonicRangeFinder від Devantech [26], використовуються для визначення розмірів та форм огірків.

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ультрафіолетові датчики, наприклад, TCS3200 RGB Sensor від Adafruit [27], призначені для визначення дефектів на поверхнях плодів, зокрема плям, гнилій, пошкоджень тощо. Акустичні датчики, наприклад, Inscan IQA [28] застосовуються для оцінки щільності внутрішньої структури огірків та перевірки на наявність пустот [24].

Електродвигун механічно з'єднаний з конвеєрною стрічкою для пересування плодів овочевих культур, зокрема огірків та переміщення їх у відповідні тари, згідно заздалегідь заданим параметрам якості (рис. 2) відповідно до вимог ДСТУ 3247-95 [2] і вибраковкою таких, що мають пошкодження, гнилі, пустотілості тощо [24].

Інформація від датчиків поступає на II рівень пропонованої САСПО, який представлений підсилювачами сигналу, аналоговими фільтрами, які використовуються для зменшення шуму та інших спотворень сигналу, аналогово-цифровими перетворювачами (АЦП) (наприклад, ADS1115 від TexasInstruments [29]), який перетворює аналоговий сигнал від датчиків у цифровий код. Безпосередньо АЦП під'єднаний до дискретного регулятора напруги (ДРН) для стабілізації напруги на вході АЦП. Цифровий сигнал передається на наступний рівень пропонованої САСПО за допомогою інтерфейсу передачі даних, наприклад, шиною UART [24, 30].

III рівень реалізований ШНМ для автоматичного розпізнавання та класифікації плодів, інтегрованою в операційну систему персонального комп'ютеру, у вигляді спеціально розробленого програмного додатку, інтерфейсом оператора, звуковими та світловими сигналами (сигналізацією) та кнопками керування («Пуск», «Стоп», «Аварійна зупинка»), що розташовані на пульті дистанційного керування. На III рівні виконується аналіз, диспетчеризація та візуалізація даних. Також оператор здійснює локальний контроль за функціонуванням системи, параметрами процесу [24].

Основним програмним засобом автоматизації, що використовується для обробки інформації в режимі реального часу. Розроблена ШНМ має архітектуру багат шарового перцептрона з відповідною кількістю вхідних та вихідних нейронів, згідно з умовою вирішуваної задачі. ШНМ навчена за методом «навчання з вчителем» та алгоритмом «зворотного поширення помилки».

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Роль оператора зводиться до запуску системи і процесу сортування, переривання їх роботи, зміни режимів роботи (зміни завдання, установочних даних тощо).

Система працює в режимі реального часу. ПК на верхньому рівні пропонованої системи може бути інтегрований у загальнопромислову мережу за допомогою мережі Internet [31], що дозволить передавати промислові дані у загальновиробничу базу (для випадку великих сільськогосподарських корпорацій).

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

3. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО СОРТУВАННЯ ПЛОДІВ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР

3.1. Загальні відомості про функціональну схему автоматизації

Функціональна схема автоматизації (ФСА), також відома як схема автоматизації, є важливим технічним документом, що визначає функціонально-блочну структуру окремих компонентів автоматичного контролю, керування та регулювання технологічного процесу, а також устаткування, що використовується для автоматизації. Вона включає в себе використання пристроїв телемеханіки та обчислювальної техніки. ФСА є широко застосовуваним документом в практиці автоматизації [32].

У системах автоматизації технологічних процесів об'єктом керування є комплексне устаткування, яке складається з основного та допоміжного устаткування, а також запірних та регулювальних органів, що вбудовані в нього. Крім того, враховується енергія, сировина та інші матеріали, які визначаються особливостями технології. Розробка ефективних систем автоматизації вимагає глибокого вивчення технологічного процесу не лише проектувальниками, але й спеціалістами, включаючи монтажні, налагоджувальні та експлуатаційні організації [32].

Розроблена ФСА сортування плодів овочевих являє собою систему автоматизації для сортування огірків за наперед визначеними показниками якості та відповідно ДСТУ 3247-95. Вона дозволяє здійснювати сортування огірків за п'ятьма групами із наступним переміщенням їх у відповідні бункери:

1. Бункер №2 для огірків типу пікулі;
2. Бункер №3 для огірків типу корнішони першої групи;
3. Бункер №4 для огірків типу корнішони другої групи;

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

4. Бункер №5 для огірків типу зеленці;
5. Бункер №6 для інших огірків (не відповідають стандартам).

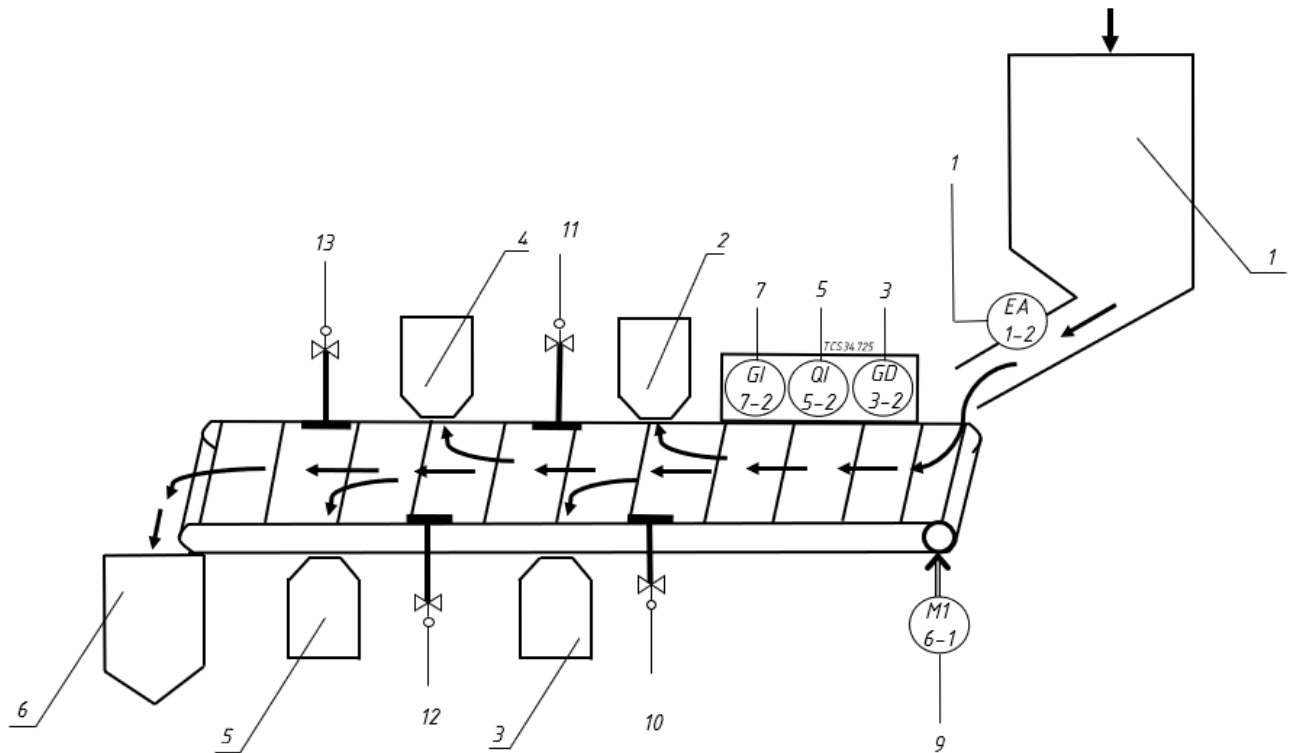


Рис. 3.1. Фрагмент функціональної схеми із зображенням положення елементів автоматизації по місцю

3.2 Розробка функціональної схеми автоматизації процесу сортування плодів овочевих культур

Огірки із бункеру 1 (рис. 3.1) спрямовуються до труби, в якій розташований інфрачервоний датчик EA1-2. Цей датчик відправляє сигнал на мікроконтролер, який відповідає за керування всією системою автоматизації в сортувальній установці. Сигнал від датчика EA1-2 використовується для активації реверсивного асинхронного двигуна М6-1, який відповідає за запуск конвеєрної стрічки та всіх систем поршнів та датчиків, а саме:

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

1. GD 3-2 – ультразвуковий датчик для визначення довжини та форми. На виході формує електричний дискретний сигнал;
2. QI 5-2 - первинний вимірювальний перетворювач (чутливий елемент) для визначення дефектів на поверхнях плодів, зокрема плям, гнилій, пошкоджень TCS34725 RGB Sensor від Adafruit;
3. GI 7-2 - акустичний датчик для вимірювання розмірів місцевий, що видає аналоговий сигнал на виході.

Огірки, що проходять через сортувальну установку, скануються системою датчиків (рис. 3.1, рис. 3.2), які формують відповідні сигнали і подаються у програмований логічний контролер (ПЛК) SIEMENS SIMATIC S7-1200 [35] (рис. 3.2). З мікропроцесора інформація передається у ШНМ (на схемі не показано), яка автоматично класифікує огірки. Із ШНМ інформація передається на мікропроцесор (рис. 3.2), який керує поршнями для зіштовхування у відповідні бункери (рис. 3.1).

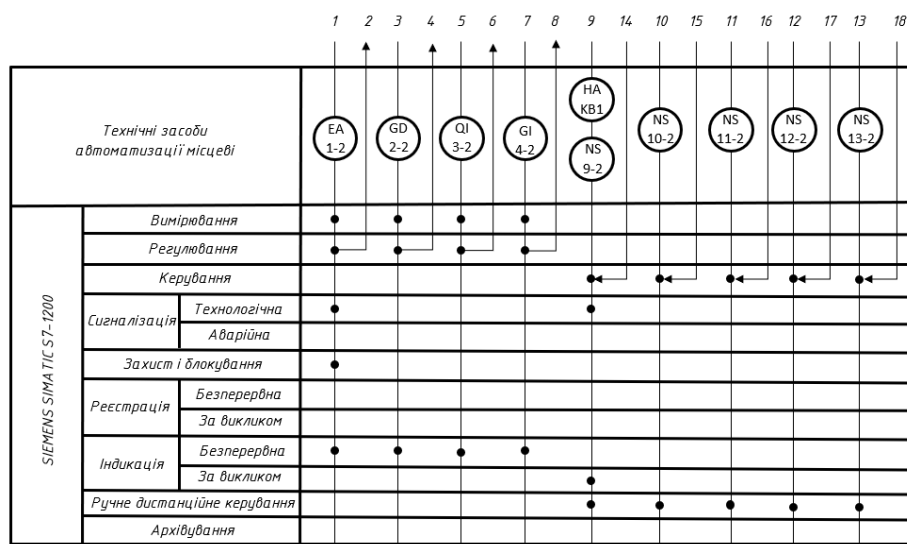


Рис. 3.2. Функціональна схема положення елементів розгорнутим способом на базі мікроконтролера SIEMENS SIMATIC S7-1200

На схемах рис. 3.1 – рис. 3.2 зображено наступні елементи автоматизації:

- EA 1-2 – інфрачервоний датчик наявності огірка на конвеєрній стрічці. За наявності огірка на конвеєрній стрічці на виході датчика генерується цифровий сигнал 1, що відповідає 5 мА. В іншому випадку – 0;
- GD 3-2 – ультразвуковий датчик для визначення довжини та форми огірка. На виході генерує електричний дискретний сигнал;
- QI 5-2 - первинний вимірювальний перетворювач (чутливий елемент) для визначення дефектів на поверхнях плодів, зокрема плям, гнилій, пошкоджень TCS34725 RGB Sensor від Adafruit;
- GI 7-2 Прилад для вимірювання розмірів показуваний місцевий, акустичний датчик, видає аналоговий сигнал на виході;
- 2, 4, 5, 8 – сигнали з роз’ємів ПЛК на комп’ютер для обробки штучною нейронною мережею;
- 14 – сигнал, оброблений штучною нейронною мережею для керування частотним перетворювачем Siemens SINAMICS S120;
- NS 9-2 – частотний перетворювач Siemens SINAMICS S120;
- HA KB2– кнопка запобіжного відмикання Schneider Electric XB4з підсвічуванням;
- 15-18 – сигнали з ШНМ для керування пневматичними циліндрами для зіштовхування огіроків в бункери;
- 10-13 – управління клапанами на пневматичних циліндрах;
- NS 10-2, NS 11-2, NS 12-2, NS 13-2 – пускова апаратура для керування пневматичними циліндрами.

Як тільки огірок пересувається з бункеру під номером 1 на конвеєрну стрічку, інфрачервоний датчик EA 1-2 наявності огірка видає логічну 1 та активується вся система, включно з частотним перетворювачем Siemens Sinamics S120, що керує трифазним асинхронним двигуном для запуску конвеєрної стрічки.

Сигнали з датчиків GD 3-2, QI 5-2 та GI 7-2 передаються на програмований контролер логіки SIEMENS SIMATIC S7-1200, який в свою чергу передає їх на

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

комп'ютер зі спеціально розробленим програмним забезпеченням для класифікації огірків. Після класифікації огірків ШНМ вирішує в який бункер зіштовхнути огірок та передає на NS 10-2, NS 11-2, NS 12-2, NS 13-2, які є пусковою апаратурою для керування пневматичними циліндрами. Ці пускачі відкривають і закривають потік повітря до відповідних пневматичних циліндрів під номерами 10-13, що дозволяє зіштовхувати огірки в потрібний бункер.

Огірки, які не відповідають раніше визначеним у п. 1.1 даного дипломного проекту органолептичним показникам якості згідно ДСТУ 3247-95, потрапляють до бункеру 6. Цей бункер може мати дві основні функції:

1. Відправка огірків, які не відповідають стандартам, на ферми для годування свійських тварин;
2. Збирання огірків для використання як насіння на наступні сезони посадки.

Всі налаштування конвеєрної стрічки та механізмів скидання контролюються та налаштовуються в комп'ютері за допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення. Це дозволяє забезпечити ефективну та точну роботу сортувальної установки, а також змінювати параметри сортування в залежності від потреб і вимог. Комп'ютерне програмне забезпечення дозволяє встановлювати критерії сортування, наприклад, розмір, колір, щільність і якість огірків, і налаштовувати режими роботи для досягнення максимальних результатів.

Завдяки цілому комплексу датчиків, мікропроцесору, підсилювачів потужності та пневмоциліндрам, сортувальна установка здатна ефективно та автоматично сортувати огірки з високою точністю і швидкістю. Це дозволяє зберегти час та зусилля, які раніше витрачались на ручне сортування огірків, а також забезпечує високу якість та стандартизацію продукції.

У результаті такої САСПО досягається ефективне використання людських ресурсів, зменшується втрата продукції та забезпечується висока якість

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

сортованого продукту. Крім того, така система може бути переналаштована для сортування різних видів овочів та фруктів залежно від вимог та потреб.

В цілому, сортувальна установка з використанням сучасних технологій та обладнання забезпечує автоматизований та точний процес сортування плодів овочевих, що підвищує ефективність, швидкодію та якість виробництва.

3.3. Розробка специфікації функціональної схеми автоматизації сортування плодів овочевих культур

Розроблена функціональна схема автоматизації системи сортування огірків описує структуру та взаємодію різних компонентів системи, які забезпечують автоматичне сортування, керування і регулювання технологічного процесу, а також оснащення об'єкта керування приладами і засобами автоматизації.

Ця функціональна схема визначає окремі вузли, які містять системи контролю, що автоматично визначають якість і параметри плодів і овочів під час сортування. Ці системи контролю можуть використовувати різноманітні елементи автоматизації, такі як датчики, пневматичні циліндри, частотний перетворювач та двигун (табл. 3.1), які підключені до ПЛК SIEMENS S7-1200. Ці елементи автоматизації аналізують такі властивості продуктів, як розмір, форма, кольорові характеристики, структура, щільність тощо, для визначення їхньої якості та класифікації. Всі наявні елементи в функціональній схемі автоматизації винесені в специфікацію (табл. 3.1).

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

**Специфікація функціональної схеми автоматизації сортування плодів
овочевих культур**

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення параметра	Місце монтажу	Назва, технічна характеристика	Тип, марка моделі	Код	Завод-виробник	Кількість	Маса одиниці, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
УСТАТКУВАННЯ ТА ПРИЛАДИ										
EA 1-2	Наявність	Трубопровід	-	Бункер	Інфрачервоний датчик HC-SR505	HC-SR505	-	Китай	1 од.	0,0021
GD 3-2	Довжина та форма	Конвеєрна стрічка	-	Місцевий	Ультразвуковий датчик SRF08 UltrasonicRange FinderDevantech	SRF08	-	Китай	1 од.	0,00292
QI 5-2	Дефекти	Те саме	-	Місцевий	Ультрафіолетовий датчик TCS34725 RGB SensorAdafruit	TCS34725	-	Китай	1 од.	0,00323
GI 7-2	Внутрішня структура	Те саме	-	Місцевий	Акустичний датчик Inscan IQA	IQA	-	США	1 од.	0,0027
HA KB1	-	-	-	Щит керування	Кнопка запобіжного відмикання Schneider Electric XB4	XB4	-	Франція	1 од.	0,0017
NS 9-2	-	-	-	Місцевий	Частотний перетворювач SIEMENS SINAMIC S120	S120	-	Німеччина, Мюнхен	1 од.	50,7
NS 10-2... NS 13-2	-	-	-	Місцевий	Пневморозподільник 4V210-06-DC24V 5/2-1/8 MS	4V210-06	-	Китай	4од.	0,22

3.4. Розробка електропневматичної принципової схеми автоматизації сортування плодів овочевих культур

Система управління штовхачами розробленої САСПО представлена чотирма пневматичними циліндрами з герконами, позначеними на схемі Zyl1-Zyl4 та чотирма 5/2 ходовими електромагнітними клапанами, позначеними на схемі YA1-YA4 (рис. 3.3). У цій системі використовуються геркони, які є індуктивними датчиками положення і закріплені на поршнях. Електромагнітні клапани, що керуються з виходу ПЛК Siemens SIMATIC S7-1200, використовуються для переміщення поршня між крайніми положеннями. Зворотний зв'язок з ПЛК забезпечується вісьмома датчиками положення (B1-B8), які визначають положення циліндрів в крайніх точках. Таким чином, кожен

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

циліндр керується одним 5/2-ходовим односоленоїдним електромагнітним клапаном і контролюється двома датчиками положення.

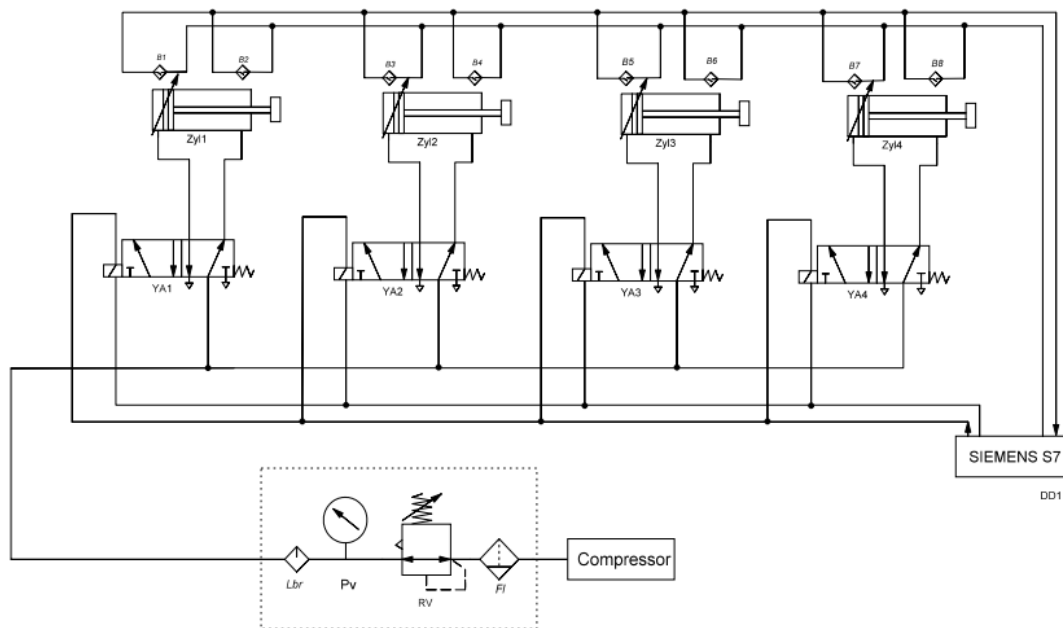


Рис. 3.3. Схема електропневматична принципова САСПО

Робота системи керування СПП залежить від енергії стисненого повітря, яке забирається від поршневого компресора. Компресор подає стиснене повітря в магістраль через блок обслуговування повітря, який складається з фільтра/водовідділювача (F1), регулятора тиску (RV), манометра (Pv) і мастила (Lbr).

Отже, дана система управління штовхачами використовує електромагнітні клапани та датчики положення для контролю та переміщення циліндрів. ПЛК Siemens SIMATIC S7-1200 відповідає за керування системою, а зворотний зв'язок забезпечується датчиками положення. В цілому, ця система забезпечує ефективний та точний контроль за переміщеннями штовхачів.

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

4. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО СОРТУВАННЯ ПЛОДІВ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР

4.1. Елементна база схеми електричної принципової системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту

Схема електрична принципова – графічне зображення, за допомогою умовних графічних і буквено-цифрових позначень, зв'язків між елементами електричного пристрою. Вона не вказує на фізичне розміщення елементів, а лише показує, як вони з'єднані між собою. Електрична принципова схема використовується як проміжний етап у процесі розробки пристрою між функціональною схемою і проектуванням друкованої плати [33].

Принципова електрична схема - це своєрідна «карта» всіх електричних з'єднань електрообладнання. Використання принципової електричної схеми не тільки дає повне уявлення про проект, але і дозволяє на її основі створювати індивідуальні схеми підключення, розробляти конкретні вузли підключення. За цією ж електричною схемою перевіряється правильність монтажу електрообладнання [33].

Принципова електрична схема САСПО використовуються для повного відображення взаємозв'язків пристроїв, їхніх принципів дії і послідовності роботи. Вона використовує умовні позначення для зображення пристроїв, ліній зв'язку та блоків. Схема САСПО містить інформацію про принцип дії функціональних вузлів, пояснювальні написи, діаграми переключення контактів і перелік використовуваних пристроїв.

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Розробку електрично принципової схеми розпочато зі схеми окремих елементів, а саме датчиків.

4.1.1. Інфрачервоний датчик наявності плодів овочевих культур у робочій зоні

Інфрачервоний датчик розташований на виході з бункеру для несортованих огірків та служить для перевірки наявності плоду. Якщо плід буде розпізнаний, то датчик видає логічну одиницю, якщо ні, то логічний нуль. Відповідно, якщо датчик передає логічну одиницю на ШНМ, то активується конвеєрна стрічка, системи інших датчиків та пускачі пневматичних циліндрів.

Для отримання сигналу від інфрачервоного датчика було розроблено схему драйвера світлодіода.

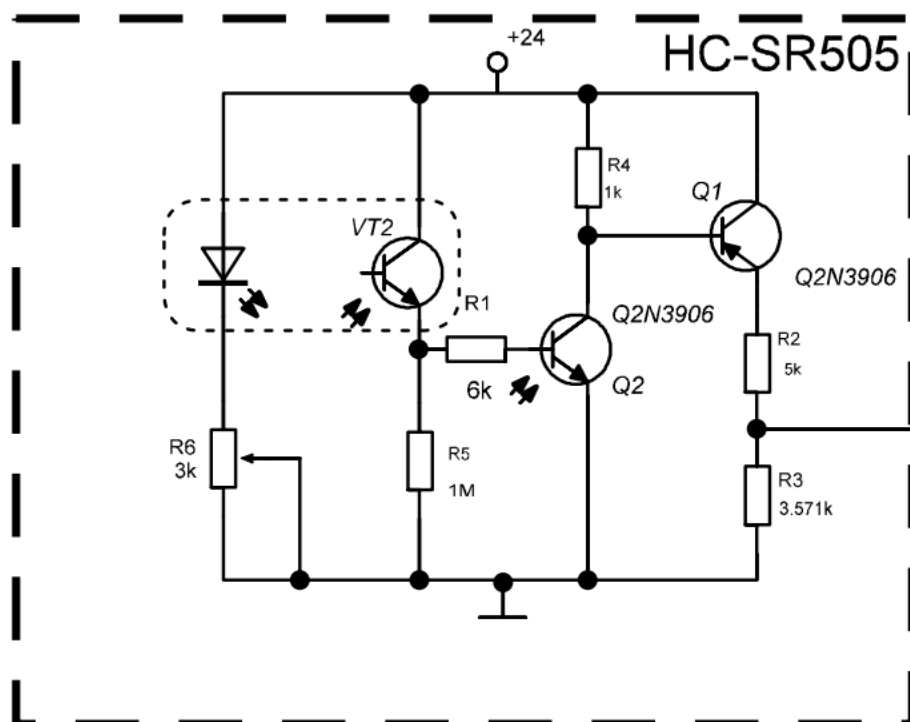


Рис. 4.1. Схема електрична принципова інфрачервоного датчика

Ця схема (рис. 4.1) включає потенціометр 3 кОм для регулювання струму через світлодіод, що дає змогу змінювати дальність дії детектора.

Схема детектора складається з обмежувального резистора на 1 МОм, базового резистора на 6 кОм, під'єданого до транзистора 2N3904, і базового резистора на 1 кОм, під'єданого до транзистора 2N3906.

Коли детектор виявляє достатню кількість інфрачервоного світла, відбитого від огірка, обидва транзистори вмикаються. Це призводить до подачі напруги 10 В на аналоговий вхід SIEMENS SIMATIC S7-1200[35] за допомогою ділянки напруги з R2 і R3. Коли датчик не виявляє достатню кількість відбитого інфрачервоного світла, обидва транзистори вимикаються, що призводить до напруги 0 В на аналоговому вхідному каналі.

4.1.2. Ультразвуковий датчик визначення розмірів та форми плодів овочевих культур

Ультразвукові хвилі - це хвилі високої частоти, нечутні для людського вуха. Ультразвукові хвилі знаходять широке застосування в багатьох галузях, включно з вимірюванням відстані, виявленням дефектів обладнання та іншими. Ця схема являє собою ультразвуковий приймач для хвиль, які будуть відбиватися від огірка, який рухається по конвеєру для визначення його розмірів та форм.

Ця схема використовує простий ультразвуковий приймач (рис. 4.2), який перетворює вхідну ультразвукову хвилю на напругу. Сигнал потім проходить через підсилювачі, побудовані на мікросхемі операційного підсилювача. Посилення сигналу може бути налаштоване за допомогою резисторів зворотного зв'язку.

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

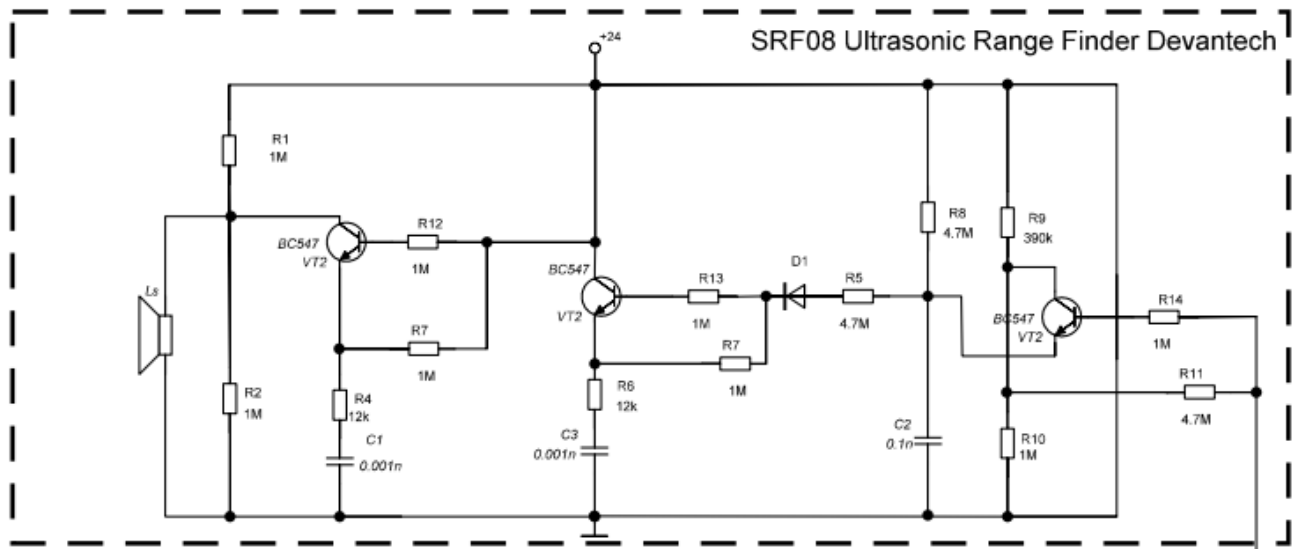


Рис. 4.2. Схема електрична принципова ультразвукового датчика

Далі сигнал передається на наступний підсилювач для додаткового посилення. Вихідний сигнал проходить через випрямний діод. Потім сигнал фільтрується за допомогою резистора R5 і конденсатора C2 для запобігання хибних спрацьовувань. Кінцевий каскад операційного підсилювача налаштований як компаратор.

4.1.3. Ультрафіолетовий датчик для визначення кольору плодів овочевих культур

Біле світло складається з трьох основних кольорів: червоного, зеленого і синього, кожен з яких має свою унікальну довжину хвилі. Ці кольори можуть змішуватися між собою, утворюючи широкий спектр відтінків.

Коли біле світло взаємодіє з поверхнею, поверхня поглинає певні довжини хвиль світла, а інші відбиває. Конкретні довжини хвиль, які відбиваються, визначають колір, який ми сприймаємо. Іншими словами, колір, який ми бачимо, є результатом відбитого світла, що потрапляє до наших очей.

Ці пристрої зазвичай використовують яскравий білий світлодіод для випромінювання модульованого світла на об'єкт, що аналізується. Для того, щоб визначити колір відбитого світла, більшість датчиків кольору використовують сітку світлочутливих фільтрів, яку часто називають "фільтром Баєра"[36], разом з масивом фотодіодів, розташованих під нею, як показано на рис. 4.3.

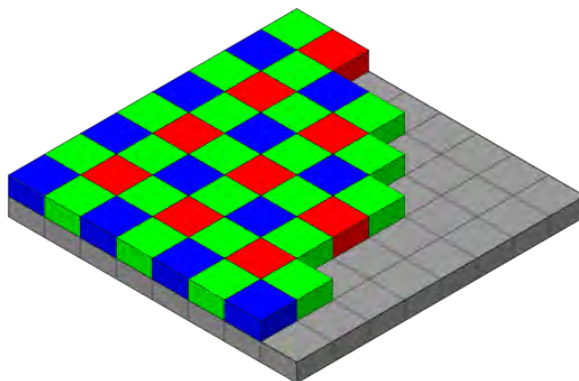


Рис. 4.3. Масив елементів фільтра Баєра з фотодіодами [36]

Ультрафіолетовий датчик кольору TCS3200 RGB Sensor від Adafruit , призначений для визначення дефектів на поверхнях плодів, зокрема плям, гнилій, пошкоджень. Він використовує світлодіоди та вбудовані RGB-фільтри для точного виявлення та ідентифікації кольорів. Випромінюючи світло на цільовий об'єкт і аналізуючи відбите світло, ці датчики можуть визначити точні значення RGB кольору. Ця інформація обробляється за допомогою ШНМ.

TCS230 визначає колір за допомогою масиву фотодіодів 8 x 8, з яких шістнадцять фотодіодів мають червоні фільтри, 16 фотодіодів мають зелені фільтри, 16 фотодіодів мають сині фільтри, а решта 16 фотодіодів є прозорими без фільтрів (рис. 4.4). Внутрішній перетворювач струму в частоту перетворює показання фотодіодів у меандр, частота якого пропорційна інтенсивності вибраного кольору. Діапазон типової вихідної частоти становить 2 Гц ~ 500 кГц. [37].

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

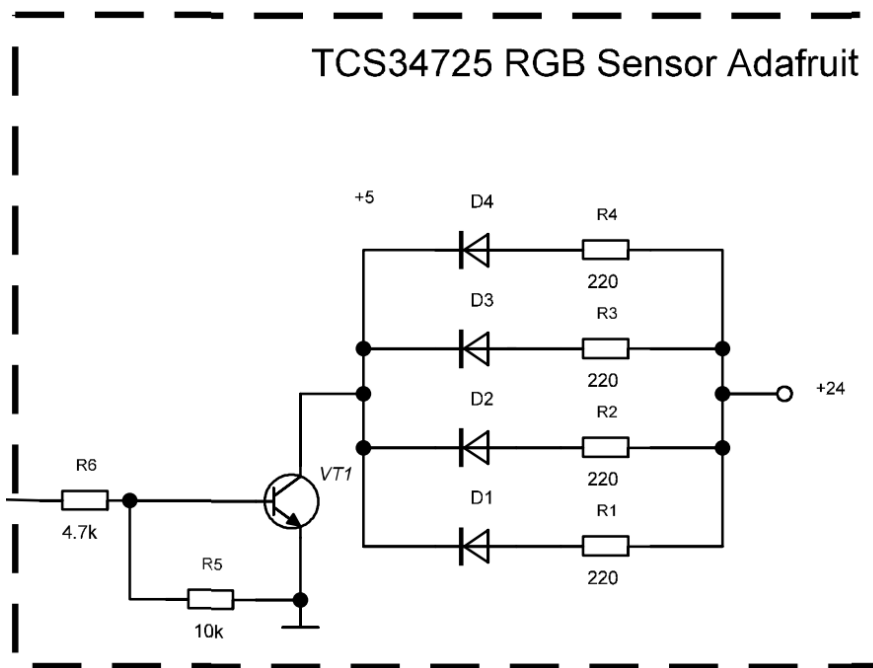


Рис. 4.4. Схема електрична принципова ультрафіолетового датчика

Зазвичай датчики кольору складаються з передавача світла і трьох приймачів світла (рис. 4.4), кожен з яких налаштований на виявлення певних довжин хвиль світла, що відповідають компонентам RGB. Інтенсивність і компоненти відбитого світла вимірюються для визначення кольору огірка, наявних плям на ньому та гнилій для подальшої обробки ШНМ.

4.1.4. Акустичний датчик для визначення щільності плодів овочевих культур

Акустичні хвильові датчики використовують механічні або акустичні хвилі для виявлення внутрішнього стану огірка. Ці датчики поширюють акустичні хвилі через матеріал або вздовж його поверхні. Будь-які зміни властивостей шляху поширення можуть вплинути на швидкість та амплітуду хвилі.

Акустичний датчик у вказаній САСПО призначений для виявлення пустот

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

у огірках, визначення товщини, перевірки на потрисканість та м'якість. Відбита звукова хвиля від огірка, яку видає ультразвуковий датчик, за допомогою мікрофону (рис. 4.5) вимірюється та передається на аналоговий вхід SIEMENS SIMATIC S7-1200, що в свою чергу передає сигнал на ШНМ, що порівнює їх із заданими.

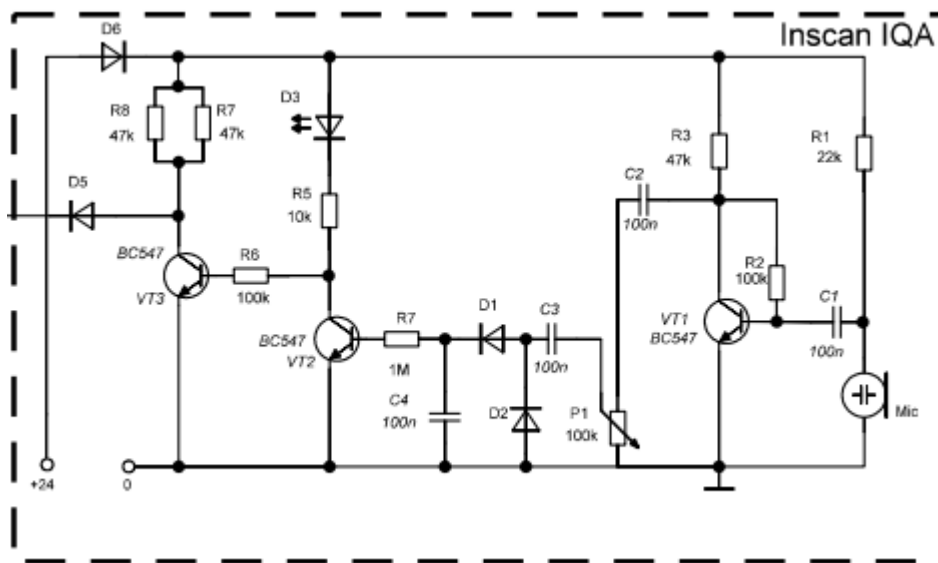


Рис. 4.5. Схема електрична принципова акустичного датчика

Схема складається з електретного мікрофона, підсилювача, атенюатора, випрямляча і комутуючого каскаду. Електретний мікрофон - це електростатичний перетворювач, що складається з металізованого електрету і задньої панелі, відокремленої від діафрагми повітряним зазором. Верхня металізація і металева підкладка з'єднані через резистор, напруга на якому може бути підсилена і використана як вихідний сигнал. Оскільки електрет є постійно електрично поляризованим діелектриком, густина заряду на його поверхні є постійною і створює електричне поле в повітряному проміжку. Коли акустична хвиля падає на діафрагму, остання прогинається вниз, зменшуючи товщину повітряного проміжку[38].

МІС1 живиться струмом 1 мА через R9. Т1 підсилює сигнал, відокремлений від джерела живлення за допомогою С1, приблизно до 1 Vpp. R7 встановлює струм колектора Т1 на максимум 0.5 мА. Робоча точка встановлюється резистором зворотного зв'язку R8.

Чутливість схеми можна регулювати за допомогою потенціометра Р1 так, щоб вона не реагувала на рівні навколишнього шуму. Діоди D1 і D2 передають сигнал, а С4 забезпечує згладжування. Як тільки напруга на С4 піднімається вище 0,5 В, включається Т2 і загоряється світлодіод, підключений до колектора транзистора. Т3 інвертує цей сигнал. Якщо мікрофон не отримує звуку, Т3 вмикається, і вихід буде на землі. Якщо виявлено сигнал, Т3 вимикається, а вихід підтягується до +24 В R4 і R5. Щоб забезпечити вихідний струм 10 мА, колекторний резистор Т3 має бути 2,4 кОм. Якщо потрібно використовувати резистори потужністю 0,25 Вт, то для безпеки їх слід скласти з двох резисторів номіналом 4,7 кОм, з'єднаних паралельно. Діод D4 захищає схему від зворотної полярності підключення[39].

4.2. Розробка схеми електричної принципової реверсивного керування асинхронним електродвигуном з короткозамкненим ротором конвеєрної стрічки

Електродвигуни для конвеєрних стрічок – ідеальний варіант для підвищення продуктивності та зменшення витрати на робочу силу. Конвеєри є найефективнішим способом переміщенням огірка через систему датчиків.

Двигун забезпечує обертальну силу, яка передається на конвеєрну стрічку, змушуючи її рухатися і транспортувати плоди вздовж конвеєрної системи. Зазвичай двигун вибирається на основі таких факторів, як необхідна потужність і крутний момент для приводу конвеєра, швидкість і вантажопідйомність

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

конвеєра. Для наших потреб був визначений трифазний асинхронний двигун реверсивного керування.

4.2.1. Безконтактне керування асинхронним електродвигуном з короткозамкненим ротором на базі оптронів

Трифазний асинхронний двигун в даній схемі використовуються як основний механізм для руху конвеєрної стрічки. Для ефективного керування таким двигуном потрібно мати два нереверсивних пускачі або один спеціальний реверсивний пускач, який має в собі два контактори. Реверсивне керування двигуном реалізується за певною схемою, зображеною на рис. 4.6., яка забезпечує зміну напрямку руху двигуна залежно від потреби.

Умовним позначенням на схемі VS1 є симистор, також відомий під назвою TRIAC [40]. Він представляє собою паралельно підключені два діоди. Симистор складається з двох силових виводів, які є електродами та одно керуєче виведення. До кожної з трьох підключений симистор, а керуєчі виведення підключені послідовно до діода HL1, що є частиною оптопарі.

В автоматичному регуляторі потужності, який застосовується в двигунах, використовується симістор, який працює за певною схемою. Прилад отримує змінну напругу від електромережі, і лише один силовий електрод спрацьовує, приймаючи цю напругу. Керуючий вивід, який отримує негативну напругу управління, походить від діодного моста. Якщо вмикання стає занадто інтенсивним, симістор відкривається і пропустить струм до навантаження. Як тільки полярність напруги на вході пристрою зміниться, симістор перестане відкриватися. Згідно з цим, швидкість включення симистора безпосередньо залежить від рівня керуючої напруги. Якщо ця напруга зменшується, імпульси,

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

які передаються на навантаження, поступово зменшуються або припиняються.

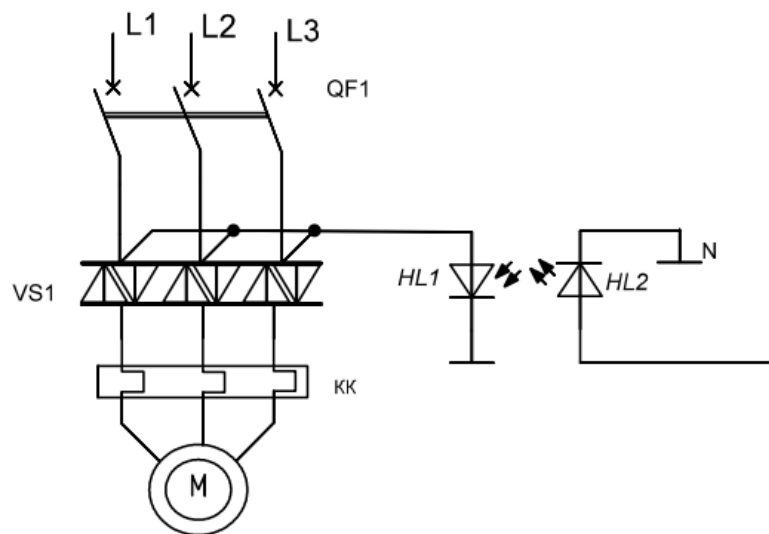


Рис. 4.6. Схема електрична принципова реверсивного керування асинхронним електродвигуном за допомогою оптопар

HL1 та HL2 представляють собою оптрон, також відомий як оптопара. Принцип його роботи полягає у перетворенні сигналу напругою в 24 В з аналогового виходу ПЛК SIEMENS SIMATIC S7-1200 у світлове випромінювання з діода HL2. Далі світлове випромінювання передається по оптичному каналу та перетворюється назад в електричний сигнал. Оптопара слугує для запуску та зупинки електродвигуна.

Представлена схема реверсивного керування забезпечує безпечну та ефективну роботу двигуна, дозволяючи йому працювати у різних напрямках і забезпечуючи блокування для запобігання короткому замиканню. Ця схема є одним з варіантів для зменшення ціни готової установки.

4.2.2. Безконтактне керування асинхронним електродвигуном з короткозамкненим ротором за допомогою частотного перетворювача

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Частотний перетворювач (ЧП) SIEMENS SINAMICS S120 в даній схемі (рис. 4.7) використовується для керування швидкістю обертання асинхронного електродвигуна шляхом зміни частот та напруг, яка подається до двигуна. ЧП розрахований на майбутнє вдосконалення даної САСПО шляхом заміни двигуна на сервопривід для більш точного контролю стрічки та збору даних.

Керуючий блок Siemens SIMATICS 7-1200 відповідає за надання сигналів керування частотному перетворювачу. Він отримує вхідний сигнал логічної 1 з інфрачервоного датчику наявності, який розташований на виході з бункеру, та передає їх до ЧП, що в свою чергу запускає конвеєрну стрічку для руху огірків.

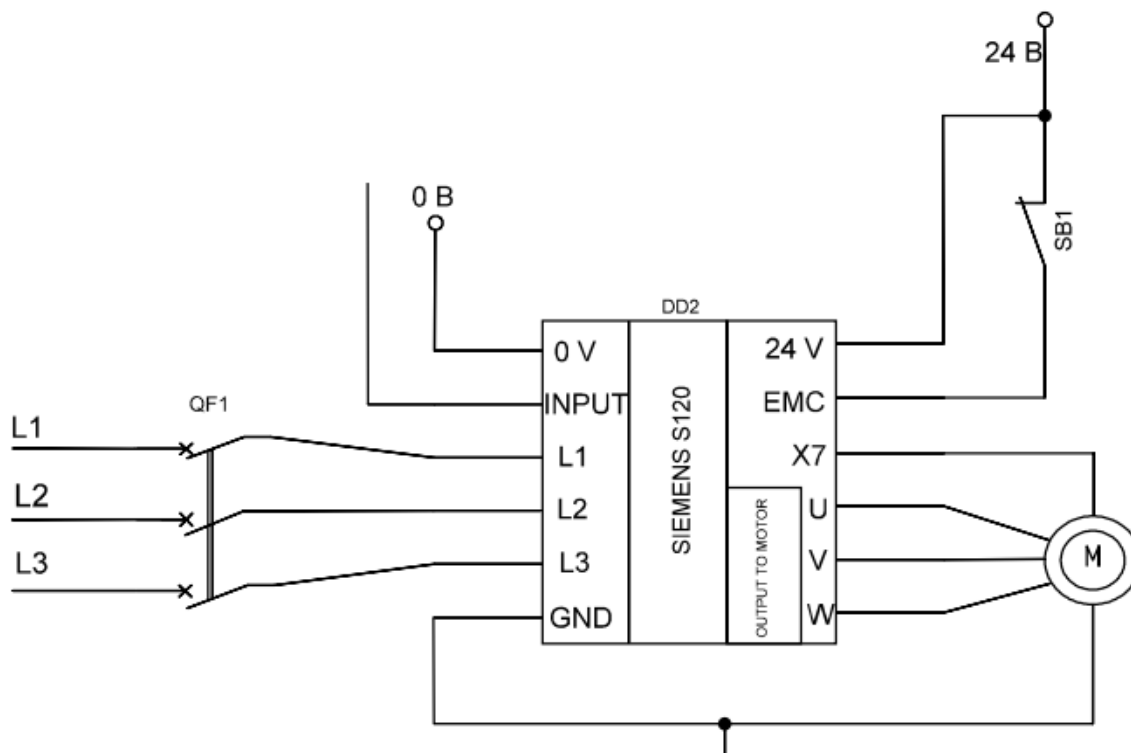


Рис. 4.7. Схема електрична принципова реверсивного керування асинхронним електродвигуном за допомогою частотного перетворювача

В свою чергу, частотний перетворювач передає на спеціально розроблену програму для керування сигнали, які вказують напрямок руху та іншу інформацію про стан системи.

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

ЧП використаний для стабільного та безпечного функціонування системи. До його переваг належить реле перевантаження, яке забезпечує захист електродвигуна від перевантажень, короткого замикання та інших несправностей.

На рис. 4.7 позначення L1 – L3 це три фази, до яких через автоматичний вимикач QF1 та частотний перетворювач (ЧП) Siemens S 120 підключений трифазний двигун М з короткозамкненим ротором. Для вмикання / вимикання ЧП у випадку необхідності аварійної зупинки слугує кнопка SB1.

Розрахунок та вибір трифазного двигуна з короткозамкненим ротором здійснюється наступним чином.

Визначення потужності P здійснюється за виразом (4.1)

$$P = \frac{F \cdot V}{\eta}, \quad (4.1)$$

де F – сила, потрібна для руху конвеєрної стрічки, обчислюється за виразом (4.2);

V – швидкість руху конвеєрної стрічки, м/с (див. в табл. 4.1);

η - коефіцієнт корисної дії, згідно довідникових даних приймається рівним 0,9.

Сила F , потрібна для руху конвеєрної стрічки, розраховується за наступною формулою:

$$F = m \cdot g = 20 \cdot 9,8 = 196 \text{ Н} \quad (4.2)$$

де m – маса максимальної загрузки конвеєрної стрічки, кг;

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

g – прискорення вільного падіння, дорівнює $9,8 \text{ м/с}^2$.

Швидкість руху конвеєрної стрічки приймається рівною $1,6 \text{ м/с}$, оскільки вантаж середньокусковий, $\alpha_{\text{max}} \leq 160 \text{ мм}$ (табл. 4.1).

За виразом (4.1) потужність двигуна становить

$$P = \frac{F \cdot V}{\eta} = \frac{196 \text{ Н} \cdot 1,6 \text{ м/с}}{0,9} = 348,4 \text{ Вт.}$$

Для потреб САСПО потрібен трифазний асинхронний двигун, потужністю 350 Вт , наприклад, BESEL 3-фазний; $0,37 \text{ кВт}$; $2,59 \text{ Нм}$; 1380 об./хв ; SH71-4B [41].

Таблиця 4.1.

Швидкості конвеєрної стрічки в залежності від габариту транспортованого вантажу [43]

Характеристика вантажу	V , м/с при ширині стрічки B , мм							
	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600 – 2000
Пилоподібні та порошкоподібні сухі пилові (цемент, сушений апатитовий концентрат та ін.)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,25

Кускові крихкі, кришіння яких знижує якість (окатиші, агломерат тощо).	1,25	1,25	1,6	1,6	1,6	2,0	2,0	2,0
Дрібнокусові, $a_{\max} \leq 80$ мм	1,6	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	4,0	5,0
Середньокускові, $a_{\max} \leq 160$ мм	1,6	1,6	1,6	2,0	2,5	3,15	4,0	4,0
Середньокускові, $a_{\max} \leq 160$ -350 мм	-	-	-	-	2,0	2,5	2,5	3,15
Великокусові, $a_{\max} > 350$ мм	-	-	-	-	-	2,0	2,0	3,15

Примітки:

1. Обрана швидкість має бути пов'язана з обладнанням, що виготовляється.
2. За наявності розвантажувального візка швидкість стрічки не більше 1,25 - 2,5 м/с.

Для підключення електродвигуна використовується кабель $3 \times 0,75 \text{ мм}^2$, наприклад, ЗЗКМ 3×1 багатожильний з ПВС ізоляцією з певним запасом. Провідник вибраний на основі табл. 4.2.

Таблиця 4.2.

Довідникові дані для вибору перерізу провідника за струмом і навантаженням [44]

Вибір перерізу провідника по току і навантаженню							
Переріз провідника, мм	Діаметр провідника, мм	Струм, А	Потужність, кВт		Струм, А	Потужність, кВт	
			220В	380В		220В	380В
0,50	0,80	6,00	1,30	2,30			

Закінчення табл. 4.2

0,75	0,98	10,00	2,20	3,80			
1,00	1,13	14,00	3,10	5,30			
1,50	1,38	15,00	3,30	5,70	10,00	2,20	3,80
2,00	1,60	19,00	4,20	7,20	14,00	3,10	5,30
2,50	1,78	21,00	4,60	8,00	16,00	3,50	6,10
4,00	2,26	27,00	5,90	10,30	21,00	4,60	8,00
6,00	2,76	34,00	7,50	12,90	26,00	5,70	9,90
10,00	3,57	50,00	11,00	19,00	38,00	8,40	14,40
16,00	4,51	80,00	17,60	30,40	55,00	12,10	20,90
25,00	5,64	100,00	22,00	38,00	65,00	14,30	24,70
35,00	6,68	135,00	29,70	51,30	75,00	16,50	28,50
50,00	7,98	175,00	38,50	66,50	105,00	23,10	39,90
70,00	9,44	215,00	47,30	81,70	135,00	29,70	51,30
95,00	11,00	260,00	57,20	98,80	200,00	44,00	76,00
120,00	12,36	300,00	66,00	114,00	230,00	50,60	87,40
150,00	13,82	330,00	72,60	125,40	255,00	56,10	96,90
185,00	15,35	500,00	110,00	190,00	350,00	77,00	133,00
240,00	17,48	600,00	132,00	228,00	450,00	99,00	171,00
300,00	19,54	680,00	149,60	258,40	500,00	110,00	190,00

Величина струму в схемі обчислюється за формулою (4.3):

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{370 \text{ Вт}}{1,73 \cdot 380 \text{ В} \cdot 0,9} = 0,63 \text{ А}, \quad (4.3)$$

де P – потужність трифазного асинхронного двигуна, Вт;

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

U - напруга в мережі, В.

Згідно з отриманими результатами розрахунків у схемі застосувати автоматичний вимикач на 1 А, наприклад, Schneider IC60N 3P 1A D [42].

Обрані елементи схеми реверсивного керування двигуном забезпечують стабільне та безпечне функціонування САСПО. При цьому зберігається можливість їх заміни у майбутньому у випадку такої необхідності.

4.3. Розробка схеми електричної принципової керування зіштовхувачами плодів овочевих культур на основі пневматичних циліндрів

Пневматичні циліндри - це механічні інструменти, які використовують енергію стисненого повітря для створення зусилля у зворотно-поступальному лінійному русі. Частиною циліндра яка виконує більшу частину роботи, є поршень, рухомий елемент, прикріплений до штока. Рух поршня відбувається всередині циліндричного отвору.

Циліндри, які використовують стиснене повітря, є широко поширеними пристроями в наш час. Це пов'язано з їх довговічністю в умовах постійної експлуатації, високій продуктивності при низькій вартості, хорошу щільність потужності (співвідношення між потужністю і габаритами) і просте обслуговування.

Пневматичні циліндри використовують просту систему перетворення потенційної енергії в кінетичну. При відкритті клапана стиснене повітря, що надходить з системи, потрапляє в повітропровід з одного кінця пневмоприводу, прикладаючи зусилля до поршня і, відповідно, до з'єднаного з ним штока, який з'єднаний з поршнем. Повітря розширюється всередині двох камер циліндра, що призводить до руху поршня.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІП ПМ-91.18.1760.000

Арк.

68

Виходячи з переваг пневматичних циліндрів, вони є невід’ємною складовою в багатьох галузях промисловості, таких як підйом і переміщення товарів, зштовхування предметів з конвеєрних стрічок.

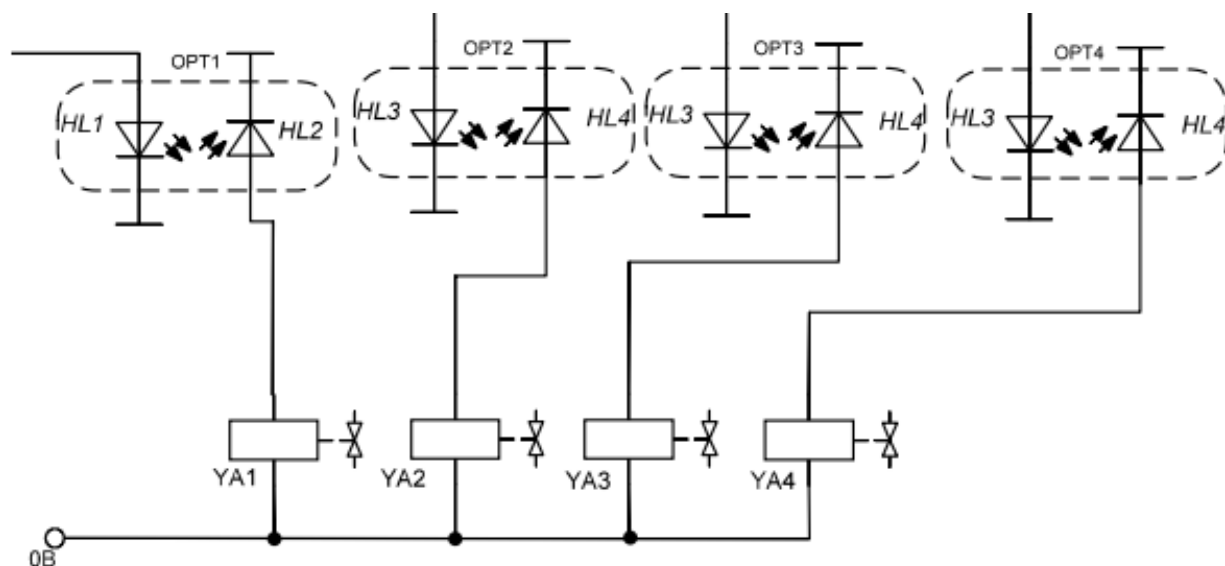


Рис. 4.8. Схема електрична принципова керування пневматичними циліндрами

Виходячи з потреб для зштовхування огірків, було розроблено схему керування пневматичними циліндрами за допомогою оптрона (рис. 4.8) на основі двопозиційних пневматичних циліндрів.

Оброблені сигнали з датчиків за допомогою ШНМ потрапляють на виходи ПЛК, що подає напругу 24 В на оптрон (оптопару), який перетворює сигнал в світлове випромінювання, що передається по оптичному каналу та перетворюється назад в електричний сигнал. Оптопара слугує для активації пневматичного циліндру та зштовхування огірка в потрібний бункер згідно ДСТУ 3247-95.

4.4. Схема електрична принципова системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту

Схема електрична принципова системи автоматизованого сортування огірків з елементами штучного інтелекту містить різні технічні засоби автоматизації, що функціонально взаємодіють для ефективного сортування продукції. Електричну принципову схему САСПО можна умовно розділити на три блоки: блок датчиків, блок обробки сигналів та силовий блок, що містить виконавчі механізми.

Блок датчиків збирає дані про огірки, які надходять на сортувальну лінію. Зокрема, інфрачервоний датчик використовується для фіксації наявності огірків у зоні їх інформаційної обробки та запуску системи у цілому. Інші датчики використовуються для збирання інформації про органолептичні показники якості огірків та передачі її на ПЛК з наступною передачею до блоку обробки сигналів (рис. 4.9).

Блок обробки сигналів представлений комп'ютером зі спеціально розробленим програмним забезпеченням, який використовує інтелектуальні алгоритми (ШНМ) обробки сигналів та комп'ютерний аналіз для обробки даних, отриманих від датчиків. Вказане передбачає виявлення дефектів, класифікацію продуктів за якістю, визначення розмірів тощо. З комп'ютеру сигнали передаються на ПЛК, який в свою чергу з'єднаний з частотним перетворювачем та оптронами OPT1 - OPT4 (рис. 4.9).

Виконавчі механізмами представленої САСПО включають трифазний асинхронний двигун, керований частотним перетворювачем Siemens Sinamics S120, та систему пневматичних циліндрів, керованою оптронами (рис. 4.9), наприклад, VISHAY IL300-EF [45] для зштовхування огірків у відповідні бункери на основі рішень ШНМ.

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

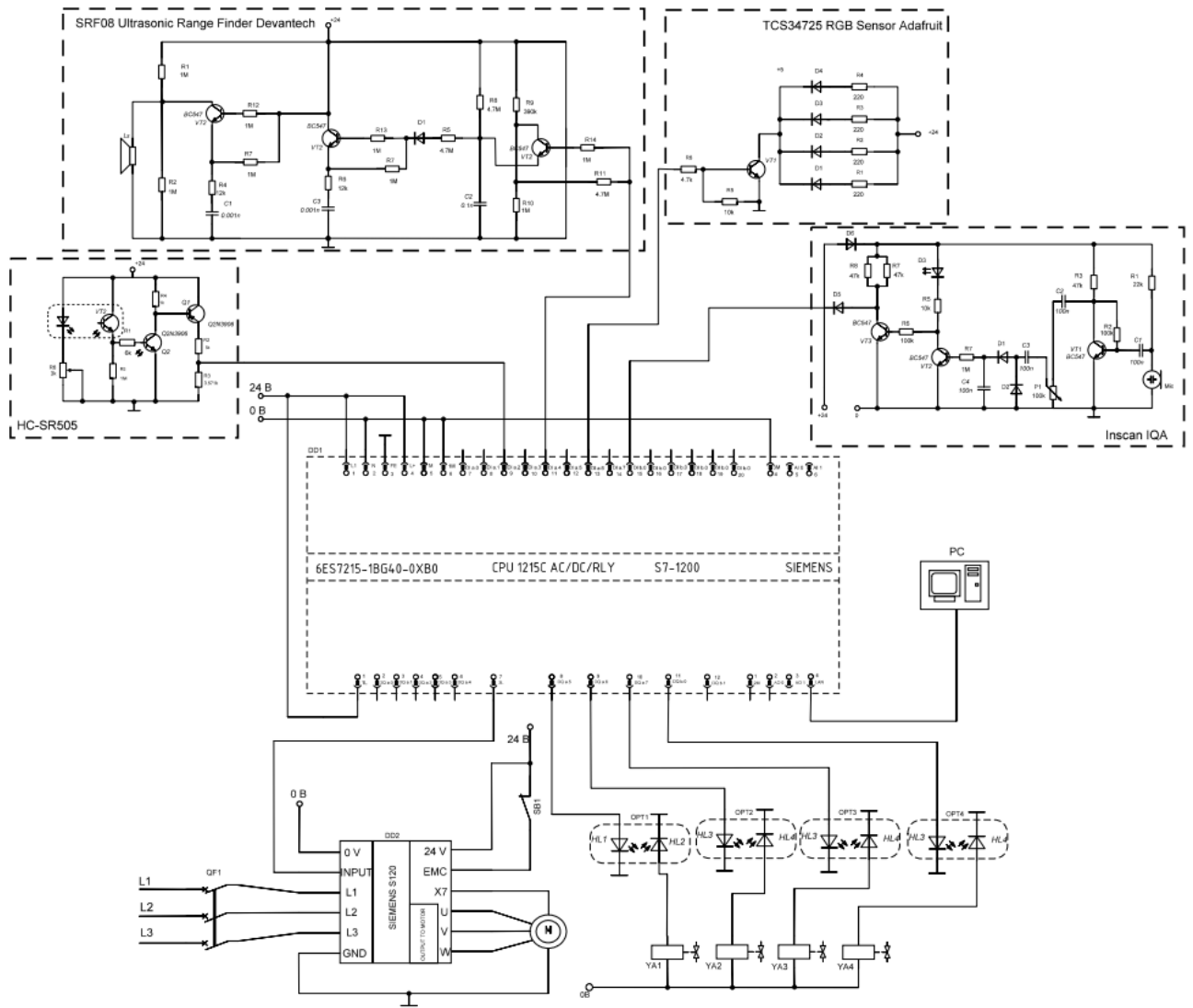


Рис. 4.9. Схема електрична принципова САСПО

Розроблена електрична принципова схема САСПО забезпечує злагоджену роботу технічних засобів автоматизації для забезпечення високої якості сортування згідно визначених раніше (див. п. 1.1) показників якості. Використання штучного інтелекту додає гнучкості та адаптивності щодо зміни асортименту продукції для сортування, що сприяє досягненню кращих результатів сортування і задоволенню вимог ринку.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДІП ПМ-91.18.1760.000

Арк.

71

Загалом, ця електрична принципова схема розроблена із застосуванням сучасних засобів автоматизації. Це сприяє поліпшенню ефективності, якості та продуктивності процесу сортування плодів і овочів.

4.5. Розробка специфікації схеми електричної принципової системи автоматизованого сортування плодів овочевих культур з елементами штучного інтелекту

Для чіткого ідентифікування всіх елементів на схемі використовується специфікація, яку заповнюють упорядковано зверху вниз і в окремому документі формату А4. Кожен елемент схеми має унікальне позиційне позначення, що складається з літери та послідовного номера (табл. 4.3.) [34].

Таблиця 4.3.

Специфікація до схеми електричної принципової

Поз. Позн.	Найменування	Кіл.
DD1	SIEMENS SIMATIC S7-1200	1
DD2	SIEMENS SINAMIC s120	1
М	Двигун BESEL 3-фазний; 0,37кВт; 2,59Нм; 1380об./хв; SH71-4В	1
QF1	Автоматичний вимикач IC60N 3P 1A D	1
SB1	Кнопка запобіжного відмикання Schneider Electric XB4, ø22, 1NO+1NC, 24В, IP66(XB4BW34B5)	1

Закінчення табл. 4.3

YA1...YA4	Електромагніт пневматичного циліндру FVBC32x160-S	4
	Інфрачервоний датчик HC-SR505	1
	Ультразвуковий датчик SRF08 Ultrasonic Range Finder Devantech	1
	Ультрафіолетовий датчик TCS34725 RGB Sensor Adafruit	1
	Акустичний датчик Inscan IQA	1

Позиційне позначення елементів на схемі виконується поряд з умовним знаком, за допомогою порядкових номерів. Елементи розташовуються в таблиці 4.3 відповідно ДСТУ 2.702:2013 [34] та послідовності їх розташування на схемі. Елементи одного типу з однаковими електричними параметрами можуть бути записані в один рядок з відповідними позиціями і загальною кількістю [34].

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

5. РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ ШТУЧНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО СОРТУВАННЯ ПЛОДІВ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

5.1. Формалізований опис органолептичних показників якості плодів овочевих культур на прикладі огірків

Штучний інтелект є передовим напрямом розвитку інформаційно-комп'ютерних технологій, який успішно використовується в автоматизації. Використання методів, технологій та систем штучного інтелекту знаходить практичне застосування в різних галузях, де необхідно вирішувати складні багатопараметричні та складноформалізовані задачі в режимі реального часу при швидко змінюваних умовах [46].

Зокрема в приладобудуванні штучний інтелект набуває постійної популярності і широкого застосування. Він використовується для розробки та вдосконалення приладів і систем з автоматизованим керуванням, діагностики, моніторингу та оптимізації різних процесів. Штучний інтелект дозволяє приладам аналізувати, розпізнавати та інтерпретувати дані з великою швидкістю і точністю, а також приймати рішення на основі цих даних. Він забезпечує автоматичне адаптивне керування, виявлення несправностей, прогнозування та оптимізацію роботи приладів і систем. Штучний інтелект у приладобудуванні дозволяє створювати більш ефективні, надійні та інтелектуальні пристрої, що покращують якість, продуктивність та швидкодію різноманітних технологічних процесів.

Для проведення формалізації показників якості огірків з метою їх наступного сортування САСПО необхідно побудувати концептуальну схему моделі системи знань (СЗ) [47]. Вказане передбачає проведення детального

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

аналізу процесу сортування плодів овочевих культур. Необхідно виявити процеси, технології, принципи та основні проблеми, що виникають при цьому.

У 1956 році Річард Річенс розробив комп'ютерні семантичні сітки (СС) в рамках проекту Кембриджського центру вивчення мови за допомогою машинного перекладу. СС були використані як проміжна форма подання знань для реалізації процесу машинного перекладу. СС базувались на спрямованому двобічному графі з вершинами та дугами, що представляли семантичні знання про предметну галузь. У цій формальній системі, відомої як комп'ютерні семантичні сітки, основною умовою було визначення алфавіту системи подання знань (СПЗ) на основі СС. Процес перекладу тексту розподілявся на дві частини: переклад вихідного тексту у проміжну форму подання за допомогою СС, а потім переклад цієї проміжної форми у мову, необхідну для виводу результату. Отже, комп'ютерні СС стали основою формалізації семантичних знань про предметну галузь та забезпечили ефективний процес машинного перекладу [47].

До параметрів, що можна використовувати для формалізованого опису параметрів огірків з метою реалізації процесу їх автоматизованого сортування можна віднести множину таких показників та властивостей огірків, як розмір, зовнішній вигляд, внутрішня структура тощо. З огляду на вказане формалізований опис параметрів огірків у загальному вигляді можна подати наступним виразом:

$$O \rightarrow \{R; C; F; S\}, \quad (5.1)$$

де O – об'єкт сортування, тобто плід овочевих, наприклад, огірок, який має наступні параметри:

- R – розмір, мм;
- C – колір, плямистості;
- F – форма;
- S – внутрішня структура.

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Формалізація цих параметрів дозволяє створити чітку і структуровану модель знань, яка може бути використана для подальшого аналізу, обробки і автоматизації інформаційних процесів у системі.

Параметри формалізації сприяють створенню ясного та систематизованого представлення знань про систему або предметну галузь за допомогою комп'ютерних семантичних сіток. Це дозволяє ефективно застосовувати методи штучного інтелекту, такі як машинне навчання, обробку природної мови та експертні системи, для аналізу та розв'язання задач в цій галузі.

5.2. Формування векторного опису плодів овочевих культур на прикладі огірків

Навчання штучної нейронної мережі (ШНМ) включає в себе задавання діапазону зміни значень входів, виходів, ваг синапсів та граничних рівнів, з урахуванням обраної функції активації, а також присвоєння їм початкових значень. Робота нейромережі полягає в перетворенні сигналів вхідного вектора X у вихідний вектор Y за допомогою ваг синапсів мережі. На практиці, сигнали, що передаються від одного нейрона до іншого, представлені числами в діапазоні від 0 до 1. Значення 0 відповідає відсутності сигналу, а значення 1 вказує на максимальний рівень сигналу [46, 48].

Враховуючи зазначене, структура та склад вхідних векторів ШНМ для класифікації подів овочевих культур повинна відповідати структурам формалізованих описів кожного окремого параметру.

Так, наприклад, параметр R може бути описаний вектором R^1 , що має 6 складових, які описують довжину досліджуваного огірка наступним чином:

$$R^1 = \{r_1^1, r_2^1, r_3^1, r_4^1, r_5^1, r_6^1\}, \quad (5.2)$$

де r_1^1 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає довжині огірка < 30 мм;

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

r_2^1 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає діапазону довжини огірка $30 < R^1 < 50$ мм, яка є характерною для огірків групи пікулі;

r_3^1 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає діапазону довжини огірка $51 < R^1 < 70$ мм, яка є характерною для огірків корнішони першої групи;

r_4^1 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає діапазону довжини огірка $71 < R^1 < 90$ мм, яка є характерною для огірків корнішони другої групи;

r_5^1 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає діапазону довжини огірка $91 < R^1 < 110$ мм, яка є характерною для огірків групи зеленці;

r_6^1 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає довжині огірка > 110 мм;

Параметри кольору досліджуваного огірка можна представити вектором C^2 за виразом (5.3). На практиці це сигнал від ультрафіолетового датчику, потужність якого змінюється в діапазоні від 0 до 1. Причому 0 означає відсутність плям та жовтизни, а 1 – плямистість та жовтизна більша 50%. Вектор C^2 має 5 складових параметрів, які описують кольорову гамму огірка наступним чином:

$$C^2 = \{c_1^2, c_2^2, c_3^2, c_4^2, c_5^2\}, \quad (5.3)$$

де c_1^2 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає плямистості або жовтизні огірка ≤ 0.05 ;

c_2^2 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає діапазону плямистості або жовтизні огірка $0.05 < C^2 \leq 0.15$;

c_3^2 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає діапазону плямистості або жовтизні огірка $0.15 < C^2 \leq 0.4$;

c_4^2 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає діапазону плямистості або жовтизні огірка $0.4 < C^2 \leq 0.65$;

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

c_5^2 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає діапазону плямистості або жовтизні огірка $0.65 < C^2 \leq 1$;

Векторне представлення форми можна описати параметром F^3 за виразом (5.4). На практиці це сигнал від ультразвукового датчику, потужність якого змінюється в діапазоні від 0 до 1. Якщо огірок має правильну циліндричну форму – це сигнал 0, в іншому випадку – сигнал 1. Відповідно до формалізованого опису вектор можна описати таким чином:

$$F^3 = \{f_1^3, f_2^3, f_3^3, f_4^3, f_5^3\}, \quad (5.4)$$

де f_1^3 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає зігнутості ≤ 0.05 ;

f_2^3 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає діапазону зігнутості огірка $0.05 < F^3 \leq 0.15$;

f_3^3 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає діапазону зігнутості огірка $0.15 < F^3 \leq 0.4$;

f_4^3 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає діапазону зігнутості огірка $0.4 < F^3 \leq 0.65$;

f_5^3 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає діапазону зігнутості огірка $0.65 < F^3 \leq 1$;

Параметр внутрішньої структури можна представити вектором S^4 за виразом (5.5) з 5 складовими, відповідно до формалізованого опису. На практиці це сигнал від акустичного датчику, потужність якого змінюється в діапазоні від 0 до 1, де 0 - для огірка з щільним м'якушем, недорозвиненим водянистим насінням та без внутрішніх пустот, а 1 – сильно водянистий, м'який або з пустотами.

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S^4 = \{s_1^4, s_2^4, s_3^4, s_4^4, s_5^4\}, \quad (5.5)$$

де s_1^4 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає щільності ≤ 0.05 ;

s_2^4 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає діапазону щільності огірка $0.05 < S^4 \leq 0.15$;

s_3^4 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає діапазону щільності огірка $0.15 < S^4 \leq 0.4$;

s_4^4 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає діапазону щільності огірка $0.4 < S^4 \leq 0.65$;

s_5^4 – вхідний сигнал ШНМ, що відповідає діапазону щільності огірка $0.65 < S^4 \leq 1$;

На виході ШНМ при автоматичній класифікації огірків для їх автоматизованого сортування САСПО формується вихідний сигнал у векторній формі $Y = \{y^1; y^2; \dots, y^n\}$, що містить інформацію про досліджуваний плід. Очевидно, що всі плоди відрізняються за формою, структурою та зовнішнім виглядом. Однак, елементи вихідного вектора Y повинні містити повну інформацію щодо задачі автоматизованої класифікації для переміщення огірків до відповідного бункеру при їх сортуванні.

Структура вхідного вектору X , що задається множиною таких параметрів, як розмір R , що описаний вектором R^1 за виразом (5.2), колір C , що описаний вектором C^2 за виразом (5.3), форма F , що описана вектором F^3 за виразом (5.4), внутрішня структура S , що описана вектором S^4 за виразом (5.5) у загальному випадку має вигляд:

$$X = \{R^1 \in \{r_1^1, r_2^1, r_3^1, r_4^1, r_5^1, r_6^1\}; C^2 \in \{c_1^2, c_2^2, c_3^2, c_4^2, c_5^2\}; \\ F^3 \in \{f_1^3, f_2^3, f_3^3, f_4^3, f_5^3\}; S^4 \in \{s_1^4, s_2^4, s_3^4, s_4^4, s_5^4\}\}. \quad (5.6)$$

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Структура вихідного вектору Y відповідає кількості груп огірків. У відповідності до цього вихідний вектор Y має наступну структуру:

$$Y = \{y^1, y^2, y^3, y^4, y^5\}, \quad (5.7)$$

де y^1 – огірки типу пікулі;

y^2 – корнішони першої групи;

y^3 – корнішони другої групи;

y^4 – зеленці;

y^5 – кормові огірки.

Вхідний X та вихідний Y вектори дозволяють визначити кількість шарів та нейронів у кожному шарі, а також кількість входів і виходів розроблюваної архітектури ШНМ для автоматичної класифікації огірків при їх сортуванні САСПО.

5.3. Обґрунтування архітектури штучної нейронної мережі для автоматичного розпізнавання органолептичних показників якості плодів овочевих культур на прикладі огірків та розробка її структурної схеми

ШНМ мають багат шарову структуру, де вхідні сигнали подаються на вхідний шар, а вихідні сигнали генеруються на вихідному шарі. Ці сигнали пропускаються через прихований шар, де відбувається обробка інформації.

Розробка архітектури ШНМ включає вибір способу з'єднання нейронів між собою, що визначає тип архітектури. Існує багато різних типів архітектур, які вибираються в залежності від особливостей та складності задачі, яку необхідно вирішити. Для задач класифікації та сортування вже розроблені певні архітектури ШНМ, які успішно використовуються для цих конкретних завдань. З огляду на вказане, у дипломному проєкті пропонується розробка архітектури

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

ШНМ для автоматичної класифікації огірків на основі багатошарового перцептрону (рис.5.1).

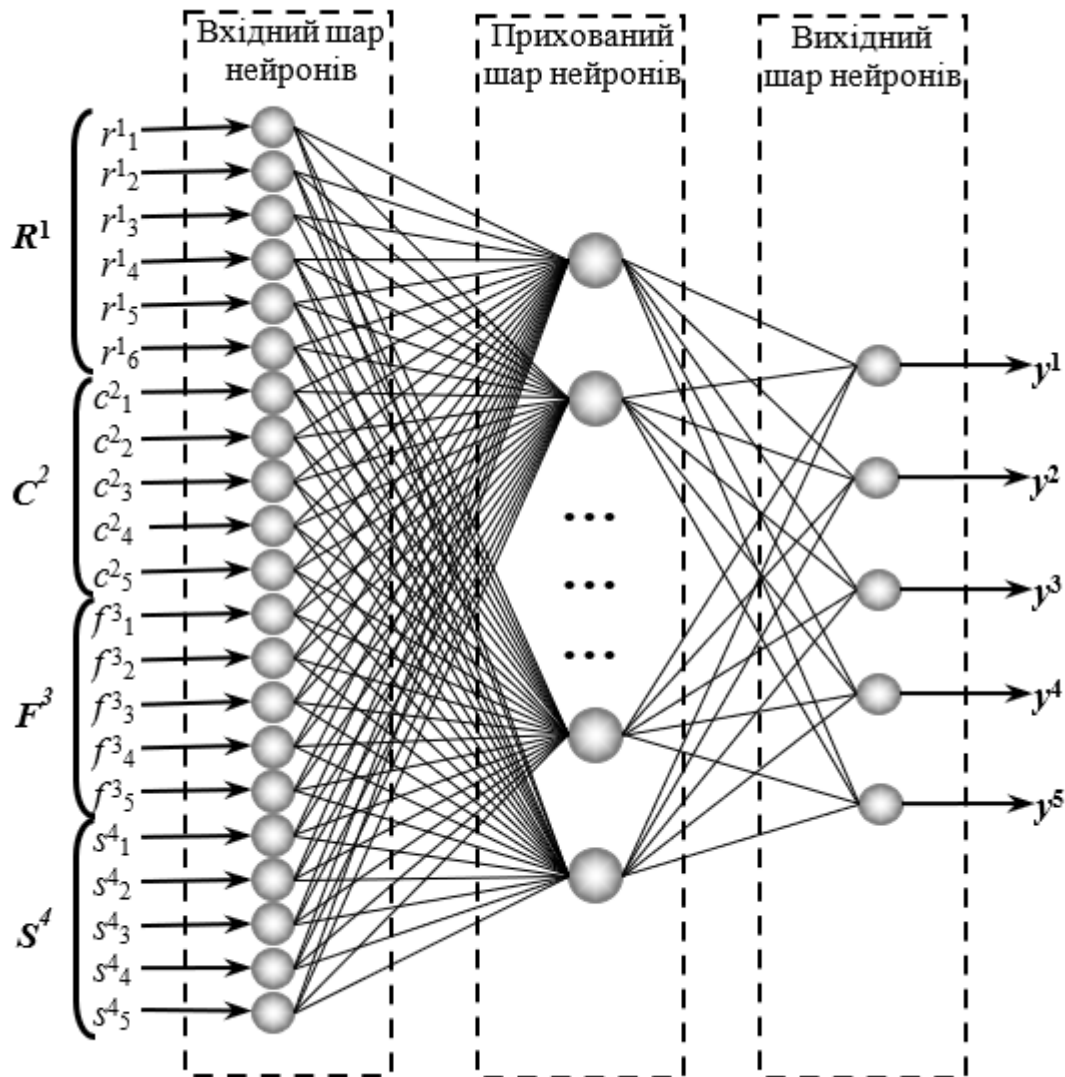


Рис. 5.1. Багатошаровий перцептрон

Для обробки інформації в системі нейронних мереж встановлюється кількість нейронів у кожному шарі. Загальна кількість нейронів у кожному шарі визначається умовою задачі, структурою вхідного та вихідного векторів, та результатами навчання (для прихованого шару). Зазвичай використовується підхід, в якому всі нейрони першого (вхідного) шару отримують один вхідний сигнал, що відповідає загальній кількості компонентів вхідних векторів.

При вирішенні задач класифікації рішення про приналежність об'єкта тому чи іншому класу приймається так званим інтерпретатором відповіді мережі. Широко застосовується інтерпретатор „winner takes all”, де кількість вихідних сигналів дорівнює кількості класів, а номер класу відповідає номеру нейрона, що видав максимальний сигнал на виході. Таким чином, кількість нейронів на виході відповідає структурі вихідних векторів.

Визначення кількості нейронів у прихованому шарі є складним процесом, який включає два етапи. Під час розробки архітектури ШНМ, на першому етапі кількість нейронів у прихованому шарі приймається рівною кількості нейронів на вході. На другому етапі, під час навчання ШНМ, кількість нейронів у прихованому шарі коригується в залежності від успішності навчання. Якщо навчання пройшло успішно, кількість нейронів зазвичай залишається незмінною. У випадку невдачі навчання, кількість нейронів збільшується [47, 48, 49].

Таким чином, для САСПО було розроблено ШНМ з 21 нейроном у прихованому шарі багат шарового перцептронну. Навчання цієї системи було проведено за допомогою методу навчання з вчителем. Для навчання ШНМ САСПО був використаний алгоритм зворотного поширення помилки. Цей алгоритм є широко використовуваним для навчання нейронних мереж, оскільки він спрямований на мінімізацію помилок їх роботи і підвищує ймовірність отримання бажаного виходу.

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

ВИСНОВОК

1. В даному дипломному проєкті розроблено систему автоматизованого сортування плодів овочевих (САСПО) культур з використанням елементів штучного інтелекту. Розроблена САСПО має гнучку структуру та дозволяє досягти точності, швидкості і надійності процесу сортування плодів овочевих.

2. Розроблена структурна схема САСПО культур овочевих з елементами штучного інтелекту, на основі інфрачервоних, ультразвукових, ультрафіолетових та акустичних датчиків для збору інформації про плоди та їх параметри, та технологій штучного інтелекту для автоматичного розпізнавання та класифікації плодів відповідно до наперед визначених показників якості.

3. Розроблена функціональна схема САСПО, яка визначає функціонально-блочну структуру окремих компонентів автоматичного контролю та керування технологічним процесом сортування, а також устаткуванням, що використовується для автоматизації процесу сортування плодів овочевих культур.

4. Розроблена електропневматична схема САСПО, яка включає у себе пневматичні компоненти для керування зіштовхувачами, зокрема пневматичні циліндри-геркони, електромагнітні клапани та датчики положення поршня. Електропневматична схема САСПО деталізує процес керування рухом плодів овочевих культур під час їх сортування.

5. Розроблена електрична принципова схема САСПО. Вона відображає спосіб керування електричними компонентами системи, зокрема електродвигунами та датчиками, відтворює принцип роботи системи та взаємозв'язки між елементною базою. Основним керуючим елементом схеми є програмований логічний контролер (ПЛК) Siemens SIMATIC S7-1200, який координує роботу всіх електричних компонентів системи.

6. Розроблено архітектуру штучної нейронної мережі для автоматичного розпізнавання органолептичних показників якості плодів овочевих культур, яка дозволяє автоматично визначати якість плодів в режимі реального часу з

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

високою точністю та має можливість перенавчання на роботу з іншими видами плодів овочевих культур, відмітних від огірків.

7. Результати дипломного проєктування були представлені на XVI Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Погляд у майбутнє приладобудування”, 16-17 травня 2023р, що проходила у Національному технічному університеті України “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”. Опубліковано тези доповіді «Інтелектуальна технологічна система для автоматизованого сортування плодів овочевих культур» Підбуцький М. Ю. Інтелектуальна технологічна система для автоматизованого сортування плодів овочевих культур / М. Ю Підбуцький, І. Ю. Черепанська // Збірник праць XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Погляд у майбутнє приладобудування”, 16-17 травня 2023р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. — 2023. — 302 с.— С. 169 – 173.

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

НАПРЯМКИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Вдосконалення алгоритмів і моделей штучного інтелекту для точнішого розпізнавання органолептичних показників якості плодів.
2. Розробка більш складних нейронних мереж, які забезпечуватимуть вищу точність класифікації плодів за їх якістю.
3. Впровадження додаткових датчиків та технологій для отримання більш повної інформації про плоди.
4. Розробка інтегрованих систем управління та моніторингу процесу сортування. Це може включати використання додаткових датчиків для контролю швидкості конвеєра, оптимізацію руху плодів та відстеження продуктивності системи.
5. Дослідження впливу сезонних змін, варіацій у вирощуванні та генетичних особливостей плодів на їх органолептичні властивості. Це дозволить встановити зв'язок між якістю плодів і умовами їх вирощування, що може бути важливим для оптимізації процесу сортування.

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

ПЕРЕЛІК ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Планування, моделювання та верифікація процесів в гнучких виробничих системах: практикум. Навчально-методичний посібник до виконання практичних, лабораторних і самостійних занять студентів спеціальності 7.05020201, 8.05020201 "Автоматизоване управління технологічними процесами" всіх форм навчання / І. Ю. Черепанська, В. А. Кирилович, А. Ю. Сазонов, Б. Б. Самотокін / [під заг. ред. В. А. Кириловича] – Житомир, ЖДТУ 2015. – 274 с.

2. Remontu.com.ua [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://remontu.com.ua/ogirki-dlya-salatu-marinuvannya-abo-zasolyuvannya-yaki-sorti-vibrati>

3. Новітні технології. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.novtech.com.ua/chto-sleduet-znat-o-sortirovke-plodoovoshnogo-syrya-ispolzuemoe-oborudovanie-osobennosti-tehnologii>

4. Інтерагро. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://interagro.info/services/opticheskaya-sortirovka-i-kontrol/opticheskaya-sortirovka-krupnykh-i-tselnykh-produktov/>

5. Томра. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tomra.com/>

6. Aweta. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.aweta.com/en/>

7. Grefa. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.greefa.com/>

8. Compaq. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.compaq.com/>

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

9. Tomra 5A. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tomra.com/en/solutions/food/food-machines/tomra-5a>
10. Tomra 5B. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tomra.com/en/solutions/food/food-machines/tomra-5b>
11. Tomra 5A. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.potatopro.com/products/tomra-5a>
12. Tomra 5B. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://languagesites.tomra.com/ru-ru/sorting/food/sorting-equipment/tomra-5b>
13. Feriavirtual Interempresas. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.interempresas.net/Laboratorios/FeriaVirtual/Producto-Clasificadora-por-sensores-Raytec-vision-Rainbow-STD-212699.html>
14. RayTecVision. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.raytecvision.com/mobile_en/sorting.asp
15. Шинносудке Кубота Остання версія автоматичної сортувальної машини зі штучним інтелектом від фермерів, які вирощують огірки/ Шинносудке Кубота // SmartAGRI. — 7. — 2020 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://smartagri-jp.com/smartagri/1579>
16. SmartAGRI. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://smartagri-jp.com/smartagri/1579>
17. Стандарт ISO 9001. Система управління якістю. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://academy.tms.ua/uk/sertificat-ua/standart-iso-9001-systema-upravlinnia-iakistiu-smia/>
18. Studbooks.net [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://mobile.studbooks.net/1943546/tovarovedenie/sobstvennyye_issledovaniya

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

19. ДСТУ 3247-95 Огірки свіжі. Технічні умови. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?iddoc=83954>

20. Agriculture-xprt. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.agriculture-xprt.com/products/protex-extrasorter-model-3w-tomato-fruit-and-vegetable-3-way-sorter-715036>

21. ProtecSorterequipment. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.protex-italy.com/equipment/selezionatrice-ottica-extrasorter/>

22. Черепанська І.Ю. Прецизійна приладова система вимірювання кутів: дисертація. д-ра т. наук: 05.11.01 – «Прилади та методи вимірювання механічних величин» /Ірина Юріївна Черепанська. –Київ, 2019. – 132 с.

23. ДСТУ 7989:2015 Огірки консервовані. Технічні умови. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=81073

24. Підбуцький М. Ю. Інтелектуальна технологічна система для автоматизованого сортування плодів овочевих культур / М. Ю Підбуцький, І. Ю. Черепанська // Збірник праць XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Погляд у майбутнє приладобудування”, 16-17 травня 2023р. — К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2023. – 302 с.– С. 169 – 173

25. Частотний перетворювач Siemens Sinamics S120. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://new.siemens.com/ua/uk/produkty/tekhnohiiyi-privodiv/sinamics/peretvoryuvachi-nyzkoyi-napruhy-sinamics/servo-converter/sinamics-s120.html>

26. Ультразвукові датчики Devantech SRF08 UltrasonicRangeFinder. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf08tech.html>

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

27. Ультрафіолетовий датчик Adafruit TCS34725 RGB Sensor. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.adafruit.com/product/1334>
28. Акустичний датчик Inscan IQA. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://storex.com.ua/catalog/unit-2.html>
29. Аналогово-цифровий перетворювач ADS1115 від Texas Instruments. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.ti.com/product/ADS1115>
30. Шина UART. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://habr.com/ru/articles/109395/>
31. Інтернет - міжнародна комп'ютерна мережа. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%8F:%D0%86%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B5%D1%82>
32. Лукінюк, М. В. Контроль і керування хіміко-технологічними процесами [у 2 кн.]. Кн. 2. Керування хіміко-технологічними процесами – Київ : Політехніка, 2012. – 336 с. — С. 158 - 226
33. Схема електрична принципова. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://wiki.tntu.edu.ua/%D0%A1%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B0
34. ДСТУ 2.702:2013. Єдина система конструкторської документації. Правила виконання електричних схем. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=60892
35. Програмований контролер логіки Siemens SIMATIC S7-1200. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://new.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoyi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/simatic-s7-1200.html>

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

36. Фільтр Баєра. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D1%96%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80_%D0%91%D0%B0%D1%94%D1%80%D0%B0

37. Датчик кольору TCS3200. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lastminuteengineers.com/tcs230-tcs3200-color-sensor-arduino-tutorial/>

38. Handbook of ModernSensors./ Jacob Fraden. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://link.springer.com/chapter/10.1007/0-387-21604-9_12

39. Акустичний датчик. Принцип роботи. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.learningelectronics.net/circuits/acoustic-sensor_19.html

40. Симистор TRIAC. Принцип роботи. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://en.wikipedia.org/wiki/TRIAC>

41. Двигун BESELSH71-4B. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.tme.eu/ua/ru/details/sh71-4b/dvigateli-elektricheskie/besel/>

42. Автоматичний вимикач Schneider IC60N 3P1A D. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://elek.com.ua/ru/catalog/avtomaticheskie-vyklyuchateli-va63-ci/5777?gclid=Cj0KCQjw4NujBhC5ARIsAF4Iv6cMiWWAJtBaCjR1Bvg2Yif6bCs_bboHicKj1bfKiD7fCJyV3K1RJTsaAuvmEALw_wcB

43. Швидкості конвеєрної стрічки в залежності від габариту транспортованого вантажу. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://alfamatic.ru/info/articles/tekhnicheskaya-informatsiya/kak-rasschitat-nuzhnyu-proizvoditelnost-lentochnogo-konveyera/>

44. Переріз провідника за струмом і навантаженням. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://elstroy.com.ua/uk/blog-elektrika/vybor-secheniya-kabelya-po-toku-i-mosshnosti>

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

45. Оптрон ІЛ300-ЕФ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
<https://imrad.com.ua/ua/il300-ef-0>

46. Жученко А. І. Технології штучного інтелекту та основи машинного зору в автоматизації: теорія і практика / А. І. Жученко, І. Ю. Черепанська, А. Ю. Сазонов, Д. О. Ковалюк. – Київ, КПІ 2019. – 386 с.

47. Ямпольський Л.С. Системи штучного інтелекту в плануванні, моделюванні та управлінні / Л.С. Ямпольський, Б.П. Ткач, О.І. Лісовиченко – Київ, МАУП 2011 - 543 с.

48. Черепанська І. Ю. Автоматизація процесу керування вибором пристроїв орієнтування при проектуванні гнучких інтегрованих систем: дис. канд. техн. наук: 05.13.07 “Автоматизація процесів керування” / Ірина Юріївна Черепанська. – Житомир, ЖДТУ, 2008. – 380 с.

					<i>ДІП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
						91
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

Надаються за запитом до авторів

					<i>ДП ПМ-91.18.1760.000</i>	Арк.
						92
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

