

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми
«Обладнання переробної і харчової
промисловості»
Цвіркун Л.О.
« _____ » _____ 2024 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
за освітньою програмою «Обладнання переробної і харчової промисловості»

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

Виконав:
здобувач вищої освіти Загородній Олександр Сергійович
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник: доцент, к.п.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
2024

5. Висновки.

6. Список використаних джерел.

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

Засоби транспортування продуктів харчування.

Традиційне та інноваційне обладнання для сортування картоплі.

Схеми руху об'єкта по поверхні робочого органу вібротранспортера.

Узагальнена схема руху овочевої сировини.

Розташування картоплі між циркуляційними роликami сортуючої поверхні.

Система автоматизованого управління процесом сортування картоплі.

6. Дата видачі завдання «23» листопада 2023 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	31.01.2024-15.02.2024
2	Аналіз обладнання для сортування картоплі	16.12.2024-10.03.2024
3	Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі	11.03.2024-15.04.2024
4	Аналіз результатів досліджень	16.04.2024-30.04.2024
5	Висновки по роботі	01.05.2024-12.05.2024
6	Оформлення роботи і подання до захисту	16.05.2024-05.06.2024

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Загородній О.С.

(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 – 42 сторінки. Робота містить 17 рисунків. Список використаних джерел складається з 16 найменувань.

Об'єкт роботи – циркуляційний роликовий сортувальник.

Предмет роботи – процес сортування картоплі із застосуванням механічних та електронних методів.

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

У роботі зазначено, що картопля є однією з найважливіших культур у світі. Якість картоплі важлива не лише для харчової та переробної промисловості у вигляді картоплі фрі, чіпсів або сушеної картоплі, а й для фармацевтичної промисловості для виробництва лікарських препаратів і біологічно активних сполук для травного тракту людини.

На основі аналізу, було зазначено, що сортування – процес, який забезпечує відповідність продукції певним вимогам до якості, задля підвищення однорідності та комерційної цінності продукції. На підприємствах найчастіше використовуються механічні сортувальники для класифікації за розміром, довжиною, шириною або товщиною, такі як ситові сортувальники, циркуляційна сітка, циркуляційні ролики, циркуляційний ролик із вібрацією, барабанні сортувальники, які використовуються рідше через можливе заподіяння пошкоджень сировині.

Запропоновано узагальнену схему руху овочевої сировини на сортуючому пристрої. Зазначено, що залежно від форми та положення сировини на сортуючій поверхні картопля може займати стійке, нестійке або хаотичне положення. Вивести картоплю з такого положення можна за рахунок вібрації, що може створити додатковий момент і сприяти спрямованому орієнтуванню картоплі щодо сортуючої поверхні. Тому пропонується для інтенсифікації процесу сортування картоплі використовувати циркуляційний роликовий сортувальник із застосуванням вібрації.

Вібраційний вплив на сировину створює момент сил щодо центру картоплі, що призводить до його спрямованого повороту та орієнтуванню щодо отворів між роликовою поверхнею і зниженню сили внутрішнього тертя між картоплею та робочими органами (роликами). При цьому амплітуда і частота вібрації не повинні призвести до відриву та хаотичного перекидання сировини у поперечному напрямку. Тобто для прискорення процесу орієнтації картоплі необхідно його обмежений поворот при мінімальному зміщенні центру мас сировини. Спрямований поворот довгою віссю еліпсоїда вздовж роликів повинен прискорити процес сортування, в даному випадку за розміром сировини при безвідривному переміщенні, що сприятиме підвищенню точності сортування. Запропоновано систему автоматизованого управління процесом сортування картоплі за виявленням дефектів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: сортування, механічні методи, електронні методи, автоматизація, циркуляційний роликовий сортувальник, вібрація, картопля.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СОРТУВАННЯ КАРТОПЛІ	7
1.1 Засоби транспортування овочевої сировини на харчових виробництвах	7
1.2 Сортування картоплі за розмірно-масовими характеристиками	12
1.3 Традиційне та інноваційне обладнання для сортування картоплі	14
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СОРТУВАННЯ КАРТОПЛІ	20
2.1 Узагальнена схема руху овочевої сировини із застосуванням вібраційних впливів	20
2.2 Удосконалення механічних методів у машинах для неруйнівної оцінки якості картоплі	25
2.3 Застосування системи машинного зору в процесі сортування	28
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	33
3.1 Якісна оцінка картоплі з точки зору врахування харчової цінності	33
3.2 Система автоматизованого управління процесом сортування картоплі	34
ВИСНОВКИ	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	40
ДОДАТКИ	41

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Загородній</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>				5	1	
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>						
					Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі		

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що картопля є однією з найважливіших культур у світі. Якість картоплі важлива не лише для харчової та переробної промисловості у вигляді картоплі фрі, чіпсів або сушеної картоплі. Крохмаль використовується як сировина для виробництва знежирених м'ясних продуктів або пластмас на біологічній основі, яка необхідна у виробництві тари для упаковки, сміттєвих пакетів. Картопля також використовується у фармацевтичній промисловості для виробництва лікарських препаратів і біологічно активних сполук для травного тракту людини.

Мета та задачі дослідження. Метою бакалаврської роботи є удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі.

Практична та наукова новизна. На основі аналізу, було зазначено, що сортування – процес, який забезпечує відповідність продукції певним вимогам до якості, задля підвищення однорідності та комерційної цінності продукції. На підприємствах найчастіше використовуються механічні сортувальники для класифікації за розміром, довжиною, шириною або товщиною, такі як ситові сортувальники, циркуляційна сітка, циркуляційні ролики, циркуляційний ролик із вібрацією, барабанні сортувальники, які використовуються рідше через можливе заподіяння пошкоджень сировині.

Запропоновано узагальнену схему руху овочевої сировини на сортуючому пристрої. Зазначено, що залежно від форми та положення сировини на сортуючій поверхні картопля може займати стійке, нестійке або хаотичне положення. Вивести картоплю з такого положення можна за рахунок вібрації, що може створити додатковий момент і сприяти спрямованому орієнтуванню картоплі щодо сортуючої поверхні. Тому пропонується для інтенсифікації процесу сортування картоплі використовувати циркуляційний ролик з вібрацією та застосуванням вібрації.

Вібраційний вплив на сировину створює момент сил щодо центру картоплі, що призводить до його спрямованого повороту та орієнтуванню щодо отворів між роликовою поверхнею і зниженню сили внутрішнього тертя між картоплею та робочими органами (роликами). При цьому амплітуда і частота вібрації не повинні призвести до відриву та хаотичного перекидання сировини у поперечному напрямку. Тобто для прискорення процесу орієнтації картоплі необхідно його обмежений поворот при мінімальному зміщенні центру мас сировини. Спрямований поворот довгою віссю еліпсоїда вздовж роликів повинен прискорити процес сортування, в даному випадку за розміром сировини при безвідривному переміщенні, що сприятиме підвищенню точності сортування. Запропоновано систему автоматизованого управління процесом сортування картоплі за виявленням дефектів.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Загородній</i>				Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						6	1
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>							

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СОРТУВАННЯ КАРТОПЛІ

1.1 Засоби транспортування овочевої сировини на харчових виробництвах

Сортування картоплі передбачає видалення небажаної або невідповідної форми, грудок, каменів та інших сторонніх тіл. Автоматизовані системи сортування зазвичай використовуються на складах і розподільчих центрах для автоматизації процесу переміщення продукції з однієї зони в іншу. В цих системах використовують датчики, щоб можливо було визначити, коли продукт розміщується на конвеєрній стрічці або знімається з неї. Після цього система перемістить продукт у потрібне місце. Це допомагає прискорити обробку продукту, а також допомагає підвищити точність і послідовність. Після цього система підкаже куди відправити товар [2]. Вибір правильного сортувальника може визначатися фізичними характеристиками предметів на конвеєрі, обмеженнями простору та швидкістю пропускної здатності. Сортуючий конвеєр м'яко штовхає продукти вниз по конвеєрній лінії, забезпечуючи інтелектуальні системні рішення повсякденних проблем. Ці автоматизовані транспортні системи найкраще підходять для операцій з високою пропускною здатністю, які вимагають доставки продукції до багатьох конкретних пунктів призначення.

Існує багато конструктивних типів конвеєрів, які можна класифікувати за різними ознаками [16]:

- за напрямком переміщення вантажу вібраційні конвеєри поділяють на горизонтальні, похилі та вертикальні;
- за способом кріплення вантажонесучого елемента розрізняють віброконвеєри на вільних пружних підвісках-амортизаторах і на похилих напрямних стійках. У опорної конструкції похилі пружні стійки служать не лише опорами вантажонесучого елемента, але й обумовлюють напрям його коливань (жолоб отримує спрямовані коливання);
- за кількістю одночасно коливальних мас у коливальній системі конвеєра розрізняють конвеєри одномасні, двомасні та багатомасні;
- за характером динамічної врівноваженості віброконвеєри поділяють на врівноважені та неуврівноважені;
- за кількістю вантажонесучих елементів розрізняють віброконвеєри одноелементні (тобто одножолобні або однотрубні) та двоелементні (двожолобні, двотрубні). Одноелементні конвеєри можуть мати одинарний або здвоєний вантажонесучий елемент; в останньому випадку вантажонесучі елементи, наприклад дві паралельні труби, жорстко з'єднані одна з одною і

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Загородній				Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Цвіркун						7	13
Н. Контр.	Омельченко					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
Затверд.	Цвіркун							

коливаються як єдине ціле. Таку конструкцію застосовують, наприклад, для одночасного транспортування різних вантажів;

– за виробничим призначенням бувають вібраційні конвеєри, живильники яких призначені для транспортування вантажу; конвеєри для одночасного транспортування та розподілу частинок вантажу по їх крупності для сортування.

– за характеристикою та налаштуванням пружних опорних елементів (коливальною системою) розрізняють вібраційні конвеєри з резонансним, дорезонансним та зарезонансним налаштуванням пружної системи. У більшості конвеєрів використовують привід, що створює прямолінійну примушуючу силу, що змінюється за гармонійним законом. Найбільш простими в конструктивному відношенні та надійними в експлуатації є однопривідні, одномасні конвеєри, які забезпечені віброзбуджувачами із вбудованими електродвигунами.

Одномасні вібраційні конвеєри працюють у зарезонансному режимі. В цьому випадку внаслідок малої жорсткості опорних пружин є можливість значно знизити динамічні навантаження, що передаються на опорні конструкції. Довжина однопривідних конвеєрів, як правило, не перевищує 6 м. Довжина конвеєрів опорної конструкції дещо вища та в середньому становить 10-14 м; в окремих випадках забезпечується опорною конструкцією довжиною до 35 м [10, 12, 16]. Широко використовують конвеєри з відцентровими віброприводами спрямованої дії. Такі конвеєри складаються з робочого органу, відцентрового віброзбуджувача, робочої пружної системи та допоміжних або віброізолюючих пружин (рис. 1.1). У двомасних конвеєрах внаслідок резонансного налаштування та динамічної врівноваженості коливальних частин значно збільшується довжина вантажонесучого органу на один привід. Ще більш значне збільшення довжини конвеєра може бути забезпечено при встановленні на нього кількох віброзбуджувачів, як у багатопривідній машини.

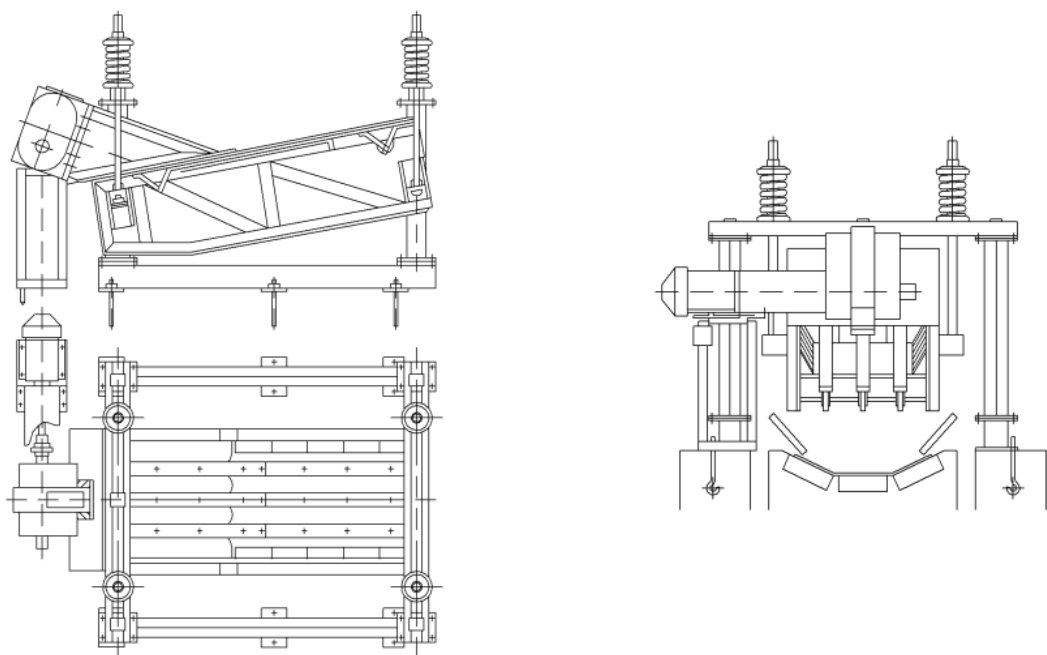


Рисунок 1.1 – Вібраційний конвеєр з центробіжним віброприводом

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Дуже високі конструктивно-технологічні показники мають вібраційні конвеєри із реактивними масами. Конвеєри цього типу з відцентровими вібробуджувачами виконують у двох модифікаціях. Принцип дії конвеєра першої модифікації полягає у наступному: вантажонесучому органу, що вільно підвішений на м'яких гвинтових пружинах за допомогою дебалансного вібробуджувача із вбудованими електродвигунами здійснюються поздовжні коливання. При цьому, з'єднаним з ним за допомогою м'яких ресор реактивним масам також повідомляються коливання в горизонтальній площині, але спрямовані в протилежний бік (зі зсувом фази 180°) [10, 12, 16]. Конструкція влаштована так, що ресора з'єднується з реактивною масою не безпосередньо, а через гумометалевий пружний елемент, що допускає її відносне переміщення вздовж ресори. Жорсткість гумометалевого пружного елемента підбирають таким чином, щоб власна частота системи була близька до частоти вимушених коливань.

Так як ресора розташована не перпендикулярно до напрямку коливань вантажонесучого органу, а під меншим кутом, виникає складова, яка збуджує коливання реактивної маси вздовж ресори. В свою чергу, обурення, які створені на ресорі, зумовлюють виникнення поперечних коливань вантажонесучого органу. Результуючі коливання вантажонесучого органу складаються з його поперечних та поздовжніх коливань [14, 16]. Конвеєри з реактивними масами виконують як лотковими, так і трубчастими конструкціями. На рисунку 1.2 а наведено конвеєр, що має вантажонесучий орган 1, виконаний у вигляді жолоба, до якого знизу за допомогою пластинчастих ресор 2 прикріплені реактивні маси 3. Вантажонесучий орган через пружинні віброізолятори 4 встановлюють на несучі конструкції. Привід конвеєра здійснюється відцентровим вібробудувачем 5, який встановлений наприкінці конвеєра. Реактивна маса з'єднана з опорними ресорами за допомогою гумових пружних елементів, працюючих на зсув і допускаючих її переміщення вздовж ресори.

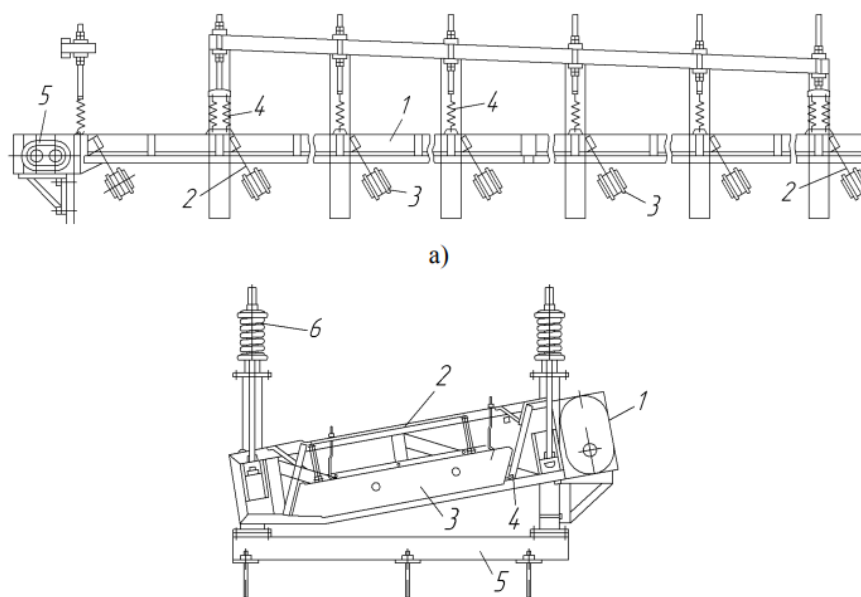


Рисунок 1.2 – Конвеєри з реактивними частинами:
а – з пружним кріпленням; б – з жорстким кріпленням

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Вібраційні конвеєри з жорстким кріпленням складаються з відцентрового віброзбудника 1, укріпленого на вантажонесучому органі 2, реактивні частини 3 жорстко прикріплені до ресор 4. Конвеєр підвішений на опорній рамі 5 за допомогою гвинтових віброізолюючих пружин 6. У процесі роботи реактивна маса залишається практично нерухомою, а щодо неї на ресорах здійснює коливання вантажонесучий орган [10, 12, 16]. Ексцентрикові конвеєри виконують в основному врівноважені конструкції, рідше одномасні неврівноважені. Неврівноважені конвеєри з ексцентриковим віброприводом є найбільш простими в конструктивному відношенні (рис. 1.3 а). Конвеєр складається з приводної та лінійних секцій, а привідна секція є посиленою лінійною секцією з ексцентриковим приводним механізмом. На основній рамі 1 змонтовані електродвигун 4, редуктор 3 та ексцентриковий барабан 2.

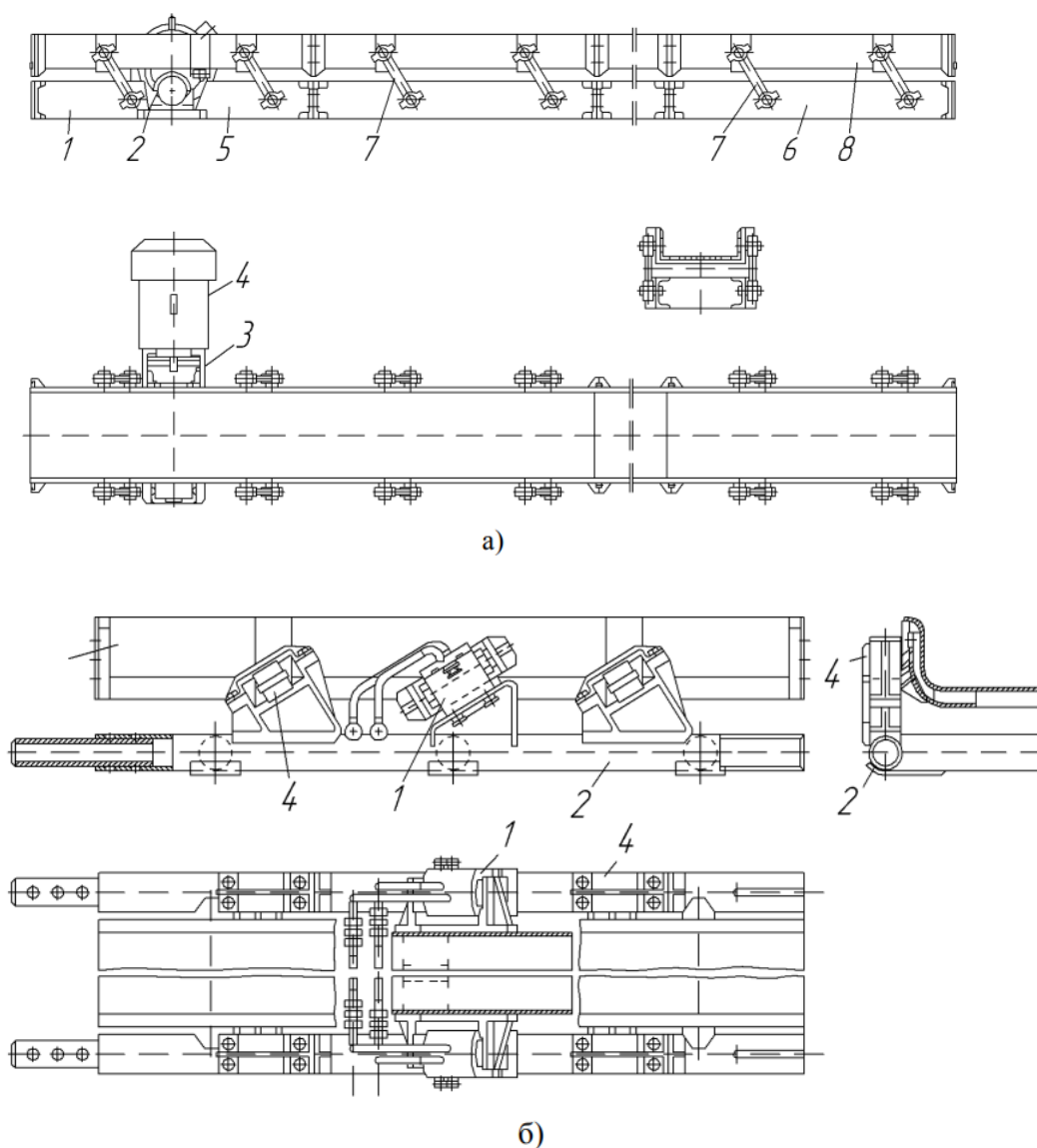


Рисунок 1.3 – Неврівноважені вібраційні конвеєри з ексцентриковим та гідравлічним віброприводом:
 а – з шатунною пружною системою; б – з гумометалевими пружними елементами

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Барабан встановлений на ексцентриковому валу, який змонтований з одного боку в корпусі редуктора, а з іншого – у спеціальному корпусі, укріпленому на рамі 5. На барабані закріплені два шатуни, що з'єднуються через гумові пружні втулки з жолобом, який прикріплений до рами чотирма похило розташованими коромислами [9, 16]. Лінійна секція складається з рами 6 та жолоба 8, встановленого на ній на похило розташованих коромислах 7. Зарезонансний режим роботи та застосування пружної системи у вигляді важелів з гумовими втулками забезпечують у процесі експлуатації стійку роботу при змінних навантаженнях, незначну передачу динамічних сил на опорну раму та виключають розгойдування конструкції при проходженні через резонанс.

Інша конструкція неврівноваженого віброконвеєра з гідравлічним приводом представлена на рис. 1.3, б. У конвеєрі застосована гумова пружна система, що працює на зсув та стиск; вантажонесучий орган виконаний лотковою конструкцією з підсилювальними ребрами. Конвеєр складається з гідравлічних віброзбудників 1, встановлених на трубчастій рамі 2. Вантажонесучий орган 3 лоткової конструкції встановлений на рамі за допомогою гумових пружних елементів 4, що працюють на зсув [10, 12, 16]. Врівноважений конвеєр з ексцентриковим приводом складається з двох вантажонесучих органів, з'єднаних між собою пластинчастими ресорами, встановленими попарно з кожної сторони вантажонесучого органу. Між ресорами кожної четвертої пружної підвіски встановлено по коромислу з трьома гумовими шарнірами. За допомогою крайніх шарнірів шатун прикріплений до верхнього та нижнього вантажонесучих органів. Середній шарнір служить для приєднання підтримуючих стійок опорної рами. Привід розташований у середній частині конвеєра. Ексцентриковий вал прикріплений на нижньому вантажонесучому органі, а шатуни приєднані до верхнього. Двигун розташований над вантажонесучими органами на спеціальному майданчику. Знаходять також застосування ексцентрикові та гідравлічні вібраційні конвеєри з поздовжнім врівноважуванням мас, що вагаються

Вібраційні конвеєри з електромагнітним віброприводом поділяють за типом опорної системи на підвісні та опорні. Кожна секція жолобчастого або трубчастого підвісного конвеєра конструкції підтримується двома-чотирма пластинчастими або частіше гвинтовими пружинами. Максимальна довжина секції підвісного конвеєра жолобчастого типу становить 2,5 м, трубчастого 3 м.

Якщо потрібно здійснювати транспортування на більшу відстань, то послідовно один з одним стикують необхідне число секцій. Для забезпечення герметичності конвеєра секції з'єднують еластичними муфтами. Для збільшення довжини окремих секцій конвеєрів відкритого типу їх жолоб роблять коробчастої форми для надання більшої жорсткості, а також наварюють поперечні ребра жорсткості [16]. Конвеєри опорної конструкції встановлюють за допомогою пластинчастих або гвинтових пружин на опорній рамі або безпосередньо на несучій конструкції. Такі конвеєри мають більшу довжину окремої секції. Максимальна довжина секції жолобчастих конвеєрів становить приблизно 5 м, довжина трубчастих конвеєрів 6 м. Окремі секції конвеєрів можна встановлювати також на гумових віброізоляторах.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Сортування картоплі за розмірно-масовими характеристиками

На ефективність процесу сортування картоплі у значній мірі впливають розмірно-масові характеристики картоплі, умови роботи та особливості конструкції робочих органів та сортуючих пристроїв у цілому. Сортування картоплі проводиться за розмірною ознакою на робочих органах з різними формами отворів, що калібрують. Процес сортування картоплі на механічних пристроях характеризується кількома лінійними розмірами сировини: довжиною – l , шириною – b , товщиною – c .

Оскільки сортування картоплі відбувається за розмірною ознакою, то при розробці робочих органів і конструкції сортування необхідно враховувати залежність маси картоплі від розмірів: довжини – l , ширини – b та товщини – c . Ці статистичні величини перебувають у тісній залежності між собою і показують, що маса сировини і кожен з її розмірів, варіюються біля певного середнього значення. Це дозволяє визначити масові межі кожної фракції та сортувати картоплю за розмірною ознакою.

Зміна товщини картоплі відбивається на зміні значення маси у великих межах порівняно з шириною та довжиною бульби, тобто є більш чутливим параметром до співвідношення маса – розмір. Сортування за товщиною реалізується в щільних калібруючих отворах, які дозволяють спрямовано орієнтувати сировину в поздовжньому напрямку [10-14]. Тому сортування засноване на розділенні картоплі за товщиною можна розглядати як перспективним, що дає передумови для розробки універсальних віброротаційних сортуючих поверхонь, які дозволять сепарувати домішки та сортувати сировину, мати менші межі регулювань отворів, що калібрують, а також розміри. Це дозволить сортувати бульби різних фракцій у щільні отвори при мінімальній зміні розмірів отворів для сортування. В результаті може бути підвищена продуктивність, зменшені габарити сортуючого пристрою, його матеріалоємність і спрощено регулювання. Враховуючи цю обставину, можна прийняти як пріоритетний розмір для поділу бульб – товщину c .

Практичну реалізацію у механічних сортуваннях знайшли наступні розмірні ознаки бульби – ширина, товщина та S – розмір, що відображено у конструкції робочих поверхонь у вигляді решіт, сіток, поздовжніх ременів, роликів різної конфігурації. Кожному типу робочої поверхні відповідає певна форма і розміри калібруючих отворів: для поділу картоплі по товщині – довгасті і щільні; по ширині – круглі, по S – розміру – квадратні зокрема з регульованим розміром осередку тощо.

Довжина картоплі, як ознака для поділу, практично не використовується. Важливим показником, що характеризує якість роботи сортуючих пристроїв є точність поділу сировини. При поділі за розмірними ознаками якість роботи сортуючої поверхні визначається теоретично можливою точністю сортування, яка залежить від сорту картоплі, розмірної ознаки для поділу, фракційного складу, а також конструктивних особливостей робочих органів. Теоретично можливу точність сортування конкретного сорту картоплі, за прийнятою

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розмірною ознакою, можна визначити за розмірно-масовими варіаційними діаграмами або кореляційними таблицями.

У більшості механічних пристроїв при сортуванні за розмірними ознаками, як правило, теоретичний коефіцієнт точності сортування вище, ніж дійсний. Це пов'язано з тим, що для деякої частини картоплі не забезпечується необхідна орієнтація над калібруючими отворами в процесі руху по сортуючій поверхні, а також нерівномірною порційною подачею картоплі на робочу поверхню. Порційна подача є причиною нерівномірного завантаження сортуючої поверхні за часом і кількістю сировини. Однією з причин є використання лопатевих завантажувальних конвеєрів, що здійснюють дозовану подачу бульб, а також можливість зависання, звантажування та обвалення бульб при подачі безпосередньо з приймального бункера.

Здійснити рівномірну подачу картоплі на ділянку сортування можна при безпосередньому переході сировини з сепаруючої поверхні на сортуючу. Це може забезпечити комбіновану робочу поверхню, що складається з послідовно розташованих сепаруючої та сортуючої ділянок, виконаних в одному пристрої. Комбінована поверхня, що складається з сепаруючої та сортуючої ділянок, може складатися з робочих органів різної конструкції чи однакової [10-14]. При цьому параметри та режими функціонування комбінованої поверхні повинні бути узгоджені для забезпечення рівномірного переходу сировини, виключення звантажування та защемлення картоплі. Враховуючи цю обставину, використання в конструкції комбінованої поверхні однакових за конструкцією робочих органів для сепарації домішок та сортування сировини може бути більш перспективним напрямом.

Наступним важливим показником роботи пристроїв для сортування є продуктивність. Підвищити її можливо за рахунок збільшення подачі, ширини та довжини робочої поверхні або шляхом збільшення площі живого перерізу отворів, що калібрують. При значному збільшенні подачі можуть переміщатися по сортуючій поверхні більш ніж в один шар. При цьому багато калібруючих отворів можуть бути перекриті і можливість проходження через них картоплі верхнього шару знижується. Це скорочує число сировини, що контактує з калібруючими отворами сортуючої поверхні і як наслідок знижується точність поділу сировини.

Продуктивність сортуючого пристрою безпосередньо залежить від типу та конструкції робочих органів. Використання у конструкції сортуючих пристроїв робочих органів активної дії, наприклад ротаційних, підвищує продуктивність порівняно з іншими типами робочих органів. Велике значення, в даному випадку, для роликів поверхні пояснюються більш активною дією роликів на прохід сировини в калібруючі отвори. Тому сортуючі поверхні активної дії, які утворені робочими органами, що обертаються – ротаційні, мають більшу інтенсивність сортування в порівнянні з іншими [3, 5, 7]. Підвищенню продуктивності може сприяти також інтенсивне розосередження картоплі та зменшення часу перебування її над отвором, що калібрує, тобто час, протягом якого відбудеться порівняння розмірів отвору, що калібрує, з розміром сировини, по якому відбувається сортування. Для забезпечення цієї умови необхідно, щоб картопля була орієнтована відповідного розміру

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

(ширина, товщина, S – розмір) над калібруючим отвором. Орієнтування бульби може бути реалізовано за двома основними варіантами. Перший характеризується інтенсивним переміщенням картоплі з відривом від робочої поверхні та носить імовірнісний характер. Другий – шляхом спрямованого орієнтування сировини робочими органами або спеціальними механізмами при мінімальному відносному переміщенні. Це дозволяє збільшити продуктивність сортуючих пристроїв та зменшити пошкодження картоплі при сортуванні за рахунок скорочення часу взаємодії сировини з робочими органами до проходження їх в отвори, що калібрують.

Отже, чим більше сировини отримає спрямоване орієнтування за більш короткий проміжок часу і пройде у отвори, що калібрують, або перейде на наступну ділянку, тим вище буде продуктивність сортуючої поверхні. Тому, застосування в механізмах, що сортують, для спрямованого орієнтування, а також робочих органів, конструкція яких сприяє орієнтуванню картоплі, може підвищити продуктивність і є перспективним напрямом розвитку конструкцій сортуючих пристроїв.

Особливу увагу при сортуванні картоплі приділяється зниженню рівня механічних пошкоджень. Збільшенню пошкоджень картоплі сприяють також значні відносні швидкості та зіткнення сировини і елементів сортуючої поверхні, які зумовлені режимом функціонування. Для зниження контактних пошкоджень при взаємодії з робочими органами сортувань і між собою сприяє зменшення кількості механізмів і перепадів між ними, збільшення радіусу кривизни органів, застосування захисних покриттів з полімерних матеріалів, гуми спеціальних марок і навіть розробка робочих органів нових форм. З цієї позиції комбінування сепаруючих і сортуючих робочих поверхонь в одному пристрої виключає додаткові механізми та забезпечує безпосередній перехід картоплі з ділянки на ділянку, а також розробка нових форм робочих органів є перспективним напрямом.

1.3 Традиційне та інноваційне обладнання для сортування картоплі

Під час збирання врожаю більшість сировини, такої як зерно, фрукти та овочі, бобові, горіхи тощо, мають різні фізичні характеристики та містять різні забруднювачі та інші неїстівні частини. Отже, важливо виконувати різні одиничні операції, такі як очищення, знезараження, сортування, перш ніж ці товари будуть відправлені на подальшу переробку. Для отримання якісної кінцевої продукції необхідно на початкових етапах відокремити її від неякісної сировини. Сортування проводяться для підвищення однорідності та комерційної цінності продукції. Для сортування за S – розміром використовуються сігчасті робочі органи. Вони утворені нескінченним сігчастим полотном з квадратними отворами і мають фіксований розмір калібруючих осередків.

Сортувальник сито складається з рами, набору сортувальних сит, завантажувального бункера, пакувальної машини, системи приводу. Опціонально він може оснащуватися похилим транспортером подачі або сортувальним столом. Сортувальні решета встановлюються на раму під

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

невеликим кутом 3-5° і приводяться в зворотно-поступальний рух за допомогою електродвигуна з ремінною передачею і шатунним механізмом або за допомогою струшувачів або вібробуджувачів [11]. Сита розташовуються шарами, один над одним, розташованими відповідно до розміру вічок, від сит з осередками найбільшого діаметра, розміщених в самому верху сортера, до сит з осередками найменшого діаметра, розташованими в самому низу апарату. Кожне сито має окремий жолоб. Під впливом зворотно-поступального руху картопля рухається по верхньому ситі до жолоба. Бульби діаметром, які менші за розмір осередків сита, перелітають через розміщене знизу сито і зупиняються на ситі, розмір вічок якого більше діаметра бульби. Сортувальники дозволяють фракціонувати на 3–5 груп (рис. 1.4).

Для посилення процесу сортування використовуються струшувачі із змінною амплітудою і частотою коливань. На поверхні сітки картопля ділиться на дві частини, щоб відокремити інші частини, необхідно замінити полотно, зміниться темп з переходом на інші сорти картоплі в межах 0,1...0,5 м/с, а також частота і амплітуда струшувача [5]. Ефективність сітчастої поверхні обмежена необхідністю подачі картоплі в один шар, так як сировина і сітка рухаються разом, їх взаємне переміщення обмежене – тільки при струшуванні. Необхідність заміни сітківки при переході на інші сорти або зміна кордонів фракцій збільшує матеріаломісткість сортувань та час, що витрачається на переналаштування.

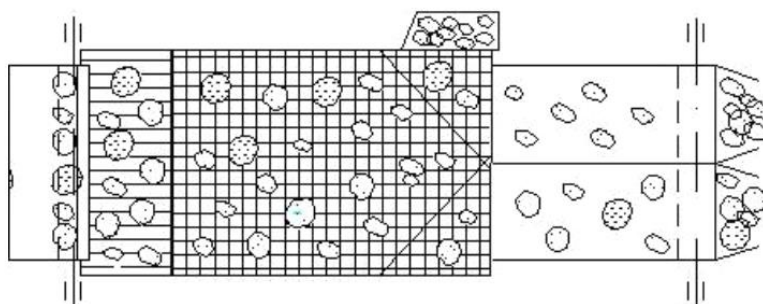


Рисунок 1.4 – Сортування із сітчастою робочою поверхнею

Сортування за S – розміром на сітчастому полотні передбачає взаємодію картоплі одночасно з чотирма гранями отвору, що калібрує, на відміну від сортування за товщиною, де достатньо двох граней. Отже, під час струшування сітчастого полотна і проходження сировини в калібруючий отвір необхідно його точне розташування над отвором, що обмежує продуктивність і збільшується ймовірність пошкодження сировини. Можливе також заклинювання картоплі в отворі, що калібрує, і внаслідок пошкоджень та переміщення на іншу ділянку знижує точність сортування.

Аналізуючи розглянуті вище технологічні процеси пристроїв, що сортують, можна зробити висновок, що практично у всіх випадках поділ на фракції заснований на ймовірнісному процесі. Інтенсивність процесу сортування можна підвищити за рахунок спрямованого орієнтування картоплі щодо калібруючих отворів. При цьому конструкція робочих органів та режими роботи сортувань визначають процес орієнтування та час знаходження сировини на сортуючій поверхні. Підвищити точність і скоротити час

сортування можливо при більш швидкому збігу розташування розміру картоплі по якому відбувається сортування з площиною отвору, що калібрує.

Серед електронних методів, які використовувалися для відстеження та швидкого вимірювання якісних характеристик картоплі, найбільш перспективними виявилися системи візуального і спектрального аналізу, які виявилися надійними та стабільними в роботі. Виявлення зовнішніх і внутрішніх дефектів картоплі стали можливими за допомогою не руйнівних методів. Комерційні електронні системи, що використовуються для сортування картоплі, знаходяться на стадії введення в реалізацію. Для виявлення порожнистої середини в картоплі була розроблена акустична система сортування. Система включає мікрофон, обладнання для цифрової обробки сигналів та обладнання для обробки матеріалів. При ударі сталеву пластину було виявлено, що тверді бульби картоплі видають звуки більшої величини, ніж порожнисті картоплини [6]. Переробка бульб картоплі на всіх етапах виробничого ланцюжка має велике значення, оскільки вона може мати сильний вплив на кінцеву якість продукції, одержуваної з картоплі. Картопля може відрізнитися значною мірою за розміром та формою.

Продукції з гарним зовнішнім виглядом, розміром і однорідною формою завжди віддають перевагу більшість споживачів. Сортування – процес, який забезпечує відповідність продукції певним вимогам до якості. Існує реальна потреба в стандартизації аналізу картоплі, тим більше, що якісна оцінка залежить від приймання або відбраковування поданих партій картоплі. У цьому сенсі автоматизація є бажаною, оскільки вона може забезпечити стабільну якість продукції та обробляти великі обсяги. Повністю автоматизована система вимагає включення в систему машинного зору і автоматики, що складається з відповідного апаратного та програмного забезпечення, як для обробки, так і для оцінки продукції.

Оптичні сортувальні машини для картоплі призначені для сортування картоплі за розміром, формою та якістю в одноетапному процесі. Машина сортує миту картоплю безпосередньо, усуваючи необхідність попереднього сортування та зводячи до мінімуму потребу в ручній праці, забезпечуючи при цьому стабільну якість і високу пропускну здатність [1]. Одночасно можна відсортувати до 16 категорій товарів. Критерії сортування для цих категорій можна миттєво налаштувати відповідно до поточних потреб. Вибір продуктів преміум-класу можна легко відсортувати від сипучих продуктів (рис. 1.5).

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Рисунок 1.5 – Оптична сортувальна машина для картоплі

Кожна окрема картоплина оцінюється в розділі камери. Розширена секція камер оснащена 3 камерами, які фотографують кожну картоплю до 45 разів, щоб отримати точні дані про розмір, форму та якість поверхні (рис. 1.6).

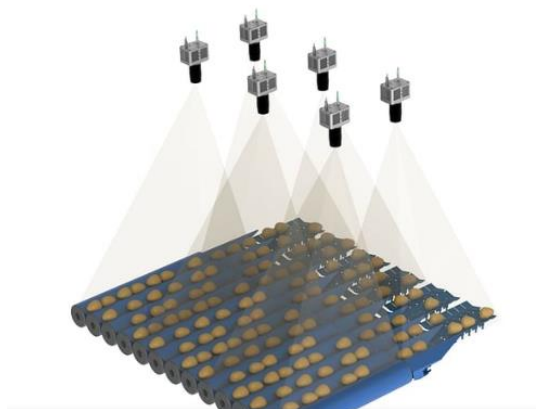


Рисунок 1.6 – Система машинного зору для сортування картоплі

Швидка та надійна машина для сортування харчових продуктів необхідна всім промисловим переробним підприємствам, які готують картоплю. Сортувальник картоплі є вирішальним вузлом контролю якості для досягнення надійності відбору продукції та дотримання вимог до якості продукції. В результаті бурхливого розвитку з'явилися різні типи сортувальних машин для картоплі [3]. Кожна оптична сортувальна машина має свої унікальні характеристики. На рисунку 1.7 представлено оптичний сортувальник SOL-2.

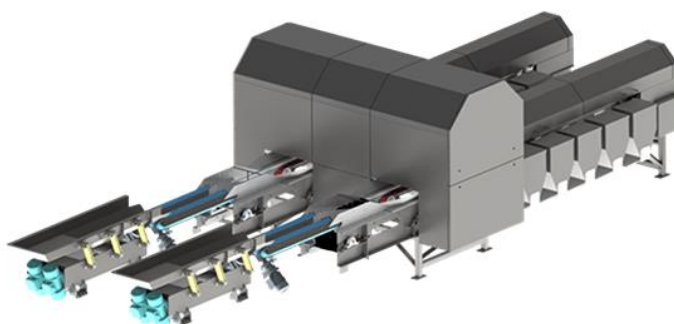


Рисунок 1.7 – Оптичний сортувальник – SOL-2

Оптичний сортувальник сортує картоплю за різними характеристиками, а саме розміром, кольором, кількістю дефектів і розміром дефектів. Спочатку картопля транспортується в сортувальний цех на двох окремих валках. У цьому сортувальному просторі сортувальник картоплі скануватиме продукцію з огляду на якість, характеристики та можливі дефекти. Оптичний сортувальник картоплі здатний завершити сканування на 360 градусів, щоб контролювати всю картоплю. Високошвидкісний оптичний сортувальник досягає цього кілька разів повертаючи кожну картоплину на ролику під камерою. Всі важливі деталі вимірюються для логічного управління, щоб визначити етапи обробки.

Після того, як дані з картоплі зібрані, сортувальник картоплі переходить до сортування продукції за заданими критеріями. Автоматичний сортувальник картоплі використовує «видувні насадки» або «повзунки» для спрямування кожної окремої одиниці продукції. Параметри сортувальника заздалегідь встановлюються на основі раніше отриманої інформації, що складається з таких питань, як якість і конкретні характеристики. Цей спосіб оптичного сортувальника картоплі працює дуже швидко, а також дуже точно.

Сортувальник діаметра картоплі – це сортувальник розміру картоплі, який сортує картоплю відповідно до встановленого діаметра. Ролики поміщені в V-подібний профіль і плавно регулюються до точних розмірів, щоб забезпечити розмір продукту в розвантаженні. Сортер розміру картоплі встановлюється під невеликим кутом, щоб забезпечити постійне транспортування під час фактичного сортування. Агрегати для сортування овочів мають гнучку продуктивність залежно від кількості пластикових роликів, що дозволяє досягти продуктивності до 20 тон/год [3]. Сортувальник діаметра картоплі може виступати в якості сполучної ланки в лінії переробки картоплі, але ми часто встановлюємо його як «автономний» агрегат за своєю функцією (рис. 1.8).

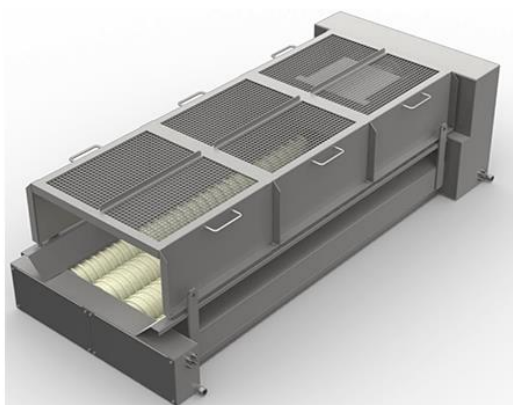


Рисунок 1.8 – Сортувальник діаметра картоплі

Машини для сортування картоплі змушують картоплю циркулювати вперед за допомогою обертання стрічки роликів конвеєра. Регулюючи відстань між роликами можна класифікувати картоплю від малої до великої, з відстанню між кожною секцією можна вільно встановлювати її відповідно до вимог до розміру картоплі (рис. 1.9). Ця сортувальна машина застосовна для відбору свіжої картоплі, яблук з більш м'якою поверхнею і гладкими формами.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18



Рисунок 1.9 – Машина для сортування картоплі за розміром

На основі вищезазначеного можна вважати, що сортування – процес, який забезпечує відповідність продукції певним вимогам до якості. Сортування картоплі передбачає видалення небажаної або невідповідної форми, грудок, каменів та інших сторонніх тіл. Для отримання якісної кінцевої продукції необхідно на початкових етапах відокремити її від неякісної сировини. Сортування проводиться для підвищення однорідності та комерційної цінності продукції.

Основними параметрами сортування картоплі є товщина, ширина і маса сировини. На підприємствах найчастіше використовуються механічні сортувальники для класифікації за розміром, довжиною, шириною або товщиною, такі як ситові сортувальники, встановлені на коромислах зі зворотно-поступальним рухом, циркуляційна сітка, циркуляційні ролики, циркуляційний ролик із вібрацією. Барабанні сортувальники використовуються рідше через заподіяння пошкоджень.

Валкові і ситові машини мають і недоліки. Головний недолік - це зниження якості сортування через забруднення робочих органів, що збільшує кількість втрат при сортуванні і зберіганні. Для отримання якісної конкурентоспроможної продукції необхідно в процесі сортування поєднувати ряд технологічних операцій, таких як поділ матеріалу на класи і фракції за якістю і розмірами, а також виявлення і видалення пошкодженої продукції.

Серед електронних методів, які використовувалися для відстеження та швидкого вимірювання якісних характеристик картоплі, найбільш перспективними виявилися системи візуального і спектрального аналізу, які виявилися надійними та стабільними в роботі. Виявлення зовнішніх і внутрішніх дефектів картоплі стали можливими за допомогою не руйнівних методів.

На ефективність процесу сортування картоплі у значній мірі впливають розмірно-масові характеристики сировини, умови роботи та особливості конструкції робочих органів та сортуючих пристроїв у цілому. Процес сортування картоплі на механічних пристроях характеризується кількома лінійними розмірами сировини: довжиною – l , шириною – b , товщиною – c .

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СОРТУВАННЯ КАРТОПЛІ

2.1 Узагальнена схема руху овочевої сировини із застосуванням вібраційних впливів

У техніці, особливо у машинобудуванні, широко застосовується вібрація. Найявність вібраційної дії призводить у багатьох випадках до того, що різні технологічні процеси з механічною дією відбуваються інакше, ніж у звичайних умовах. До них можна віднести [4, 6, 8]:

- переміщення тіл або сипучого середовища віброуючими поверхнями, які широко використовується у вібраційних транспортуючих та транспортно-технологічних машинах та пристроях;

- зниження під дією вібрацій ефективних елементів технологічних процесів, а іноді і поліпшення істинних (фізичних) явищ на прикладі зниження коефіцієнта сухого тертя між тілами, що взаємодіють. В результаті чого різко зменшується опір тіл щодо зміщення, що викликається постійними або повільно змінюються силами взаємодії;

- розшарування частинок сипучих матеріалів за питомою вагою та крупністю під впливом вібрації. Це явище обумовлено дією сили тяжіння в умовах зниження ефективних коефіцієнтів тертя при вібрації;

- поділ частинок сипучого матеріалу на віброуючих поверхнях по щільності при зниженні коефіцієнта внутрішнього тертя, формі та деяким іншим параметрам (віброросепарація).

У ряді випадків технологічні процеси можуть бути реалізовані лише завдяки використанню вібрації, в інших варіантах – застосування вібрації призводить до значної інтенсифікації процесів та підвищення якісних показників.

Підготовка сировини для зберігання та подальшого використання пов'язана з необхідністю очистити її від домішок та розділити за сортами. У пристроях вібраційний вплив робочого органу на оброблюваний матеріал сприяє:

- рівномірному розподілу його за робочою поверхнею;
- транспортування його вздовж робочого каналу для безперервності технологічного процесу;

- самосортування – занурення у нижні шари (до поверхні решета) частинок менших розмірів та більшої щільності та спливання у верхні шари частинок більших розмірів та меншої щільності;

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Загородній</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>					20	13
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>						

- просіювання – проходження через отвори тіл, що калібрують, з розмірами меншими, ніж розміри отвору;
- роздільного виведення фракцій із робочого простору;
- інтенсифікації та підвищення якісних показників процесу калібрування шляхом спрямованого орієнтування тіл, щодо калібруючих отворів.

Для сучасних харчових виробництв важливо щоб процеси переміщення сировини мали безперервний цикл, що пояснюється безперервністю існуючих технологічних процесів переробки. Принцип віброконвеєра прийнятний у всіх відносинах: економічність, раціональні габарити, простота конструкції, достатня ефективність обладнання. Для вібротранспортування картоплі безперечну перевагу мають штучні режими вібропереміщення. Особливу увагу слід приділити вібропереміщенню при прямолінійних синусоїдальних коливаннях. Можна створювати такі умови, за яких сировина транспортується у заданому напрямку за рахунок генерації штучних режимів вібропереміщення [10-14]. Однак вібраційні транспортери мають певні вади. Головним чином вони пов'язані із застосуванням спрямованих коливань, які створювати складніше, ніж вертикальні чи горизонтальні. Напрямок таких коливань необхідно періодично контролювати тому, що пружні ресори будь-якого типу з часом або під впливом температури змінюють свої пружні властивості і це відбивається на точності заданих коливань робочого органу.

Основними параметрами, що визначають енергоефективність будь-якого робочого процесу, в тому числі процесу переміщення картоплі, є продуктивність та потужність. У загальному випадку зовнішньої енергії, що підводиться до вібраційного конвеєра можна представити наступним чином [8]

$$A_{акт} = \eta N_{дв} dt_{дв}$$

де η – коефіцієнт корисної дії конвеєра, що визначається його конструктивними особливостями;

$N_{дв}$ – потужність двигуна.

Переміщення деякої маси матеріалу m_m можливо тільки при коливальних рухах робочого органу конвеєра m_p . Тому, потрібні сумарні витрати енергії для переміщення маси матеріалу m_m можливо представити [8]:

$$\sum A_n = A_{m_m} + A_{m_p}$$

Роботу, необхідну для переміщення деякої одиниці сировини можна записати [8]:

$$A_{m_m} = E_{m_m} d_{m_m1} gm$$

Роботу, необхідну для приведення в коливальний процес заданою частотою та амплітудою можна записати наступним чином [8]:

$$A_{m_p} = E_{m_p} dm_p$$

У традиційному вібраційному транспортері вібраційне зусилля P_v до робочого органу із пласкою поверхнею прикладається під деяким кутом β , на якому розташована сировина, що транспортується (рис. 2.1).

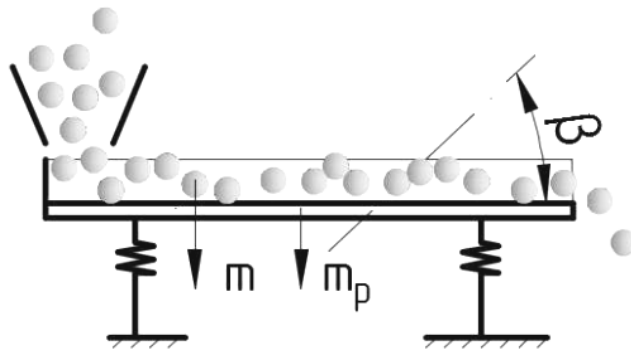
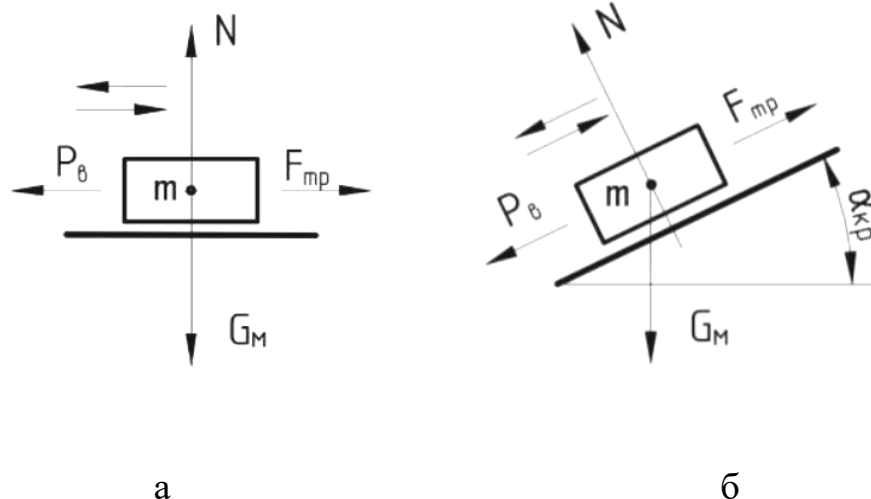


Рисунок 2.1 – Схема традиційного вібраційного транспортера

Для забезпечення коливань робочого органу транспортеру необхідна певна обурювальна сила P_v , при цьому важливу роль відіграє частота її прикладання (частота вимушених коливань) та частота власних коливань, яка визначається пружними зв'язками рами конвеєра з основою [6, 7, 10]. Схеми навантаження руху сировини на робочій поверхні вібротранспортера залежать від її кута нахилу та напрямку дії сили, що обурює P_v (рис. 2.2).



а

б

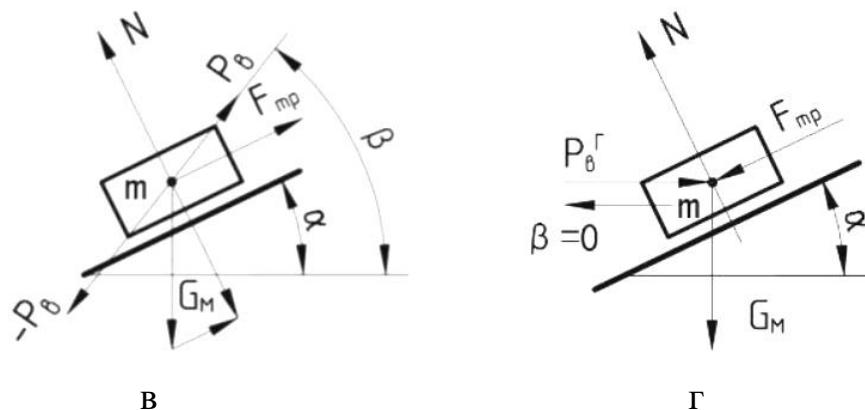


Рисунок 2.2 – Схеми руху об’єкта по поверхні робочого органу вібротранспортера [8]

Таким чином, критичний кут нахилу площини робочого органу $\alpha_{кр} > 5,7^\circ$. Менше критичного $\alpha_{кр}$ переміщення матеріалу не відбувається і необхідні обурення спрямовані під деяким кутом β до робочої площини. Як видно з рисунку 2.2 б, для руху частки необхідно повідомляти її гармонійні рухи під кутом $\beta \geq \alpha$ [6, 7, 10]. Переміщення об’єкту лотком вібраційного транспортера ще залежить від закону коливань робочого органу: не симетричного та симетричного. Найчастіше використовується симетричний режим коливань. Критичний кут $\alpha_{кр}$ переміщення матеріалу, при якому частка буде переміщатися по лотку та не повертатися у вихідне положення, залежить від коефіцієнта зовнішнього тертя [6]:

$$\alpha_{кр} = g(\mu \cos \alpha - \sin \alpha)$$

Наступна схема (рис. 2.2, в) представляє переміщення частинки по поверхні з кутом нахилу α при дії сили інерції P_v буде рухати частинку вперед, а при відході лотка робочого органу назад сила інерції буде діяти в протилежному напрямку руху і буде притискати продукт до поверхні, збільшуючи силу тертя $F_{тр}$, під дією якої частка залишається на поверхні. Залежно від прискорення робочого органу та кутів α і β можуть бути різні режими руху частинки матеріалу як безвідривні так і відривні (частка відривається від поверхні та переміщується у повітряному просторі). Схема руху об’єкту на який впливає горизонтальна сила P_v^0 (рис. 2.2, г). Рух частки при прямому ході можливий якщо [8]:

$$\alpha_{кр} = g(\mu \cos \alpha - \sin \alpha)$$

Після перетворення отримаємо [8]:

$$P_v^0 \geq \frac{gm\mu}{\cos \alpha - \sin \alpha \mu}$$

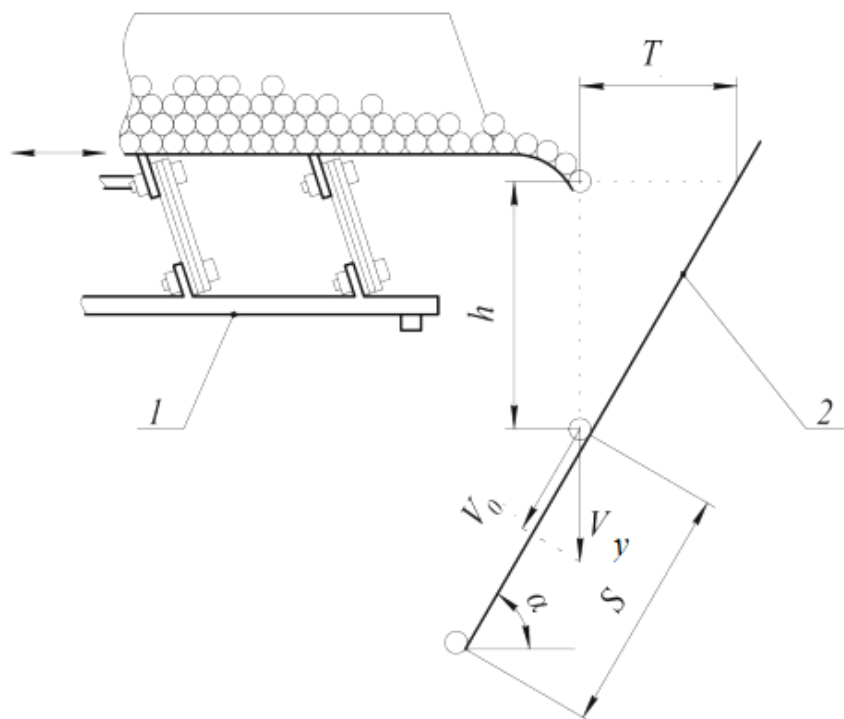
Для переміщення частинок при дії зусилля P_v під кутом β відповідно до рисунку 2.2 у режимах [8]:

$$P_v^\beta = \frac{mg \cos^2 \alpha \mu}{1 - \sin \alpha \cos \alpha \mu}$$

При однакових параметрах часток частота та амплітуда коливань зусилля переміщення частинок за схемами (рис.2.2, в та рис. 2.2, г) співвідносяться наступним чином [8]:

$$\frac{P_v^0}{P_v^\beta} = \frac{mg \cos^2 \alpha \mu (\cos \alpha - \sin \alpha \mu)}{mg \mu (1 - \sin \alpha \cos \alpha \mu)} = \frac{\cos^2 \alpha (\cos \alpha - \sin \alpha \mu)}{1 - \sin \alpha \cos \alpha \mu}$$

На рисунку 2.3 представлено узагальнену схему руху овочевої сировини.



1 – віброживильник; 2 – скатний лоток; α – кут нахилу скатного лотка, $^\circ$; T – відстань від віброживильника до скатного лотка в горизонтальній площині, м; h – вертикальна відстань між площиною конвеєрної стрічки та площиною, в якій розташований виконавчий механізм, м; v_y – швидкість падіння зразка, м/с; v_0 – початкова швидкість вертикального переміщення, м/с; S – шлях зразків скатним лотком, м.

Рисунок 2.3 – Узагальнена схема руху овочевої сировини

2.2 Удосконалення механічних методів у машинах для неруйнівної оцінки якості картоплі

Для отримання якісної конкурентоспроможної продукції необхідно в процесі сортування поєднувати низку технологічних операцій, таких як: поділ матеріалу на класи і фракції за якістю і розмірами, а також виявлення і видалення пошкодженої продукції. З метою підвищення якості сортування овочевої сировини за розмірами необхідно забезпечити розробку автоматичної системи управління робочими і технологічними параметрами, застосування якої дозволить виключити ручне сортування. Для виконання цих умов система автоматичного контролю повинна мати можливість ідентифікації сировини на сортувальній поверхні з урахуванням зовнішніх пошкоджень і забезпеченням автоматичного видалення домішок.

Важливим показником, що характеризує якість сортувальних пристроїв овочевої сировини є точність поділу на розмірні фракції. При поділі сировини за розмірними характеристиками якість сортувальної поверхні визначається теоретично можливою точністю сортування, яка залежить від сорту картоплі, розмірних характеристик, що використовуються для сепарації, фракційного складу, а також конструктивних особливостей робочих органів. Крім того, точність сепарації є важливим показником, що характеризує якість сортувальних пристроїв.

Як зазначалося раніше, основними параметрами сортування картоплі є товщина, ширина і маса сировини. На підприємствах найчастіше використовуються механічні сортувальники для класифікації за розміром, довжиною, шириною або товщиною, такі як ситові сортувальники, які встановлені на коромислах зі зворотно-поступальним рухом, циркуляційна сітка, циркуляційні ролики, циркуляційний ролик із вібрацією, барабанні сортувальники використовуються рідше через заподіяння пошкоджень.

Вібраційний сортувальник складається з рами, набору сортувальних пластин і вихідних транспортерів. Сортувальні пластини спираються на віброізолятори на рамі. Вони збуджуються для вібрації і фіксуються під невеликим кутом до рівня з нахилом, що забезпечує гравітаційний рух сировини до жолоба. Плити виготовляють з профільованих листів з вузькими ребрами у формі пазів, встановленими поперечно напрямку руху сировини, забезпечуючи таким чином відповідну орієнтацію овочів, довша частина яких, потрапляючи в поглиблення, встановлюється паралельно напрямку роботи сортувальника [11]. Відстань між ними регулюється і дозволяє відбраковувати занадто короткі овочі на розвантажувальних транспортерах, підвішених під плитами, в місцях відрегульованих щілин. Пристрій дозволяє відбирати сировину по довжині на одну-три фракції і пересортовувати.

Роликовий сортувальник складається з рами, набору сортувальних роликів, системи приводу, жолоба і розвантажувальних конвеєрів. Опціонально пристрій може оснащуватися похилим збірним транспортером. Ролики виготовлені з нержавіючої сталі. Вони розташовані під невеликим кутом до горизонталі, перпендикулярно рамі сортувальника і з'єднані між собою ланцюгом. Ланцюг приводиться в рух електродвигуном через редуктор.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Швидкість подачі ланцюга регулюється інвертором або варіатором. Відстань між роликками регулюється механічно [11]. Розвантажувальні транспортери змонтовані під роликками. Сортування здійснюється за допомогою обертових і рухомих роликів, які поступово змінюють свій крок під час руху ланцюга і тим самим дозволяють картоплі потрапляти на розвантажувальні транспортери.

В результаті аналізу робочих органів сортувальників, а також ротаційних робочих органів сортуючих поверхонь, визначено переваги цих пристроїв. Вони полягають у високій транспортуючій здатності, у простоті конструкції та регулювань, наприклад роликові поверхні технологічно ефективні та надійні. Але при цьому були виявлені та притаманні їм деякі недоліки, наприклад, деяка неточність у процесі сортування картоплі.

Сітчастому циркулюючому сортувальнику властивий недолік – зниження точності сортування при збільшенні подачі продукту, особливо на сортах з округло-овальною та овально-подовженою формою. Це пояснюється тим, що сортування відбувається в щільних отворах і для переміщення та проходження картоплі в отвір, що калібрує, необхідно орієнтувати його довгою віссю вздовж отвору. Оскільки час перебування картоплі в прохідній фракції над відповідною ділянкою сортуючої поверхні обмежено, то не вся сировина встигає отримати необхідне орієнтування. В результаті вона переходить на наступну ділянку сортування і потрапляє у іншу фракцію, що знижує точність сортування [3, 6, 11]. Залежно від форми та положення сировини на сортуючій поверхні картопля може займати стійке, нестійке або хаотичне положення. Вивести картоплю з такого положення можна за рахунок вібрації щодо поздовжнього переміщення сировини, що може створити додатковий момент і сприяти спрямованому орієнтуванню картоплі щодо сортуючої поверхні. Тобто, для здійснення активного спрямованого орієнтування картоплі, що знаходиться на сортуючій поверхні, до неї необхідно прикласти додаткову силу або момент. Тому пропонується для інтенсифікації процесу сортування картоплі використовувати циркуляційний роликовий сортувальник із застосуванням вібрації.

Вібраційний вплив на сировину створює момент сил щодо центру картоплі, що призводить до його спрямованого повороту та орієнтування щодо отворів між роликовою поверхнею і зниженню сили внутрішнього тертя між картоплею та робочими органами (роликками). При цьому амплітуда і частота вібрації не повинні призвести до відриву та хаотичного перекидання сировини у поперечному напрямку. Тобто для прискорення процесу орієнтації картоплі необхідно його обмежений поворот при мінімальному зміщенні центру мас сировини. Спрямований поворот довгою віссю еліпсоїда вздовж роликів повинен прискорити процес сортування, в даному випадку за розміром сировини при безвідривному переміщенні, що сприятиме підвищенню точності сортування [10-14]. Розглянемо можливі варіанти розміщення картоплі між циркуляційними роликками сортуючої поверхні. Форму картоплі приймемо у вигляді еліпсоїда з піввісями (рис. 2.4).

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

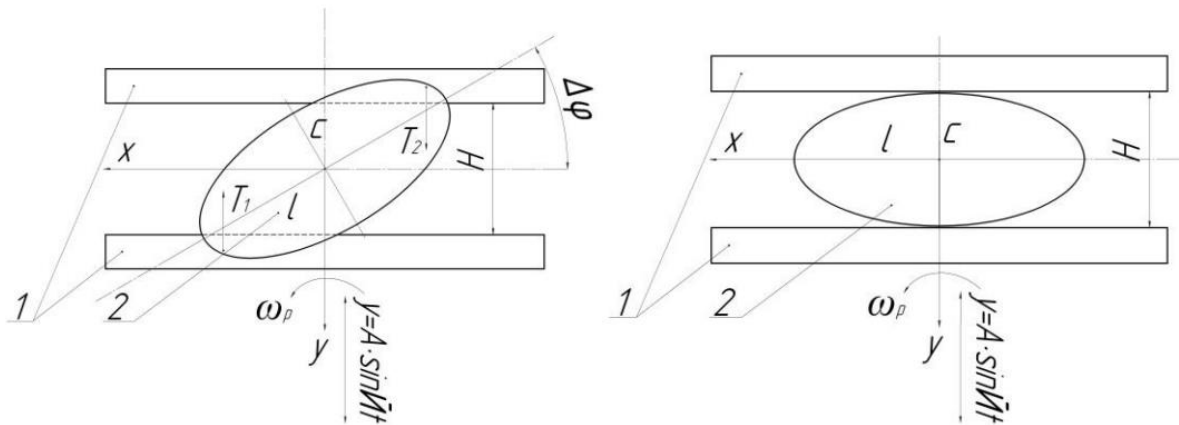


Рисунок 2.4 – Варіанти розміщення картоплі між циркуляційними роликami сортуючої поверхні

У першому випадку найбільше обурення картопля отримує навколо осі z – основні центральні осі еліпсоїда не збігаються отворами між роликami (з віссю отвору), тобто картопля розташована довгою віссю l не вздовж отвору, а під деяким кутом φ , точки контакту щодо центру тяжіння і бічні реакції утворюють пару сил з моментом (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 – Схема роликової сортуючої поверхні

Застосування безвідривного режиму сортування дозволяє обмежити відносні переміщення з підкиданням картоплі та відповідно зменшуючи швидкість зіткнення з робочими органами та між собою (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Видалення картоплі невідповідного розміру

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Далі шляхом безпосереднього міжопераційного переходу картопля надходить на наступну ділянку де виділяється дрібна фракція. Додаткове перебирання картоплі великої та середньої фракції перед закладанням може здійснюватися на вивантажувальних конвеєрах або перебірному столі. Тому при малоопераційній обробці виконується тільки виділення дрібної картоплі.

2.3 Застосування системи машинного зору в процесі сортування

Картопля є основним продуктом харчування в раціоні людей світу. Вона забезпечує вуглеводами, вітамінами С, мінеральними речовинами, має високу якість білка та харчові волокна. Картопля займає четверту позицію в світі після пшениці, рису та кукурудзи. Вона використовується по-різному, як овочева сировина, картопляні чіпси, порошок тощо. Мета сортування забезпечує належні умови для будь-якого його застосування. Створивши відповідні умови можна сортувати рослинну сировину за багатьма аспектами такі як: розмір, форма, колір, виявлення пошкоджень та внутрішніх дефектів.

Останнім часом спостерігається заміна людини-оператора автоматизованими системами, оскільки людські операції є непослідовними та менш ефективними. Автоматизація означає кожну дію, яка необхідна для керування процесом із оптимальною ефективністю. Техніка машинного зору та обробка зображень – це нові методи, які мають різноманітне застосування в сільськогосподарській галузі. Техніка машинного зору використовується для сортування широкого спектру культур. Картопля є однією з основних сільськогосподарських культур у світі і її щодня споживають мільйони людей з різних культур [7]. Сортування картоплі гарантує, що отримана продукція відповідає визначеним вимогам до сорту для продавців та очікуваної якості для покупців.

Комп'ютерний зір – це швидка, економічна, послідовна та об'єктивна методика перевірки, яка поширилася у багатьох різноманітних галузях. Його швидкість і точність задовольняють постійно зростаючі вимоги до виробництва та якості, що сприяє розробці повністю автоматизованих процесів. Цей неруйнівний метод перевірки знайшов застосування в сільському господарстві та харчовій промисловості. Система машинного зору – це сучасна техніка, яка використовується для сортування широкого спектру сировини. Обробка зображень та аналіз зображень є ядром комп'ютерного зору з численними алгоритмами та методами, що здатне об'єктивно вимірювати і оцінювати якість зовнішнього вигляду низки плодовоовочевої сировини: візуальної структури, кольору, блиску, напівпрозорості, візерунків і текстури поверхні. Серед цих різних класів фізичних властивостей сільськогосподарської продукції колір візуально вважається найважливішим атрибутом у сприйнятті якості продукції.

Колір в аналізі зображення – це потужний дескриптор, який полегшує розпізнавання та виявлення об'єктів. Колірний зір значною мірою є важливим атрибутом якості та використовується як предиктор якості та еталон ідентифікації. Застосування машинного зору для вимірювання кольору в широкому діапазоні сільськогосподарських продуктів присвячено багато робіт.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Машинний зір – це інженерна технологія, яка поєднує в собі механіку, оптичні прилади, електромагнітне зондування, цифрове відео та технологію обробки зображень. Як інтегрована механіко-оптично-електронно-програмна система, машинний зір широко використовується для вивчення, моніторингу та управління дуже широким спектром застосувань. Це побудова явних і змістовних описів фізичних об'єктів і зображень і включає в себе захоплення, обробку та аналіз двовимірного зображення [9, 10]. Спрямоване на дублювання ефекту людського зору шляхом електронного сприйняття та розуміння зображення забезпечує швидку, економічну, послідовну та об'єктивну оцінку. Отже, можна сказати, що машинний зір – це використання пристроїв для оптичного, безконтактного зондування, автоматичного отримання та інтерпретації зображення реальної сцени з метою отримання інформації та/або керування машинами або обробки зображення.

Технологія комп'ютерного зору не тільки забезпечує високий рівень гнучкості і повторюваності при відносно низькій вартості, але також, що більш важливо, забезпечує досить високу пропускну здатність установки без шкоди для точності. Застосування цих методів в даний час розширилося в різних областях, таких як: медична діагностика, автоматичне виробництво і спостереження, дистанційне зондування, технічна діагностика, автономні транспортні засоби, управління роботами, а також в сільськогосподарській і харчовій промисловості, включаючи перевірку якості і сортування фруктів і овочів.

Використовуючи системи машинного зору та методи обробки зображень, ми можемо класифікувати картоплю з високою точністю та виявити і зменшити пошкодження, дефекти. Комп'ютерне бачення було визнано потенційною технікою для контролю харчових процесів. Тому за останні 25 років було проведено безліч досліджень, що призвело до появи багатьох публікацій. Так, Фон Бекман і Буллі в 1978 році розробили електронний сортувальник для сортування томатів за кольором і розміром. Вони використовували співвідношення поверхневих відбивних здатностей на довжині хвилі 600 і 660 нм для сортування помідорів на 4 сорти [7]. Міллер і Делвіч у 1989 році розробили систему кольорового зору для виявлення та сортування стиглих персиків. Для сортування персика їх колір порівнювали з кольором стандартного стиглого персика.

Для здійснення обробки та розпізнавання зображень, вилучення невідповідних зразків використовується, як правило, знімальна камера, конвеєр, сортувальний блок і персональний комп'ютер для отримання, аналізу зображень і контролю обладнання. У 1995 році Дек порівняв результати сегментації кольорів багатошарової нейронної мережі прямого зв'язку (MLF-NN) і традиційний класифікатор для перевірки кольору. Було представлено метод сортування зеленої та якісної картоплі [7, 8]. Вони використовували систему кольорів HSI. Зразки картоплі сортували експерти та фермери. Використовували 40 зелених і 40 зразків якісної картоплі. Всі 40 відповідних зразків картоплин і 40 зразків зеленої картоплі були відсортовано правильно. Результати виявлення людей і машин були близькими.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Високошвидкісна система машинного зору для перевірки якості та сортування картоплі була представлена в 1995 р. Система зору класифікувала картоплю за розміром, формою і зовнішніми дефектами. Для градації кольорів картоплі вони використовували методи лінійного дискримінаційного аналізу (LDA) і MLF-NN. Результати застосування методів сортування MLF-NN для різних сортів картоплі становило відповідно 86,8% – 98,6% і 88,1% – 99,2% [7, 8]. В той же час 1998 р. науковцями було оцінено вагу, діаметр поперечного перерізу, форму та колір трьох сортів картоплі за допомогою системи комп'ютерного зору, яка могла класифікувати 50 зображень картоплі за секунду. В якості еліпсу використовувався дескриптор форми для перевірки форми картоплі та порогового значення кольору було виконано у значенні насиченості відтінку (HSV) колірний простір для виявлення дефектів зеленого кольору. Середній показник склав 91,2% для перевірки ваги та 88,7% для перевірки діаметра. Алгоритми перевірки форми та кольору досягли 85,5% та 78,0% успішності ставки відповідно. Загальний показник успішності за всіма вищевказаними критеріями склав 86,5%.

Ріос-Кабрера у 2008 році визначив якість картоплі, оцінюючи фізичні властивості за допомогою штучних нейронів Мережі (ANN) для пошуку деформованої картоплі. Результати показали, що FuzzyARTMAP перевершив інші моделі завдяки своїй стабільності та швидкості конвергенції з часом усього 1 мс на шаблон, що демонструє його придатність для перевірки в реальному часі [7, 8]. Кілька алгоритмів визначення таких дефектів картоплі, як позеленіння, тріщини були запропоновані Барнсом у 2009 р. Він представив нові методи виявлення плям на картоплі за допомогою машинного зору. Результати показують, що метод здатний створювати «мінімалістичні» класифікатори, які оптимізують ефективність виявлення на низьких рівнях обчислювальності. Під час експериментів мінімалістичні детектори плям були виявлені для різновидів червоної картоплі та білої, досягаючи 89,6% і 89,5% точності відповідно.

Різноманітні прилади, такі як ПЗЗ-камера, ультрафіолетова камера, гіперспектральна камера та рентгенівська комп'ютерна томографія, були використані та продемонстрували свою ефективність у фіксації основних характеристик якості поверхні картоплі [8]. Сенсорні зображення, що генеруються цими пристроями, можуть бути використані для побудови оцінок для виявлення фізичних розмірів картоплі, внутрішніх і зовнішніх дефектів. Однак, ранні автоматизовані системи оцінювання широко використовували алгоритми обробки зображень і поклалися на визначені вручну характеристики зображень для побудови класифікаторів, обмежуючи надійність і узагальнення продуктивності виявлення через відмінності типів картоплин, зовнішнього вигляду та дефектів пошкоджень. Ці системи машинного зору складають основу оптичних сортувальників, які використовуються для сортування картоплі та контролю якості. Останніми роками з'явилися оптичні сортувальники, які виявилися більш ефективними та результативними, ніж традиційні системи на основі машинного зору.

Системи комп'ютерного зору забезпечують швидку, економічну, послідовну та об'єктивну оцінку; вони все частіше використовуються в

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Адк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

харчовій промисловості для цілей інспекції та оцінки. За останнє десятиліття досягнення в апаратному та програмному забезпеченні для цифрової обробки зображень спонукали до кількох досліджень з розробки цих систем для оцінки якості різноманітних та оброблених харчових продуктів. Комп'ютерний зір вже давно визнаний потенційною технікою для керівництва або контролю сільськогосподарських і харчових процесів.

Комп'ютерний зір використовується для таких завдань, як класифікація форми, виявлення дефектів, градація якості та класифікація сорту яблука. Паулос і Шревенс розробили алгоритм обробки зображень, заснований на розкладанні Фур'є, щоб об'єктивно охарактеризувати форму яблука з метою ідентифікації різних фенотипів. Ця методологія дала уявлення про те, як зовнішні характеристики продукту впливають на сприйняття якості людиною. Дослідження показало, що в міру того, як класифікація включала більше властивостей продукту і ставала складнішою, похибка класифікації людей зростала [9, 10]. Було досліджено сегментацію дефектів яблук сорту «Голден Делішес» за допомогою машинного зору. Запропонований алгоритм виявився ефективним при виявленні різних дефектів, таких як синці, рум'яність, грибки або рани. У подібних дослідженнях було оцінено доцільність використання комп'ютерного зору для ідентифікації стебел і чашечок яблук, що вимагало автоматичного сортування і видалення серцевини. Нейронні мережі зворотного поширення були використані для класифікації кожної плями як стовбура/чашечки або плями, схожої на пляму.

Досліджували використання комп'ютерного зору для сортування свіжої полуниці на основі розміру та форми. У своєму дослідженні науковці розробили систему сортування з точністю 94–98% на три класи за формою та п'ять класів за розміром [9, 10]. Форма плодів є одним з найважливіших параметрів якості для оцінки замовника. Крім того, плоди неправильної форми, як правило, відбраковують відповідно до стандартів сортування фруктів. Було проведено для визначення кількісної класифікації алгоритму форми плодів у ківі, класифікували розмір папайї відповідно до комбінацій площі, середнього діаметра та особливостей периметра та вивчали унікальність вилучених ознак. Запропонована методика показала можливість виконання класифікації розмірів папайї з точністю понад 94%. В іншому дослідженні було розроблено автоматизовану систему класифікації грон олійної пальми з використанням колірної моделі RGB для розрізнення трьох різних категорій грон плодів олійної пальми. У їхньому дослідженні результати показали, що стиглість плодів грон можна диференціювати між різними категоріями фруктових грон на основі інтенсивності RGB.

Ширер і Пейн у своїй роботі зазначають, що комп'ютерний зір є сучасним підходом до огляду та сортування овочів. Вони оцінили якісні характеристики звичайного білого гриба за допомогою аналізу зображень з метою перевірки та сортування грибів автоматизованою системою. Їхнє дослідження показало, що розбіжності між інспекторами-людьми коливаються від 14% до 36%, тоді як за системою зору вони коливаються від 8% до 56% [9, 10]. Комп'ютерний зір також був застосований для об'єктивного вимірювання стадії розвитку грибів. Це дослідження показало, що розкриття капелюшків грибів найкраще корелює

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

зі стадією розвитку, за винятком щільно закритих грибів. Інші дослідження описували розробку методів комп'ютерного зору для виявлення, відбору та відстеження грибів перед збором врожаю.

Система машинного зору розглядається як простий і швидкий спосіб отримання даних, які в іншому випадку було б важко отримати вручну. Контроль якості в поєднанні зі зростаючою автоматизацією у всіх сферах виробництва призвів до підвищеного попиту на автоматичну і об'єктивну оцінку різних видів продукції. Методи комп'ютерного зору відповідають цим критеріям та є швидким і об'єктивним засобом для вимірювання візуальних ознак сировини. Система комп'ютерного зору з автоматичним механізмом обробки може виконувати перевірки об'єктивно і зменшувати стомлюючу участь людини, а технологія машинного зображення забезпечує швидкий, альтернативний засіб для послідовного вимірювання якості.

На основі вищезазначеного можна вважати, що основними параметрами сортування картоплі є товщина, ширина і маса сировини. На підприємствах найчастіше використовуються механічні сортувальники для класифікації за розміром, довжиною, шириною або товщиною, такі як ситові сортувальники, які встановлені на коромислах зі зворотно-поступальним рухом, циркуляційна сітка, циркуляційні ролики, циркуляційний ролик із вібрацією, барабанні сортувальники використовуються рідше через заподіяння пошкоджень.

Залежно від форми та положення сировини на сортуючій поверхні картопля може займати стійке, нестійке або хаотичне положення. Вивести картоплю з такого положення можна за рахунок вібрації щодо поздовжнього переміщення сировини, що може створити додатковий момент і сприяти спрямованому орієнтуванню картоплі щодо сортуючої поверхні. Тобто для здійснення активного спрямованого орієнтування картоплі, що знаходиться на сортуючій поверхні до неї необхідно прикласти додаткову силу або момент. Тому, пропонується для інтенсифікації процесу сортування картоплі використовувати циркуляційний роликовий сортувальник із застосуванням вібрації.

Вібраційний вплив на сировину створює момент сил щодо центру картоплі, що призводить до його спрямованого повороту та орієнтування щодо отворів між роликовою поверхнею і зниженню сили внутрішнього тертя між картоплею та робочими органами (роликами). При цьому амплітуда і частота вібрації не повинні призвести до відриву та хаотичного перекидання сировини у поперечному напрямку. Тобто, для прискорення процесу орієнтації картоплі необхідно його обмежений поворот при мінімальному зміщенні центру мас сировини. Спрямований поворот довгою віссю еліпсоїда вздовж циркуляційних роликів повинен прискорити процес сортування, в даному випадку за розміром сировини при без відривному переміщенні, що сприятиме підвищенню продуктивності та точності сортування.

Система комп'ютерного зору з автоматичним механізмом обробки може виконувати перевірки об'єктивно і зменшувати стомлюючу участь людини, а технологія машинного зображення забезпечує швидкий, альтернативний засіб для послідовного вимірювання якості.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Якісна оцінка картоплі з точки зору врахування харчової цінності

Картопля є однією з найважливіших культур у світі. Протягом останніх двох десятиліть, тобто з 2000–2020 років, можна спостерігати зростання її виробництва у світі відбулося на 11%, з приблизно 322 млн тонн картоплі, виробленої у 2000 році, до приблизно 354 млн тонн у 2020 році. Найбільша частка виробництва картоплі припадає на Азію – 49,7%, Європу – 30%, Північну та Південну Америку – 12,5% [12]. У 2020 році найбільшими світовими виробниками картоплі були Китай (приблизно 78,2 млн тонн), Індія (приблизно 51,3 млн тонн) та Україна (приблизно 20,8 млн тонн). Їх сумарна частка перевищила 40% від загального світового виробництва картоплі. У 2020 році світові площі вирощування картоплі скоротилися приблизно на 17% порівняно з 2000 роком, з приблизно 19,9 млн га у 2000 році до приблизно 16,4 млн га у 2020 році. У світі спостерігалось зростання врожайності картоплі на 34% – приблизно з 16,2 т/га у 2000 р. до приблизно 21,8 т/га у 2020 р.

Завдяки багатому вмісту крохмалю, білка та інших поживних речовин картопля широко культивується в більш ніж 100 країнах, як важлива продовольча культура та промислова сировина. Під час росту, збирання врожаю та післязбирального зберігання різноманітні фактори, такі як укуси комах, бактеріальні або грибові інфекції, різання збиральними ножами, зіткнення та екструзія, а також зміни умов післязбирального зберігання можуть спричинити різні дефекти картоплі, тим самим знижуючи якість картоплі [8, 9]. Виявлення дефектів картоплі не тільки допомагає задовольнити різні потреби кінцевих споживачів для максимального використання ресурсів, але й допомагає виробникам і продавцям картоплі аналізувати типи дефектів і приймати цільові стратегії для покращення управління виробництвом. Виявленням дефектів зазвичай займаються фахівці. Однак ці процедури є трудомісткими і обмежені непослідовністю та неточністю в судженнях різних людей. Отже, для виявлення різнотипних дефектів картоплі необхідні ефективні та дієві автоматизовані методи.

Якість картоплі важлива не лише для харчової та переробної промисловості у вигляді картоплі фрі, чіпсів або сушеної картоплі. Крохмаль використовується як сировина для виробництва знежирених м'ясних продуктів або пластмас на біологічній основі, які використовуються у виробництві тари для упаковки, смітєвих пакетів [12]. Пластмаси на основі крохмалю характеризуються високою прозорістю. Картопля також використовується у фармацевтичній промисловості для виробництва лікарських препаратів і

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Загородній</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>					33	5
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>						
Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі							

біологічно активних сполук для травного тракту людини з метою підвищення його ефективності.

Основні причини втрат на етапі сортування стали наслідком зовнішніх пошкоджень картоплі та її проростання. Втрати при зберіганні та фасуванні зумовлені, головним чином, невідповідним температурним режимом та неточністю прогнозування попиту на картоплю. Загальні втрати в світі картоплі з 2010 по 2019 рік були стабільними і склали 9-10%. У 2019 році найбільші втрати були в Африці 15%, Азії 10,5%, Америці 8,8% та Європі 8,7% [12]. Зменшення втрат є надзвичайно важливим для забезпечення необхідної кількості продовольства для людей у всьому світі. Населення світу у 2021 році зросло більш ніж на 1% порівняно з 2020 роком і становило 7,87 трлн. Зі зростанням населення зростає і потреба в їжі.

За даними агентства Всесвітньої продовольчої програми у 2010 році кількість людей, які серйозно постраждали від голоду, зросла з 619 млн осіб у 2019 році на 31% до 811 млн у 2020 році [13, 14]. За оцінками світовий попит на продовольство зростає з 35% до 56% між 2010 і 2050 роками. Підвищення продуктивності сільського господарства та стале виробництво продуктів харчування, підвищення харчової цінності сільськогосподарської продукції та отримання стійкості до біотичного та абіотичного стресу підвищать продовольчу безпеку у світі, забезпечивши зменшення втрат продовольства та відходів, а також підвищення вимог споживачів внаслідок зростаючої конкуренції на ринку картоплі. Це призведе до необхідності постачання на ринок сільськогосподарської продукції найвищої якості, щоб гарантувати дотримання відповідних стандартів якості продукції для замовника та споживача.

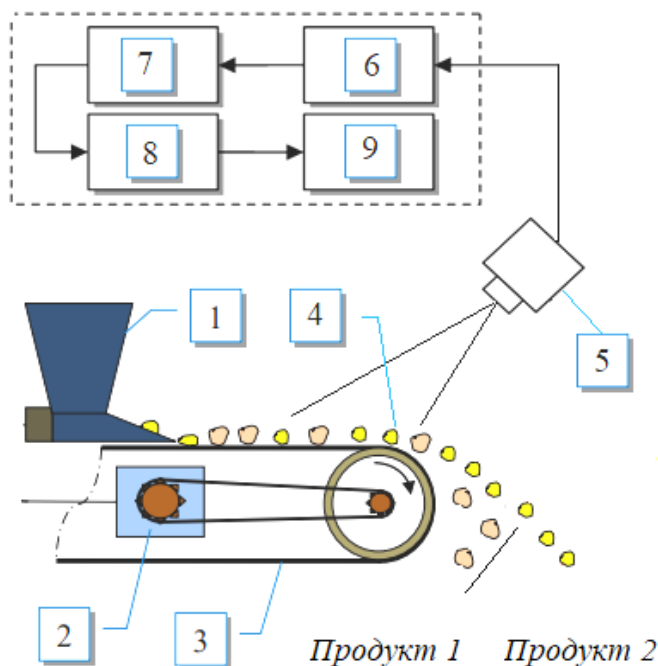
Після збору врожаю поверхня картоплі часто піддається проростанню і механічним пошкодженням або іншим зовнішнім факторам. Тому, сортування на основі якості поверхні має вирішальне значення для класифікації продукції за різними категоріями, що може значно покращити пакування, зберігання, транспортування. Традиційні методи виявлення дефектів спираються на ручну перевірку, яка є дуже суб'єктивною, повільною, схильною до помилок і важко досягнутою єдиними стандартами [8, 9]. Виявлення дефектів харчових продуктів має вирішальне значення для автоматизації виробництва та переробки харчових продуктів. Виявлення дефектів поверхні картоплі залишається складним завданням через неправильну форму картоплі та різні типи дефектів.

3.2 Система автоматизованого управління процесом сортування картоплі

Харчова промисловість продовжує залишатися однією з найбільш швидкозростаючих сегментів систем машинного зору. Засоби успішно використовуються в аналізі характеристик зерна та при оцінці таких продуктів, як картопляні чіпси, м'ясо, сир і піца. Було розроблено систему машинного зору для сортування плодів на основі кольору і дефектів поверхні, розроблені сортувальники кольорового зору високої потужності, які засновані на оптичних

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

властивостях, таких як відбивна здатність для визначення кольору, форми, розміру, текстурних особливостей, об'єму і площі поверхні фруктів і овочів, включаючи яблука, персики, томати і цитрусові [8, 9, 10]. Теоретично можливо визначити точність прийнятих розмірів конкретних сортів картоплі за допомогою діаграмами розміру/маси або варіаціями та таблицями кореляції, складеними для кожного сорту для даного врожаю. Системи машинного зору можуть виявляти та класифікувати ознаки, які можуть бути кількісно виміряні (наприклад, розмір картоплі) або наближені за допомогою кількісних моделей (наприклад, форма та зовнішні дефекти) за допомогою обробки та аналізу зображень (рис. 3.1).



1 – віброживильник; 2 – двигун; 3 – транспортерна стрічка; 4 – об'єкт у зоні аналізу; 5 – відеокамера; 6 – система перетворення відео в послідовність фотографічних зображень; 7 – система поліпшення якості зображень; 8 – система розпізнавання різновидів по зображеннях; 9 – вихідний інтерфейс системи.

Рисунок 3.1 – Система автоматизованого управління процесом сортування картоплі [15]

Для здійснення обробки та розпізнавання зображень, вилучення невідповідних зразків використовується, як правило знімальна камера, конвеєр, сортувальний блок і персональний комп'ютер для отримання, аналізу зображень і контролю обладнання. Запропонована система сортування картоплі за виявленням дефектів, яка складається з п'яти основних компонентів: відеокамера, захоплення, обробка, аналіз зображення, програмного забезпечення.

Прикладні програми дозволяють завантажувати зображення з цифрових камер, які підключені безпосередньо до комп'ютера або до мережі. Система, що складається з мікросхеми з високою роздільною здатністю і пов'язаного з нею обладнання є найпоширенішим методом генерації цифрових зображень. Однак, оскільки цифрові зображення за своєю суттю є монохромними або чорно-білими то для створення кольорових зображень потрібне інше обладнання та програмне забезпечення. Електронна система, яка може класифікувати плоди за масою, кольором, діаметром, за пом'яттям, формою та розміром повинна складатися з камери, об'єктива, джерела світла, фільтра, ПК та програмного забезпечення для обробки зображень [12]. Однак для класифікації та аналізу більшості плодовоовочевої сировини зображень потрібні лише 2-вимірні (2D) дані, 3-вимірний може знадобитися для отримання інформації про структуру. Можлива також техніка 3-D зору на основі серії 2-D зображень для отримання геометричного опису.

Процес перетворення отриманих зображень в числову форму називається оцифруванням. У цьому процесі зображення розділяється на двовимірну сітку з невеликих областей, що містять елементи зображення, визначені як пікселі, за допомогою плати процесора зору. Існує безліч типів аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) але для аналізу в реальному часі потрібен спеціальний тип, відомий як «флеш-АЦП». Таким «флеш-пристроєм» потрібно всього наносекунди, щоб отримати результат з 50-200 мега-зразками, обробленими в секунду [10, 11, 12]. Обробка зображень та аналіз зображень є ядром комп'ютерного зору з численними алгоритмами та методами доступними для досягнення необхідної класифікації та вимірювань. Однак, обробка/аналіз зображень включає в себе ряд етапів, які можна умовно розділити на три рівні: низькорівнева обробка (отримання та попередня обробка зображень), обробка середнього рівня (сегментація зображень, представлення та опис зображень) та обробка високого рівня (розпізнавання та інтерпретація) (рис. 3.2).

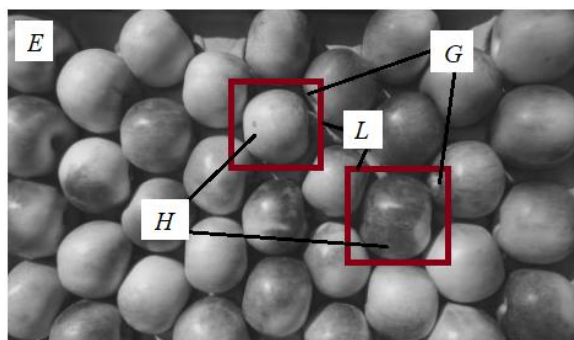


Рисунок 3.2 – Обробка та аналіз фотографічного зображення

Система машинного зору, по суті, складається з двох основних процесів: обробки зображень і аналізу зображень. Обробка зображень призначена не для вилучення інформації із зображення, а для усунення недоліків, таких як шум, розмиття зображення тощо. Для посилення і поліпшення отриманого зображення для подальшого аналізу використовуються різні алгоритми обробки. Отримане зображення може стати розмитим через рух об'єкта. Це

розмиття має бути усунене інструментами обробки зображень, перш ніж витягувати будь-яку інформацію про цей об'єкт.

Для покращення зображення використовуються різні методи обробки зображень для збільшення яскравості кожного пікселя, оточеного сусідніми з більшою інтенсивністю, для зменшення яскравості пікселів, оточених сусідніми з меншою інтенсивністю; для перетворення зображення у відтінках сірого на подвійне зображення; для видалення темних плям, ізольованих у світлих областях та згладжує межі; для видалення яскравих плям, ізольованих у темних областях та згладжування меж.

Інструменти, що використовуються для покращення зображення, включають табличні підстановки (перетворюють значення градацій сірого у вихідному зображенні на інші значення градацій сірого у перетвореному зображенні), просторові фільтри (покращують якість зображення шляхом видалення шуму та згладжування, збільшення різкості та трансформування зображення), морфології у градаціях сірого (витягують та змінюють структуру частинок зображення) та обробки частотної області (видаляють небажану інформацію про частоту).

На основі вищезазначеного можна вважати, що картопля є однією з найважливіших культур у світі. Протягом останніх двох десятиліть, тобто з 2000–2020 років, можна спостерігати зростання її виробництва у світі відбулося на 11%, з приблизно 322 млн тонн картоплі, виробленої у 2000 році, до приблизно 354 млн тонн у 2020 році. Найбільша частка виробництва картоплі припадає на Азію – 49,7%, Європу – 30%, Північну та Південну Америку – 12,5%.

Якість картоплі важлива не лише для харчової та переробної промисловості у вигляді картоплі фрі, чіпсів або сушеної картоплі. Крохмаль використовується як сировина для виробництва знежирених м'ясних продуктів або пластмас на біологічній основі, які використовуються у виробництві тари для упаковки, смітєвих пакетів. Пластмаси на основі крохмалю характеризуються високою прозорістю. Картопля також використовується у фармацевтичній промисловості для виробництва лікарських препаратів і біологічно активних сполук для травного тракту людини з метою підвищення його ефективності.

Основні причини втрат на етапі сортування стали наслідком зовнішніх пошкоджень картоплі та її проростання. Втрати при зберіганні та фасуванні зумовлені, головним чином, невідповідним температурним режимом та неточністю прогнозування попиту на картоплю. Запропоновано систему автоматизованого управління процесом сортування картоплі за виявленням дефектів, яка складається з п'яти основних компонентів: відеокамера, захоплення, обробка, аналіз зображення, програмного забезпечення. Система машинного зору, по суті, складається з двох основних процесів: обробки зображень і аналізу зображень. Обробка зображень призначена не для вилучення інформації із зображення, а для усунення недоліків, таких як шум, розмиття зображення тощо.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена удосконаленню конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі. У роботі зазначено, що картопля є однією з найважливіших культур у світі. Якість картоплі важлива не лише для харчової та переробної промисловості у вигляді картоплі фрі, чіпсів або сушеної картоплі. Крохмаль використовується як сировина для виробництва знежирених м'ясних продуктів або пластмас на біологічній основі, яка необхідна у виробництві тари для упаковки, смітєвих пакетів. Картопля також використовується у фармацевтичній промисловості для виробництва лікарських препаратів і біологічно активних сполук для травного тракту людини.

У першому розділі здійснено аналітичний огляд обладнання для сортування картоплі. Зазначено, що сортування – процес, який забезпечує відповідність продукції певним вимогам до якості. Сортування картоплі передбачає видалення небажаної або невідповідної форми картоплі, каменів та інших сторонніх тіл. Сортування проводиться для підвищення однорідності та комерційної цінності продукції. На ефективність процесу сортування картоплі у значній мірі впливають розмірно-масові характеристики сировини, особливості конструкції робочих органів та сортуючих поверхонь в цілому. До основних параметрів сортування картоплі слід віднести: товщину, ширину і масу сировини. На основі аналізу наукових джерел вважається, що на підприємствах найчастіше використовуються механічні сортувальники для класифікації за розміром, довжиною, шириною або товщиною, такі як ситові сортувальники, які встановлені на коромислах зі зворотно-поступальним рухом, циркуляційна сітка, циркуляційні ролики, циркуляційний ролик із вібрацією, барабанні сортувальники, які використовуються рідше через можливе заподіяння пошкоджень сировині.

Сконцентровано увагу на тому, що харчова промисловість продовжує залишатися однією з найбільш швидкозростаючих сегментів систем машинного зору. Засоби успішно використовується в аналізі характеристик зерна та при оцінці таких продуктів, як картопля, м'ясо, сир тощо. Серед електронних методів, які використовуються для відстеження та швидкого вимірювання якісних характеристик картоплі, найбільш перспективними є системи візуального і спектрального аналізу, які виявилися надійними та стабільними в роботі. Виявлення зовнішніх і внутрішніх дефектів картоплі стали можливими за допомогою не руйнівних методів.

Другий розділ присвячено удосконаленню конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі. Зазначено, що широкого використання на підприємствах харчового виробництва набуває застосування вібраційних впливів. Наявність вібраційної дії призводить у багатьох випадках

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Загородній</i>				Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів обладнання для сортування картоплі	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						38	2
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>							

до того, що різні технологічні процеси з механічною дією відбуваються інакше, ніж за звичайних умов та сприяють рівномірному розподілу сировини за робочою поверхнею, транспортуванню вздовж робочого каналу для безперервності технологічного процесу, інтенсифікації та підвищення якісних показників технологічного процесу. Запропоновано узагальнену схему руху овочевої сировини на сортувальній пристрої.

Зазначено, що залежно від форми та положення сировини на сортувальній поверхні картопля може займати стійке, нестійке або хаотичне положення. Вивести картоплю з такого положення можна за рахунок вібрації щодо поздовжнього переміщення сировини, що може створити додатковий момент і сприяти спрямованому орієнтуванню картоплі щодо сортувальної поверхні. Тобто, для здійснення активного спрямованого орієнтування картоплі, що знаходиться на сортувальній поверхні до неї необхідно прикласти додаткову силу або момент. Тому пропонується для інтенсифікації процесу сортування картоплі використовувати циркуляційний роликівий сортувальник із застосуванням вібрації.

Вібраційний вплив на сировину створює момент сил щодо центру картоплі, що призводить до його спрямованого повороту та орієнтування щодо отворів між роликівією поверхнею і зниженню сили внутрішнього тертя між картоплею та робочими органами (роликівіями). При цьому амплітуда і частота вібрації не повинні призвести до відриву та хаотичного перекидання сировини у поперечному напрямку. Тобто для прискорення процесу орієнтації картоплі необхідно його обмежений поворот при мінімальному зміщенні центру мас сировини. Спрямований поворот довгою віссю еліпсоїда вздовж роликів повинен прискорити процес сортування, в даному випадку за розміром сировини при безвідривному переміщенні, що сприятиме підвищенню точності сортування.

У третьому розділі зазначено, що після збору врожаю поверхня картоплі часто піддається проростанню і механічним пошкодженням або іншим зовнішнім факторам. Тому сортування на основі якості поверхні має вирішальне значення для класифікації продукції за різними категоріями, що може значно покращити пакування, зберігання, транспортування. Традиційні методи виявлення дефектів спираються на ручну перевірку, яка є дуже суб'єктивною, повільною, схильною до помилок і важко досягнутою єдиними стандартами. Виявлення дефектів харчових продуктів має вирішальне значення для автоматизації виробництва та переробки харчових продуктів.

Система комп'ютерного зору з автоматичним механізмом обробки може виконувати перевірку об'єктивно і зменшувати стомлюючу участь людини, а технологія машинного зображення забезпечує швидкий, альтернативний засіб для послідовного вимірювання якості. Система машинного зору, по суті, складається з двох основних процесів: обробки зображень і аналізу зображень. Запропоновано систему автоматизованого управління процесом сортування картоплі за виявленням дефектів, яка складається з п'яти основних компонентів: відеокамера, захоплення, обробка, аналіз зображення, програмного забезпечення.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Newtec optical sorting Celox-P-UHD. URL: <https://www.potatopro.com/products/newtec-optical-sorting-celox-p-uhd>.
2. Sortation systems. URL: <https://www.russellconveyor.com/automated-conveyor-and-sortation-systems>.
3. Potato sorting equipment. URL: <https://equaprocess.com/potato-sorting-equipment/#:~:text=Potato%20Sorting%20Equipment%201%20Optical%20Sorter%20%E2%80%93%20SOL%20FSOM,Sorter%29%20Figure%205%3A%20Sliver%20Remover%20%E2%80%93%20SR2%20>.
4. Results of laboratory studies of the automated sorting system for root and onion crops. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/6/1257>.
5. Sourav Garg, Venkat Saicharan Kolli, Shivanand S. Shirkole. Sorting operations for the classification of agricultural crops. *Unit Operations and Processing Equipment in the Food Industry*. 2022. P. 53-76.
6. Advanced machine for sorting potatoes. URL: https://www.researchgate.net/publication/343110087_Advanced_machine_for_sorting_potatoes_tubers.
7. Roya Hassankhani, Hossein Navid. Potato sorting based on size and color in machine vision system. *Journal of agricultural science*. 2012. Vol. 4(5). P. 235-244.
8. Yu Yang, Zhenfang Liu, Min Huang, Qibing Zhu, Xin Zhao. Automatic detection of multi-type defects on potatoes using multispectral imaging combined with a deep learning model. *Journal of Food Engineering*. 2023. Vol. 336. P. 146-156.
9. Potato surface defect detection based on deep transfer learning. URL: <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/9/863>.
10. Machine vision system: a tool for quality inspection of food. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3550871/>.
11. The need for machines for the nondestructive quality assessment of potatoes with the use of artificial intelligence methods and imaging techniques. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/4/1787>.
12. Автоматизовані системи керування технологічними процесами. Укладач : Карташов В.В. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. 148 с.
13. Abdallah N.A. Genome Editing Techniques in Plants: A Comprehensive Review and Future Prospects toward Zero Hunger. *GM Crops Food*. 2021. Vol. 12, 601–615.
14. Van Dijk M., Morley T. Meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nat. Food* 2021, Vol. 2. P. 494-501.
15. Цвіркун Л.О., Омельченко О.В., Цвіркун С.Л. Автоматизоване управління процесом сортування картоплі із використанням системи машинного зору на основі аналізу характеристик механічного руху сировини // Обладнання та технології харчових виробництв: зб. наук. праць. Кривий Ріг : ДонНУЕТ. №3(45). 2023. С. 145-148.
16. Конвеєри: види, класифікація та сфера застосування. Режим доступу: <https://ssk.ua/ua/blog/konvejery-vidy-klassifikacija-i-sfera-primeneniya-482>.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40