

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Криворізький національний університет
Навчально-науковий інститут економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми
«Обладнання переробних і харчових
виробництв»

_____ Цвіркун Л.О.
«___» _____ 2026 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
за освітньою програмою «Обладнання переробних і харчових виробництв»

на тему: **«УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СОРТУВАННЯ КАРТОПЛІ»**

Виконав:

здобувач вищої освіти _____ Бохонко Анатолій Олександрович _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник:

_____ доцент, к.пед.н., Цвіркун Л.О. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Кривий Ріг
2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Криворізький національний університет
Навчально-науковий інститут економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти денна
Ступінь бакалавр
Галузь знань Механічна інженерія
Освітня програма Обладнання переробних і харчових виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Гарант освітньої програми «Обладнання
переробних і харчових виробництв»
Цвіркун Л.О.
« » 2026 року

З А В Д А Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Бохонко Анатолію Олександровичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі»

Керівник роботи к.пед.н., Цвіркун Л.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом ректора Криворізького національного університету від «31» грудня 2025 р. № 85-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи « 12 » червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічна документація до устаткування.
2. Монографії, наукові статті, автореферати дисертацій, тези доповідей на наукові конференції.
3. Навчальна і методична література, інформація мережі Інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.
2. Аналіз обладнання для сортування плодово-овочевої сировни.
3. Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі.
4. Аналіз результатів досліджень.

5. Висновки.

6. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Обладнання для сортування плодово-овочевої сировини.

Удосконалення системи сортування картоплі за вагою.

Розпізнавання зразків картоплі за допомогою системи машинного зору.

6. Дата видачі завдання «02» січня 2026 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	05.01.2026-15.02.2026
2	Аналіз обладнання для сортування плодово-овочевої сировни	16.02.2026-10.03.2026
3	Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі	11.03.2026-15.04.2026
4	Аналіз результатів досліджень	16.04.2026-30.04.2026
5	Висновки по роботі	01.05.2026-12.05.2026
6	Оформлення роботи і подання до захисту	16.05.2026-12.06.2026

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Бохонко А.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Цвіркун Л.О.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура бакалаврської роботи. Повний обсяг бакалаврської роботи – 50 сторінок, в тому числі основного тексту – 47 сторінки. Робота містить 13 рисунків. Список використаних джерел складається з 29 найменувань.

Об'єкт роботи – сортувальний пристрій.

Предмет роботи – процес сортування картоплі за вагою.

Мета роботи – удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі.

У роботі зазначено, що сортування овочів є важливою операцією, що впливає на якість, обробку та зберігання продукції і відіграє значну роль у харчовій промисловості. Сортування – розділення сировини у різні однорідні групи відповідно до його специфічних характеристик таких як розмір, форма, колір та якість.

Удосконалено обладнання для сортування картоплі за вагою, яке містить декілька підсистем. Найважливішою є система сортування, яка складається з лотків, розроблених відповідно до геометрії та форми сировини, які забезпечують доставку картоплі до різних точок сортування. Ці точки сортування складаються з датчиків ваги (тензометричні датчики), ємнісних датчиків і серводвигунів. Спочатку вага картоплі вимірюється за допомогою тензодатчика, які підключено до контролера, який використовується для перетворення аналогового сигналу в цифровий. Коли сировина потрапляє зону сортування, сигнал приводить у дію відповідний сервопривід. Такі пристрої будуть розташовані навколо машини для викидання овочів у відповідні відсіки або приймальні бункери.

Оптимізована сортувальна машина відрізняється від інших сортувальних машин тим, що запропонована модель враховує вагу продукту та реєструє кількість одиниць кожного класу. Її робота забезпечується зчитуванням сенсора, який відповідатиме за передачу величини виявленої сили мікроконтролеру, лише якщо ємнісний сенсор, що слугує як шлюз, відповідає умовам, встановленим у програмуванні. Якщо виміряне значення є правильним, ковш буде звільнений і через вагу картоплі ковш нахилиться у відповідний приймальний бункер, а також буде надіслано імпульс до дисплея лічильника для відображення одиниць, що належать кожному класу.

Запропоновано систему сортування доповнити модулем штучного зору для визначення за допомогою відповідних алгоритмів розміру картоплі та кольору. Система буде здійснювати класифікації картоплі за розміром за допомогою комп'ютерного зору, що сприятиме тому, що картопля, яка не буде відповідати еталонному зображенню буде вилучатися із загального потоку. У зв'язку з великої різноманітності форм картоплі її важко узагальнити тому методи комп'ютерного зору сприятимуть вирішенню цієї проблеми.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: сортувальний пристрій, сортування, сервопривід, тензометричні датчики, ємнісні датчики, методи комп'ютерного зору, підсистема живлення, підсистема класифікації, підсистема сортування за вагою, зона зважування, картопля.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СОРТУВАННЯ ПЛОДОВО-ОВОЧЕВОЇ СИРОВНИ	7
1.1 Переробка фруктів та овочів	7
1.2 Традиційне та інноваційне сортувальне обладнання	12
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СОРТУВАННЯ КАРТОПЛІ	21
2.1 Методи сортування плодово-овочевої сировини	21
2.2 Удосконалення системи сортування картоплі за вагою	26
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	40
3.1 Класифікації картоплі за допомогою комп'ютерного зору	40
ВИСНОВКИ	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	46
ДОДАТКИ	48

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Бохонко</i>			Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі		<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Цвіркун</i>						
							5	1
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>					ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО	
<i>Затверд.</i>		<i>Цвіркун</i>						

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що сортування овочів є важливою операцією, що впливає на якість, обробку та зберігання продукції і відіграє значну роль у харчовій промисловості. Сортування – розділення сировини у різні однорідні групи відповідно до його специфічних характеристик таких як розмір, форма, колір та якість.

Мета та задачі дослідження. Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі.

Практична та наукова новизна. На основі аналізу, було зазначено, що процес сортування зазвичай передбачає розділення сировини за певною ознакою, а саме кольором або вагою. У харчовій промисловості машини для сортування овочів за вагою відіграють ключову роль, оскільки мають здійснювати точне оцінювання залежно від ваги сировини.

Удосконалено обладнання для сортування картоплі за вагою, яке містить декілька підсистем. Найважливішою є система сортування, яка складається з лотків, розроблених відповідно до геометрії та форми сировини, які забезпечують доставку картоплі до різних точок сортування. Ці точки сортування складаються з датчиків ваги (тензометричні датчики), ємнісних датчиків і серводвигунів. Спочатку вага картоплі вимірюється за допомогою тензодатчика, які підключено до контролера, який використовується для перетворення аналогового сигналу в цифровий. Коли сировина потрапляє зону сортування, сигнал приводить у дію відповідний сервопривід. Такі пристрої будуть розташовані навколо машини для викидання овочів у відповідні відсіки або приймальні бункери.

Оптимізована сортувальна машина відрізняється від інших сортувальних машин тим, що запропонована модель враховує вагу продукту та реєструє кількість одиниць кожного класу. Її робота забезпечується зчитуванням сенсора, який відповідатиме за передачу величини виявленої сили мікроконтролеру, лише якщо ємнісний сенсор, що слугує як шлюз, відповідає умовам, встановленим у програмуванні. Якщо виміряне значення є правильним, ковш буде звільнений і через вагу картоплі ковш нахилиться у відповідний приймальний бункер, а також буде надіслано імпульс до дисплея лічильника для відображення одиниць, що належать кожному класу.

Запропоновано систему сортування доповнити модулем штучного зору для визначення за допомогою відповідних алгоритмів розміру картоплі та кольору. Система буде здійснювати класифікації картоплі за розміром за допомогою комп'ютерного зору, що сприятиме тому, що картопля, яка не буде відповідати еталонному зображенню буде вилучатися із загального потоку. У зв'язку з великої різноманітності форм картоплі її важко узагальнити тому методи комп'ютерного зору сприятимуть вирішенню цієї проблеми.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Бохонко			Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі				Літ.		Арк.	Аркуші
Перевір.		Цвіркун									6	1
									ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО			
Н. Контр.		Омельченко										
Затверд.		Цвіркун										

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СОРТУВАННЯ ПЛОДОВО-ОВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ

1.1 Переробка фруктів та овочів

Фрукти та овочі є важливими компонентами нашого раціону і служать джерелом таких поживних речовин, як вітаміни, мінерали, цукри та клітковина. Наявність бруду, ґрунту, бактеріального забруднення, сторонніх предметів робить продукцію непридатною для прямого споживання після збору врожаю. Щоб зробити фрукти та овочі вільними від цих забруднювачів і безпечними для споживання, необхідні різні процеси переробки. Переробка продуктів збільшує термін їх зберігання, додає їм цінності та забезпечує відсутність забруднень. Операції переробки включають первинні, вторинні та третинні операції.

Первинна обробка. Фрукти та овочі обробляються різними методами, такими як низька температура, термічна обробка, концентрування, заморожування та опромінення. Але перед тим, як піддавати фрукти та овочі таким обробкам, вони проходять деякі попередні (первинні) операції. Основними первинними операціями для фруктів та овочів є сортування та калібрування, миття, дозрівання, бланшування та подрібнення. Бажані характеристики фруктів або овочів визначаються його призначенням. Оскільки основний ринок збуту фруктів та овочів зазвичай є ринок свіжих продуктів, прийнятність продукції визначається уподобаннями споживачів, привабливістю та органолептичними якостями. Ті самі критерії не обов'язково застосовуються до сировини для переробки [1-8]. Переробника в першу чергу цікавлять колір, смак та текстура. Виробник більше турбується про мінімальну вартість вирощування, високий ринковий врожай і максимальний прибуток. Усі ці аспекти складають якість продукції і є важливими для відбору товару. Тому якість може бути визначена з точки зору кінцевого використання. Важливими факторами якості для споживачів є зовнішній вигляд, включаючи розмір, форму та колір, стан і відсутність дефектів, текстура, смак і харчова цінність. Загальну якість свіжої продукції не можна покращити після збору. Контрольоване дозрівання може покращити колір продукції, такої як помідор, банан тощо, або змінене середовище зберігання може продовжити термін зберігання, але лише настільки, наскільки дозволяють умови вирощування перед збором.

Сортування та класифікація – це терміни, які часто використовуються взаємозамінно у харчовій промисловості. Сортування – це розділення на основі конкретної фізичної властивості сирової продукції, такої як вага, розмір, форма, щільність та фотометрична властивість. Класифікація – це впорядкування за

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Бохонко			Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі			Лім.		Арк.		Аркуші	
Перевір.		Цвіркун								7		14	
Н. Контр.		Омельченко						ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО					
Затверд.		Цвіркун											

якістю з урахуванням комерційної вартості, призначення та офіційних стандартів. При сортуванні фрукти повинні бути стиглими але твердими та рівномірно зрілими. Овочі повинні бути ніжними та порівняно чистими від ґрунту та бруду. Але сортування зазвичай проводиться після первинного відбору. Вибір ґрунтується на комерційній привабливості, такій як однорідна якість, розмір і колір. Тому це робиться вручну або за допомогою сортувальних машин.

Сортування майже повністю є ручною операцією, оскільки зір та спритність людини ще не були задовільно замінені машинами. Сортування зазвичай проводиться на пакувальному виробництві як частина процесу очищення, сортування та калібрування на пакувальній лінії. Мета сортування полягає в тому, щоб видалити предмети, які є меншими за розмір, перезрілі або недозрілі, деформовані та пошкоджені. Сортування покращує зовнішній вигляд продукції та зменшує обсяг, який потрібно обробляти під час наступних операцій, таких як калібрування, пакування тощо, шляхом видалення небажаних матеріалів. Видаляючи пошкоджену продукцію заздалегідь, зменшуються втрати через післязбиральні хвороби під час транспортування та зберігання.

Стандартизовані фрукти та овочі миють водою різними способами, такими як замочування з подальшим миттям, у проточній воді або обприскування водою чи сухим повітрям для видалення матеріалу, що прилипає до поверхні. Ретельне миття є дуже важливим для покращення мікробіологічної якості продукту (наприклад, коренеплоди, бульби чи цибулини, що ростуть у ґрунті). Після збору врожаю та перед реалізацією або зберіганням продукції виконують кілька операцій, таких як очищення, сортування, калібрування тощо. Післязбиральні операції підвищують привабливість продукції, зберігають її якість протягом тривалого часу та збільшують термін зберігання [3, 6, 8]. Перш за все, плодово-овочеву сировину миють чистою водою, зазвичай занурюючи їх у водний резервуар із безперервним потоком води та перемішуванням. Для картоплі та інших коренеплодів використовують барабанні або роторні мийки. Щіткові мийки забезпечують очищення окремих фруктів або овочів. Після миття надлишкову воду видаляють, що можна зробити вручну або за допомогою машини. Суха очистка здійснюється за допомогою машин із щітками та використовується для культур, які можна достатньо очистити без води.

Перед обробкою може знадобитися дозрівання деяких фруктів, таких як авокадо, банан, ківі, манго, нектарин, персик, груша, слива, дині, які збирають недозрілими. Для приготування продуктів проміжної вологості вони повинні правильно дозріти. Тому часто їх дозрівають штучно в контрольованому середовищі. Для більш швидкого та рівномірного дозрівання можна використовувати обробку етиленом. Оптимальний температурний діапазон для дозрівання в основному становить 15–25°C і в межах цього діапазону чим вища температура, тим швидше відбувається дозрівання. Вологість повітря слід підтримувати на рівні 90–95% під час дозрівання.

Зменшення розміру включає очищення, видалення серцевини та

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

сортування за розміром. Очищення проводиться для видалення небажаних або неїстівних частин, щоб покращити зовнішній вигляд кінцевого продукту, використовуючи овочерізку або ніж. Видалення серцевини здійснюється для видалення центральної неїстівної частини за допомогою видалювача серцевини (наприклад, ананаса). Методи чищення включають швидке очищення коренеплодів, ножове чищення цитрусових, абразивне чищення картоплі. Відбрані фрукти та овочі, які не відповідають певним якісним характеристикам, можуть бути використані для екстракції ефірної олії та пектину з цитрусової шкірки, крохмалю з ядра насіння манго та картоплі, натуральних барвників з винограду, моркви тощо. Вони можуть ефективно використовуватися для виробництва кормів для тварин. Деякі відходи фруктів та овочів можуть бути корисно використані для генерації біогазу та виготовлення польового добрива.

Вторинна обробка фруктів та овочів включає збереження та розробку продукту. Збереження фруктів та овочів можна здійснювати різними методами, такими як [8]:

1. Сушіння: основний принцип полягає у видаленні води та зменшенні водної активності.
2. Консервування: здійснюється шляхом розміщення продукції в контейнері та нагрівання для знищення мікроорганізмів, що спричиняють псування.
3. Маринування: шляхом зниження рН та виключення доступу повітря за допомогою додавання оцту, солі або олії. Покращує смак, а також збільшує термін зберігання.
4. Ферментація: передбачає перетворення вуглеводів на алкоголь або органічну кислоту.
5. Заморожування: вільна вода в продукції перетворюється на лід шляхом зниження температури нижче точки замерзання.
6. Засолювання: зупиняє ріст мікроорганізмів шляхом зниження водної активності.

Третинна обробка зазвичай включає пакування (первинне та вторинне) продукції, тобто сирих (цілих або нарізаних) та перероблених продуктів. Це включає пакування як первинної, так і вторинної упаковки сирих цілих продуктів, або нарізаних фруктів і овочів, або перероблених продуктів. Пакування сирих продуктів може здійснюватися за допомогою гнучких пластикових плівок, лотків з накриттям. Збирання продукції в зручні для обробки одиниці називається упаковкою і вона забезпечує захист продукції під час транспортування, зберігання та продажу [1, 5, 8]. Іноді продукцію пакують у менші індивідуальні споживчі упаковки (обгортки, пакети, лотки тощо), що називається попередньою упаковкою, а потім окремі одиниці поміщають у більший контейнер. Багато матеріалів використовуються для попередньої упаковки різних продуктів, наприклад, пластикові плівки, такі як поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид і полістирол, нейлонові сітчасті пакети, паперові пакети, лотки з макулатури, відкриті мішки з джуту тощо. Пластикові плівки мають властивості термоусадки і можуть використовуватися для усадки під контролем температури та натягу в спеціалізованій машині. Їх можна

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовувати окремо або як обгортку для формованих полістиролових або макулатурних лотків. Продукт у пакеті (зазвичай споживча одиниця) повинен мати порівнянну вагу, розмір, стиглість і сорт. Деякі види упаковки передбачають загортання однієї одиниці продукту (судиття цвітної капусти або качан капусти), тоді як в іншій упаковці декілька одиниць продукту упаковуються в одну споживчу одиницю (редиска, морква). Упаковка здійснюється вручну або за допомогою машини.

Сучасні пакети та упаковка повинні відповідати таким вимогам [8]:

- повинні бути достатньо міцними, щоб захищати вміст під час обробки та транспортування;
- стабілізувати та фіксувати продукт, запобігаючи його переміщенню всередині упаковки під час обробки;
- зберігати форму та міцність при високій вологості та у вологому стані;
- сприяти швидкому охолодженню вмісту та/або забезпечувати певний ступінь ізоляції від зовнішньої спеки або холоду;
- мати достатню проникність (у разі пластикових плівок) для газів і парів, що виділяються продуктом під час його «дихання»;
- бути економічно ефективною, привабливою та придатною для розміщення інформації на етикетці.

Метод пакування залежить від типу продукції, розміру упаковки та часу операції. Продукти високої цінності, такі як авокадо, персики, яблука та ківі, часто пакують вручну. Ручне пакування допомагає правильно розташувати фрукти в коробці, тим самим покращуючи їх загальний захист та вигляд. Великомасштабні операції зазвичай проводяться на пакувальній машині. Автоматичні машини встановлюють у групи до приблизно 10 штук уздовж стрічкового конвеєра. Продукцію подають у приймальний бункер, з якого вона піднімається та розподіляється між різними машинами. Шлаг, пов'язаний з кожною станцією наповнення, спрямовує продукти вниз до жолоба та в нахилену очікувальну коробку [1, 4, 8]. Коли коробка заповнюється, вона поступово опускається, і встановлена вага на автоматичній машині закриває подачу продукту. Потім коробка переміщується на короткий роликовий конвеєр до основного конвеєра разом із коробками з інших машин. Наповнення однієї коробки займає близько однієї хвилини та не потребує нагляду. Далі коробки проходять через автоматичну машину для запечатування та маркування. Хоча це зручний метод пакування, він може пошкодити чутливі фрукти. Тому метод популярний для більш стійких фруктів, таких як цитрусові, та для фруктів, призначених для місцевого ринку.

Попереднє охолодження відіграє важливу роль у подовженні терміну зберігання фруктів і овочів шляхом видалення польового/респіраторного тепла та зменшення метаболічної активності. Це перший крок у правильному управлінні температурою фруктів і овочів після збору врожаю. Надалі управління часом і температурою є двома найважливішими аспектами попереднього охолодження.

Швидкість охолодження залежить від чотирьох факторів: доступність продуктів до охолоджуючого середовища, різниця між температурою продуктів

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

та охолоджуючого середовища, швидкість охолоджуючого середовища та тип охолоджуючого середовища. Правильне попереднє охолодження зберігає якість продукту, пригнічуючи ріст мікроорганізмів, що викликають гниття, обмежуючи ферментативну та дихальну активність, запобігаючи втраті води та знижуючи вироблення етилену. Між збором врожаю та охолодженням має бути мінімальна затримка. Попереднє охолодження впливає на швидкість дихання, обмін речовин та вироблення етилену у фруктів та овочів.

Поширеними методами попереднього охолодження фруктів та овочів є охолодження в приміщенні, охолодження примусовим повітрям, охолодження льодом, гідроохолодження, вакуумне охолодження, кріогенне охолодження та випарне охолодження. Попереднє охолодження продукції у приміщенні холодного зберігання або у кімнаті попереднього охолодження є давньою та добре відомою практикою [8]. Продукцію розміщують у коробках, контейнерах або різних інших упаковках у холодному приміщенні, де вони піддаються впливу холодного повітря. По-перше, холодне повітря викидається в кімнату поблизу стелі. Потім воно проходить повз контейнери з продуктами, щоб повернутися до теплових обмінників. Охолоджене повітря зазвичай подається за допомогою вентиляторних або індукційних холодильників.

Примусове повітряне охолодження використовується для швидкого видалення тепла відразу після збору врожаю. Ця техніка передбачає певний порядок укладання і встановлення перегородок у сховищах, щоб охолоджувальне повітря проходило через окремі контейнери. Ключовим у примусовому повітряному охолодженні є переміщення холодного повітря через контейнер і його вміст. Важливими факторами вентиляції контейнера є розташування вентиляційних отворів контейнера, розміщення контейнерів та розмір отворів [2-7]. Продукцію можна охолоджувати за допомогою різних систем примусового повітряного охолодження. До них належать: циркуляція повітря на високій швидкості в охолоджених приміщеннях, примусове пропускання повітря через порожнини в насипних продуктах під час руху через охолоджувальний тунель на безперервних конвеєрах та забезпечення примусової циркуляції повітря через упаковану продукцію за допомогою техніки диференціального тиску.

Гідроохолодження – продукт охолоджується холодною водою або зануренням, або обприскуванням. Теплопередача відбувається шляхом теплопровідності та конвекції. У цьому методі теплопередача відбувається швидше, ніж при охолодженні повітрям, але цей метод дорожчий, ніж охолодження у кімнаті. Продукт не втрачає воду, а очищується за рахунок зниження первинного інокуляційного навантаження. Цим методом можна охолоджувати стеблові та листові овочі, деякі фрукти та овочі фруктового типу.

Охолодження льодом. При охолодженні льодом використовують корковий або дрібнозернистий лід для охолодження продуктів. Лід або пакують навколо продуктів у коробках чи мішках, або роблять з нього суміш з водою і вводять у воскові коробки, заповнені продуктами. Лід заповнює порожнечі навколо продуктів, і відбувається теплообмін, який охолоджує матеріал.

Вакуумне охолодження. Швидке охолодження садівничої продукції

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

можна здійснити за допомогою вакуумного охолодження. Вакуумне охолодження досягається за рахунок випаровування вологи з продукції. Випаровування стимулюється та робиться більш ефективним шляхом зниження тиску до рівня, при якому вода закипає за низької температури [8]. Кріогенні охолодження. Використання прихованої теплоти випаровування рідкого азоту або твердого CO₂ (сухого льоду) може забезпечити «киплячі» температури відповідно -196°C та -7°C. Це є основою кріогенного попереднього охолодження. При кріогенному охолодженні продукт охолоджується шляхом пропускання його через тунель у якому випаровується рідкий азот або твердий CO₂. Проте при зазначених температурах продукт замерзає і, таким чином, псується як свіжий товар. Цю проблему запобігають ретельним контролем швидкості випаровування та швидкості конвеєра.

1.2 Традиційне та інноваційне сортувальне обладнання

Сортування є важливим першим кроком у харчовій обробці, що передбачає розділення продуктів за конкретними критеріями, такими як розмір, колір, форма чи якість. Очищення та сортування є важливими післязбиральними операціями, що проводяться для видалення сторонніх та небажаних речовин та для подальшого розділення сировини на різні фракції. Сортування необхідне, щоб уникнути подальшої переробки пошкоджених, зіпсованих продуктів, що не відповідають вимогам якості. Сортування переважно проводиться вручну (наприклад, огляд фруктів та овочів після миття) але сортування може здійснюватися за допомогою машин [2, 3]. Наприклад, у рисі білі зерна відокремлюють оптично від зерен іншого кольору або сторонніх речовин, а недозрілі томати можна відокремити від стиглих за їхньою питомою вагою. Сортування полегшує подальші операції обробки такі як очищення, видалення кісточок, бланшування, нарізання та наповнення контейнерів. Воно корисне для процесів теплопередачі та масопереносу, де час обробки залежить від розміру продукту (наприклад, теплопровідність, дифузія маси). Сортування здійснюється за допомогою обладнання, специфічного для кожного продукту чи категорії продуктів.

У секторі фруктів і овочів сортування є ключовим етапом, оскільки воно гарантує, що продукція відповідає потребам споживачів і вимогам щодо якості. Зазвичай для сортування використовують різні критерії, такі як розмір, форма, колір, текстура та наявність дефектів. Ця процедура важлива для збереження якості продукції, зменшення втрат і підвищення ефективності ланцюга постачання [2]. Одним із найважливіших етапів управління фруктами та овочами після збору врожаю є сортування. Під час зберігання та транспортування воно зменшує втрати і допомагає зберегти якість. Сортування за розміром, формою, кольором, текстурою та наявністю дефектів може суттєво впливати на товарність і цінність продукції. Наприклад, однорідні фрукти та овочі мають вищу ринкову вартість і більш привабливі для споживачів.

Купівля фруктів та овочів здійснюється на основі сорту та розміру. Фрукти та овочі мають значні відмінності у якості через генетичні чинники,

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

екологічні та агрономічні фактори. Сортування необхідне для отримання відповідного доходу, що відповідає якості. Класифікація базується на цілісності, твердості, чистоті, розмірі, вазі, кольорі, формі, зрілості, відсутності хвороб, механічних пошкоджень тощо. Зазвичай для більшості продуктів існує два-три сорти: вищий сорт, сорт 1 і сорт 2. Сортування може проводитися вручну або механічно.

Вимоги та параметри сортувального обладнання для картоплі:

- розміри картоплі;
- тип картоплі для сортування;
- потужність сортувальної машини;
- швидкість роботи;
- розмір машини, який повинен бути ергономічним;
- проста у керуванні;
- довговічність та безпека машини;
- легкий монтаж та демонтаж.

Обладнання для сортування мають основну мету, а саме оптимізувати процес сортування будь-якого продукту з яким вони працюють. Сортувальні машини поділяються на чотири основні категорії залежно від якості продукції, яку потрібно сортувати, а саме, розмір, маса, колір та форма. Інші машини, які розглядаються, включають ті, що вимірюють різні акустичні та оптичні властивості, твердість та пружність. Сортувальники за розміром можуть включати елемент форми за допомогою якого вони можуть відбирати фрукти або овочі певної форми [1-6]. Сортувальники за розміром доступні у кількох різних варіантах, які мають різну кількість контактних точок та отвори різної форми. Основним обмеженням є те, що у більшості сортувальників вимірювання продукції двомірне і предмети можуть перевертатися, щоб пройти через машину. Продукція для сортування зазвичай переміщується по конвеєрній стрічці або роликовому конвеєрі. Роликовий конвеєр, який обертає продукцію під час руху вперед, є більш бажаним, ніж стрічковий, оскільки він дозволяє сортувальнику бачити всі сторони кожного предмета. Кожен сортувальник на лінії відбирає ті продукти, які не підходять для високоякісного збуту. Також необхідне достатнє освітлення над сортувальним столом для високої ефективності роботи.

Існують різні типи сортувальних машин для картоплі, які можна використовувати для відбору за розміром, кольором, формою, вагою тощо. Найбільш часто використовувані з них:

1. Сортувальні сита. Сита – це свого роду решета, які розташовуються на виході сировини й використовуються для видалення або сортування продуктів за геометричною формою. Вони можуть застосовуватися залежно від виконуваної роботи, зазвичай сита мають невеликі вимоги до обробки продукту. Сита можуть бути плоскими або циліндричними. Плоскі зазвичай використовуються для невеликих виробництв, а циліндричні – для більших. Машина оснащена сіткою, має бути належним чином відрегульованою для сортування картоплі за трьома розмірами – великим, середнім та малим. Крім того вона має механізм, що приводиться в рух електродвигуном. Картопля

потрапляє з правого боку з тією ж силою, яку утворює нахил бункера, продовжується робота електродвигуна, який за допомогою ланцюгового механізму передає обертання барабанам; при проходженні через отвори сітки картопля починає опускатися та сортуватися напівавтоматично.

2. Роликова сортувальна машина – це машина, яка складається з ланцюга, утвореного роликами, які рухаються по певній траєкторії, розділяючи обертові елементи за розміром продукту, який потрібно сортувати. Роликовий сортувальник переміщує плодово-овочеву сировину через низку роликів. Менші фрукти або овочі падають першими, а більші просуваються далі. Роликовий сортувальник широко використовується у фруктовій та овочевій промисловості. Кожний ролик обертається у напрямку проти годинникової стрілки. Овочі постійно обертаються, щоб кожен окремий об'єкт мав можливість зареєструвати свої мінімальні розміри у просторі сортера. Роликовий сортер поділяється на три роликові блоки, які з'єднані шарнірами так, що вимірювальний простір поступово збільшується через весь сортер [11]. Коли роликовий блок закриває простір наприкінці свого ходу, обертовий ролик викидає будь-який фрукт, що намагається пройти через простір, не пошкоджуючи його (рис. 1.1). Роликовий конвеєр із фіксованим простором між роликами використовується для видалення дрібних фруктів, гілок та листя. Розмір ролика, який вимірює лише мінімальний діаметр, добре працює тільки з об'єктами з однаковими геометричними пропорціями, тобто з усіма сферами або всіма еліпсоїдами з заданим співвідношенням великої та малої осей. Якщо пропорції у партії різняться, певний розмірний клас міститиме більший діапазон об'ємів, ніж той, що визначається мінімальними діаметрами.



Рисунок 1.1 – Роликовий сортувальник

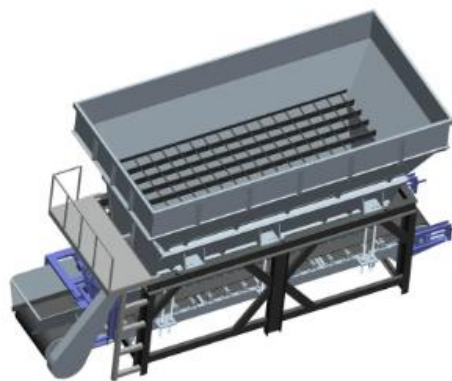


Рисунок 1.2 – Грейдер

Сортувальник має механізм типу роликів, які розташовані на визначеній відстані і картопля падатиме під дією гравітації на плити, що закінчуються заслінками, якими керуватимуть оператори для прийому відібраної картоплі і таким чином завершення процесу відбору. На першій ділянці ролики мають проміжок для відбору картоплі третього сорту, після чого картопля рухається через ролики другого розподілу, залишаючи наприкінці картоплю першого сорту, що падатиме безпосередньо на заслінку для наповнення.

3. Принцип роботи грейдера заснований на проходженні сировини через серію сіток із отворами різного розміру. Коли матеріали рухаються по екранах, менші предмети провалюють крізь отвори, а більші залишаються зверху. Таким чином можна розділяти сировину за їхнім розміром (рис. 1.2). Наприклад, у машині для сортування картоплі сировина проходить через сітки, а сортування здійснюється за розміром. Ще одним важливим компонентом у багатьох грядкових машинах є конвеєрна стрічка. Конвеєрна стрічка переміщує матеріали через машину з контрольованою швидкістю, дозволяючи їм проходити через різні переробні станції. Це також допомагає організувати матеріали та запобігати їх заїданню.

4. Сортивальник з обертовими циліндрами. Обладнання використовує електродвигун для обертання п'яти обертових циліндрів. Характеристики цих циліндрів визначаються їх перфорованим виглядом, де отвори мають бути достатньо великими, щоб дозволити плодово-овочевій сировині падати через них. Логіка цього механізму пов'язана з розміром перфорованих отворів: перший циліндр має отвори найменшого діаметра, а циліндри, у порядку їх зростання, збільшують діаметр отворів, внаслідок чого останній циліндр має найбільші отвори порівняно з попередніми (рис. 1.3). Для виведення сировини з циліндрів у контейнер використовуються похилі лотки, що дозволяють класифікованому продукту котитися у відповідні контейнери [12, 13]. Одним із факторів, який слід враховувати в цих механізмах є необхідність мінімізувати відстань падіння, щоб уникнути пошкодження продукту. Цей метод зазвичай є жорстким і не підходить для фруктів, таких як яблуко, персик тощо, які потребують дбайливого поводження. Безперервне струшування стрічки забезпечує легке очищення отворів та швидший рух продукції.

Сортивальник приводиться в дію електродвигуном завдяки механізму типу ролика та каліброваних барабанів, які мають можливість здійснювати сортування картоплі, розміщуючи її на різних станціях для наповнення ємностей. Картопля подається з боку роликів, які розташовані поруч із бункером, і в той час як електродвигун приводить в дію механізм ланцюгів, піднімаються картоплини до наступного рівня для розміщення їх у каліброваних барабанах, так що картопля третього сорту відбирається першою, потім другий барабан утримує картоплю другого та третього сортів, здійснюючи каліброване сортування для картоплі другого сорту, а останній барабан проводить відбір картоплі першого сорту [12, 13]. Під усіма барабанами розташовані листи, які закінчуються заслінками для сортування та наповнення картоплі для транспортування на вантажівку.

5. Ротаційний барабанний сортувальник. Ці сортувальники мають циліндричні сітки замість плоских стрічкових сіток, як у сіткового сортувальника. Типовий бочковий сортувальник має три циліндричні сітки. Менші отвори розташовані на верхньому кінці похилого бочки, а більші отвори – на нижньому кінці (рис. 1.4). Бочка нахилена приблизно на 5° так, щоб продукція проходила вниз під дією гравітації. Цей тип сортувальника підходить для цибулі, моркви, буряка, картоплі, цитрусових тощо.



Рисунок 1.3 – Сортивальник з обертовими циліндрами



Рисунок 1.4 – Ротаційний барабанний сортувальник

Сортивальник найбільше застосований для картоплі, оскільки він може бути включений в технологічну лінію, що дозволяє більшу універсальність у різних застосуваннях. Він має подовжню вісь уздовж барабана для просіювання та внутрішню спіраль, яка дозволяє рух потоку картоплі до кінця, звідки великі об'єкти вивантажуються через отвори в сітці для сортування.

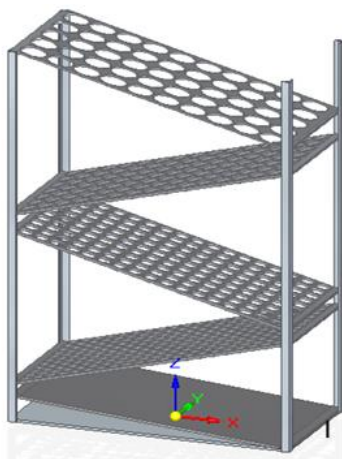


Рисунок 1.5 – Сортивальний стіл

6. Сортивальний стіл може бути частиною групи з трьох або більше столів для їх розташування каскадом. Це застосовує ієрархічне просіювання, як у сортувальника з обертовими роликами, оскільки починають із секції з маленькими отворами і закінчують дошкою з великими отворами [12, 13]. Для пакування сортування використовують сітчасті мішки, які за рахунок гравітації котяться в контейнер, який потрібно розмістити на другому сортувальному столі (рис. 1.5).

7. Автоматична сортувальна машина. Обладнання має ряд шківів, які рухаються з однаковою швидкістю, відстань між ними збільшується по мірі того, як продукт переміщується по машині. Як і інші системи ця також має живильний бункер, у який, як було зазначено, фрукти надходять до системи кабелів і шківів, де вони розподіляються відповідно до розміру або зазорів між кабелями, тому її конфігурація має форму літери V, що дозволяє машині класифікувати фрукти від найменшого до найбільшого розміру (рис. 1.6).

8. Сортування за допомогою обертового барабана. Сировина надходять радіально до обертового барабана, потім завдяки центробіжній силі вони розташовуються на кінцях барабана, де проходять через кожну з прорізів і в прорізі, де фрукт більший за калібр відкладається у вказане місце. Цей тип машини призначений для напівавтоматичного сортування фруктів або овочів по

колу. Використовується механізм круглих отворів, і замість того, щоб мати лише дві ланки він має набір елементів, розташованих в ірисі з центральним отвором (рис. 1.7). Іриси захоплюють по одному фрукту на вході в машину, а потім рухаються по траєкторії. Іриси розширюються під час руху, забезпечуючи збільшення діаметра отвору для фрукту. Фрукти, проходячи через отвори, падають у відповідне місце.



Рисунок 1.6 – Машина для сортування зі шківів



Рисунок 1.7 – Сортування за допомогою обертового барабана

9 Класифікація фруктів за вагою. Система класифікації використовує тензометричні датчики та сервомотори, які контролюють відкривання або закривання заслінок. Фрукти потрапляють у приймальний бункер, ефект його віброуючого шляху спричиняє те, що фрукти потрапляють окремо на рольганг, де оператор може легко перевірити пошкоджені або зіпсовані плоди, після чого вони потрапляють у зону класифікації, де фрукт зважується за допомогою тензометричного датчика і збирається жолобами, які транспортують його до відповідних виконавчих механізмів (сервомоторів) [12, 13]. Виконавчі механізми активуються відповідно до ваги, зафіксованої та прочитаної контролером. Крім того, ця машина використовує цифрові лічильники, які фіксують кількість класифікованих фруктів.

10. Оптичні сортувальники. Фрукти та овочі сортують за кольором, пошкодженням та розміром. Здебільшого сортування за кольором та пошкодженням проводиться вручну, але електронне око було успішно використане в пілотних дослідженнях, і його майбутнє широке застосування виглядає перспективним (рис. 1.8). Форма фруктів та овочів повинна бути придатною для механічного оброблення та переробки. Розмір і форма деяких фруктів створюють проблеми у процесах переробки, наприклад, яблука, манго.

Багато культур споживачі купують на основі кольору, наприклад, помідори, перець та яблука. Зазвичай визначають такі кольори, як зелений, жовтий та червоний, які легко розпізнаються за допомогою фотоелектричних технологій сортувальником [7]. Принцип роботи полягає в тому, що світло береться щонайменше від двох джерел на фрукті або овочі, а відбите світло приймається фотоелектричними елементами. Відбивач за предметом показує один із його кольорів, наприклад, червоне яблуко може мати червоний відбивач. У цьому випадку сенсор або фотоелектричний елемент не розпізнає

жодної різниці між яблуком та відбивачем. Якщо надходить зелене яблуко, воно отримає інший відбитий сигнал і зелене яблуко буде механічно видалено з партії. Незважаючи на досягнення у розвитку складного обладнання для сортування, більшість фруктів і овочів сортують вручну, спостерігаючи за ними та оцінюючи на око, навіть у розвинених країнах. Деякі фрукти та овочі мають незвичайні фізичні характеристики, що потребують ручного сортування.

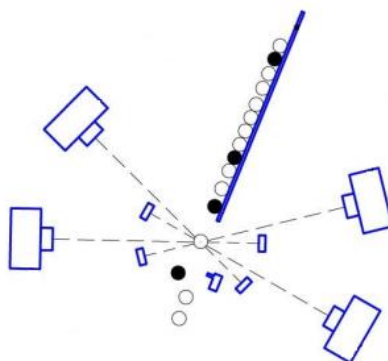


Рисунок 1.8 – Схеми оптичного розпізнавання дефектів

Наприклад, виноград і банани мають незвичну форму і завжди продаються у гронах або пучках. Машинне сортування у таких випадках неможливе. Банани слід обережно сортувати за ступенем стиглості, кольором, довжиною та наявністю плям, що всі ці процеси виконуються вручну. Ручний огляд зазвичай проводять працівники, які сидять вздовж рухомого плоского конвеєра або, краще, серії роликів, щоб продукція постійно переверталася і можна було оглянути усі її боки. Працівники оглядають продукцію та групують її за різними сортами [1-6]. Традиційно оцінювання здійснювалося шляхом сортування вручну та візуальної перевірки. Однак комп'ютеризовані методи оцінювання стали набирати популярність завдяки технологічним покращенням. На основі заздалегідь визначених критеріїв якості ці системи сортують продукцію за допомогою комп'ютерного зору та алгоритмів машинного навчання. Підвищена ефективність, точність та узгодженість – це лише деякі переваги автоматизованих систем оцінювання порівняно з ручними методами.

Для сортування фруктів і овочів також використовують неdestructивні методи, включаючи спектроскопію та гіперспектральне зображення. Ці методи дозволяють оцінювати внутрішні якісні характеристики, такі як вміст цукру та зрілість, не пошкоджуючи плоди. Що стосується оцінки фруктів і овочів за різними якісними ознаками, гіперспектральне зображення показало обнадійливі результати. Сортування фруктів і овочів впливає на ринкову привабливість і якість продукції, а також на навколишнє середовище та економіку. Виробники та ритейлери можуть зазнавати більших втрат і зниження доходів через неефективні методи сортування. Стійкі методи сортування можуть допомогти зменшити відходи та підвищити загальну стійкість виробництва продукції. Прикладами таких методів є використання неdestructивних інструментів для оцінки якості та відповідна упаковка.

Останні досягнення в системах сортування фруктів та овочів [4]:

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

– автоматизація та робототехніка все більше інтегруються в системи сортування фруктів та овочів, що включає роботизовані руки, оснащені сенсорами та камерами, здатні сортувати фрукти та овочі за розміром, кольором, формою та дефектами;

– алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту використовуються для підвищення точності систем сортування. Такі системи можуть навчатися на великих наборах зображень для розпізнавання та класифікації фруктів та овочів за різними параметрами якості;

– сучасні системи сортування часто використовують кілька сенсорів, таких як камери, сенсори ближнього інфрачервоного діапазону та гіперспектральне зображення, щоб отримати комплексні дані про якість продукції. Цей підхід з багатьма сенсорами дозволяє досягти більш точної оцінки;

– методи неруйнівного контролю набули поширення у системах оцінки, що дозволяє оцінювати внутрішні якісні характеристики продукції без її пошкодження. Для цієї мети використовуються такі технології, як ІЧ-спектроскопія та акустичний резонанс;

– системи оцінювання все частіше включають можливості аналітики даних для надання інформації про тенденції виробництва, коливання якості та оптимізація ланцюга поставок;

– системи оцінювання стають більш налаштованими та гнучкими, щоб враховувати різні види фруктів та овочів, а також різні стандарти якості. Це дозволяє виробникам адаптувати процес оцінювання до своїх конкретних потреб.

Однією з основних цілей вдосконалення технологій оцінювання є зменшення харчових відходів шляхом точного сортування та оцінювання продукції. Виявляючи та відокремлюючи дефектні або неякісні фрукти та овочі на ранніх етапах, системи оцінювання допомагають мінімізувати втрати по всьому ланцюгу поставок. Існують різні методи сортування фруктів і овочів, і кожен метод має свої переваги та обмеження. Ручне сортування є традиційним і найпоширенішим методом, але воно є трудомістким, потребує значних витрат праці та схильне до помилок [4]. Механічне сортування, навпаки, швидше, більш послідовне та точне. Сортування на основі машинного зору стало популярним завдяки високій точності, швидкості та автоматизації, але обмежене необхідністю якісних зображень, складністю алгоритмів та потребою постійної калібрування. Сортування на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії є перспективним методом для швидкого, неструктивного та об'єктивного сортування, але воно вимагає значної калібрування, а вартість обладнання висока.

На основі вище зазначеного можна вважати, що переробка продуктів збільшує термін їх зберігання. Операції переробки включають первинні, вторинні та третинні операції. Основними первинними операціями для фруктів та овочів є сортування та калібрування, миття, дозрівання, бланшування та подрібнення. Зазначено, що сортування є важливим першим кроком у харчовій обробці, що передбачає розділення продуктів за конкретними критеріями,

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

такими як розмір, колір, форма чи якість. Очищення та сортування є важливими післязбиральними операціями, що проводяться для видалення сторонніх та небажаних речовин та для подальшого розділення сировини на різні фракції. Сортування необхідне, щоб уникнути подальшої переробки пошкоджених, зіпсованих продуктів, що не відповідають вимогам якості. Сортування переважно проводиться вручну (наприклад, огляд фруктів та овочів після миття) але сортування може здійснюватися за допомогою машин. Вимоги та параметри сортувального обладнання для картоплі: розміри картоплі, тип картоплі для сортування, потужність сортувальної машини, швидкість роботи, розмір машини, який повинен бути ергономічним, проста у керуванні, довговічність та безпека машини, легкий монтаж та демонтаж.

Сортування та класифікація – це терміни, які часто використовуються взаємозамінно у харчовій промисловості. Сортування – це розділення на основі конкретної фізичної властивості сировини. При сортуванні фрукти повинні бути стиглими але твердими та рівномірно зрілими. Овочі повинні бути ніжними та порівняно чистими від ґрунту та бруду. Але сортування зазвичай проводиться після первинного відбору. Вибір ґрунтується на комерційній привабливості, такій як однорідна якість, розмір і колір. Тому це робиться вручну або за допомогою сортувальних машин.

Аналіз наукових джерел дав змогу здійснити класифікацію сортувального обладнання. Обладнання для сортування мають основну мету, а саме оптимізувати процес сортування будь-якого продукту з яким вони працюють. Сортувальні машини поділяються на чотири основні категорії залежно від якості продукції, яку потрібно сортувати, а саме, розмір, маса, колір та форма. Інші машини, які розглядаються, включають ті, що вимірюють різні акустичні та оптичні властивості, твердість та пружність. Сортувальники за розміром можуть включати елемент форми за допомогою якого вони можуть відбирати фрукти або овочі певної форми. Сортувальники за розміром доступні у кількох різних варіантах, які мають різну кількість контактних точок та отвори різної форми. Основним обмеженням є те, що у більшості сортувальників вимірювання продукції двомірне і предмети можуть перевертатися, щоб пройти через машину.

Існують різні методи сортування фруктів і овочів і кожен метод має свої переваги та обмеження. Ручне сортування є традиційним і найпоширенішим методом, але воно є трудомістким, потребує значних витрат праці та схильне до помилок. Механічне сортування, навпаки, швидше, більш послідовне та точне. Сортування на основі машинного зору стало популярним завдяки високій точності, швидкості та автоматизації, але обмежене необхідністю якісних зображень, складністю алгоритмів та потребою постійної калібрування. Сортування на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії є перспективним методом для швидкого, неструктивного та об'єктивного сортування, але воно вимагає значної калібрування. Сортування фруктів і овочів впливає на ринкову привабливість і якість продукції, а також на навколишнє середовище та економіку. Стійкі методи сортування можуть допомогти зменшити відходи та підвищити загальну стійкість виробництва продукції.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СОРТУВАННЯ КАРТОПЛІ

2.1 Методи сортування плодово-овочевої сировини

Сортування овочів є важливою операцією, що впливає на якість, обробку та зберігання продукції і відіграє значну роль у харчовій промисловості. Сортування проводиться для стандартизації продукту, для полегшення збуту, для привабливості продажів, для зручності кількісного визначення, для полегшення встановлення цін для однакового розміру партій. Сортування також покращує пакування, обробку та інші післязбиральні операції. Сортування – це, по суті, розділення матеріалу у різні однорідні групи відповідно до його специфічних характеристик, таких як розмір, форма, колір та якість [16]. Економить час і енергію під час різних технологічних операцій та зменшує втрати при обробці під час транспортування. Фізичні властивості сировини мають велике значення. Швидке та точне визначення фізичних властивостей необхідне під час обробки плодово-овочевої сировини. До цих фізичних властивостей належать розмір, форма, об'єм, щільність, вологість, текстура тощо.

Основною проблемою, пов'язаною з плодово-овочевою сировиною є їхня варіативність у розмірах і формах. Розміри фруктів і овочів можна охарактеризувати за допомогою фізичних параметрів, таких як об'єм, вага, діаметр, окружність, проєктована площа або будь-яка комбінація цих показників. Визначення розміру фруктів і овочів дозволяє сортувати картоплю за різними групами розмірів, здійснювати їх класифікацію на партії однакового розміру [16]. Розмір правильних частинок можна легко визначити але для неправильних частинок термін «розмір» має бути визначений довільно. Розмір картоплі переважно характеризується екваторіальними або поперечними діаметрами та полярними діаметрами або довжинами. Пристрій, що використовується для вимірювання цих діаметрів – цифровий штангенциркуль. Через незвичні форми сільськогосподарської продукції існує кілька можливих екваторіальних і полярних діаметрів.

Розмір також можна визначити за методом проєкції площі. Визначають три характерні розміри: основний діаметр (найдовший розмір максимальної проєкційної площі), проміжний діаметр (мінімальний діаметр максимальної проєкційної площі або максимальний діаметр мінімальної проєкційної площі) і малий діаметр (найкоротший розмір мінімальної проєкційної площі). Довжину, ширину та товщину зазвичай використовують як альтернативу основному, проміжному та малому діаметрам відповідно.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Бохонко</i>			Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Цвіркун</i>					21	18
						ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Цвіркун</i>						

Форма об'єкта може визначатися шляхом порівняння об'єкта з набором стандартних форм. Зазвичай порівняння проводиться на основі проєкційних зображень із призначенням описового терміна для кожного стандартного зображення. Форма картоплі зазвичай виражається через її сферичність. Сферичність або фактор форми – це міра того, наскільки об'єкт схожий на сферу. Вимірювання ваги використовується для сортування овочів, оскільки цей параметр тісно пов'язаний із об'ємом та розміром [16]. Вагу можна визначити за допомогою пружинних або цифрових ваг, з яких можна виміряти масу, а потім перевести її у вагу. Зазвичай використовуються два методи для вимірювання ваги. Найбільш поширеним методом, і, ймовірно, більш точним, є зважування зразка в повітрі та у воді. Зразки повинні бути цілими, оскільки будь-які порожнини в центрі або прилипла земля можуть вплинути на результат.

Система сортування за вагою. Системи сортування та подачі в основному використовуються у харчовій промисловості для забезпечення більш швидкого та ефективного процесу виробництва. Процес сортування зазвичай передбачає розділення сировини за певною ознакою, а саме кольором або вагою. Системи сортування за вагою подібні до ручних систем сортування. Для визначення ваги продукту встановлюється тензометр [9]. Деякі підприємства використовують конкретну категорію матеріалів для виробництва продукції. Наприклад, у виробництві чіпсів приймають сировину певного розміру та ваги. Вони класифікують матеріал по партіях та обробляють його на основі поділу. Проєктування системи сортування та подачі овочів за вагою для задоволення потреб різних галузей є дуже складним процесом.

У харчовій промисловості машина для сортування фруктів і овочів за вагою відіграє ключову роль, оскільки дозволяє точне оцінювання залежно від ваги харчових продуктів. Широко використовується для обробки різних фруктів і овочів, ця машина значно підвищила як ефективність виробництва, так і якість продукції. Машина для оцінки фруктів і овочів на основі ваги використовує датчики ваги та сортувальні пристрої для виконання своїх завдань [14]. Кожен лоток на конвеєрній стрічці обладнаний датчиком зважування, який вимірює вагу продуктів під час їх надходження в машину для оцінювання. Далі сигнали зважування передаються до системи керування, де система, базуючись на заздалегідь встановлених стандартах вагової категорії, розподіляє продукти харчування відповідно до їхніх сортів. Конкретний робочий процес зважувальної машини виглядає так:

1. Продукти харчування потрапляють на конвеєрну стрічку оцінювальної машини, а датчики зважування на кожному лотку вимірюють вагу сировини.
2. Сигнали зважування передаються до системи керування, яка визначає відповідний сорт, наприклад, картоплі на основі попередньо встановлених вагових стандартів.
3. На основі результатів судження система керування штовхає сировину з певного положення на конвеєрі, яка потрапляє до пристрою для збору відповідної класифікації.
4. Після сортування плодово-овочева сировина збирається у відповідні

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

контейнери для подальшої обробки або пакування.

Зважувальні сортувальники розподіляють харчовий матеріал залежно від його ваги або щільності. Зважувальний сортувальник має високу точність та незначне ушкодження продукту при високій швидкості. Обладнання складається з конвеєра з рухомими чашами та пристрою для визначення змінної ваги, такого як пружина, електронний сенсор (на основі тензометрії) та тензодатчик. Грейдер має обертовий вузол до якого прикріплено кілька чашок. Чашки підтримуються пружинами, а напруга пружин поступово зменшується від початкової точки до кінцевої точки обертання [10]. Кожен окремих фрукт або овоч подається в чашку через автоматичну подачу. Коли чашки переносять фрукт, автоматичний механізм перекидання вивантажує фрукт з чашки в точці, де вага фрукта перевищує встановлену напругу пружини. На початку руху вивантажуються більш важкі фрукти, тоді як легші рухаються на більшу відстань, а найлегші доходять до останньої точки вивантаження. У грейдері на основі тензодатчиків навантаження чаші використовуються для вимірювання ваги фруктів і скидають фрукти у заздалегідь визначений жолоб.

Центральний диск, як випливає з його назви, має форму конуса і розташований у центрі бункерного живильника. Центральний диск нахилений так, що лише верхня частина диска знаходиться близько до краю бункера, а інша половина розташована на дні бункера. Нахилений центральний диск виконує функцію як тимчасового резервуару для сировини, так і приводу, що переміщує об'єкти на бункер [14]. Кут нахилу центрального диска зазвичай становить від 20 до 30 градусів, залежно від фізичних характеристик частин для сортування, швидкості обертання та конструкції виїмки. Крім того, центральний диск розташований вище, ніж пальці-виїмки, щоб сировина падала з диска у бункер, а не пролітали між виїмками.

Для однодискового живильника з приводом, швидкість центрального диска завжди пов'язана з чашею. Чаша завжди рухається швидше за центральний диск, щоб сировина, що потрапляють на верхню частину диска, могли швидко видалятися із зони розвантаження. Швидкість особливо важлива для більш легкої сировини, оскільки більша відцентрова сила, що виникає при обертанні, призведе до того, що сировина занадто сильно стрибатиме по напрямній і будуть виведена в неправильному положенні. Висока швидкість також збільшує ризик застрягання сировини між виступами і класифікаторами. Чаша працює найкраще, коли швидкість обертання мінімальна, забезпечуючи при цьому достатню відцентрову силу від центрального диска для переміщення картоплі на чашу. Вертикальні ребра на центральному диску є необов'язковими. Вони допомагають вирівняти сировину перед розвантаження, а також збільшує кількість картоплі, які буде розвантажена в чашу.

На відміну від інших центробіжних подавачів з чашею, у яких робочі поверхні повністю плоскі для ковзання сировини, центробіжний подавач з чашею має невеликі вертикальні стінки, які називаються «пальцями-гребінцями» на поверхні чаші. Гребінці використовуються для орієнтування овочевої сировини з відношенням висоти до ширини більше ніж 1,5:1. Пальці-гребінці призначені для ізоляції окремих об'єктів і обмеження їхніх

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

горизонтальних рухів після того, як вони виходять з центрального диска. Палички-гребінці повинні забезпечити достатнє утримання, щоб сировина залишалася всередині кишені, щоб вони могли взаємодіяти з різними кваліфікаторами [14]. Глибина кишені у формі гребінця знаходиться між центром сировини та верхньою стороною відкритої порожнини. Крім того, для цієї конкретної машини внизу передбачено гребінку, яка додатково обмежує сировину та допомагає утримувати ту, що знаходиться у правильній орієнтації. Поперечний переріз гребінки має форму трикутника, висота якого дорівнює ширині плеча сировини, коли вона лежить на боці. Гіпотенуза гребінки пізніше також служить як похилий шлях, який спрямовує картоплю до виходу з сортувальної машини.

Щоб механічне обладнання працювало належним чином, обертову поверхню машини потрібно забезпечити високим ступенем круглості, щоб під час обертання сировина, що знаходиться всередині кишені гребінців могла взаємодіяти з кваліфікаторами без заклинювання чи перешкод. Оскільки механічні інструменти працюють пасивно для вирівнювання сировини, рухи повинні бути якомога поступальними, щоб зменшити ризик заклинювання та пошкодження сировини. Для цієї конкретної машини, через обмеження пневматичного джерела живлення, усі кваліфікатори є виключно механічними. Після того, як сировина вивантажується з центрального диска, вона проходить крізь висотні кваліфікатори, що розташовані над гребінцевими пальцями. Існує зазор між кваліфікатором і гребінцевими пальцями, через який проходить сировина. Картопля, що знаходиться поверх іншої картоплі, буде відхилена, витіснена з краю чаші та повернута в резервуар на дні центрального диска.

Окрім розміщення вертикальних обмежень, різні кваліфікатори виконують різні функції. Після того як кваліфікатори за висотою видаляють зайву сировину і вона розташована по одному в кожній заглибині-гребінці, інший кваліфікатор вирівнює сировину. У дні заглибини встановлюється та проектується трикутний виступ, щоб допомогти закріпити сировину в правильному напрямку. Картопля в заглибинах-гребінцях слідує кривизні вирівнювача і закінчуються у призначеному місці на заглибині [14]. Якщо об'єкт спрямований у потрібному напрямку то сировина залишається на одному рівні з виступами заглибини. Якщо сировина спрямована неправильно то його тіло розташовується на виступі і піднімається вище, ніж ті, що у потрібному напрямку. Розміщена по одному, але неправильно орієнтована сировина буде відхилена іншим кваліфікатором, оскільки будь-які об'єкти, що піднялися вище, будуть зсунуті до центру чаші і повернуті в циркуляцію. Далі уся картопля орієнтована правильно, проходить останній кваліфікатор – виштовхувач. Виштовхувач поступово закриває зазор між ним та стінкою чаші. Завдяки допомозі нижнього виступу, сировина виштовхується через вихідний порт і переходять на лінію передачі для наступного етапу.

Корпус чаші та центральний диск обертаються в одному напрямку але на різних швидкостях. Подавальний пристрій може бути з одним або двома приводами. Для пристроїв з одним приводом центральний диск і корпус чаші

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

з'єднані разом за допомогою ланцюга та зірочки, що приводяться в рух одним двигуном. Попередньо визначене співвідношення швидкостей підтримується за рахунок кількості зубів на зірочках. Сортиувальник з подвійним приводом має вищий рівень гнучкості, оскільки співвідношення швидкостей можна змінювати за потребою. Підшипник ковзання встановлений у центрі чаші, а двигун розміщений на відстані від чаші і приводить її в рух за допомогою спеціально виготовленого ремня. У центрі чаші та всередині підшипника розташований менший двигун, що залишається нерухомим. Вал двигуна безпосередньо з'єднаний із центральним диском і обертається навколо власної осі.

Система сортування за кольором. Метод на основі зображень є найефективнішим способом сортування фруктів та овочів за кольором та розміром. Він також допомагає у виявленні дефектів, сортуванні та визначенні рівня стиглості фруктів. Через фізичну та біологічну неоднорідність фруктів та овочів комерційне впровадження методів оцінки на основі зображень є складним, особливо у контексті правильного визначення площі поверхні разом із точним виявленням дефектів та стебла/чашолистка, а також розробки простого алгоритму сортування. Існують такі методи на основі зображень, що використовуються для оцінки фруктів та овочів, а саме метод нечіткої логіки, штучні нейронні мережі, метод опорних векторів, модель кольору RGB, інфрачервоне зображення.

Автоматизовані сортувальники на основі сенсорів набувають популярності завдяки своєму однорідному процесу оцінки, високій точності, меншому пошкодженню продукту, вищій продуктивності та меншій потребі в робочій силі. Існує багато сортувальників на основі сенсорів, деякі з цих сенсорів включають датчики тиску, зображень, оптичні та RGB-датчики глибини [10, 15]. Наприклад, датчик тиску використовується для передбачення індексу зрілості, текстурних та щільнісних характеристик, тоді як сенсор на основі зображення обчислює розмір, форму та кольорові значення фруктів і овочів. Незважаючи на різноманітність застосувань сортування та типів конструкцій усі сортувальні пристрої на основі сенсорів дотримуються подібного принципу послідовних кроків: подача, виявлення та розділення. На етапі подачі потік матеріалу рівномірно розподіляється по поверхні конвеєра. Метою є представлення потоку сировини у вигляді одного суцільного потоку, тобто уникнення накладання або контакту частинок та забезпечення достатньої відстані між різними частинками.

На етапі виявлення потік матеріалу проходить через зону виявлення, де один або кілька сенсорних блоків вимірюють (поверхневі) властивості кожного об'єкта. Залежно від вимірюваних характеристик об'єкти зазвичай піддаються опроміненню світлом від випромінювачів у певній ділянці спектра, а сенсор фіксує відбите або пропущене випромінювання [10, 15]. Захоплені дані сенсора потім передаються до обчислювального блока. В обчислювальному блоці (алгоритми машинного навчання) класифікують об'єкти на різні матеріальні класи або цільові фракції. На основі результату класифікації відбувається сортування для кожної частинки приймається рішення про сортування. На

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

основі рішення про сортування відбувається розділення вхідного потоку на два або більше цільових потоків. Відповідно до стратегій сортування, цільова фракція у разі позитивного сортування або нецільова фракція у разі негативного сортування. До кожної частки сировини можна застосовувати різні механічні сили для розділення, щоб направити її в потрібний потік матеріалу.

2.2 Удосконалення системи сортування картоплі за вагою

Вибравши обладнання для сортування картоплі, необхідно визначити різні підсистеми, які сприятимуть якісному сортуванню. Концептуальний дизайн машини та підсистеми, які її складатимуть для виконання сортування та підрахунку картоплі наведено на рисунку 2.1.

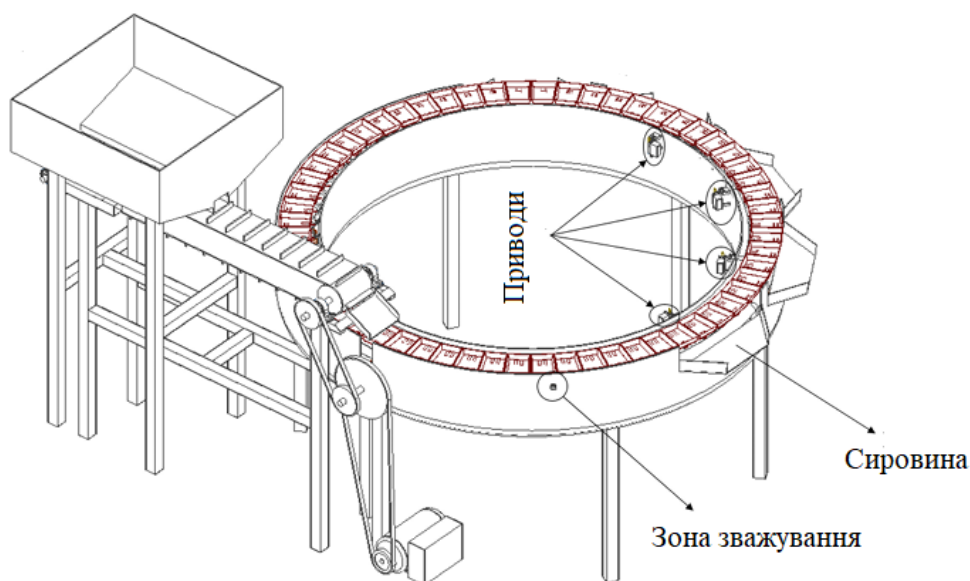


Рисунок 2.1 – Системи сортування картоплі за вагою

1. Підсистема живлення. Підсистема живлення складається з бункера та конвеєрної стрічки. Після того, як будуть визначені елементи, що належать до підсистеми живлення, детально розглянемо функціональність, яку вони виконуватимуть для машини.

Живильний бункер. Розуміння особливостей потоку в бункері є критично важливим при проєктуванні бункерів для роботи в умовах таких різноманітних застосувань. Зазвичай потік у бункерах можна розділити на два основні режими:

- масовий потік при якому вся маса часток рухається одночасно під час розвантаження з ознаками того, що частки приблизно слідують;
- воронковий потік, де першими можуть розвантажуватися лише матеріали в центральній частині, тоді як інші залишаються до повного спорожнення або навіть утворюють застійні зони в деяких крайніх випадках.

Однак у практиці схема потоку може бути складнішою за ці два основні варіанти. Для різної сировини існує різна геометрія бункерів та відповідно потоки. Щоб зменшити ймовірність перешкод потоку, нижній розширювач

зазвичай є циліндром або асиметричним конусом з однією вертикальною стінкою. Для таких геометрій напруга твердих речовин зменшується зі зниженням рівня матеріалу всередині бункера. Відповідно, швидкість подачі потрібно збільшити, щоб підтримувати швидкість розряду у заданій точці. Це не проблема, коли подавач працює гравіметрично, але під час етапу подачі втрату ваги неможливо виміряти. Кут бункера, необхідний для забезпечення масового потоку, визначається шляхом вимірювання тертя між сировиною і матеріалом стінки бункера. Отримана зсувна сила вимірюється як функція прикладеної нормальної сили.

Бункери з круглими або квадратними виходами не повинні проєктуватися за теоретичним кутом масового потоку бункера. Інакше невелика зміна властивостей потоку об'ємного матеріалу може спричинити зміну потоку всередині бункера з масового потоку на потік воронки. Тому рекомендується запас безпеки від 2 до 3° відносно кута масового потоку бункера. Похилі стінки, необхідні для масового потоку в плоских бункерах, можуть бути на 10–12° менш крутими, ніж ті, що потрібні для забезпечення масового потоку в конічних або пірамідальних бункерах [20]. У збіжній частині розширювального бункера максимальне навантаження твердих речовин спочатку спрямовується вниз. Коли об'ємне тверде тіло розвантажується з бункера, відбуваються зміни умов напружень у секції бункера. Якщо сировина тече у вигляді масового потоку, масивне тверде тіло стискається вбік і розширюється вертикально. Внаслідок цього основні напруження будуть спрямовані горизонтально, а не вертикально.

Ближче до виходу збіжного бункера виникає радіальне поле напружень і напруга залежить лише від радіуса. Внаслідок цього напруження твердих речовин на виході залишається майже сталим. Це особливість масового потокового бункера, який дозволяє сировині всередині подачі залишатися сталим, коли рівень матеріалу всередині падає і коли бункер заповнюється знову. Насправді, якщо можна терпіти невелику варіабельність швидкості розряду, часто можна використовувати дешевший об'ємний подавач замість гравіметричного живлення. Вихід бункера, звичайно, має бути достатньо великим, щоб запобігти утворенню дуги. Критичний розмір виходу залежить від міцності сировини [20]. Якщо використовується гравіметричний живильник і потрібна постійна швидкість скидання твердих речовин, його розширювач слід спроектувати з урахуванням масового потоку, що забезпечить майже постійне навантаження твердих речовин всередині живильника, а також майже постійну густину об'єму, що дозволяє стабільну швидкість розряду твердих речовин, коли подавач не може працювати гравіметрично.

Живильний бункер необхідний для подачі картоплі у підсистему сортування. При проєктуванні цієї системи буде враховано середню вагу лотка, який буде поміщено в бункер. Крім того, геометрія бункера повинна мати отвір, щоб картопля могла падати на конвеєрну стрічку. Як було зазначено раніше, система живлення складалася з бункера для подачі та конвеєрної стрічки. Отже, необхідно розглянуто відповідне визначення розмірів кожного з цих елементів для чого будуть враховані початкові параметри.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Дизайн бункера. Цей елемент, що належить до системи подачі, повинен витримувати 40 кг, оскільки, як зазначалося раніше, ця величина відповідає вазі ящика зібраної картоплі. Однак, ще одним параметром, який вважається важливим є об'єм отвору.

Обчислити об'єм отвору бункера [19]

$$V = abh$$

де а – ширина отвору;

б – довжина отвору;

h – висота отвору.

$$V = (0.34m)(0.5m)(0.3m)$$

$$V = 0.051m^3$$

Визначене значення слугуватиме для встановлення розмірів та геометрії бункера живлення. На рисунку 2.2 показані встановлені розміри бункера живлення. Матеріал, який буде використаний для цього застосування, відповідає нержавіючій сталі, оскільки це харчовий продукт, який буде поміщений у бункер, товщина якого спроектована на 2 мм.

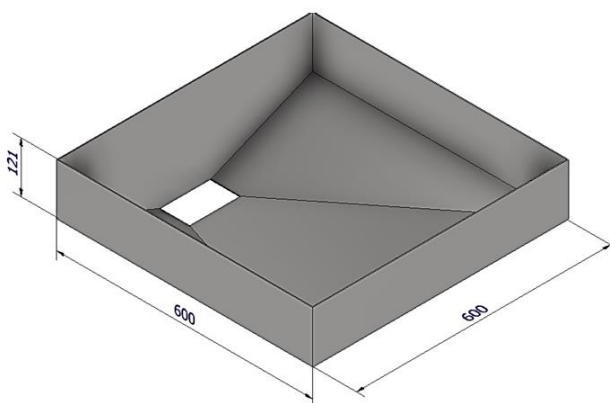


Рисунок 2.2 – Бункер подачі сировини

Об'єм секції дорівнює [19]

$$V = abh$$

$$V = (0.6m)(0.6m)(0.121m)$$

$$V = 0.04356 m^3$$

Конвеєрна стрічка. Функція, яку вона виконуватиме, полягає в транспортуванні картоплі до підсистеми сортування. Тут слід врахувати, що швидкість конвеєрної стрічки не повинна перевищувати 0,147 м/с. Також стрічка повинна переміщувати лише одну картоплю на певну відстань, щоб підсистема сортування могла окремо направляти овочі у зону зважування машини. В основному, конвеєрна стрічка складається з безперервної стрічки, яку тягне тертя діями циліндричного барабана, що називається ведучим барабаном, і який у більшості випадків приводиться в рух електродвигуном, хоча для приводу барабана можна використовувати й інші джерела

енергії. Необхідне тертя, яке має існувати між поверхнею стрічки, що контактує з барабаном і поверхнею самого барабана, досягається або шляхом покриття поверхні барабана, що покращує тертя з стрічкою, або прикладанням певного натягу до конвеєрної стрічки, зазвичай за допомогою механізму натягу, що складається зі шпинделя або натягувального гвинта або використання противаг.

Важливо знати, що в момент запуску ремня двигун створює крутний момент більший за номінальний, що створює велику дотичну силу на периферії приводного барабана. Щоб ця дотична сила була правильно передана на ремінь і запущена в рух, має бути певний натяг у стрічці, щоб запобігти його ковзанню на барабані в перші моменти запуску. Інший барабан, який зазвичай складається з конвеєрної стрічки, повинен обертатися вільно, без будь-якого приводу, і його функція – слугувати повертанням до стрічки [8, 9]. Стрічка підтримується роликівими станціями, розташованими між двома барабанами, або також, хоча й рідше, суцільним листом або іншим матеріалом із дуже низьким тертям, розташованим як колиска на якій спирається конвеєр. Транспортування матеріалу здійснюється шляхом руху стрічки у напрямку барабана, розташованого на голові стрічки, де стрічка обертається і обертається, а потім рухається у протилежному напрямку до іншого барабана. Коли матеріал, що несе стрічку, досягає кінця, стрічка, коли повертається, змушує матеріал, що несе стрічку, виливатися з пояса через дію гравітації та/або інерції.

Параметри, які слід враховувати при проєктуванні конвеєрної стрічки, стосуються ваги картоплі, які будуть розподілені по поверхні стрічки. Для цього було враховано, що маса найбільшого продукту становить 200 г, а максимальна довжина досягає 140 мм. Першим кроком у проєктуванні конвеєрної стрічки є визначення маси вантажу, що перевозиться по всій довжині, яка охоплює зону транспортування [19]

$$m = L_T \cdot P$$

де L – довжина конвеєрної стрічки;

P – вага вантажу, що транспортується за метр.

Для врахування ваги картоплі передбачається, що стрічка буде повністю завантажена і сировина буде розташована рівномірно вздовж секції.

Визначимо вагу вантажу на метр P [19]

$$P = m_T * C_T$$

де m_t – маса помідора 200 г;

C_T – кількість картоплі, яка розподілена по конвеєрній стрічці.

$$P = 0.2 \text{ Kg} * 28$$

$$P = 5.6 \text{ Kg}$$

Отримаємо вагу вантажу 6,2 кг.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$m = 1.107 \text{ т} \cdot 5.6 \frac{\text{Кг}}{\text{т}}$$

$$m = 6.2 \text{ кг}$$

Здійснено розрахунок ефективного натягу стрічки відповідно до обраної конфігурації [19]

$$F_U = \mu_T \cdot g \left(m + \frac{m_B}{2} \right) + \mu_R \cdot g \left(\frac{m_B}{2} + m_R \right) + \mu_{ST} \cdot g \cdot m$$

де μ_T – коефіцієнт тертя при русі по опорі столу;

g – прискорення вільного падіння (9,81 м/с²);

m – маса вантажу, що транспортується на всю довжину транспортера (загальне навантаження);

m_B – маса конвеєрної стрічки;

μ_R – коефіцієнт тертя при проходженні через ролик;

m_R – маса всіх обертових барабанів, крім ведучого барабана.

Обчислимо площу транспортної стрічки [19]

$$m_B = A \cdot W$$

де A – площа конвеєрної стрічки, м²;

W – маса конвеєрної стрічки в кг/м².

$$m_B = 0.35 \text{ м}^2 \cdot 2.5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$$

$$m_B = 0.875 \text{ кг}$$

Визначаємо масу барабана m_B , який приводиться в рух ведучим шківом. Для цього вважається за потрібне припустити цей параметр і робиться висновок, що маса його складе $m_R = 1$ кг. Швидкість конвеєрної стрічки визначається як максимальна швидкість системи 0,147 м/с, що вважається параметром для визначення потужності, однак швидкість, з якою система зазвичай повинна працювати, становить 0,140 м/с [19]

$$P_A = \frac{85.72 \text{ Н} \cdot 0.147 \text{ м/с}}{1000}$$

$$P_A = 12.6 \text{ Вт}$$

Отримана потужність P_A є ідеальним значенням споживаної потужності системи, тепер, щоб визначити реальну потужність, яку споживатиме конвеєрна стрічка [19]

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P = \frac{P_A}{\eta}$$

$$P = \frac{12.6 \text{ W}}{0.96}$$

$$P = 13.13 \text{ W}$$

Обчислюємо мінімальний діаметр барабана [19]

$$d_A = \frac{F_1 \cdot C_3 \cdot 180}{b_0 \cdot \beta}$$

де C_3 – коефіцієнт розрахунку для приводних барабанів;

b_0 – ширина конвеєрної стрічки, мм;

β – довжина контакту відповідно до обраної конфігурації.

$$d_A = \frac{85.72 \cdot 30 \cdot 180}{140 \cdot 180^\circ}$$

$$d_A = 18.368 \text{ mm}$$

Овочі потрапляють на конвеєр і рухаються до кінця стрічки. По обидва боки конвеєра встановлені блоки, щоб запобігти падінню картоплі за межі збірних коробок, стрічка має конструкцію, яка її підтримує. Для аналізу цієї конструкції буде взято об'єкт дослідження в найкритичнішій частині, яка відповідає розташуванню ведучого барабана, оскільки вважається доцільним провести такий аналіз через те, що зліва буде встановлено шків і для його ефективної роботи потрібне натягнення.

2. Підсистема класифікації. Підсистема відповідатиме за присвоєння відповідної класифікації кожному сорту картоплі, елементи, що можуть бути похідними і належать до цієї підсистеми. Підсистема сортування пов'язана з тим, як будуть класифікуватися види сировини. До цієї підсистеми відносяться такі елементи машини як ковші, датчики, виконавчі механізми та їхнє живлення для роботи.

Завантажувальні ковші. Їх призначенням є транспортування картоплі до зони зважування та відповідного приводу. Параметри, які будуть враховані при їх проектуванні, стосуються ваги, яку вони повинні переносити та геометрії елемента. На відміну від інших центробіжних подавачів з чашею, у яких робочі поверхні повністю плоскі для ковзання сировини, центробіжний подавач з чашею має невеликі вертикальні стінки, які використовуються для орієнтування овочевої сировини з відношенням висоти до ширини. Ковші призначені для ізоляції окремих об'єктів і обмеження їхніх горизонтальних рухів після того, як вони виходять з центрального диска. Ковші повинні забезпечити достатнє утримання, щоб сировина залишалася всередині кишені.

Зона зважування. У цій частині машини буде вимірюватися маса картоплі

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

після того, як ковш пройде через певну зону зважування. Величина маси, яку виявить датчик продукту, буде надіслана контролеру, щоб він керував відповідним виконавчим механізмом відповідно до вимірювання, отриманого від сенсора [19]. У зонах зважування будуть використовуватися тензометричні датчики, тому щоразу, коли лоток проходитиме через певну точку, ці датчики починатимуть змінювати свої резистивні навантаження, що спричинятиме збільшення або зменшення їхньої напруги залежно від напружень, що виникають у п'єзореzystивному сенсорі. Це значення варіації порівнюватиметься зі значенням еталону, яке буде призначено контролеру в межах програмного контролю. Щоб забезпечити правильне зчитування в даний момент, будуть використовуватися ємнісні сенсори, які виявлятимуть кожен раз, коли ковш впливає на їхнє робоче поле.

Тензометричні датчики – це пристрої, які працюють як сенсори, вони вимірюють прикладену силу, змінюючи свій опір. Іншими словами ці сенсори здатні вимірювати силу, тиск, напруження та вагу, змінюючи свій електричний опір. Зазвичай така електрична зміна заряду відбувається у мілівольтах, тому для їх використання потрібен підсилювач сигналу, щоб підключити його або до АЦП (аналого-цифрового перетворювача) або для генерації будь-якої дії. Датчик ваги розташований в зоні класифікації [14]. Датчик використовують для вимірювання ваги одного матеріалу. Датчик ваги вимірює вагу та надсилає сигнал на один із сервомоторів. Датчик ваги розміщений під сортувальним пристроєм по якому переміщується сировини і за частку секунди датчик вимірює вагу, наприклад, картоплі та надсилає сигнал контролеру.

Матеріал після проходження через тензодатчик сортується за вагою. Для кожного діапазону ваг матеріалів призначені збірні коробки. Збірні коробки виготовлені таким чином, щоб одночасно могла входити та виходити лише одна одиниця, що дозволяє визначити кількість сировини всередині коробки. Після того як сировина проходить через тензодатчик вона потрапляє на сортувальний пристрій, який за допомогою транспортуючого механізму переміщує сировину з одного пункту в інший.

Ємнісний датчик характеризується здатністю генерувати електростатичне поле, всередині він складається з двох електродів у формі концентричних дисків. Його широко застосовують, коли необхідно виявити наближення об'єкта. Принцип роботи цих пристроїв полягає у зміні рівня ємності, оскільки ця зміна призводить до зміни стану датчика, що, в свою чергу, активує осциляторну схему. Активація запускає схему-активатор, яка на виході змінює стан з низького на високий [21]. Ємнісний датчик – це універсальний детектор. На відміну від індуктивного він здатний виявляти будь-яку сировину. Датчики працюють, виявляючи зміни в електричній ємності – властивості, яка змінюється, коли об'єкт наближається до електричного поля, що генерує датчик. Ємнісні датчики наближення виявляють присутність об'єктів, вимірюючи зміни ємності електричного поля. Його робота базується на базових принципах конденсатора. Вони працюють з нижчими частотами коливання, ніж індуктивні, зазвичай у діапазоні від 10 кГц до 500 кГц, при цьому частоти в низькому та середньому діапазоні цього діапазону є більш

поширеними, а типові частоти можуть сягати сотень кГц.

Він має внутрішній генератор, який відповідає за створення електричного поля, що дозволяє виявляти об'єкти шляхом зміни її ємності. Зміна частоти генератора, спричинена наявністю об'єкта, є сигналом, який датчик використовує для активації свого виходу. У цих датчиках активна поверхня (зазвичай передня поверхня датчика) виконує функцію одного з конденсаторних пластин, тоді як інша пластина вважається заземленою (зазвичай корпус датчика або орієнтир у сенсорному колі). Між двома пластинами знаходиться діелектрик, який за нормальних умов зазвичай є повітрям. Сенсор створює електричне поле в області біля активної поверхні. Коли об'єкт потрапляє в це поле виявлення, відбуваються зміни характеристик діелектрика. Це відбувається тому, що об'єкт має іншу діелектричну константу, ніж повітряна, що змінює ємність системи. Зміну фіксує внутрішня схема керування датчика, яка інтерпретує її як наявність об'єкта. Типи ємнісних датчиків [21]:

Існує кілька конфігурацій ємнісних датчиків, серед яких виділяються наступні:

- датчики наближення: виявляють наявність об'єкта на певній відстані. вони є найпоширенішими і застосовуються у широкому спектрі застосувань;
- датчики рівня: вимірюють рівень рідин або твердих речовин у резервуарах або контейнерах;
- датчики вологості: вимірюють відносну вологість повітря або матеріалу;
- датчики сили/тиску: вимірюють силу або тиск, що застосовується до поверхні;
- ємнісні сенсорні: визначають положення об'єкта при зміні ємнісного поля.

Датчики положення. Причина впровадження цих датчиків всередині машини полягає в тому, що вони допомагають датчику зважування робити вимірювання при його активації, що дозволяє отримати вагу картоплі за певний проміжок часу та надіслати її до контролера для правильного приймання продукту.

Перетворювач частоти та мікроконтролер. Перетворювач частоти полегшує регулювання швидкості обертання електродвигуна, оскільки він фактично регулює частоту електроенергії, що надходить до двигуна. Використання цих пристроїв запобігає втратам енергії, оскільки вони подають лише потрібну кількість електроенергії. Мікроконтролер виконує роботу з управління всіма зазначеними раніше датчиками та виконавчими механізмами. Електродвигун забезпечує необхідну потужність для роботи машини, важливими факторами при його виборі будуть тип живлення, крутний момент, який він створює та механічна потужність, яку він передаватиме машині. Мотор такої спеціальної конфігурації полегшує контроль положення валу в даний момент, оскільки його структура розрахована на переміщення на певну кількість градусів, а потім закріплення в заданій позиції. Така робота забезпечується електронною схемою всередині, яка відповідає за забезпечення

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

руху та положення мотора. Двигун постійного струму – перетворює електричну енергію постійного струму на механічну енергію.

Електродвигун найчастіше використовуються в промисловості, оскільки ці пристрої живляться від звичайних енергетичних розподільних систем. Частіше використовуються двигуни змінного струму для більшості застосувань, що забезпечує хорошу ефективність, низьке обслуговування та простоту конструкції, особливо у асинхронних двигунах [27]. Асинхронний або індукційний двигун – це механізми з однією основною характеристикою при якій обертання ротора не збігається за швидкістю з магнітним полем, що створює статор. Синхронний двигун з постійними магнітами – це механізми з високою продуктивністю, які легко контролюють швидкість при цьому їх вага та розмір мінімальні, а швидкість ротора є постійною, якщо вона відповідає швидкості магнітного поля, створеного статором [28]. Синхронний двигун з переключенням або змінний – це надійні двигуни з малою потужністю без щіток та постійних магнітів, де струм перемикається через котушки, створюючи обертове магнітне поле.

Вибір двигуна визначатиме роботу машини, оскільки він забезпечуватиме необхідну потужність і крутий момент для системи сортування разом із конвеєрною стрічкою. У розрахунках, проведених для визначення потужності системи, було отримано наступні результати, що наведені нижче [19]

$$P = 13.13 \text{ W}$$

$$P_S = 159.34 \text{ W}$$

де P_S – потужності класифікаційної системи;

P – потужність, яку споживатиме конвеєрна стрічка.

$$P_T = P + P_S$$

$$P_T = 13.13 \text{ W} + 159.34 \text{ W}$$

$$P_T = 172.47 \text{ W}$$

Обчислювальна потужність [19]

$$N_a = P_T$$

$$N_a = 172.47 \text{ W}$$

Переходять до розрахунку вхідної потужності N_e , яка отримується шляхом ділення на ККД редукторного двигуна, де $\eta = 0,98$

$$N_e = \frac{N_a}{\eta}$$

де ККД – коефіцієнт корисної дії, $\eta = 0,98$

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$N_e = \frac{172.47 \text{ W}}{0.985}$$

$$N_e = 175.1 \text{ W}$$

Розрахунок потужності керування N_m

$$N_m = N_e \cdot F_s$$

де F_s – коефіцієнт обслуговування, $F_s = 1,25$, оскільки він застосовується для харчової промисловості.

$$N_m = 175.1 \text{ W} \cdot 1.25$$

$$N_m = 218.875 \text{ W}$$

Серводвигун – це обертаючий виконавчий пристрій, який дозволяє точно контролювати кутове або лінійне положення, швидкість та прискорення. Він складається із відповідного двигуна, з'єднаного з датчиком для зворотного зв'язку щодо положення. Також він потребує відносно складного контролера, часто спеціалізованого модуля, розробленого спеціально для використання з серводвигунами. Сервомотор – це високоспеціалізований двигун, призначений для точного керування обертальним або лінійним рухом. Це обертальний або трансляційний мотор, який використовує механізм зворотного зв'язку для забезпечення точного позиціонування, зазвичай за допомогою керуючого сигналу, який диктує рух двигуна у бажаному положенні. Механізм дозволяє точно керувати різними компонентами, роблячи сервомотори критично важливими у застосуваннях, де потрібне точне позиціонування та плавний рух. Серводвигуни складаються з кількох ключових компонентів, кожен з яких є ключовим для точної роботи двигуна. Розуміння цих компонентів дає уявлення про те, як серводвигуни забезпечують виняткову продуктивність у застосуваннях автоматизації та керування [24]:

- двигун – це основне джерело механічної потужності в сервосистемі. Незалежно від того, чи це змінний струм чи постійний струм, тип двигуна впливає на його застосування: змінний струм зазвичай використовується для застосувань на вищій швидкості та потужності, а постійний – для точного керування;

- керуючий контур часто вважається мозком сервомотора, бо цей компонент обробляє вхідні сигнали від контролера та виводить команди на мотор. Він визначає положення, швидкість і крутний момент на основі отриманих сигналів. Крім того, це гарантує, що двигун працює точно так, як вказують вхідні сигнали;

- потенціометр переважно використовується в простіших або менших сервосистемах, цей датчик забезпечує базовий зворотний зв'язок щодо положення вала двигуна, допомагаючи підтримувати точність керування;

– вал двигуна – обертовий компонент, який передає механічну потужність від двигуна до застосування. Він безпосередньо пов'язаний із виходом, виконуючи бажані дії;

– сервопривід виступає посередником між мотором і системою керування. Він приймає керуючі сигнали і забезпечує двигун необхідною потужністю для досягнення бажаного руху, регулюючи напругу та струм залежно від зворотного зв'язку;

– сервопідсилювач – компонент підсилює сигнали з керуючого кола, забезпечуючи їх достатню потужність для ефективної роботи двигуна;

– енкодери – це сучасні пристрої зворотного зв'язку, які надають детальну інформацію про положення або швидкість вала двигуна до керуючого кола. Вони можуть бути як поступовими, що надають дані про відносне положення, так і абсолютними, що надають конкретну позиційну інформацію у будь-який момент.

Система передач – це компоненти, які використовуються для передачі механічної енергії від машини або двигуна до робочих органів машини [27]:

– передача за допомогою ременів – шківи є система, що складається з шківів з ремнем, розташованих на певній відстані, які обертаються одночасно внаслідок тертя ремня об обидва шківи, що зазвичай є гнучкими та міцними шкіряними стрічками;

– передача за допомогою ланцюга – системи, що складаються з ланцюга, який використовується для передачі руху між двома паралельними осями на певній відстані з метою передавання руху між осями, служачи як підйомні системи або як транспортні системи;

– передача за допомогою зубчастих коліс складаються із зубчастих коліс і є одним із найпоширеніших та найефективніших механізмів для передачі руху між двома валами машини або від одного компонента до іншого;

– передача за допомогою зубчастої рейки – це механізм, що складається з зубчастого колеса або шестерні з прямими зубцями, яке взаємодіє з зубчастою рейкою так, що при обертанні шестерні рейка переміщується вздовж своєї осі;

– передача за допомогою черв'яка – це механізми, що складаються з черв'яка з вінцем, які використовуються для передачі великих зусиль та значного зменшення швидкості між перекресними віссю.

Першочергове завдання, яке виконуватимуть виконавчі механізми у машині, зосереджено на звільненні ковшів, коли контролер видасть відповідну команду. Такі пристрої будуть розташовані навколо машини для викидання овочів у відповідні відсіки або приймальні бункери.

Система сортування забезпечує:

– переміщення та утримання сировини до зони сортування за допомогою живильного конвеєра, щоб картопля мала належний контакт з поверхнею стрічка має щілини, які сприяють транспортуванню картоплі;

– сортування – це найважливіша частина, де здійснюється класифікація та відбір картоплі за допомогою тензодатчиків та датчиків положення, які розміщено всередині машини;

– зважування здійснюється за допомогою тензодатчиків, які вимірюють

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

вагу та надсилають сигнал на один із сервомоторів. Датчик ваги розміщений під сортувальним пристроєм по якому переміщується сировини і за частку секунди датчик вимірює вагу картоплі та надсилає сигнал контролеру;

– привід електричний, а саме електрична енергія передаватиметься на двигун, а потім перетворюватиметься на механічну енергію.

Принцип роботи удосконаленої системи сортування картоплі за вагою.

1. Пропоноване сортувальне обладнання оснащене системою живлення, яке забезпечується бункером, куди буде завантажено продукт, після чого йде конвеєрна стрічка, яка полегшить транспортування до системи сортування.

Конфігурація стрічки має щілини. Мета щілин полягає в допомозі транспортуванню картоплі, оскільки вони дозволяють просуватися по стрічці лише одну картоплю за раз. Таким чином, коли сировина падає на похилу поверхню вона котиться до свого відповідного ковша.

2. Система сортування складається з лотків, розроблених відповідно до геометрії та форми сировини, які забезпечують доставку картоплі до різних точок сортування. Ці точки сортування складаються з датчиків ваги (тензорні датчики), ємнісних датчиків і серводвигунів. Спочатку вага картоплі вимірюється за допомогою тензодатчика. Тензодатчик підключено до контролера, який використовується для перетворення аналогового сигналу в цифровий. Коли матеріал потрапляє зону сортування, сигнал приводить у дію відповідний сервопривід.

Удосконалена сортувальна машина відрізняється від інших сортувальних машин тим, що запропонована модель враховує вагу продукту та реєструє кількість одиниць кожного класу. Її робота забезпечується зчитуванням сенсора, який відповідатиме за передачу величини виявленої сили мікроконтролеру, лише якщо ємнісний сенсор, що слугує як шлюз, відповідає умовам, встановленим у програмуванні, що призведе до того, що якщо виміряне значення є правильним, ковш буде звільнений і через вагу картоплі ковш нахилиться у відповідний приймальний бункер, а також буде надіслано імпульс до дисплея лічильника для відображення одиниць, що належать кожному класу.

На основі вище зазначеного можна вважати, що системи сортування та подачі в основному використовуються у харчовій промисловості для забезпечення більш швидкого та ефективного процесу виробництва. Процес сортування зазвичай передбачає розділення сировини за певною ознакою, а саме кольором або вагою. У харчовій промисловості машина для сортування овочів за вагою відіграють ключову роль, оскільки дозволяє точне оцінювання залежно від ваги харчових продуктів.

Удосконалено обладнання для сортування картоплі за вагою, яке містить декілька підсистем:

1. Підсистема живлення. Підсистема живлення складається з бункера та конвеєрної стрічки. Пропоноване сортувальне обладнання оснащене системою живлення, яке забезпечується бункером, куди буде завантажено продукт, після чого йде конвеєрна стрічка, яка полегшить транспортування до системи сортування. Конфігурація стрічки має щілини, які допомагає транспортуванню

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

картоплі, оскільки вони дозволяють просуватися по стрічці лише одну картоплю за раз. Таким чином, коли сировина падає на похилу поверхню вона котиться до свого відповідного ковша.

2. Підсистема класифікації. Підсистема відповідатиме за присвоєння відповідної класифікації кожному сорту картоплі, елементи, що можуть бути похідними і належать до цієї підсистеми. Підсистема сортування пов'язана з тим, як будуть класифікуватися види сировини. До цієї підсистеми відносяться такі елементи машини як ковші, датчики, виконавчі механізми та їхнє живлення для роботи.

2.1. Зона зважування. В машини буде вимірюватися маса картоплі після того, як ковш пройде через певну зону зважування. Величина маси, яку виявить датчик продукту, буде надіслана контролеру, щоб він керував відповідним виконавчим механізмом відповідно до вимірювання, отриманого від сенсора. У зонах зважування будуть використовуватися тензометричні датчики, тому щоразу, коли лоток проходить через певну точку, ці датчики починатимуть змінювати свої резистивні навантаження. Значення варіації порівнюватиметься зі значенням еталону, яке буде призначено контролеру в межах програмного контролю. Щоб забезпечити правильне зчитування в даний момент, будуть використовуватися ємнісні сенсори, які виявлятимуть кожен раз, коли ковш впливає на їхнє робоче поле. Причина впровадження датчиків положення всередині машини полягає в тому, що вони допомагають датчику зважування робити вимірювання при його активації, що дозволяє отримати вагу картоплі за певний проміжок часу та надіслати її до контролера для правильного приймання продукту.

2.2. Виконавчі механізми. Завдання, яке вони виконуватимуть у машині, зосереджено на звільненні ковшів, коли контролер видасть відповідну команду. Такі пристрої будуть розташовані навколо машини для викидання овочів у відповідні відсіки або приймальні бункери.

2.3. Система сортування складається з лотків, розроблених відповідно до геометрії та форми сировини, які забезпечують доставку картоплі до різних точок сортування. Ці точки сортування складаються з датчиків ваги (тензорні датчики), ємнісних датчиків і серводвигунів. Спочатку вага картоплі вимірюється за допомогою тензодатчика. Тензодатчик підключено до контролера, який використовується для перетворення аналогового сигналу в цифровий. Коли сировина потрапляє зону сортування, сигнал приводить у дію відповідний сервопривід.

Удосконалена сортувальна машина відрізняється від інших сортувальних машин тим, що запропонована модель враховує вагу продукту та реєструє кількість одиниць кожного класу. Її робота забезпечується зчитуванням сенсора, який відповідатиме за передачу величини виявленої сили мікроконтролеру, лише якщо ємнісний сенсор, що слугує як шлюз, відповідає умовам, встановленим у програмуванні. Це призведе до того, що якщо виміряне значення є правильним, ковш буде звільнений і через вагу картоплі ковш нахилиться у відповідний приймальний бункер, а також буде надіслано імпульс до дисплея лічильника для відображення одиниць, що належать кожному класу.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Класифікації картоплі за допомогою комп'ютерного зору

На сьогодні автоматичні системи сортування, що базуються на комп'ютерному зорі покладаються на візуальні характеристики та методи, які дозволяють машині класифікувати або розпізнавати категорію картоплі за характеристиками текстури, кольору та їх поєднанням [29]. Ручний візуальний огляд є загальноживим методом виявлення дефектів у продукції, проте він може бути дорогим і повільним. Тому контроль якості у виробничих процесах є не лише необхідною, а й базовою вимогою сьогодення. Як частина штучного інтелекту, машинний зір дає змогу покращити контроль якості продукції швидко та точно, а також знизити витрати порівняно з візуальним оглядом та характеристиками для виявлення кольору, оскільки будь-яку характеристику залежно від типу можна налаштувати для виявлення. Важливою є правильна підбірка компонентів як апаратного, так і програмного забезпечення, щоб вони могли інтегруватися в єдину систему, яка працює узгоджено з виробничою системою і результати якої можуть отримуватися в реальному часі. Потенціал, який має комп'ютерне бачення для використання в різних сферах харчової промисловості, ґрунтується на досвіді великих промислових підприємств і його переваги були очевидні в різних аспектах. Серед найважливіших можна виділити [25]:

- більшу точність і швидкість у порівнянні з ручним візуальним контролем;
- зниження витрат, бо автоматичне виявлення дефектів допомагає запобігти виробництву бракованої продукції, що зменшує витрати на переробку та гарантійні витрати;
- підвищення ефективності – комп'ютерне бачення дозволяє здійснювати перевірку в реальному часі та швидко виявляти дефекти, що підвищує ефективність процесу контролю якості та допомагає зменшити час простою;
- гнучкість, оскільки комп'ютерне бачення можна налаштувати для виявлення широкого спектру дефектів та адаптувати до різних типів продукції та виробничих процесів;
- підвищення якості продукції, бо впровадження контролю якості за допомогою комп'ютерного бачення допомагає забезпечити відповідність виготовленої продукції проектним специфікаціям та вимогам до якості, що підвищує якість продукції та задоволеність клієнтів.

Модель роботи для системи сортування та класифікації розроблена за допомогою комп'ютера, яка включає дві системи: систему комп'ютерного зору та систему обробки. Система комп'ютерного зору включає блок обробки

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Бохонко</i>				Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						39	5
						ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>							

зображень та модуль розпізнавання форм, які дозволяють покращити якість продукту у процесі автоматичного сортування. Електромеханічна система обробки включає конвеєрні стрічки, чотири цифрові фотоапарати для зйомки з усіх боків та рентгенівський апарат, який захоплює рентгенівські промені для внутрішнього огляду фініків [29]. Фото разом із відповідним вимірюванням ваги вводяться в систему комп'ютерного зору для візуального аналізу фруктів та оцінки якості і сортування. Система комп'ютерного зору отримує зображення, обробляє їх, а потім виділяє основні характеристики, такі як колір, довжина та ширина. Отримана інформація надсилається до інструмента розпізнавання форм для проведення оцінки якості та сортування фініків за попередньо визначеними категоріями після застосування одного з алгоритмів навчання, а потім направляється до відповідного контейнера через систему розподілу.

Комп'ютерний зір тісно пов'язаний зі штучним інтелектом – процес за допомогою якого машина, зазвичай комп'ютер, автоматично обробляє вміст цифрових зображень для проведення відповідного аналізу. Техніки, що використовуються в аналізі зображень включають отримання зображень, попередню обробку зображень та інтерпретацію зображень, що дозволяє кількісно оцінювати та класифікувати зображення і об'єкти, які представляють інтерес у зображеннях. Комп'ютерний зір включає захоплення, обробку та аналіз зображень для полегшення об'єктивної та не руйнівної оцінки візуальних характеристик харчових продуктів. Система комп'ютерного зору приймає на вході зображення, яке захоплене пасивним датчиком (камерою) і на виході формує певну кількість візуальних індексів витягнутих із зображення [29]. Ці первинні дані називаються характеристиками і передаються в систему розпізнавання форм, яка приймає рішення щодо класу належності зображення або об'єкта чи об'єктів включених у нього. Система автоматичного сортування на основі комп'ютерного зору отримує одне або кілька зображень сільськогосподарського продукту, готує їх і аналізує для виділення певних візуальних характеристик продукту. У цьому типі систем автоматичного сортування зазвичай використовуються кілька характеристик, таких як: колір, розмір, форма та текстура.

Колір є важливим параметром для визначення якості сировини, оскільки безпосередньо впливає на рішення споживача прийняти або відхилити певний продукт. Тому виробники прагнуть запобігти появі дефектів кольору у продукції, що виходить на ринок. Наразі використовуються нові інструменти для вимірювання змін у властивості кольору сільськогосподарських продуктів. Технології в основному базуються на комп'ютерному зорі. Властивість кольору має численні переваги, такі як висока ефективність та легкість отримання інформації про колір із зображень [26, 29]. Сприйняття кольору системою комп'ютерного зору відрізняється, якщо поверхні об'єктів мають різну текстуру. З цієї причини вивчення текстури часто інтегрують у дослідження різниці кольорів, включаючи ті, що використовуються для виявлення наявності зовнішніх дефектів. Витягуючи значення інтенсивності між пікселями, текстура є дуже придатною первинною ознакою для класифікації широкого спектра

автоматичних систем, що базуються на комп'ютерному зорі.

Розмір є важливою характеристикою, яка може безпосередньо впливати на якість багатьох сільськогосподарських продуктів. Оцінка цього атрибуту в об'єктах правильної форми, таких як сферичні або майже сферичні фрукти, відносно проста але вона стає складнішою для фруктів і овочів неправильних форм [26, 29]. Визначення розміру об'єкта залежить від вимірюваних змінних периметра, а саме довжини та ширини. Через нерегулярності у формі сільськогосподарських продуктів ця характеристика широко використовується для автоматичного сортування в промисловості. Форма є більш важливим візуальним показником при ідентифікації бажаної якості.

Камера необхідна для захоплення зображень продуктів під час виробничого процесу, деякі з характеристик, які слід враховувати при виборі камери для цієї мети, такі [22, 23, 25]:

- роздільна здатність камери повинна бути достатньо високою, щоб захоплювати зображення високої якості та забезпечувати виявлення дефектів;
- швидкість захоплення камера повинна мати можливість робити знімки з достатньою частотою, щоб забезпечити контроль за виробничим процесом у реальному часі;
- чутливість до світла камери повинна відповідати наявному освітленню в робочому середовищі.

Освітлення необхідне для покращення якості та чіткості зображень, захоплених камерою. Належне освітлення може покращити здатність камери виявляти та класифікувати об'єкти за їх якістю, оскільки воно може підкреслити важливі характеристики об'єктів і дозволити краще розрізняти хороші та дефектні об'єкти. Мета полягає в забезпеченні рівномірного та контрольованого освітлення, що дозволяє отримувати високоякісні та точні зображення для інспекції та класифікації об'єктів на виробничій лінії [26, 29]. Комп'ютер або мікроконтролер застосовується для обробки захоплених зображень та виконання алгоритмів комп'ютерного зору, необхідних для виявлення дефектів та класифікації продуктів. Вибір типу комп'ютера або мікроконтролера залежить від обсягу та складності застосування контролю якості. Для простіших застосувань комп'ютерного зору, таких як контроль якості дрібної сировини та класифікація продуктів за формою або кольором, можна використовувати недорогі мікроконтролери.

Програмне забезпечення необхідне для обробки зображень та виконання операцій сегментації, визначення меж і класифікації. Дозволяє зв'язувати та виконувати програмування системи, повинно враховувати наступне [22, 25]:

- обробка зображень використовується для захоплення зображень продуктів у процесі виробництва та їх обробки для виявлення дефектів або відхилень;
- аналіз зображень застосовується для аналізу та вимірювання специфічних характеристик продуктів, таких як розміри, форма, колір, текстура та візерунки;
- розпізнавання задля виявлення еталонних зображень продуктів задля виявлення дефектів та прийняттю рішень на основі виробничих даних.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Гарний вигляд, розмір і однорідна форма завжди будуть важливими факторами, якм віддають перевагу покупці. Тому процеси сортування мають забезпечувати відповідність продукції визначеним вимогам щодо якості. Форма є одним із найважливіших ключових показників, що визначають оцінку та класифікацію якості картоплі [26]. Вона має бути однорідною та мати відповідні розміри, а також мати менше дефектів. Через велику різноманітність форм картоплі її важко узагальнити тому методи комп'ютерного зору сприятимуть вирішенню цієї проблеми. Розпізнавання зразків картоплі за еталонним зображенням для виявлення зразків певної форми наведено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Розпізнавання зразків картоплі

Система контролю, яка була запропонована для сортувального обладнання може бути доповнена модулем штучного зору для визначення за допомогою алгоритмів розміру картоплі, кольору та форми (рис. 3.2). Додаткові датчики будуть надавати інформацію сортувальному обладнанню, таким чином вони слугують як зв'язок між удосконаленою машиною та середовищем для прийняття рішень. Склад системи сортування [26, 29]:

Модуль захоплення зображень. Захоплення та сприйняття картоплі є першим етапом у процесі сортування. Тому краще захоплювати відбувається за допомогою датчика (камери), щоб уникнути погіршення продуктивності системи.

Модуль попередньої обробки. Попередня обробка – це підготовка даних сенсора для наступного етапу. Метою цього етапу є максимально можливе усунення нерелевантної інформації через шум, що виникає під час отримання зображень при збереженні лише важливої інформації представницької моделі. Під час попередньої обробки вхідне зображення або його частина також змінюється до фіксованого розміру, що необхідно, оскільки на наступному етапі характеристики витягуються з зображень фіксованого розміру.

Модуль розпізнавання ознак – це інформація, яка вилучена із зображення. Вони є функціями вихідних вимірювальних змінних, корисними для класифікації та/або розпізнавання форм, а також основними факторами системи комп'ютерного зору, оскільки вони складаються з ефективних даних для візуалізації, інтерпретації та класифікації зображень. Мета видобутку ознак

полягає у формуванні параметрів з мітками у вигляді векторів для ідентифікації вхідних даних з метою підвищення рівня розпізнавання.

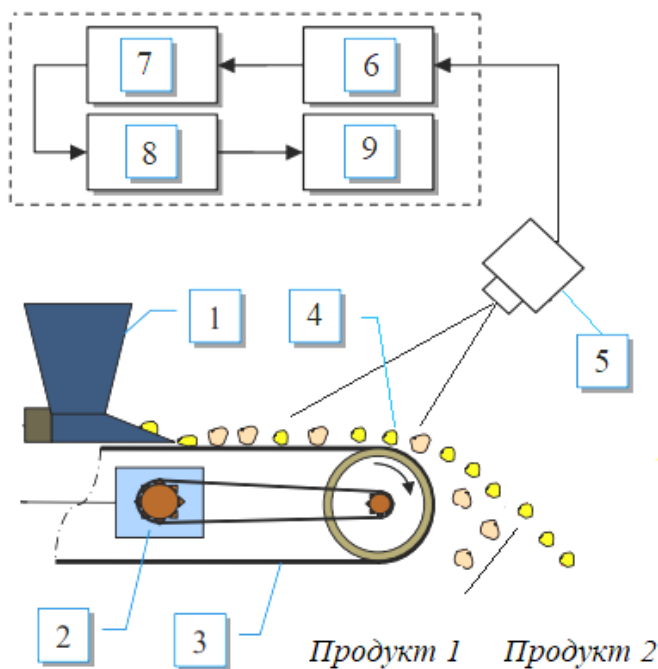


Рисунок 3.2 – Класифікації картоплі за розміром допомогою комп'ютерного зору

На основі вище зазначеного можна вважати, що на одним із технологічних рішень, що зазнало найбільшого розвитку за останні роки є системи комп'ютерного зору. У випадку промислових процесів, зазвичай потрібна автоматизація системи комп'ютерного зору для перевірки відповідності сортування продукції, фруктів та овочів, певним заздалегідь встановленим критеріям якості, що дозволяє уникати виробничих дефектів, небажаних домішок та поганого вигляду продукції.

Система контролю, розроблена для сортувального обладнання може бути доповнена модулем штучного зору для визначення за допомогою алгоритмів розміру картоплі, кольору та форми. Додаткові датчики будуть надавати інформацію сортувальному обладнанню, таким чином вони слугують як зв'язок між удосконаленою машиною та середовищем для прийняття рішень. Щоб розробити систему контролю якості в виробничому процесі за допомогою базового машинного зору, можна використовувати такі компоненти: камера, система освітлення, комп'ютер або мікроконтролер, програмне забезпечення для обробки зображень, дисплей. Така система буде здійснювати розпізнавання зображень задля виявлення еталонних зображень сировини та прийняття рішень на основі виробничих даних.

Запропонована система буде здійснювати класифікації картоплі за розміром за допомогою комп'ютерного зору, що сприятиме тому, що картопля, яка не буде відповідати еталонному зображенню буде вилучатися із загального потоку. У зв'язку з великої різноманітності форм картоплі її важко узагальнити тому методи комп'ютерного зору сприятимуть вирішенню цієї проблеми.

ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена удосконаленню конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі. У роботі зазначено, що сортування овочів є важливою операцією, що впливає на якість, обробку та зберігання продукції і відіграє значну роль у харчовій промисловості. Сортування – розділення сировини у різні однорідні групи відповідно до його специфічних характеристик таких як розмір, форма, колір та якість.

У першому розділі здійснено аналіз обладнання для сортування плодово-овочевої сировини. Сортувальні машини поділяються на чотири основні категорії залежно від якості продукції, яку потрібно сортувати, а саме, розмір, маса, колір та форма. Сортувальники за розміром можуть включати елемент форми за допомогою якого вони можуть відбирати фрукти або овочі певної форми. Сортувальники за розміром доступні у кількох різних варіантах, які мають різну кількість контактних точок та отвори різної форми. Основним обмеженням є те, що у більшості сортувальників вимірювання продукції двовірне і об'єкт можуть перевертатися, щоб пройти через машину.

Існують різні методи сортування фруктів і овочів і кожен метод має свої переваги та обмеження. Ручне сортування є традиційним і найпоширенішим методом, але воно є трудомістким, потребує значних витрат праці та схильне до помилок. Механічне сортування, навпаки, швидше, більш послідовне та точне. Сортування на основі машинного зору стало популярним завдяки високій точності, швидкості та автоматизації, але обмежене необхідністю якісних зображень, складністю алгоритмів та потребою постійної калібрування. Сортування на основі ближньої інфрачервоної спектроскопії є перспективним методом для швидкого та об'єктивного сортування, але воно вимагає значної калібрування. Стійкі методи сортування можуть допомогти зменшити відходи та підвищити загальну стійкість виробництва продукції.

Другий розділ присвячено удосконаленню конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі. Зазначено, що системи сортування та подачі в основному використовуються у харчовій промисловості для забезпечення більш швидкого та ефективного процесу виробництва. Процес сортування зазвичай передбачає розділення сировини за певною ознакою, а саме кольором або вагою. У харчовій промисловості машина для сортування овочів за вагою відіграють ключову роль, оскільки дозволяє точне оцінювання залежно від ваги харчових продуктів.

Удосконалено обладнання для сортування картоплі за вагою, яке містить декілька підсистем:

1. Підсистема живлення. Підсистема живлення складається з бункера та конвеєрної стрічки. Конфігурація стрічки має щілини, які допомагають

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Бохонко</i>				Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						44	2
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>							

транспортуванню картоплі, оскільки вони дозволяють просуватися по стрічці лише одну картоплю за раз. Таким чином, коли сировина потрапляє на похилу поверхню вона котиться до свого відповідного ковша.

2. Підсистема класифікації. Підсистема відповідатиме за присвоєння відповідної класифікації кожному сорту картоплі, елементи, що можуть бути похідними і належать до цієї підсистеми. До цієї підсистеми відносяться такі елементи машини як ковші, датчики, виконавчі механізми.

2.1. Зона зважування. У цій частині машини буде вимірюватися маса картоплі після того, як ковш пройде через певну зону зважування. У зонах зважування будуть використовуватися тензометричні датчики, тому щоразу, коли лоток проходить через певну точку, ці датчики починатимуть змінювати свої резистивні навантаження. Значення варіації порівнюватиметься зі значенням еталону, яке буде призначено контролеру в межах програмного контролю. Причина впровадження датчиків положення всередині машини полягає в тому, що вони допомагають датчику зважування робити вимірювання при його активації, що дозволяє отримати вагу картоплі за певний проміжок часу та надіслати її до контролера для правильного приймання продукту.

2.2. Виконавчі механізми. Завдання, яке вони виконуватимуть у машині, зосереджено на звільненні ковшів, коли контролер видасть відповідну команду. Такі пристрої будуть розташовані навколо машини для викидання овочів у відповідні відсіки або приймальні бункери.

2.3. Система сортування складається з лотків, розроблених відповідно до геометрії та форми сировини, які забезпечують доставку картоплі до різних точок сортування. Ці точки сортування складаються з датчиків ваги (тензорні датчики), ємнісних датчиків і серводвигунів. Спочатку вага картоплі вимірюється за допомогою тензодатчика. Тензодатчик підключено до контролера, який використовується для перетворення аналогового сигналу в цифровий. Коли сировина потрапляє зону сортування, сигнал приводить у дію відповідний сервопривід.

Удосконалена сортувальна машина відрізняється від інших сортувальних машин тим, що запропонована модель враховує вагу продукту та реєструє кількість одиниць кожного класу. Її робота забезпечується зчитуванням сенсора, який відповідатиме за передачу величини виявленої сили мікроконтролеру, лише якщо ємнісний сенсор, що слугує як шлюз, відповідає умовам, встановленим у програмуванні. Це призведе до того, що якщо виміряне значення є правильним, ковш буде звільнений і через вагу картоплі ковш нахилиться у відповідний приймальний бункер, а також буде надіслано імпульс до дисплея лічильника для відображення одиниць, що належать кожному класу.

У третьому розділі запропоновано систему контролю, яка була розроблена для сортувального обладнання доповнити модулем штучного зору для визначення за допомогою алгоритмів розміру картоплі та кольору. Додаткові датчики будуть надавати інформацію сортувальному обладнанню, таким чином вони слугують як зв'язок між удосконаленою машиною та середовищем для прийняття рішень. Така система буде здійснювати розпізнавання зображень задля виявлення еталонних зображень сировини та прийняття рішень на основі виробничих даних.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Осокіна Н.М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва: підручник / Н.М. Осокіна, Г.С. Гайдай. Умань, 2005. 614 с.
2. Cleaning, selection, sorting, grading and packaging. URL: <https://egyankosh.ac.in/bitstream/123456789/11914/1/Unit-6.pdf>.
3. Cleaning and grading. URL: <https://egyankosh.ac.in/bitstream/123456789/12073/1/Unit-3.pdf>.
4. Advances in fruit and vegetable graders. URL: <https://justagriculture.in/files/newsletter/2024/april/02.%20Advances%20in%20Fruit%20and%20Vegetable%20Graders.pdf>.
5. Пузік Л.М. Технологія зберігання та переробки картоплі, овочів і фруктів / Л.М. Пузік, М.М. Довгаль. Харк. нац. аграр. ун-т ім. В.В. Докучаєва. Харків, 2007. 198 с.
6. Що слід знати про сортування плодовоовочевого сировини? Обладнання, що використовується, особливості технології. Режим доступу: <https://www.novtech.com.ua/chto-sleduet-znat-o-sortirovke-plodoovoshnogo-syrya-ispolzuemoe-oborudovanie-osobennosti-tehnologii>.
7. Оптичне сортування: як досягти максимальної вартості зібраного врожаю. Режим доступу: <https://agri-gator.com.ua/2021/04/07/optychnе-sortuvannia-iak-dosiahty-maksymalnoi-vartosti-zibranoho-vrozhaiu/>.
8. Post-harvest and processing of fruits, vegetables, spices and plantation crop products. URL: <http://acl.digimat.in/npTEL/courses/video/126105023/lec7.pdf>.
9. Design and development of weight based material sorting and feeding system. URL: <https://acadpubl.eu/hub/2018-119-12/articles/7/1752.pdf>.
10. Technological development in the grading of fruits and vegetables. URL: https://www.researchgate.net/publication/370595050_Technological_development_in_the_grading_of_fruits_and_vegetables.
11. Машина для сортування та калібрування овочів та фруктів STvega Sorting H3000/5000. Режим доступу: <https://stvega.net/product/mashyna-stvega-sorting-3000-kalibruvannya-ta-sortuvannya-ovochiv-ta-fruktiv/>.
12. Обладнання для переробки фруктів та овочів. Режим доступу: <https://imeks.net/nasha-produkciya-40/mashina-dlya-sortuvannya-fruktiv-ta-ovochiv-ai-taiho/>.
13. Сортування. Режим доступу: <https://www.novtech.com.ua/oborudovanie>.
14. Design and development of an automated sorting and orienting machine for vials. URL: <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/123764/1139333227-MIT.pdf?sequence=1/>
15. Sensor-based sorting. URL: https://www.nilskroell.com/publication/chen_2023_sbsbookchapter/Chen_2023_SBSBookChapter.pdf.
16. Design, manufacturing and performance evaluation of potato grading machine. URL: <http://ir.haramaya.edu.et/hru/bitstream/handle/123456789/674/Dereje%20Alemu%20Anawte.pdf?sequence=1/>

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

17. Черевко О. І., Поперечний А. М. Процеси і апарати харчових виробництв. Х.: Світ Книг, 2015. 496 с.
18. Процеси і апарати харчових виробництв / За ред. І.Ф. Малєжика. К.: НУХТ, 2003. 400 с.
19. Diseño y simulación de una máquina clasificadora y contadora de tomates de árbol. URL: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21431/1/UPS-CT009419.pdf>.
20. Design of extension hoppers for gravimetric feeders. URL: <https://www.processingmagazine.com/material-handling-dry-wet/bins-hoppers/article/53076854/design-of-extension-hoppers-for-gravimetric-feeders>.
21. Sensor capacitivo: detección de líquidos y no metales. URL: <https://circuitoelectrico.com/esquemas-electricos-basicos/sensores/sensor-capacitivo/>.
22. Використання комп'ютерного зору для візуальної перевірки якості груш. Режим доступу: https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2023/mar/29945/stattyailchukyu_0.pdf.
23. Комп'ютерний зір в контролі якості: як нові технології підвищують ефективність виробництва. Режим доступу: <https://salesbox.ua/blog/komp-yuternyi-zir-v-kontroli-yakosti-yak-novi-tehnolohii-pidvyshchuyut-efektyvnist-vyrobnytstva/>.
24. What is a servo motor: definition, origins, components, types & applications. URL: <https://www.a-m-c.com/servomotor/>.
25. Prototipo para la detección y clasificación de productos alimenticios mediante visión artificial en base al color. URL: <file:///C:/Users/admin/Downloads/revistaister+PDF.pdf>.
26. Цвіркун Л.О. Автоматизоване управління процесом сортування картоплі із використанням системи машинного зору на основі аналізу характеристик механічного руху сировини / Л.О. Цвіркун, О.В. Омельченко, С.Л. Цвіркун, Ю.С. Шкільна, А.С. Шилін // Обладнання та технології харчових виробництв: зб. наук. праць. Кривий Ріг : ДонНУЕТ. №1(46). 2023. С. 53–60.
27. Diseño y simulación de una máquina clasificadora de patatas para la semillera miranda de la ciudad de san pedro de pelileo. URL: <https://repositorio.utc.edu.ec/items/9e8ac365-cd85-4980-b282-a48188880d9a/full>.
28. Види та характеристики електродвигунів. Режим доступу: <https://provent.ua/ua/statti/vidi-ta-kharakteristiki-elektrodvigunv/>.
29. Tri automatique des pommes de terre par techniques d'apprentissage automatique. URL: <https://bucket.theses-algerie.com/files/repositories-dz/8675677066617203.pdf>.