

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему:

**“Розроблення лінії по переробці горіхів в умовах
ТОВ "ТЕРРА ЕКСІМ”**

Виконав: студент VI курсу, групи Маш-61

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

Дмитро БЕРЕЗІЮК

(Ім'я та прізвище)

Керівник: д.т.н., проф. Віталій ВЛАСОВЕЦЬ

(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

д.т.н., професор Власовець В.М.
“28” квітня 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
Березюк Дмитро Ігорович

1. Тема роботи: **«Розроблення лінії по переробці горіхів в умовах ТОВ "ТЕРРА ЕКСІМ"»**

Керівник роботи: Власовець Віталій Михайлович, д.т.н., проф.

Затверджена наказом по університету від 28.04.2023 року № 133/к-с

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 15.01.2024 року

3. Вихідні дані: Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи відомих технологічних процесів виробництва та розрахунків технологічного обладнання; Матеріали навчальної, методичної довідкової та наукової літератури; Методики визначення економічної ефективності впровадження нового технологічного рішення.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Огляд інформаційних джерел;

2. Машина та обладнання для переробки горіхів в;

3. Використання технологій комп'ютерного зору для локалізації продукції;

4. Маркування даних;

5. Тренування моделі комп'ютерного зору;

Висновки і пропозиції;

Бібліографічний список.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint: Мета та задачі досліджень; Актуальність нішевих культур; Приклади глибокої архітектури Deep NN; ЗАГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД ВУЗЛА МИТТЯ ТА ІНСПЕКЦІЇ ФУНДУКА, ГРЕЦЬКОГО ГОРІХА ТА ПРИКЛАДИ ЙОГО ВСТАНОВЛЕННЯ НА ВИРОБНИЦТВІ; машини для загрузки горіхів; графік машини для мийки горіхів; машини для сушки горіхів; машини для калібрування горіхів; архітектура сервісу для розмітки зображень AWS; архітектура сервісу комп'ютерного зору AWS; розмітка зображень класу мигдаль; тренування, запуск моделі; Симуляції з використанням роботів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про вико- нання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,4	Власовець В.В., д.т.н., проф. кафедри машинобудування			

7. Дата видачі завдання: 28.04.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк вико- нання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	Виконання розділу: «Огляд інформаційних джерел»	28.04.23- 15.06.23	
2.	Виконання другого розділу: «Машини та обладнання для переробки горіхів»	16.06.23- 15.08.23	
3.	Виконання розділу: «Використання технологій комп'ютерного зору для локалізації продукції»	16.08.23- 08.11.23	
4.	Виконання підрозділу: «Маркування даних»	09.11.23- 11.12.23	
5.	Виконання підрозділу: «Тренування моделі комп'ютерного зору»	12.12.23- 3.01.24	
6.	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому	4.01.24- 15.01.24	

Студент _____
(підпис)

Віталій СКРИПКА

Керівник роботи _____
(підпис)

Віталій ВЛАСОВЕЦЬ

УДК 631.332

Розроблення лінії по переробці горіхів в умовах ТОВ "ТЕРРА ЕКСІМ"

Березюк Д.І. Кваліфікаційна робота. – Дубляни, Львівський національний університет природокористування, 2024р.

51 с. текст. част., 15 рис., 5 табл., 28 джерел інформації.

Метою роботи є удосконалення процесу сортування для лінії по переробці горіхів в умовах ТОВ "ТЕРРА ЕКСІМ".

Відповідно до поставленої мети в роботі вирішені наступні задачі.

- оцінити вплив цифрової трансформації на роботу підприємств у відповідності до принципів Індустрії 4.0;
- провести оцінку обладнання, яке використовується для переробці горіхів в умовах ТОВ "ТЕРРА ЕКСІМ";
- з використанням платформи AWS розробити модель для ідентифікації якісної продукції та провести її випробування;
- запропонувати удосконалення процесу сортування.

ЗМІСТ

Вступ	6
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	7
1.1. Актуальність тематики дослідження	8
1.2. Подолання викликів за рахунок впровадження концепцій індустрія 4.0.	9
1.3. Впровадження інноваційних цифрових бізнес-концепцій.	13
1.4. Ключові технології для сучасних машинобудівних підприємств	15
1.5. Використання систем комп'ютерного зору в машинобудуванні	22
РОЗДІЛ 2 МАШИНИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ГОРІХІВ	27
2.1. Обладнання технологічної лінії обробки фундука та волозького горіха	27
2.2. Обладнання для миття горіхів	29
2.2. Візуальний контроль якості сировини	31
РОЗДІЛ 3 О ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ПРОДУКЦІЇ	34
3.1. Використання технологій комп'ютерного зору для ідентифікації продукції на технологічних лініях по переробці горіхів	34
3.2. Маркування даних	35
3.3. Тренування моделі комп'ютерного зору	42
3.4. Використання роботів ABB IRB 360-3/800 3D та ABB IRB 360-1/1130 4D Base для сортування та розділення продукції	46
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ	49
Список використаних джерел	50

ВСТУП

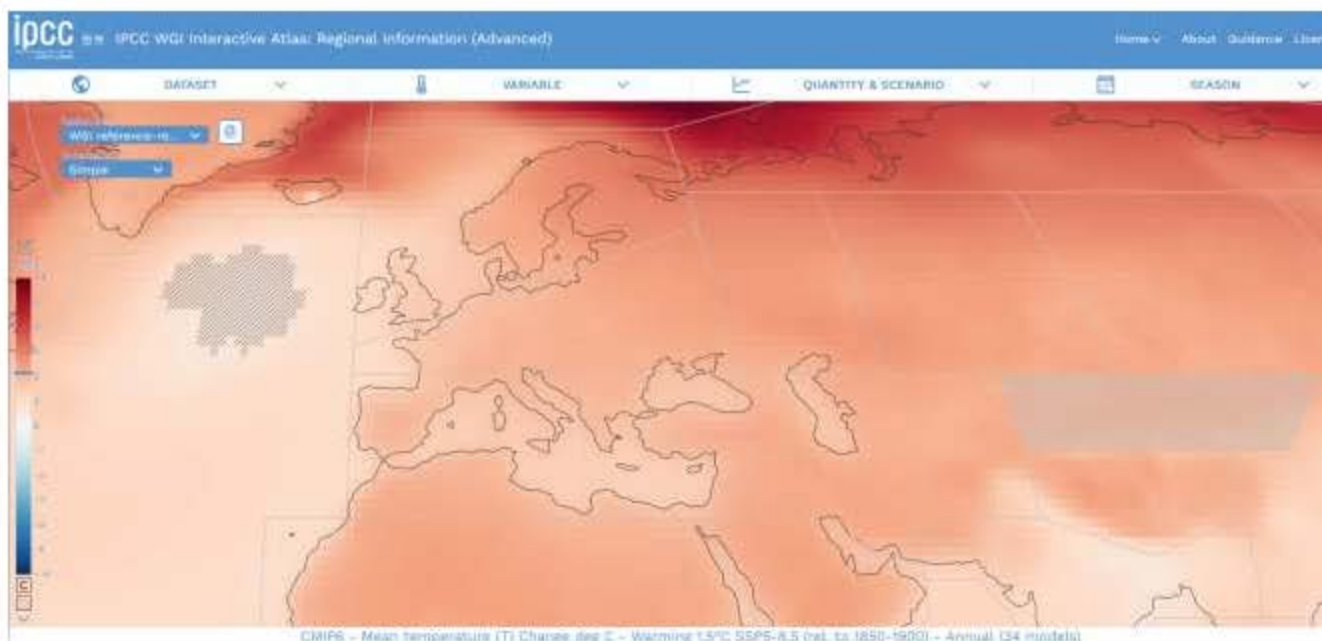
Машинобудування як галузь переживає значні трансформації, викликані стрімким розвитком технологій. Особливу роль у цих змінах відіграють комп'ютерний зір та робототехніка, які разом формують нову еру автоматизації та ефективності в машинобудуванні. Основні тенденції у машинобудуванні, які висвітлюють значимість цих технологій, відповідають промислому фреймворку Індустрія 4.0. Використання роботів на виробництві підвищує продуктивність та зменшує помилки, викликані людським фактором. Роботи здатні виконувати монотонну, складну або небезпечну роботу, що робить виробничі процеси більш безпечними та ефективними. Використання систем комп'ютерного зору для контролю якості виробів на виробництві відкриває нову еру у сфері бездефектного виробництва. Ці системи можуть точно ідентифікувати дефекти, які можуть бути непомітними для людського ока. Сучасні роботи можуть швидко адаптуватися до змін у виробничих задачах, що дозволяє швидко перенастроювати виробництво під різні продукти. Роботи можуть виконувати дуже точні і повторювані рухи, що надзвичайно важливо для виготовлення високоякісних деталей. Автоматизований контроль якості за допомогою комп'ютерного зору забезпечує високий рівень точності та повторюваності. Інтеграція робототехніки з іншими технологіями, такими як Інтернет речей (IoT) і штучний інтелект (AI), створюють потужне підґрунтя для розвитку машинобудування.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Актуальність тематики дослідження

Відповідно до даних всесвітньої організації кліматичного контролю глобальне потепління набуває все більшого розповсюдження, в тому числі і на території України.

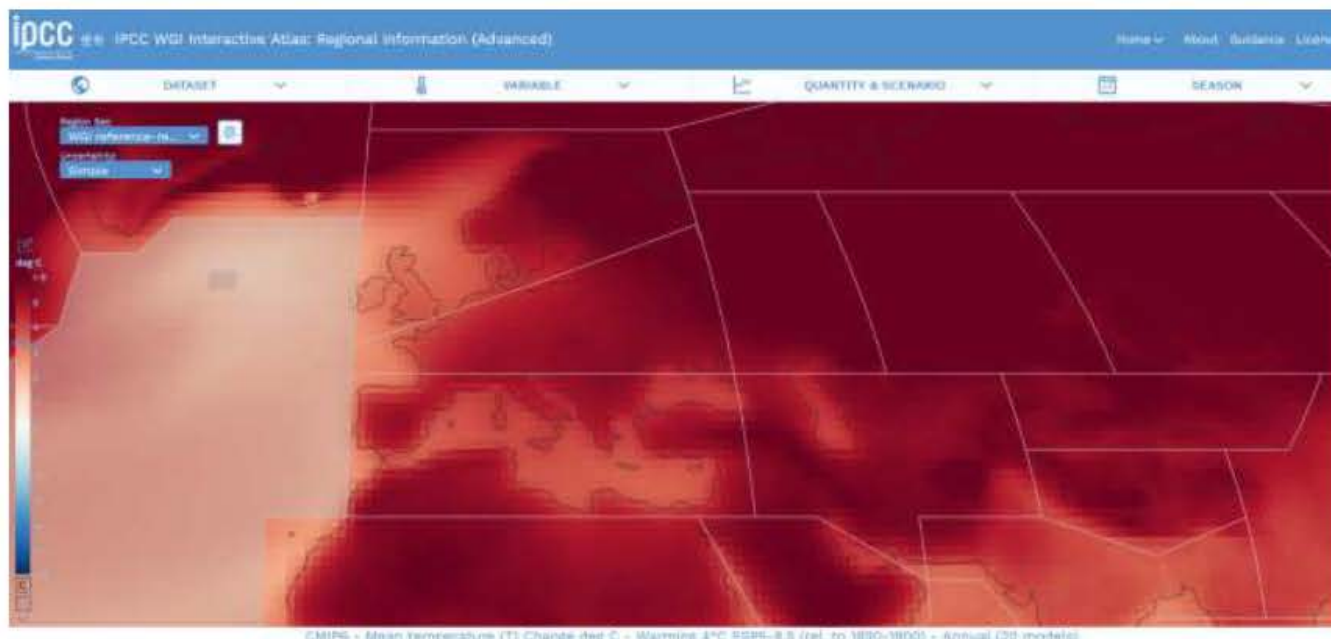


а)

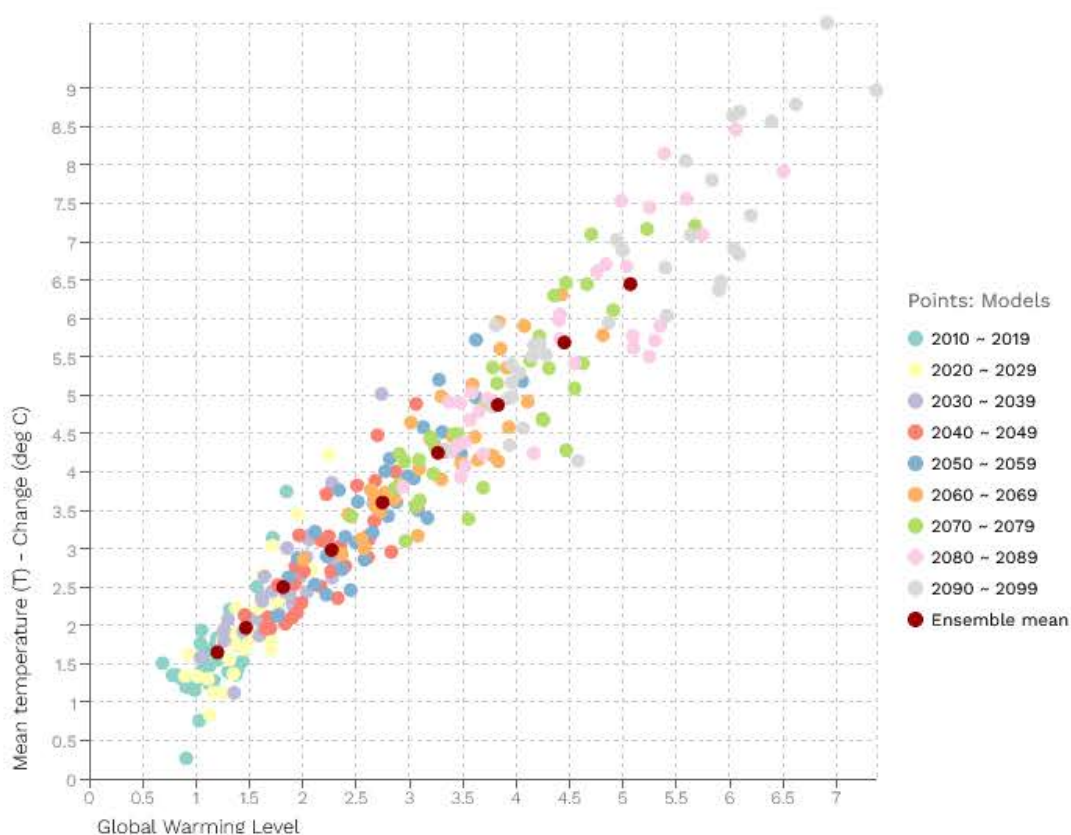


б)

Рисунок 1.1. Теплова карта глобального потепління при прогнозі підвищення 1,5°C : а – розподіл зміни температур по регіону; б – динаміка зміни в графічному виді



a)



б)

Рисунок 1.2. Теплова карта глобального потепління при прогнозі підвищення 4°C : а – розподіл зміни температур по регіону; б – динаміка зміни відносно глобального індексу потепління

Порівняно з чинною кліматичною нормою, щороку середньорічна температура тримається на 1-2 градуси вище норми. За даними Національної академії аграрних наук України, в останні десятиліття межі природно-кліматичних зон країни фактично змістилися на 100-150 км на північ. Що це означає? Значно звужуються агротехнологічні строки обробітку. Вміст вологи зменшується, а техніка ще не може зайти в поле, адже сформує суттєве ущільнення ґрунту.

Це означає степова частина України за кліматичним режимом поступово наближається до клімату країн, до яких належить територія Греції. Якщо наявні тенденції зміни клімату збережуться в найближчі 20 років, реальною стане небезпека фактичної втрати для інтенсивного землеробства не тільки зони степу, а й понад половини площ орних земель України.

Проте завдяки кліматичним змінам це стало можливим, а в деяких районах навіть Львівської області нині можна отримати два врожаї за сезон з одного поля.

Необхідно буде додаткове зрошення, ці системи дорогі та потребують значних витрат. Подальше падіння маржинальності

Другим напрямком буде розвиток нішевих культур, таких як горіхи.

1.2 Подолання викликів за рахунок впровадження концепцій індустрія 4.0.

На початку 20 століття основними силами, що впливали на світову економіку і торгівлю, були нафтова, металургійна та машинобудівна галузі. Сьогодні світ швидко трансформується в цифрову економіку, про що свідчить видатність таких технологічних гігантів, як Amazon, Google, Apple, Netflix і Microsoft, які за останній час стали компаніями з найвищим рейтингом у світі за ринковою капіталізацією останніх років [1, 2]. Цифровізація розвивається з безпрецедентною швидкістю, насамперед через її здатність збирати, використовувати та аналізувати величезні обсяги (цифрових) даних та інформації, що має величезний вплив на кожну сферу промисловості [3]. Ці цифрові дані в основному збираються на основі аналізу цифрових слідів діяльності підприємств, фермерських господарств, які залишаються на різних цифрових платформах [4]. Цифровізація впливає на всі сектори економіки. Ядром цифрової економіки є

інновації в цифрових виробках і послугах, процесах і процедурах, які забезпечуються цифровими технологіями [5, 6]. Kamble та ін. [8, 9] стверджують, що інновації в цифрових технологіях мають чіткий і сприятливий вплив на стійкість організації, оскільки поточні ринкові умови змушують бізнес покращувати цифрові можливості в усіх аспектах своїх стратегій і операцій, щоб залишатися конкурентоспроможними, особливо при швидких кліматичних змінах [10, 11,]. Інтеграція цих технологій може забезпечити швидшу, а також ефективнішу та гнучкішу реакцію на долаючий динамізм і складність навколишнього середовища [14]. У промисловому контексті впровадження цих технологій за допомогою автономних, заснованих на знаннях і сенсорних системах саморегулювання відоме як Індустрія 4.0. [15, 16].

Вибуховий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій та їх подальша інтеграція в бізнес-процеси є суттю четвертої промислової революції, відомої як Індустрія 4.0 [16, 17]. Індустрія 4.0 складається з кількох інноваційних технологій, які різко революціонізували сферу бізнесу, забезпечивши руйнівні відповіді на виклики, пов'язані з такими проблемами, як екологічна невизначеність [18, 19]. Технологічні інновації, яким сприяє Індустрія 4.0, дають можливість перевести економічні процеси на якісно нові рівні управління [20]. У наш час прийняття та інтеграція Індустрії 4.0 стає все більш важливим через її життєво важливу роль у підвищенні організаційної ефективності, оперативності та конкурентоспроможності [21, 22]. У результаті він стає все більш популярним, особливо у виробництві та логістиці [23]. Незважаючи на те, що віртуалізація підвищує видимість, прозорість, передбачення та гнучкість, що може сприяти стійкості бізнесу до збоїв у навколишньому середовищі [27, 28], підприємства не лише рухаються до цифрової трансформації з підтримкою Індустрія 4.0, щоб отримати ефективну адаптивну відповіді на виклики конкурентоспроможності, що випливають із динаміки навколишнього середовища, а також для того, щоб скористатися наступними можливостями таких змін навколишнього середовища [30, 31].

Інтеграція Індустрія 4.0 приносить із собою певні переваги, такі як покращена гнучкість, покращені стандарти якості, підвищена ефективність і підвищена продуктивність [34]. З появою Індустрії 4.0 зв'язок між машинами та людьми збільшився. Ці технології можуть впливати на процеси шляхом перетворення звичайних приладів на

інтелектуальні пристрої, які можна використовувати для включення передових систем [35]. Таким чином, технології І 4.0 розширили підключення до виробництва, сприяючи бездоганній інтеграції бізнес-архітектури та процесів [36, 37]. Застосування технологій Індустрія 4.0 у бізнес-ланцюгах постачання сприяло підвищенню їх гнучкості та оперативності [40, 41]. Дані, отримані щодо вподобань клієнтів за допомогою технологій Індустрія 4.0, таких як Інтернет речей (IoT) і Big Data Analytics (BDA), сприяють масовому налаштуванню, дозволяючи компаніям задовольняти різноманітні потреби, переваги та вимоги клієнтів за допомогою інноваційних рішень, адаптованих до їхніх потреб. задовольняти потреби з особливою точністю [42, 43]. Індустрія 4.0 не лише змінює фундаментальні аспекти діяльності підприємств, такі як виробництво, продажі, технічне обслуговування та обслуговування, але також змінює способи взаємодії та спілкування співробітників і партнерів. Комплексне прийняття рішень було замінено системою прийняття рішень у реальному часі, що забезпечує інтелектуальні рішення з надзвичайною своєчасністю та одночасністю.

Існує глибоке розуміння того, що Індустрія 4.0 – це система й набір надзвичайно руйнівних технологій, які суттєво змінили (бізнес-моделі) не лише в галузях, а й у звичайних сферах життя [46]. Вважається, що цифровізація є важливим двигуном конкурентоспроможності для МСП. Ключові компетенції щодо технологічних інновацій, такі як Індустрія 4.0, підвищують цінність фірм як на стратегічному, так і на операційному рівнях. Встановлено, що якщо підприємство успішно адаптує цифрові технології у своїй роботі, то воно може стати причиною для залучення більшої кількості інвесторів і партнерів. Однак, незважаючи на широку інтеграцію технологій Індустрія 4.0, дослідження їхнього потенціалу впливу на конкурентоспроможність на корпоративному та бізнес-рівнях все ще знаходяться в зародковому стані, і більшість з них зосереджена на функціональному впливі одноцифрових інструментів [30]. Крім того, встановлено, що цифровізація змінює правила ринку та має значний вплив на стратегії, руйнуючи не лише компанії, які не здатні адаптуватися, але й цілі ринки.

Одним із найбільш значущих подій останніх десятиліть стала поява економіки, що керується знаннями. Становлення економіки знань пов'язане з цифровізацією фірм, організацій та установ. У такій економіці інформація та знання є ключовими ре-

сурсами для формування конкурентної переваги. Неперевершена здатність збирати, обробляти та використовувати інформацію з цифрового середовища має вирішальне значення для успіху цифрової економіки, орієнтованої на знання. Цифровізація активно сприяє розвитку нових компаній і стартапів, оскільки створити компанію для роботи в електронному бізнесі відносно просто і доступно. Відомо, що для швидкого розвитку стартапам необхідно швидко інтернаціоналізуватись, і цього найкраще досягти шляхом цифровізації бізнесу. Цифровізація є одним із головних трендів розвитку малого та середнього бізнесу під час пандемії, яка залишилася після 2021 року.

Цифровізація створює нове конкурентне середовище через трансформацію бізнес-стратегій, моделей і процесів. Цифровізація, як правило, бажана і здійснюється таким чином, щоб зменшити втрати ресурсів, задіяних у бізнес-процесах; однак цей процес зазвичай призводить до значної трансформації бізнес-моделей. Встановлено, що фірми, які займають позиції на ринку, можуть досягти значних покращень в інноваціях завдяки цифровій трансформації, особливо в умовах високого рівня ринкової та технологічної невизначеності.

Цифровізація бізнес-моделей поширюється на всі аспекти роботи компанії: ціноутворення, управління ресурсами, розвиток замкнених процесів, формування екологічного середовища. Модель цифровізації складається з чотирьох основних етапів. Перший етап передбачає визначення поточної позиції та рівня цифровізації компанії. На другому етапі визначаються цілі цифровізації. Третій етап передбачає розробку дорожньої карти цифровізації, а четвертий – її впровадження. Ці кроки повторюватимуться, доки не буде реалізовано належний рівень цифровізації. Компанії в усьому світі впроваджують цифрові технології для створення ефективних, прозорих і стійких систем. У майбутньому компанії з бізнес-процесами, заснованими на цифрових технологіях, матимуть конкурентну перевагу [13]. Отже, чим швидше буде запроваджено цифровізацію, тим більше виграє компанія. У промисловому контексті впровадження цифрової трансформації своєчасним, ефективним і дієвим способом узгоджується з прийняттям і впровадженням Індустрії 4.0.

Індустрія 4.0 ідеально окреслює суть Четвертої промислової революції з появою кіберфізичних систем, що сприяють автоматизованим організаційним/інституційним

операціям на інтелектуальних фабриках, зі значними наслідками для можливих інвестицій, споживання, розвитку, робочих місць і комерціалізації. Концепція «Індустрія 4.0» була вперше представлена в 2011 році на Ганноверському ярмарку та була доведена до відома багатьох урядів у всьому світі [8]. Концепція за своєю природою означає новий етап в еволюції виробничих систем шляхом інтеграції різноманітних нових технологій, які можуть додати значну цінність усьому виробничому процесу. Цей промисловий фреймворк являє собою новий організаційний рівень управління та контролю всього ланцюжка створення вартості для індивідуальних товарів і послуг для адаптації до постійно мінливих потреб і бажань клієнтів [19]. До його складу входять наступні три компоненти.

Цифровізація та розширена інтеграція в різні вертикальні та горизонтальні ланцюжки створення вартості: створення персоналізованих продуктів, цифрових замовлень клієнтів, автоматизованих систем доставки даних та інтегрованих рішень для обслуговування клієнтів.

Цифровізація продуктів і послуг: надання вичерпних описів смарт-мережі продукту та пов'язаних послуг.

1.3 Впровадження інноваційних цифрових бізнес-концепцій.

Високий рівень взаємодії систем і технологічних можливостей для створення нових інтегрованих цифрових бізнес-моделей. Основою промислового Інтернету (IIoT) є вбудована доступність і моніторинг систем у всьому підприємстві в режимі реального часу.

Незважаючи на те, що термін «Індустрія 4.0» походить з Німеччини, він має схожість із тенденціями в інших країнах Європи, де йому давали різні назви, наприклад «розумні фабрики», «розумна промисловість» або передове виробництво. Розумна фабрика стосується застосування передових технологічних інновацій у цифровій сфері, зокрема передової робототехніки та штучного інтелекту, високотехнологічних датчиків, хмарних обчислень, Інтернету речей, збору та аналітики даних, цифрового виробництва та інтеграції все це в сумісний цифровий ланцюжок створення вартості, який широко впроваджується та використовується багатьма організаціями з багатьох

країн [9, 10]. Він передбачає екосистему, яка дозволяє інтелектуальним пристроям взаємодіяти один з одним, забезпечуючи не тільки можливість автоматизувати виробничі операції, але й певний рівень аналізу та розуміння виробничих проблем, а також можливість вирішувати ці проблеми з мінімальною залученням людей. Він заохочує використання Big Data, Інтернету речей і штучного інтелекту (ШІ). Хоча спочатку в основному стосувалися сектору виробництва, ці технології показали значний вплив на продуктивність у інших секторах на наступному етапі його еволюції і набули широкого поширення в різних галузях. На сьогоднішній день встановлена високий рівень впливу таких напрямків як робототехніка та автоматизація, великі дані, Інтернет речей та кібербезпека, у покращенні інновацій у продуктах, процесах і послугах промисловості.

Індустрія 4.0 представляє зміну парадигми розумного виробництва, тісно поєднує виробничі операційні системи з інструментами взаємодії, інформації та штучного інтелекту. Gigafactory Tesla в Берліні, Adidas Speed Factory в Ансбаху, Infineon Smart Factory в Дрездені та Siemens Elektronikwerk в Амберзі (EWA) є яскравими прикладами того, як компанії можуть використовувати справжній потенціал передових технологій I 4.0, таких як робототехніка, 3D-друк, AGV, IoT, цифрові двійники, штучний інтелект, хмарні та периферійні обчислення для підвищення гнучкості, надійності, ефективності, продуктивності та тривалості циклу шляхом забезпечення розумного виробництва в середовищах реального часу. Головною метою Industry 4.0 є підвищення продуктивності та швидкості реагування виробничих систем. Індустрія 4.0 впливає на виробничий сектор трьома різними способами: по-перше, через вертикальну інтеграцію, по-друге, через горизонтальну інтеграцію, і, по-третє, через наскрізне проектування. Індустрія 4.0 представляє, зокрема, кардинальні зміни в тому, як сьогодні працюють виробничі операції. Технології Індустрія 4.0, які охоплюють суть цієї цифрової трансформації, впливають на виробничу промисловість, перетворюючи звичайні прилади на інтелектуальні пристрої, які можна використовувати для включення передових систем [17]. Проте технології Індустрія 4.0 пропонуються для підвищення видимості, передбачуваності та співпраці [18], сфера застосування яких переконливо виходить за межі виробничих операцій.

1.4. Ключові технології для сучасних машинобудівних підприємств

У ширшому контексті цифрові технології – це широке поняття, яке охоплює будь-яку технологію, що містить цифрові елементи. Технології Індустрія 4.0 можна класифікувати як фізичні та віртуальні. Фізичні технології в першу чергу стосуються промислових процесів, таких як адитивне виробництво, сенсорні технології та дрони. Віртуальні технології включають широкий спектр сучасних комунікаційних та інформаційних технологій, включаючи хмарні обчислення, технологію блокчейн, великі дані та моделювання [19]. Вони втілюються через кіберфізичні системи, які роблять виробничі процеси масштабованими та модифікованими, дозволяючи масове виробництво товарів, які дуже індивідуальні [18]. Безумовно, коли кіберфізичні системи взаємодіють через IoT, вони пов'язують фізичні товари, інфраструктуру, окремих працівників, комп'ютери та процеси через межі організації, дозволяючи конвергенцію віртуального та фізичного світів за допомогою виконавчих механізмів, датчиків та обчислювальної потужності для передавати дані в правильну кількість часу до децентралізованих механізмів прийняття рішень [20].

Технології Індустрії 4.0 вже втілені у восьми основних технологічних сферах, а саме: Інтернет речей (IoT), хмарні технології, аналітика великих даних (BDA), 3D-друк, кіберфізичні системи, кібербезпека, робототехніка та візуальні обчислення, віртуальна реальність (VR/AR).

Інтернет речей (IoT). IoT відповідає певному технологічному підходу, коли кілька пристроїв, які можуть вмикати та вимикати Інтернет для використання програмного забезпечення та процедур автоматизації, які забезпечують розумне життя, об'єднані в мережу один з одним [12]. Кожен пристрій, який підтримує технологію інтелектуальних датчиків, кваліфікується як пристрій середовища IoT. Будь-який об'єкт, включно з людиною, може стати вбудованим у мережу IoT за допомогою смартфонів або носимих пристроїв. Виробництво IoT на сьогоднішній день є передовою виробничою методологією перетворення традиційних методів виробництва на розумні виробничі пристрої. Ці розумні пристрої взаємопов'язані та взаємодіють один з одним у цифровому вигляді за допомогою датчиків. Пристрої можуть взаємодіяти автоматично та адаптуватися до виконання виробничої логіки. Для промислових підп-

риємств IoT являє собою інновацію -- шлях до досягнення операційної досконалості. IoT представляє мережу Інтернету наступного покоління, що забезпечує широке розширення Інтернету та забезпечує повсюдне підключення від об'єктів до об'єктів, автономне отримання інформації в режимі реального часу, обчислення та подолання розривів, що з'єднують об'єкти матеріального світу з їх зображенням у інформаційні засоби [21]. Наявність можливостей IoT може дозволити компанії повноцінно та всебічно використовувати штучний інтелект, моделювання, автоматизацію, робототехніку, системи збору даних і мережі для передового проектування. За допомогою цих передових рішень можна побудувати потужну, спільну та перспективну виробничу інфраструктуру, яка може забезпечувати стійкі економічні переваги [19]. Можливості Інтернету речей могли б збільшити можливості диференціації товарів чи послуг і відвести фокус конкуренції від вартості. Інформація про моделі покупок і використання клієнтів, зібрана за допомогою датчиків продуктів, інтегрованих в IoT, може привести до кращого та повного розуміння характеристик клієнтів, їхніх смаків, уподобань і вимог, таким чином допомагаючи фірмам надавати індивідуальні та диференційовані рішення для їхніх потреб [13].

Технологія блокчейн. Технологія, представлена в 2008 році, була включена до списку 10 найкращих стратегічних технологічних розробок [14] і була названа найбільш значущою інновацією з часів Інтернету [15]. Технологія блокчейн використовує встановлені принципи шифрування та служить сховищем інформації про транзакції, а також документується та передається через децентралізовану однорангову мережу. Усі учасники зберігають копію цифрової ланцюжкової книги та перевіряють нові записи за допомогою консенсусного протоколу в цій мережі. Ця функція становить великий інтерес, оскільки вона може сприяти скануванню, посередництву та вирішенню проблем довіри між організаціями в мережах співпраці. Технологія блокчейн зосереджується на обміні цінностями, тоді як попередні технології зосереджені на швидшій і безпечнішій передачі інформації. Технологія блокчейн особливо важлива для мереж ланцюгів постачання для здійснення та перевірки транзакцій для організацій і окремих осіб без центрального органу контролю. Використання блокчейну також підвищує операційну ефективність промислового виробництва. Технологія блокчейн ши-

роко використовується в різних галузях завдяки своїм очевидним функціям, таким як обмін інформацією в реальному часі, кібербезпека, прозорість, надійність, можливість відстеження та видимість [13, 18]. Це підвищує ефективність ланцюгів постачання та логістики, дозволяючи прискорити передачу потоків даних між різними сторонами [19]. Тим не менш, за допомогою технології блокчейн будь-які зміни в даних можуть бути передані миттєво, забезпечуючи швидку адаптацію продуктів і бізнес-процесів, в той же час зводячи до мінімуму помилки вручну та затримки транзакцій [16]. Крім того, ця модульна, сумісна платформа, розроблена для запобігання ризику дублювання витрат, забезпечує ефективну роботу. Крім того, ведення точного відстеження продуктів нижчої якості та допомога у виявленні додаткових угод із цими продуктами потенційно може зменшити потребу в переробці та відкликанні, що, у свою чергу, зменшує використання ресурсів і викиди парникових газів. Однак, незважаючи на такий внесок у зниження споживання енергії та витрат, відомо, що загальне високе споживання енергії та вищі витрати, пов'язані головним чином із початковими вимогами до капіталу, залишаються ключовими недоліками BCT [14]. BCT забезпечує максимальну видимість у всьому ланцюжку поставок із перевіркою статусу продуктів, моніторингом їхнього розташування та іншими корисними функціями, які сприяють ефективності, гнучкості, гнучкості та співпраці ланцюга поставок, доповнені іншими технологіями Індустрія 4.0, такими як IoT. і BDA, можуть допомогти в актуалізації диференціації та досягненні чудових налаштувань на масових рівнях.

Хмарні обчислення. Хмарні обчислення відносяться до обчислювальної парадигми, яка розподіляє завдання між набором підключених пристроїв, програм і спільних служб, доступних через мережу. Зазвичай цю взаємопов'язану мережу серверів і посилянь називають «хмарою». Хмарні обчислення надають можливість отримати доступ до можливостей суперкомп'ютера. Існує сприятлива хмарна інфраструктура, що включає загальний набір віртуалізованого апаратного забезпечення, сховищ і мережевих активів, які об'єднані в пул, які починалися як обслуговуючі платформи для виконання конкретних завдань і виконання різноманітних угод про рівень обслуговування. Хмара складається з кількох об'єктів, включаючи клієнтів, обчислювальні сервери та спільні хости. Він охоплює стійкість до збоїв, високий рівень надійності, властиву

здатність до масштабування, гнучкість, менші зусилля з боку користувачів, нижчі експлуатаційні витрати та послуги за запитом [14]. Хмарне виробництво – це передовий виробничий процес, у якому включені хмарні обчислення, IoT та віртуалізація. Усі ці технології трансформують виробничий процес таким чином, що задіяні послуги можуть бути спільно використані та циркулювати, таким чином покращуючи виробничий процес для досягнення успіху організацій [7, 18].

Хмарні обчислення тісно пов'язаними інструментами керування даними Інтернету речей, такими як хмарні обчислення та периферійні обчислення, завдяки можливості обміну даними в реальному часі через хмарні та/або периферійні (рівні даних). Прийняття хмарних обчислень полегшує мережевий ланцюг поставок за рахунок підвищення видимості в реальному часі, що робить ланцюги поставок більш динамічними, безпечними та придатними для співпраці [14]. Використання хмарних послуг, пов'язаних з управлінням ланцюгом постачання, призводить до певних грошових та управлінських переваг. Зниження витрат у порівнянні з витратами на інвентаризацію на місці, прозорість у ланцюжку постачання, здатність масштабувати платформу та гнучкість, що є результатом співпраці сторін ланцюга постачання. Впровадження хмарних обчислень дозволяє підприємствам швидко і ефективно працювати з мережами поставок, незважаючи на постійну нестабільність ринку. Крім того, завдяки застосуванню хмарних обчислень, організаційна гнучкість створюється завдяки цифровим рішенням plug-and-play, які дозволяють природний процес конфігурації та реконфігурації [14] ресурсів і процесів у прагненні задовольнити різноманітні уподобання клієнтів, тим самим полегшуючи диференціацію.

Штучний інтелект (AI). Штучний інтелект (AI) створений для проектування та створення «мислячих машин», включаючи низку сприятливих обчислювальних технологій, які були розроблені для розпізнавання, навчання, мислення та дій належним чином. Технологічний прогрес у мобільних обчисленнях, здатність зберігати величезні обсяги даних, що зберігаються в Інтернеті, хмарне машинне навчання та стратегії підтримки інформаційних обчислень дозволили штучному інтелекту стати вбудованим у багатьох бізнес-сферах із доведеною здатністю знизити робочі витрати бізнес-одиниць, витрати, збільшити продажі та покращити використання обладнання [16].

Інтелектуальне виробництво, саморегульований і самоконтрольований процес, полегшує виробництво товарів відповідно до визначених вимог до дизайну [163], забезпечуючи диференціацію та покращене налаштування.

Big Data Analytics. Великі дані – це технологічна тенденція, яка допомагає краще оцінювати чи досліджувати світ і, як наслідок, спрощувати прийняття рішень, комунікацію, координацію та дії [21]. Величезні обсяги структурованих і неструктурованих даних можуть надходити з різних джерел, включаючи датчики промислового інтернету речей. Багато компаній інвестували великі ресурси в збір, інтеграцію, аналіз і використання даних для адаптації та налаштування своїх операцій. Нещодавні досягнення в аналітиці великих даних (BDA) призвели до покращених процедур, більшого зростання та агресивних маркетингових методів, які прагнуть підвищити цінність для кожного споживача. Big Data Analytics є досить ефективним у тому, щоб дозволити підприємствам належним чином продемонструвати свою поведінку та отримати цінність, зокрема в продажах, обслуговуванні клієнтів, маркетингу, інноваціях та просуванні. Поєднання Lean Six Sigma (LSS) і Big Data Analytics призводить до збільшення виробництва фірми в динамічних умовах. Поєднуючи технології Big Data Analytics та IoT з методологією Lean Six Sigma (LSS), організації можуть не тільки досягти ефективності та скоротити витрати за рахунок покращеного прийняття рішень, комунікації та координації, але також можуть надавати якісніші рішення для потреб клієнтів. Взаємодія споживачів посилюється, оскільки великі дані підтримують легку інтерактивність на додаток до багатостороннього спілкування. Дані, що охоплюють дії споживачів в Інтернеті, можуть бути отримані (маркетинговими) організаціями, щоб краще зрозуміти моделі поведінки своїх клієнтів, дозволяючи їм здійснювати налаштування та диференціацію, задовольняючи варіації їхніх потреб і вподобань. Lean Six Sigma (LSS) поєднує в собі найкраще з двох найпотужніших методологій операційної досконалості для покращення продуктивності та ефективності бізнес-процесів. Six Sigma зосереджується на зменшенні розбіжностей у процесах, тоді як Lean зосереджується на зменшенні різних видів відходів у процесах. Феноменальний успіх Lean Six Sigma (LSS) призвів до його широкого застосування за межами промислового виробництва. Промислові підприємства що широко використовують Lean Six Sigma (LSS)завичай

мають безпосереднє відношення до Industry 4.0, оскільки більшість інструментів LSS значною мірою покладаються на дані (у реальному часі) для виявлення та усунення дефектів. Можливості підключення Industry 4.0 можуть сприяти обміну даними та інформацією в режимі реального часу в усіх трьох вимірах: різноманітність, довжина та швидкість. Повідомлялося про численні переваги в результаті поєднання Lean Six Sigma та Industry 4.0, включаючи прогнозування збоїв процесів у складних системах, покращення якості продукції та послуг і значне зниження витрат [23]. Завдяки поєднанню Lean Six Sigma (LSS) і Industry 4.0 виробничі процеси можна зробити більш гнучкими [23]. Інтеграція Lean Six Sigma (LSS) і Industry 4.0 надає промисловості додаткові та передові технології, а також систему якості світового рівня. Потужність розширеної аналітики, яку пропонує Індустрія 4.0, підвищує успішність процесів Lean Six Sigma (LSS) завдяки прискоренню збору даних, аналізу та розгортання. Крім того, Industry 4.0 дає змогу точніше та своєчасніше приймати рішення завдяки виключенню людських помилок у процесі збору даних. IoT може допомогти інструментам Lean Six Sigma (LSS) більш ефективно та результативно оцінювати та перевіряти основні причини проблем. На організаційному рівні вимірювання продуктивності та операційних даних можна передавати в режимі реального часу через мережу кіберфізичної системи (CPS), що забезпечує значні операційні вдосконалення.

Індустрія 4.0 підтримує конвергенцію продуктів і процесів, змінюючи тенденцію виробництва від великомасштабного виробництва до індивідуального виробництва та маркетингу [16]. Така адаптація товарів, послуг та/або виробництва високо цінується і, отже, більш поширена в розвинених країнах. Інтернет речей (IoT) підвищує точність аналізу та розпізнавання певної поведінки клієнтів на основі прихованої аналітики від взаємопов'язаних продуктів. Інформація, зібрана датчиками про продукти, інтегровані в IoT, стосується моделей покупок і використання клієнтів і може бути проаналізована, щоб забезпечити набагато точніше та повніше розуміння характеристик клієнтів та їхніх смаків [13]. Крім того, щодня корпорації пошукових систем отримують великі обсяги даних і діляться ними зі своїми клієнтами [25]. Крім того, великі обсяги структурованих і неструктурованих даних також можуть надходити з соціальних медіа, голосових і відеозаписів, електронних листів, відкритих державних

даних, дозволяє отримати корисну інформацію про моделі поведінки споживачів. Використання аналітики великих даних (BDA) також може призвести до створення більш персоналізованих продуктів, інструментів, методів і тактик як для споживачів, так і для практиків. Розуміння вподобань і смаків клієнта щодо нового продукту чи послуги має важливе значення, оскільки це допомагає гарантувати, що інструменти комунікації та управління відносинами (RM) сприймаються як відповідні. Ці дані також можуть надавати корисну інформацію для вищого керівництва та технічних/операційних команд, щоб переконатися, що операційні процеси компанії відповідають бюджету та є більш цілеспрямованими та спрямованими на основні потреби компанії.

Прийняття Індустрії 4.0 покращило інноваційність не тільки в технологічному плані, але й на економічному та організаційному рівнях. Технології Індустрія 4.0 можуть підвищити продуктивність бізнесу на стратегічному рівні шляхом підвищення вартості, гнучкості та конкурентної переваги. Технології також розширюють бізнес-спроможність створювати та поставляти індивідуальні продукти. Ті, хто впроваджує технології Індустрії 4.0, можуть створювати продукти та послуги вищої якості, а також покращувати загальну здатність задовольняти потреби споживачів [17]. Індустрія 4.0 також спричинила посилення бізнес-конкуренції, вимагаючи від керівництва компанії старанної роботи, щоб визначити найкращий підхід до виживання, водночас досягаючи цілей управління компанією (прибуток, частка ринку та зростання, серед іншого) [23].

Індустрія 4.0 є важливим джерелом для стимулювання інновацій, розширення експорту та створення робочих місць. Стратегія має величезне значення для Індустрії 4.0, оскільки вона допомагає ефективно переформатувати бізнес-моделі, підвищує конкурентоспроможність і забезпечує гнучку структуру роботи [12]. Індустрія 4.0 допомогла створити міцний зв'язок між бізнес-стратегією та конкурентною позицією, включивши технологію в існуючу бізнес-модель і підвищивши інновації та креативність, які допомагають створити відмінний імідж на ринку. Підсумовуючи, технологічні інновації, яким сприяє Індустрія 4.0, дають можливість перевести економічні процеси на якісно нові рівні управління [20].

1.3. Використання систем комп'ютерного зору в машинобудуванні

Комп'ютерний зір у машинобудуванні відіграє ключову роль у підвищенні ефективності, точності та автоматизації виробничих процесів. Він використовується для автоматизації збирання та контролю якості, де висока точність та швидкість є критично важливими. Системи комп'ютерного зору дозволяють швидко і точно ідентифікувати дефекти, знижуючи залежність від ручного контролю та покращуючи загальну надійність продукції. Розвиток технологій, таких як машинне навчання та штучний інтелект, сприяє вдосконаленню комп'ютерного зору, забезпечуючи більш точне та гнучке виявлення та класифікацію об'єктів. Це особливо важливо в умовах швидкої зміни виробничих процесів та вимог до продукції.

Інтеграція комп'ютерного зору з робототехнікою відкриває нові можливості для автоматизованого виробництва. Роботи, оснащені системами комп'ютерного зору, можуть самостійно виконувати складні завдання, такі як збірка, зварювання, та точна обробка матеріалів. Це не тільки підвищує продуктивність, але й зменшує ризик людської помилки.

Окрім виробничих застосувань, комп'ютерний зір використовується у проектуванні та тестуванні за допомогою 3D-сканування та віртуальної реальності. Це дозволяє інженерам більш точно моделювати та візуалізувати продукти до їхнього виробництва. Загалом, комп'ютерний зір є важливим інструментом у сучасному машинобудуванні, що забезпечує значні переваги у якості, ефективності, та інноваційності продукції.

Основні тренди у використанні технологій комп'ютерного зору в машинобудуванні включають такі напрями:

1. Автоматизація та контроль якості: Комп'ютерний зір використовується для автоматизації зборки, інспекції деталей та контролю якості продукції. Це дозволяє швидше виявляти дефекти і зменшує потребу в ручному контролі.
2. Розширена реальність (AR) та віртуальна реальність (VR): Ці технології допомагають у проектуванні та симуляції машин і механізмів, дозволяючи інженерам краще візуалізувати кінцевий продукт.

3. Робототехніка: Роботи, оснащені системами комп'ютерного зору, здатні виконувати більш складні та точні завдання, такі як збірка, зварювання та обробка матеріалів.

4. Інтеграція з промисловим Інтернетом речей (IIoT): Завдяки зв'язку з IIoT, системи комп'ютерного зору можуть збирати великі обсяги даних, які можна аналізувати для оптимізації виробничих процесів.

5. Машинне навчання та штучний інтелект: Покращення алгоритмів машинного навчання дозволяє комп'ютерному зору точніше ідентифікувати об'єкти та взаємодіяти з ними в складних середовищах.

6. 3D-сканування та моделювання: Використання комп'ютерного зору для 3D-сканування деталей і компонентів дозволяє створювати точні цифрові моделі, які можна використовувати для проектування та тестування.

7. Безпека та нагляд: Системи комп'ютерного зору використовуються для моніторингу виробничих ліній, що підвищує безпеку праці та зменшує ризики нещасних випадків.

8. Адаптивне виробництво: Комп'ютерний зір дозволяє швидко адаптуватися до змін у виробничих процесах, швидко переналаштовуючи обладнання під нові задачі.

Ці технології розвиваються стрімко, постійно вносячи інновації та покращення у всі аспекти машинобудування.

Питання використання технологій комп'ютерного зору є дуже актуальним для машинобудування сьогодні з кількох причин.

Використання алгоритмів комп'ютерного зору для автоматизації процесів виробництва дозволяє значно знизити варіабельність у виробничих процедурах. Завдяки точному виявленню та класифікації об'єктів, ці системи здатні впроваджувати статистичний контроль якості в режимі реального часу, що забезпечує оптимізацію параметрів процесу.

Прогрес у розвитку алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту збільшив потенціал комп'ютерного зору. Застосування глибоких нейронних мереж (Deep Learning) дозволяє системам комп'ютерного зору аналізувати складні образи з висо-

кою точністю, що важливо для виявлення складних дефектів та аномалій у виробничих матеріалах.

Інтеграція комп'ютерного зору з робототехнічними системами сприяє створенню автономних роботів, здатних виконувати складні завдання з високою точністю. Це зокрема важливо для задач, де потрібна висока точність, таких як збірка складних компонентів.

Застосування комп'ютерного зору для моніторингу робочих процесів та виявлення потенційних ризиків здоров'ю та безпеці працівників сприяє створенню безпечного робочого середовища.

Хоча впровадження технологій комп'ютерного зору вимагає первинних інвестицій, довгостроково це призводить до зниження операційних витрат за рахунок зменшення виробничих відходів, підвищення ефективності процесів та зниження потреби в ручній праці.

Уміння швидко адаптуватися до змін у виробничих вимогах є критично важливим в умовах швидкого розвитку технологій і змінних ринкових умов. Комп'ютерний зір дозволяє виробничим системам ефективно переналаштовуватися на виробництво нових продуктів.

У цілому, інтеграція технологій комп'ютерного зору в машинобудування є стратегічним кроком для підвищення конкурентоспроможності та інноваційності підприємств у цій галузі.

За останнє десятиліття сфера комп'ютерного зору (CV) швидко розвивалася. Дослідження методів глибокого навчання (DL) допомогли комп'ютерам імітувати людський мозок, щоб «бачити» вміст у відео та зображеннях і перетворювати його на практичну інформацію. Навколо нас є приклади різноманітних застосувань CV, включаючи безпілотні автомобілі, розпізнавання тексту та рукописного тексту, класифікацію різних типів дефектів на зображеннях, перевірку промислового обладнання та розпізнавання облич і об'єктів у відео. Незважаючи на нещодавні досягнення, доступність величезних обсягів даних із різних джерел створила проблеми у створенні масштабованих рішень CV, які забезпечують високоякісні результати. Автоматизація виробничого конвеєра CV – це громіздке завдання, яке потребує багатьох кроків.

CV є доменом у AI та ML. Це дозволяє комп'ютерам виявляти та розуміти візуальні дані (відео та зображення), щоб робити прогнози:



Рисунок 1.3 – CV є піддоменом AI та ML

Типи алгоритмів ML. Контрольоване навчання (SL) – приймає набір позначених вхідних даних і передбачає відоме цільове значення. Наприклад, модель можна навчити на наборі позначених зображень зварного шва. Коли нове зображення зварного шва без міток обробляється моделлю, модель правильно передбачає, що це зображення зварного шва, а не електрода.

Неконтрольоване навчання (UL) – надаються немарковані дані, і шаблони або структури потрібно знайти в даних, оскільки цільове значення з мітками відсутнє. Одним із прикладів UL є цільова маркетингова кампанія, де клієнтів потрібно сегментувати на групи на основі різних загальних атрибутів, таких як демографічні дані.

Напівконтрольоване навчання — складається з немаркованих і позначених даних. Це корисно для завдань CV, оскільки маркування окремих зображень займає багато часу. За допомогою цього методу потрібно позначити лише деякі зображення в наборі даних, щоб позначити та класифікувати зображення без міток.

Алгоритми DL зазвичай використовуються для вирішення задач CV. Ці алгоритми складаються зі штучних нейронних мереж **artificial neural networks (ANNs)**, що містять шари вузлів, які функціонують як нейрони в мозку людини. Нейронна мережа **neural network (NN)** має кілька рівнів, включаючи один або більше вхідних, прихова-

них і вихідних рівнів. Вхідні дані проходять через вхідні рівні. Вузли виконують перетворення вхідних даних у прихованих шарах і створюють вихід на вихідний рівень. Вихідний рівень – це місце, де відбуваються передбачення вхідних даних. На рисунку 1.4 показано приклад глибокої архітектури **deep NN (DNN)**.

Завдяки технології CV і DL можна виявляти шаблони на зображеннях і використовувати їх для класифікації. Одним із типів **neural network**, який чудово класифікує зображення, є згорюва NN (CNN). CNN надихнули ANN. Те, як вузли в CNN спілкуються, повторює те, як тварини візуалізують світ. Одним із застосувань CNN є класифікація зображень, щоб допомогти визначити дефекти виробів (рис. 1.5).

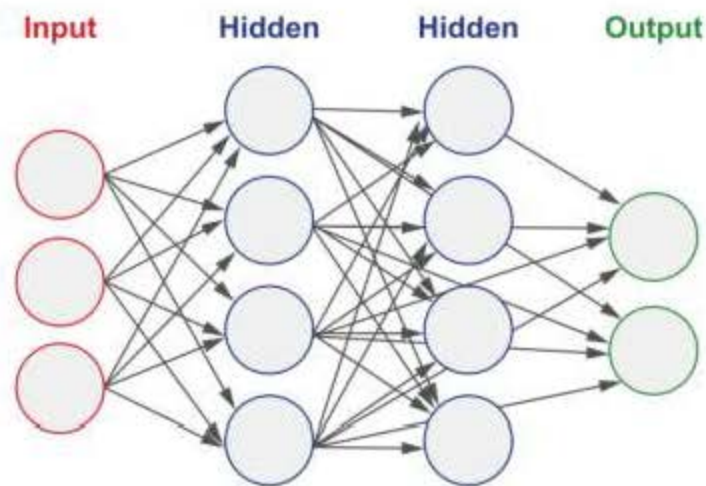


Рисунок 1.4 – Приклад глибокої архітектури Deep NN (DNN)

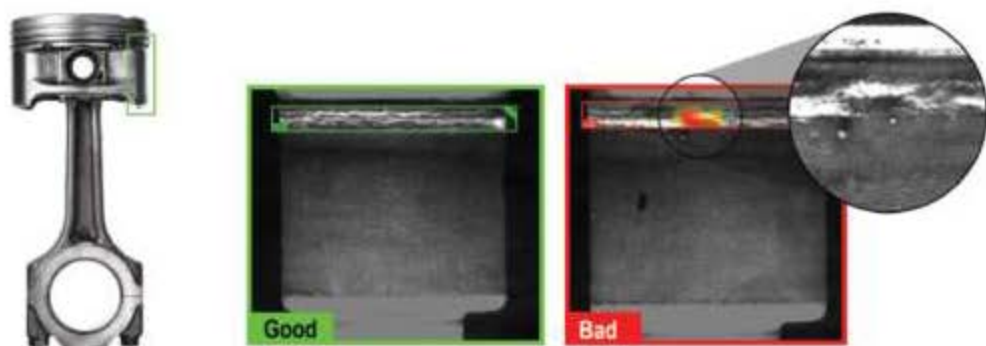


Рисунок 1.5 – Приклад використання глибокої архітектури Deep NN (DNN) для дефектації бокової сторони поршня після експлуатації

РОЗДІЛ 2

МАШИНИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ГОРІХІВ

Для виробництва горіхів використовуються спеціальні технологічні лінії. В даному розділі буде розглянуто основне обладнання, що використовується для виробництва.

2.1 Обладнання технологічної лінії обробки фундука та волозького горіха.

Промислова обробка фундука включає в себе кілька ключових етапів, які забезпечують перетворення сировини в якісний кінцевий продукт. Основні стадії традиційного процесу включають в себе наступне.

1. Збір та підготовка врожаю - фундуки збираються, коли вони досягають зрілості, зазвичай в кінці літа або на початку осені. Сучасні методи збору включають використання механічних збирачів.

2. Сортування та очищення - зібраний фундук очищаються від листя, гілок та інших забруднювачів, також проводиться попереднє сортування за розміром та якістю.

3. Зниження вологості - фундук сушиться для зниження вологості, що підвищує термін зберігання та запобігає розвитку плісняви. Сушіння може виконуватися природним шляхом на сонці або в спеціалізованих сушильних камерах.

4. Видалення оболонки - шкаралупа з фундуків знімається за допомогою механічних лушпильників. Сучасні лушпильники можуть автоматично регулювати силу лушплення в залежності від розміру та зрілості горіхів.

5. Калібрування та розмірне сортування - фундук калібрується за розміром, що важливо для його подальшої переробки та упаковки, проводиться контроль якості візуальний або механізований відбір для виявлення та видалення пошкоджених або зіпсованих горіхів.

6. Обжарювання та/або мелення - фундук часто обжарюють у спеціалізованих обжарювальних машинах для підвищення аромату та покращення смакових якостей. Для виробництва фундучної пасти або масла фундуки мелють до необхідної консистенції.

7. Упаковка та зберігання - готовий продукт упаковується для зберігання та транспортування. Упаковка виконується таким чином, щоб запобігти псуванню.



а)



б)

Рисунок 2.1 – Загальний вигляд (а) вузла миття та інспекції фундука, грецького горіха та приклади (б) його встановлення на виробництві.

Виріб необхідно вимити за допомогою мийної установки для видалення забруднень і пилу. Для очищення поверхні нейлоновими щітками використовується вода. Після процесу миття продукт надходить у видувну машину, де залишок води видувається високим тиском повітря, а потім горіхи перевіряються на конвеєрі для оцінки їх якості. Волоські горіхи, фундук та інші продукти подаються в бункер машини через гвинтовий конвеєр для обробки шляхом їх калібрування та миття. Перевага цього обладнання полягає в тому, що сировина подається рівномірним потоком, що підвищує ефективність калібратора та промивача, а також дозволяє проводити повторну обробку без перерви в процесі обробки.

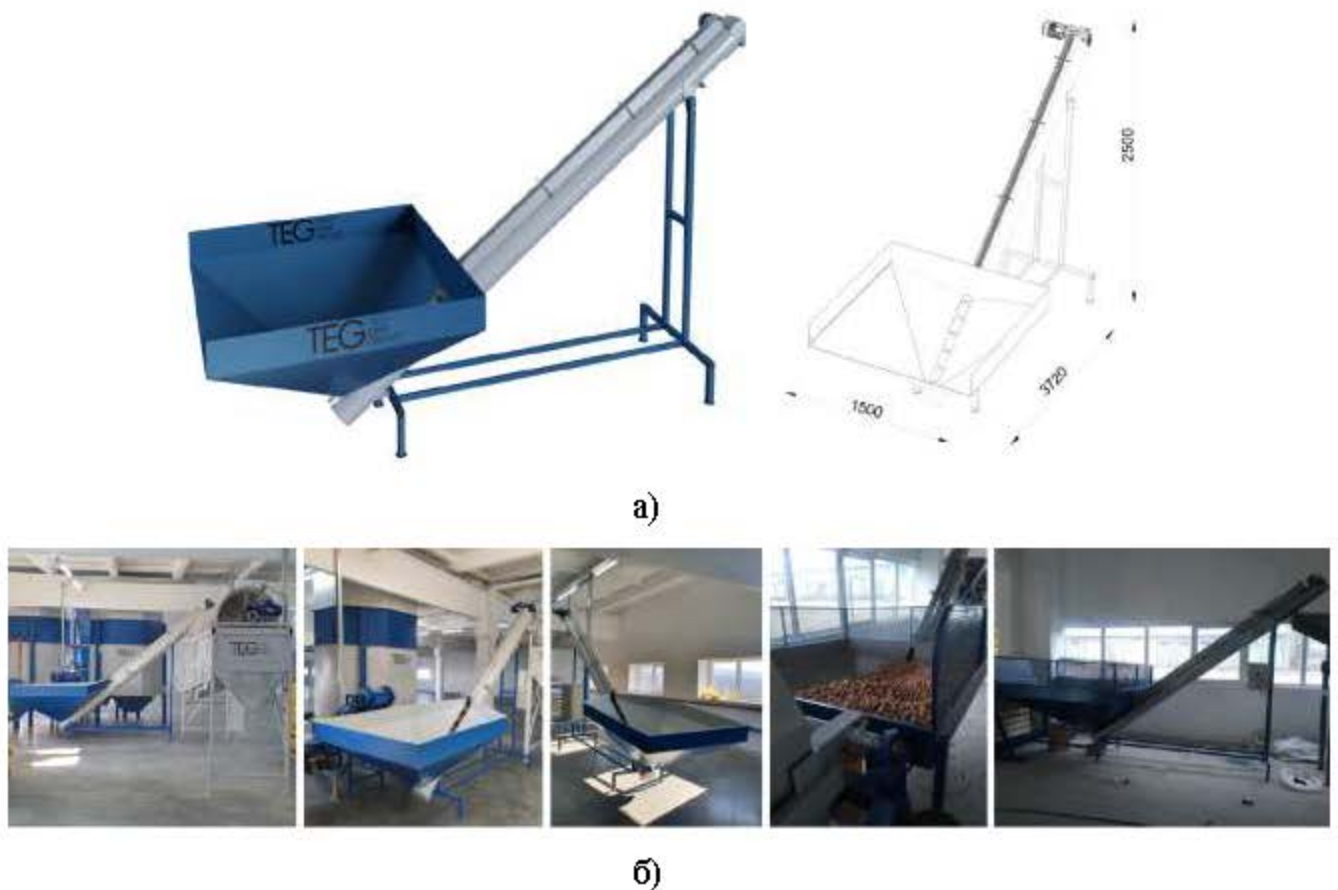


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд (а) шнека загрузки горіхів КПП/2 та приклади (б) його встановлення на виробництві.

2.2. Обладнання для миття горіхів

Мийка призначена для миття та полірування цілих волоських і лісових горіхів, як неочищених, так і необроблених. Для досягнення найкращого результату потрібна лише чиста вода без хімічних добавок. Мийка містить нейлонові щітки. Кожна щітка складається з 80-мм секцій. Такий підхід дозволяє економно обслуговувати мийку і позбавляє від необхідності повної заміни пошкодженої ділянки щітки. Достатньо замінити пошкоджені ділянки. Доступні різні варіанти цього механізму. Щітки барабана здійснюють круговий рух і з деякими модифікаціями більш ретельно перемішують сировину під час миття. Після миття видувальна машина оснащена можливістю видалення будь-якої залишкової вологи (води) шляхом продування. Після сушіння в цьому розчині час сушіння сировини може бути скорочений на 10-30% залежно від продукту.



а)



б)



в)

Рисунок 2.3 – Загальний вигляд (а) мийки горіхів 2408, приклади (б) її встановлення на виробництві та загальний вигляд моделі 001/04.



а)



б)

Рисунок 2.4 – Загальний вигляд (а) машини обдуву горіхів 001/04 та приклади (б) її встановлення на виробництві.

2.3 Візуальний контроль якості сировини

Візуальний контроль якості сировини – мета інспекційного конвеєра. Він підсвічується світлодіодами при температурі світіння до 5000 К, а його основою може бути нержавіюча або конструкційна сталь. Можна використовувати різні стрічки. Сушильний комплекс дозволяє сушити цілі волоські горіхи, а також фундук та інші горіхи. Комплекс має низку переваг, серед яких короткий період сушіння та можливість ретельно висушити всі горіхи. Діапазон температур для сушіння горіхів становить від 25 до 65°C, але конкретний продукт можна змінювати. Сировина сушиться в резервуарі. Шнек у центрі резервуару – це місце, де змішується продукт для забезпечення рівномірного сушіння. У технології сушіння використовуються системи енергозбереження. Тепле повітря подається радіаторами, які обігріваються водяною

системою. Завдяки такому рішенняю можлива установка водогрійних котлів різних типів (дров'яних, газових або електричних). Доступні як ручний, так і повністю автоматичний режим роботи.



а)



б)

Рисунок 2.5 – Загальний вигляд (а) сушильного комплексу СВГ та приклади (б) його встановлення на виробництві.

Робота вузла очищення полягає у відділенні ядра лісового горіха від його оболонки та інших дрібних включень. Z-подібний конвеєр завантажує продукт у вібробункер, який рівномірно подає його у аспіраційну установку, де відбувається відділення ядра, після якого очищений фундук потрапляє на інспекційний конвеєр для візуального контролю.



а)



б)



в)

Рисунок 2.6 – Загальний вигляд вузла калібрування горіхів (а) та роторного калібратора (б), приклади (в) їх встановлення на виробництві.

РОЗДІЛ 3

ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ПРОДУКЦІЇ

3.1 Використання технологій комп'ютерного зору для ідентифікації продукції на технологічних лініях по переробці горіхів

Є кілька типів проблем, які CV може вирішити. Локалізація (**Detection**) визначає місцезнаходження одного або кількох об'єктів на зображенні та рисує обмежувальну рамку навколо об'єктів. Виявлення об'єктів використовує локалізацію та класифікацію для ідентифікації та класифікації одного чи кількох об'єктів на зображенні. Ці завдання є більш складними, ніж класифікація зображень. Швидкий R-CNN (частина від CNN), SSD (одиначний детектор) і YOLO (дивимося лише один раз) – це інші типи моделей DNN, які можна використовувати для завдань виявлення об'єктів. Ці моделі створені для підвищення продуктивності, наприклад, зменшення затримки та підвищення точності.

Сегментація, включаючи сегментацію екземплярів і семантичну сегментацію, виділяє пікселі зображення замість об'єктів і класифікує їх. Сегментацію також можна застосувати до відео, щоб виявити чорні рамки, кольорові смуги, кінцеві титри та зміни кадру:

Незважаючи на нещодавні досягнення в CV і DL, у цій галузі все ще існують проблеми. Системи CV є складними, потрібно обробляти величезні обсяги даних, і перед навчанням моделі необхідно врахувати міркування. Важливо розуміти доступні дані, оскільки якість моделі залежить від якості даних і кроків, необхідних для підготовки даних для навчання моделі.

Обробка даних та розробка функцій. CV має справу із зображеннями та відео, які є формою неструктурованих даних. Неструктуровані дані не мають попередньо визначеної моделі даних і не можуть зберігатися у форматі рядків і стовпців бази даних. Цей тип даних створює унікальні проблеми порівняно з табличними даними. Для перетворення даних у придатний для використання формат потрібна додаткова обробка. Комп'ютер сприймає зображення як матрицю значень пікселів. Піксель – це набір

чисел від 0 до 255 у системі червоний, зелений, синій (RGB). Зображення відрізняються роздільною здатністю, розмірами та кольорами. Щоб навчити модель, алгоритми CV вимагають нормалізації зображень таким чином, щоб вони були однакового розміру. Додаткові методи обробки зображень включають зміну розміру, обертання, підвищення роздільної здатності та перетворення з RGB на градації сірого. Ще одна техніка – це маскуванню зображення, яке дозволяє нам зосередитися на області досліджень.

Попередня обробка важлива, оскільки зображення часто великі та займають багато пам'яті. Зміна розміру зображення та перетворення його на градації сірого може пришвидшити процес навчання ML. Однак ця техніка не завжди є оптимальною для проблеми, яку ми намагаємося вирішити. Наприклад, під час аналізу металографічних зображень, наприклад використання високотемпературного травлення, кольори зразків мають значення для правильної ідентифікації фази. Ось чому важливо мати повне розуміння проблеми, яку намагаються вирішити, перш ніж вибрати спосіб обробки даних.

Функції або атрибути в ML є важливими характеристиками вхідних даних, які впливають на вихідну або цільову змінну моделі. Відмінні риси на зображенні допомагають моделі відрізнити об'єкти один від одного. Визначення відповідних функцій залежить від контексту проблеми. Якщо необхідно ідентифікувати сульфід у сталі після прокатки і порівняти з карбідною фазою в групі зображень, то довжина включення є важливою характеристикою. Однак якщо необхідно класифікувати різні типи сульфідних включень, то довжини може бути недостатньо. У цьому випадку їх колір, розташування, форма можуть бути більш корисними характеристиками.

3.2 Маркування даних.

Анотація даних або маркування даних – це процес маркування вхідних наборів даних. Це допомагає отримати цінність неструктурованих даних для CV. Деякі з проблем, пов'язаних із маркуванням даних, полягають у тому, що це ручний процес, який забирає багато часу, люди схильні до маркування об'єктів, і його важко масштабувати. Amazon SageMaker Ground Truth Plus (рис. 1.4) допомагає вирішити ці проблеми,

автоматизувавши цей процес. Він містить інтерфейс користувача (UI) для маркування та якісні налаштування робочого процесу. Маркування виконується експертною робочою силою, яка має знання про завдання ML, які необхідно виконати. Це покращує якість етикетки та покращує набори даних для навчання. Сервіс Amazon SageMaker Ground Truth пропонує найповніший набір можливостей експертної обробки, що дає змогу використовувати потужність зворотного зв'язку людини протягом життєвого циклу машинного навчання для підвищення точності та релевантності моделей. За допомогою SageMaker Ground Truth можна виконувати різноманітні завдання, які виконуються людиною в циклі, від генерації даних і анотацій до перегляду, налаштування та оцінки моделі за допомогою самообслуговування або пропозиції, керованої AWS.

Amazon Rekognition Custom Labels також надає візуальний інтерфейс для позначення зображень. Мітки можна застосувати до всього зображення або створити обмежувальні рамки для позначення окремих об'єктів.



Рисунок 1.4 Архітектура сервісу Amazon SageMaker Ground Truth Plus

Комп'ютерний зір має величезну цінність для машинобудування. Нещодавно відбулися технологічні досягнення, які викликають революційні зміни в галузі. Перший випадок використання CV був помічений понад 60 років тому, коли цифровий

сканер використовувався для перетворення зображень у сітку чисел. Сьогодні генеративний штучний інтелект дозволяють нам швидко створювати зображення та відео з текстових підказок.

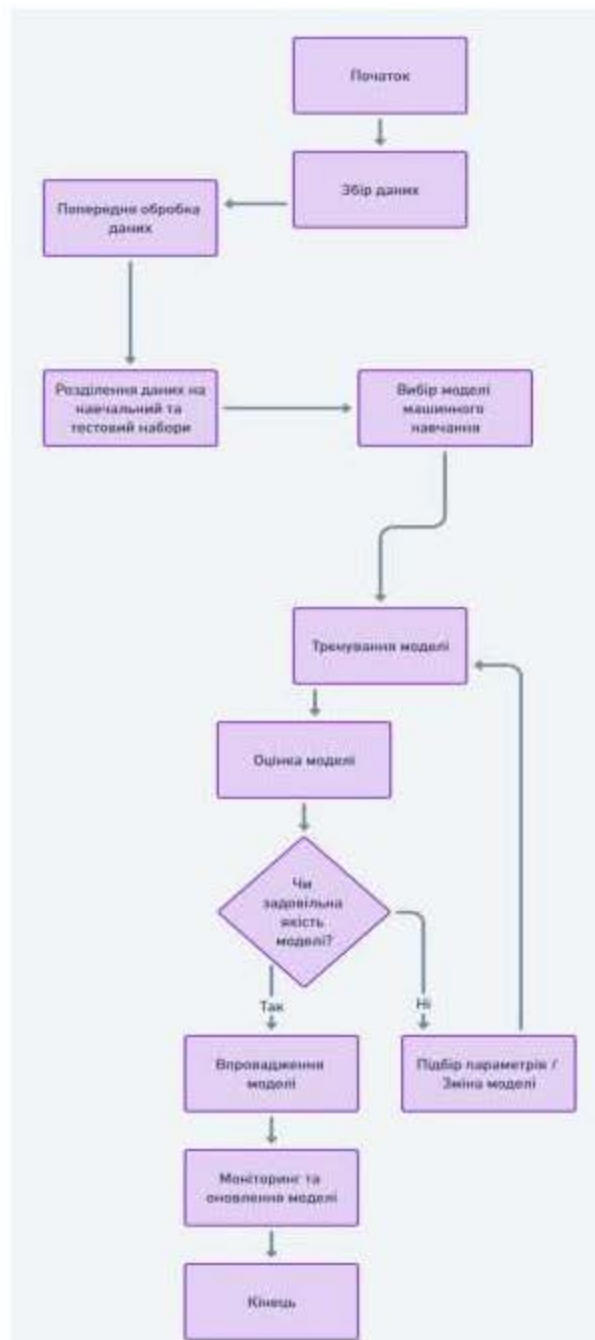
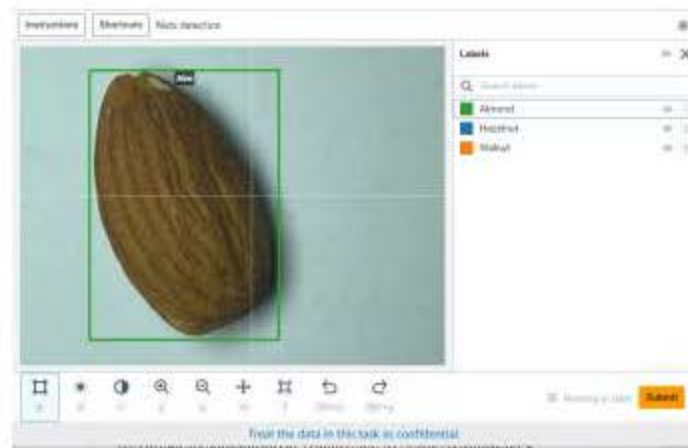
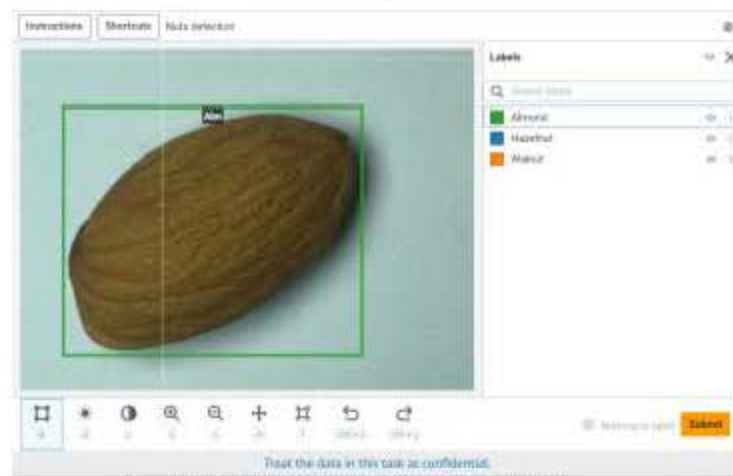


Рисунок 1.5 Алгоритм життєвого циклу моделі машинного навчання для CV

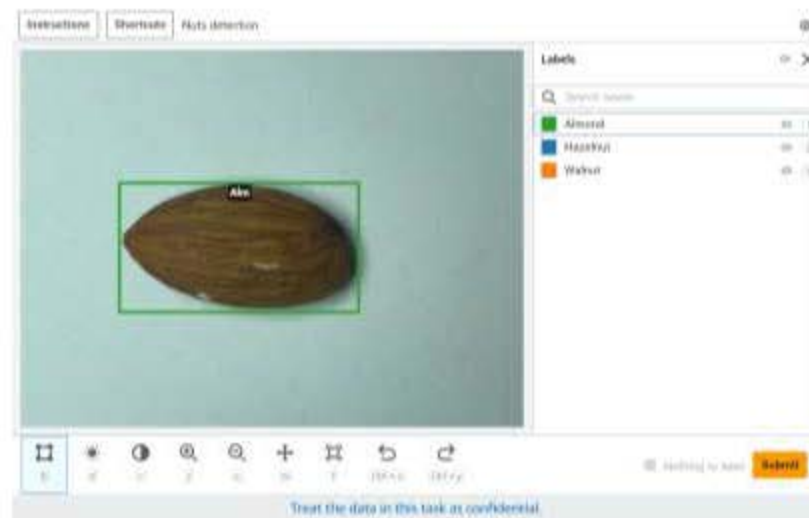
Відповідно до алгоритму виконали збір даних, їх оцифрування. Після завантаження у хмарне сховище сервіса S3 Amazon Web Services по 100 зображень кожного класа виконали їх обробку.



а)

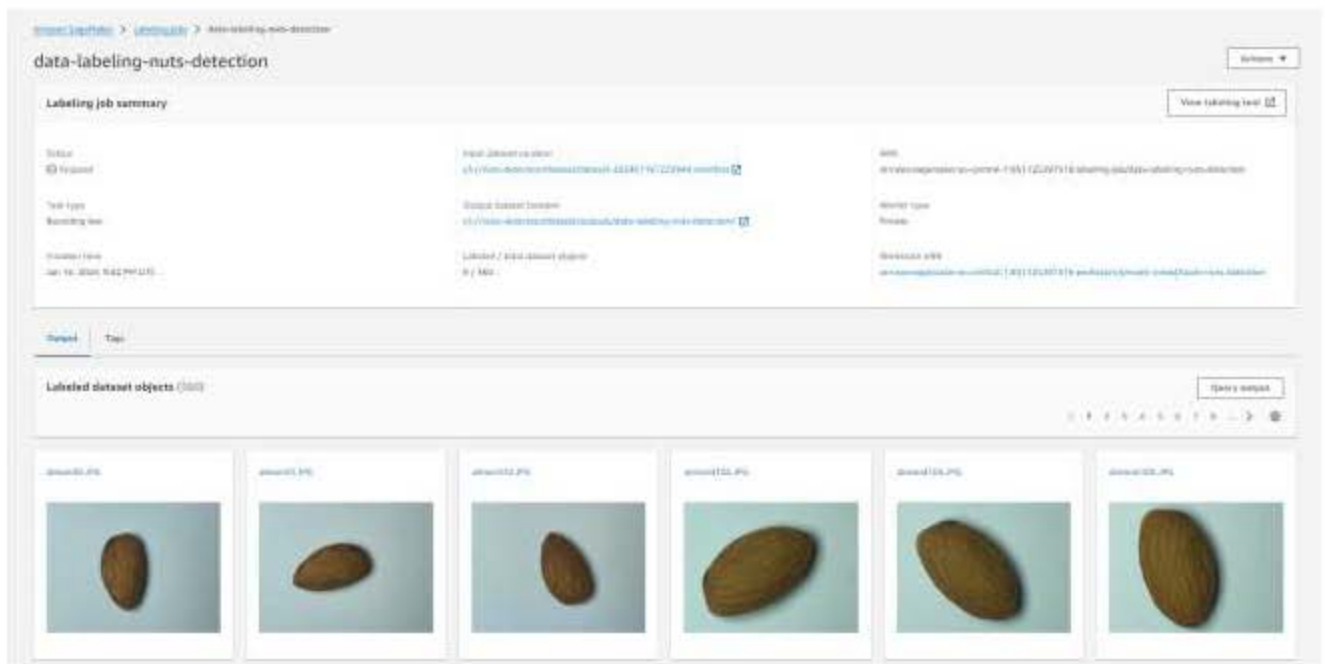


б)

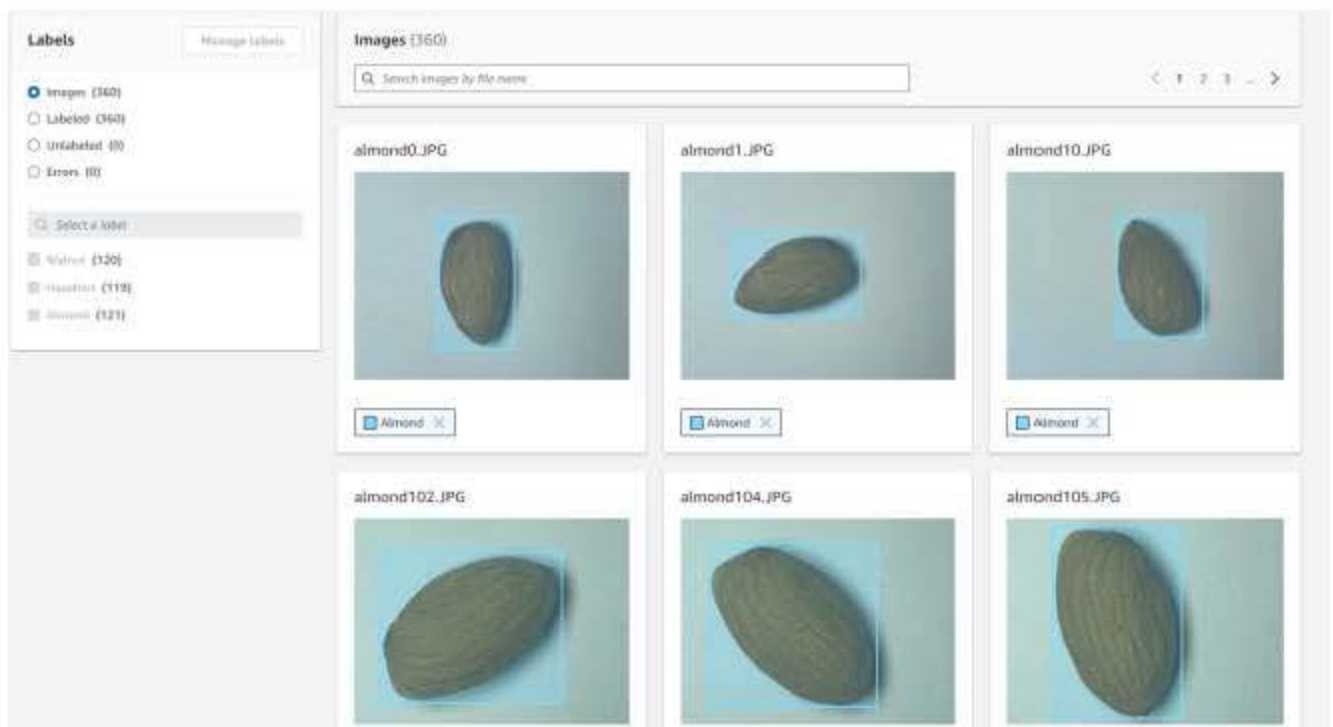


в)

Рисунок 3.2 – Розмітка мигдалю за допомогою програми Amazon SageMaker Ground Truth Plus: а – вертикальне розміщення, б – повернутий вправо; в – розташований горизонтально, повернутий вліво.

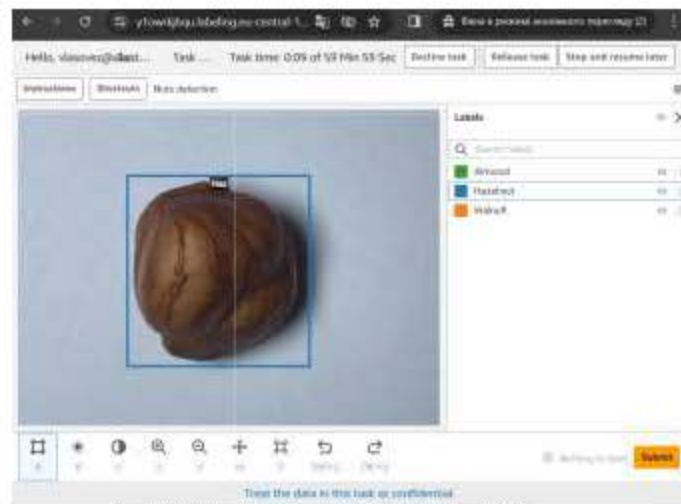


a)

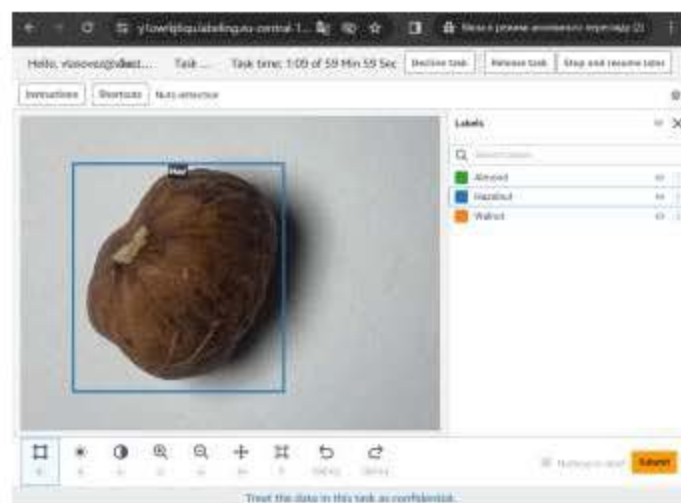


б)

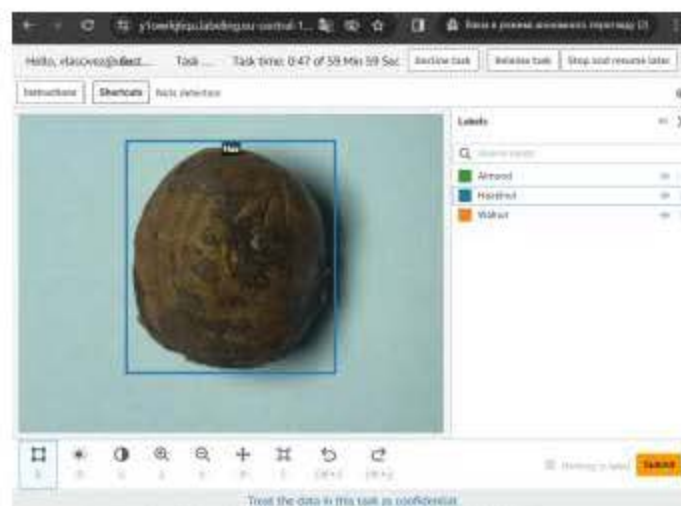
Рисунок 3.3 – Загальний вигляд горіхів мигдалю в Amazon SageMaker Ground Truth Plus: а – завантаження датасету з 100 зображень ; б – розмічені зображення мигдалю



а)

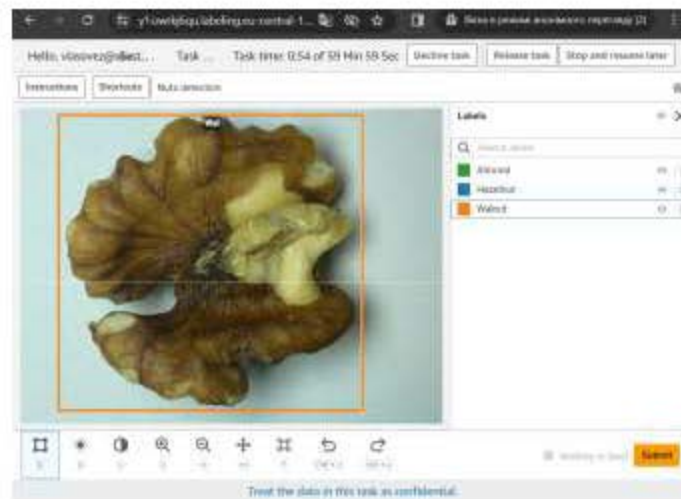


б)

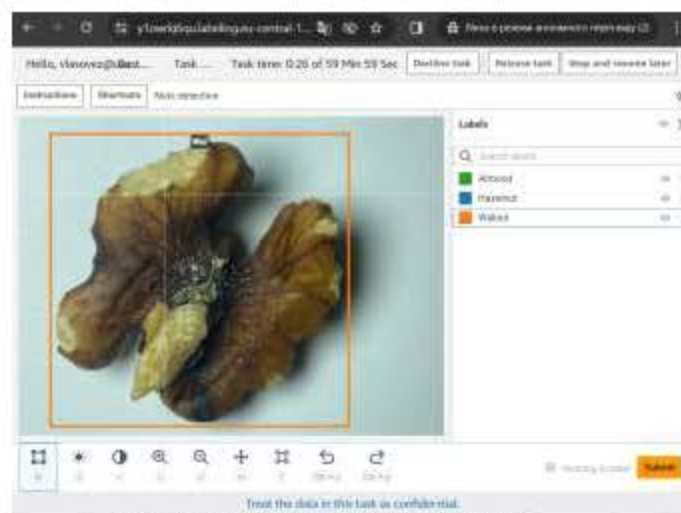


в)

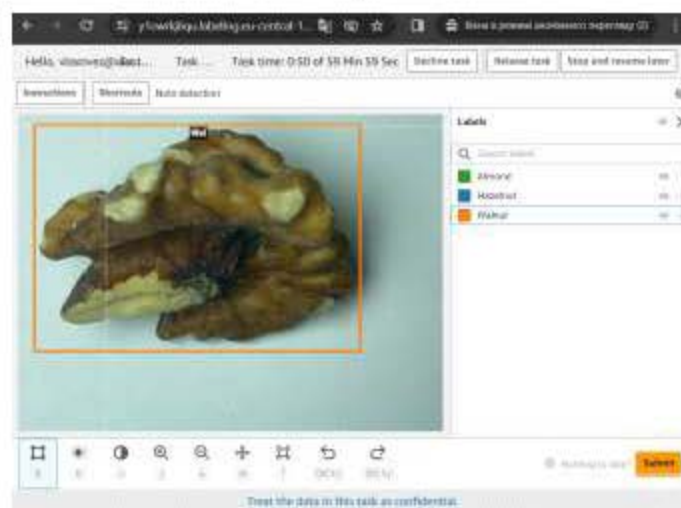
Рисунок 3.4 – Розмітка фундуку за допомогою програми Amazon SageMaker Ground Truth Plus: а – вертикальне розміщення; б – повернутий вліво; в – розташований горизонтально, повернутий вправо.



а)



б)



в)

Рисунок 3.5 – Розмітка волоського горіху за допомогою програми Amazon SageMaker Ground Truth Plus: а – вертикальне розміщення, б – повернутий вліво; в – розташований горизонтально, повернутий вправо

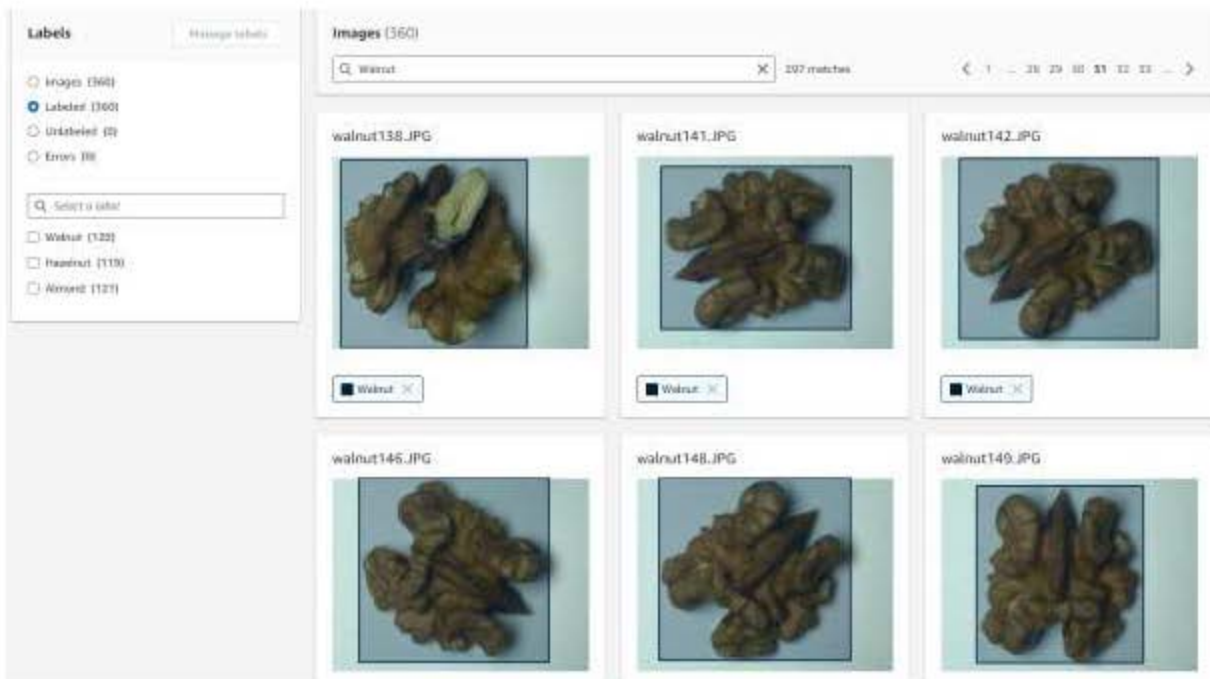


Рисунок 3.6 – Загальний вигляд волоських горіхів в Amazon SageMaker Ground Truth Plus: а – завантаження датасету з 100 зображень; б – розмічені зображення мигдалю

3.3 Тренування моделі комп'ютерного зору

Після завантаження та ідентифікації тренувального датасету виконали тренування моделі Deep Learning

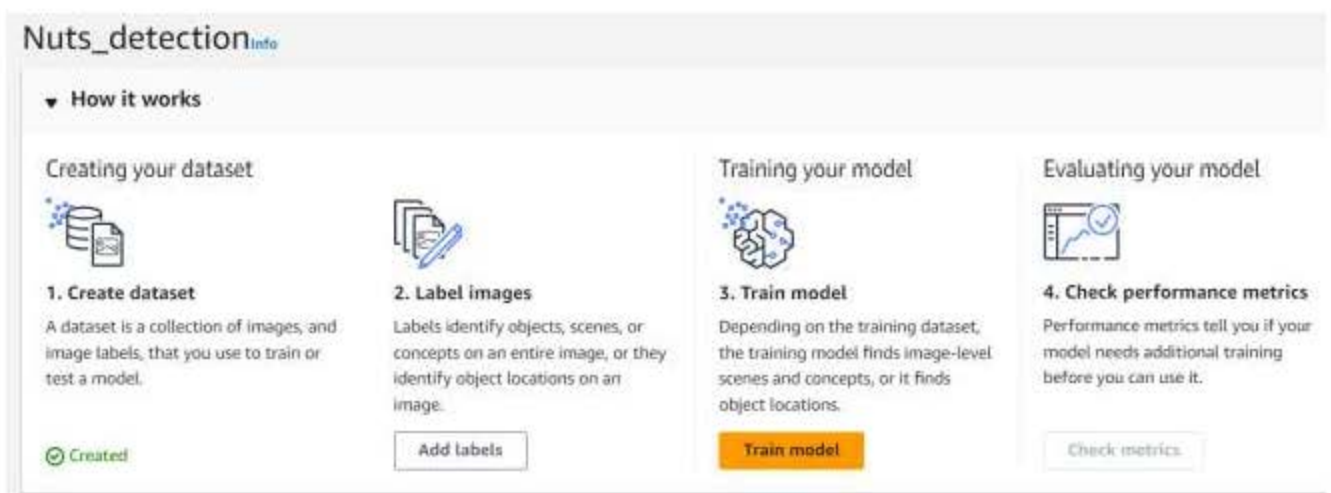
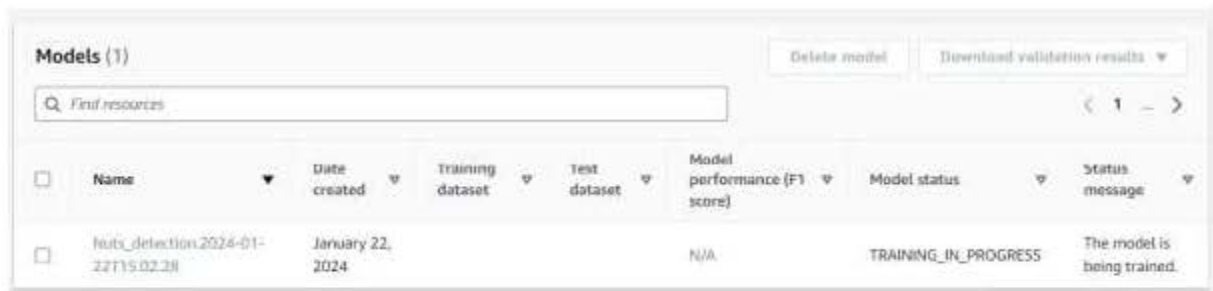


Рисунок 3.7 – Загальний вигляд програми SageMaker після створення датасету та розмітки тренувальної вибірки



Models (1) Delete model Download validation results

< 1 >

<input type="checkbox"/>	Name	Date created	Training dataset	Test dataset	Model performance (F1 score)	Model status	Status message
<input type="checkbox"/>	hubs_detection.2024-01-22T15:02:28	January 22, 2024			N/A	TRAINING_IN_PROGRESS	The model is being trained.

а)



Models (1) Delete model Download validation results

< 1 >

<input type="checkbox"/>	Name	Date created	Training dataset	Test dataset	Model performance (F1 score)	Model status	Status message
<input type="checkbox"/>	hubs_detection.2024-01-22T15:02:28	January 22, 2024			0.819	TRAINING_COMPLETED	The model is ready to run.

б)

Рисунок 3.8 – Початок тренування моделі машинного навчання (а), результат тренування (б) з оцінкою F1 Score = 0.819.

Після тренування моделі, її перевірки на тестовому датасеті отримано значення F1 Score = 0.819, що відповідає середньому показнику точності розробленої моделі.

Для перевірки моделі машинного навчання у виробничих умовах виконали її розміщення на сервері AWS та перевірили її показники при роботі з новими зображеннями.

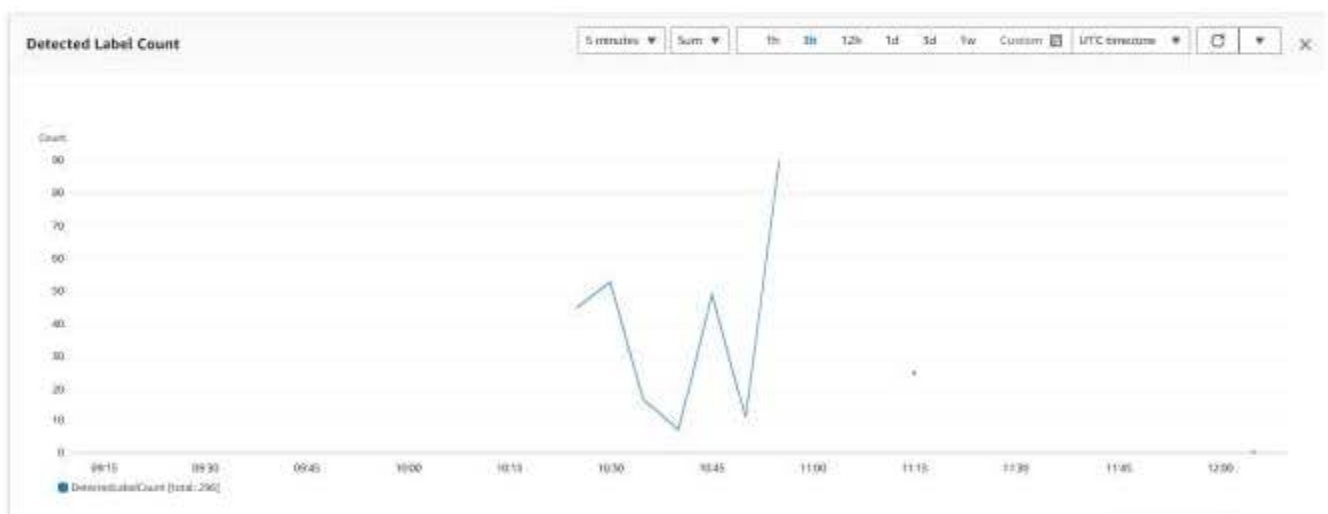
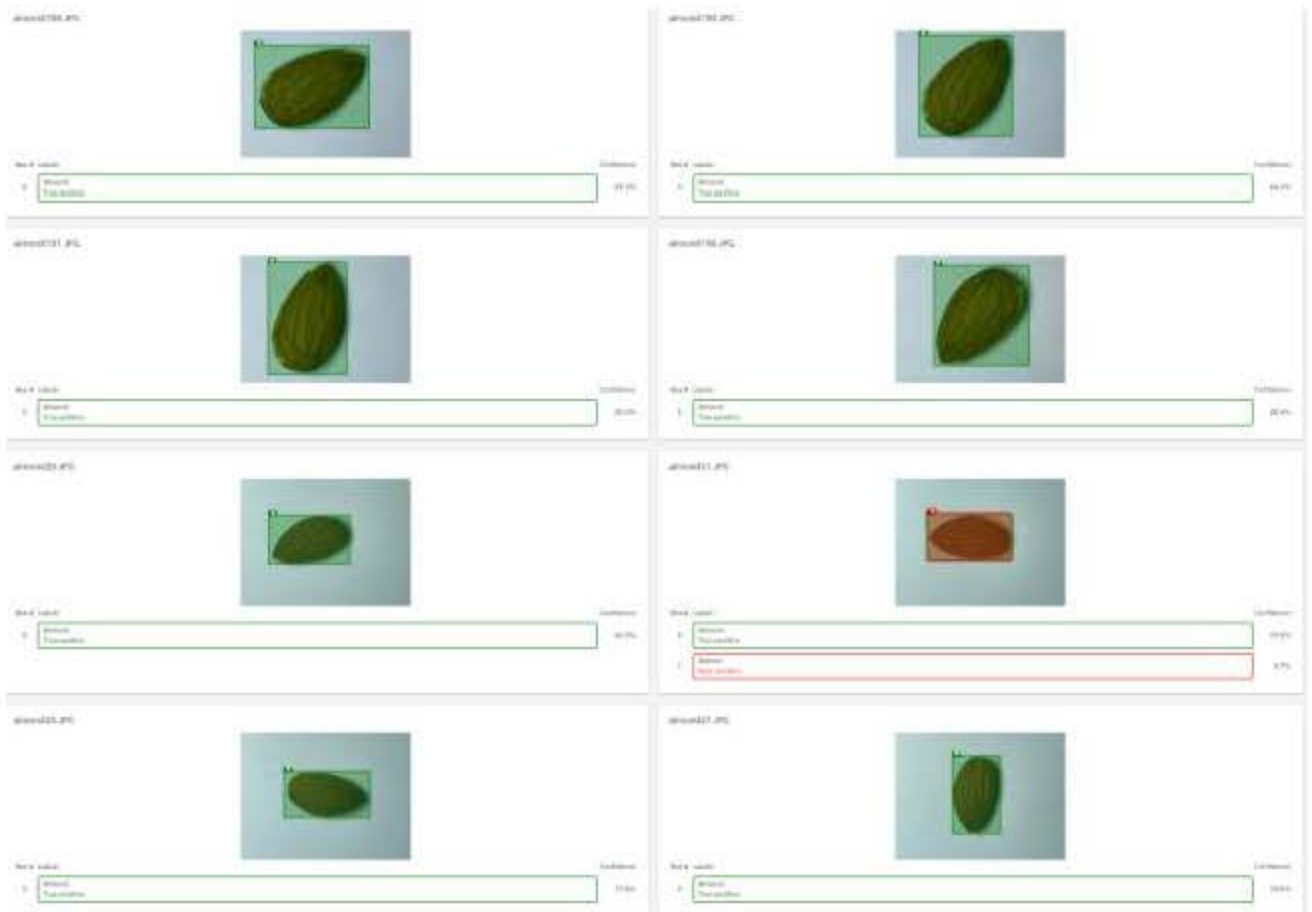


Рисунок 3.9 – Розміщення моделі машинного навчання на робочому сервері AWS та перевірка її на робочому датасеті.

Результати перевірки представлені на рис. 3.10



а)

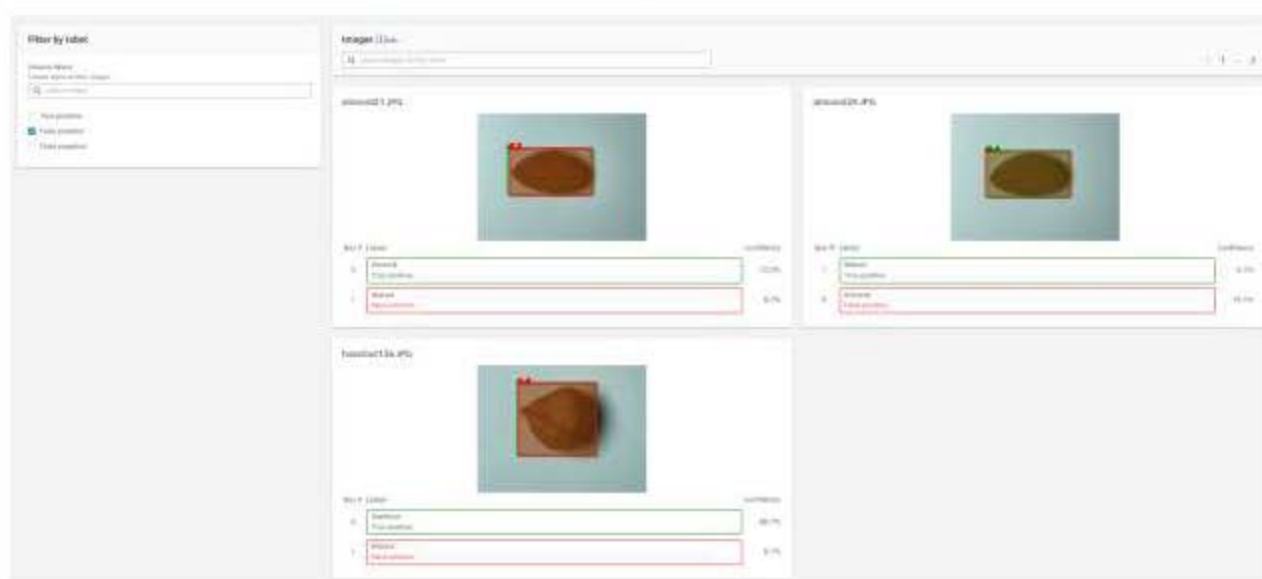


б)

Рисунок 3.10 Результати ідентифікації об'єктів моделлю машинного навчання Nuts_detection/2024-01-22T15.02.28 розміщеної на сервері AWS: а – визначення класу Hazelnut; б – визначення класу Almond.



а)



б)

Рисунок 3.11 – Результати хибного визначення класу (вірогідність 8.1-8.7%) моделі машинного навчання після перевірки її на робочому датасеті, зумовлені недостатністю вибірки для впевненої ідентифікації: а – визначення обох класів Almond та Walnut на одному зображенні мигдаля, що визвано співпадінням в ряді випадків довжини об'єктів для тренувального датасету; б – помилка у визначенні класу Hazelnut.

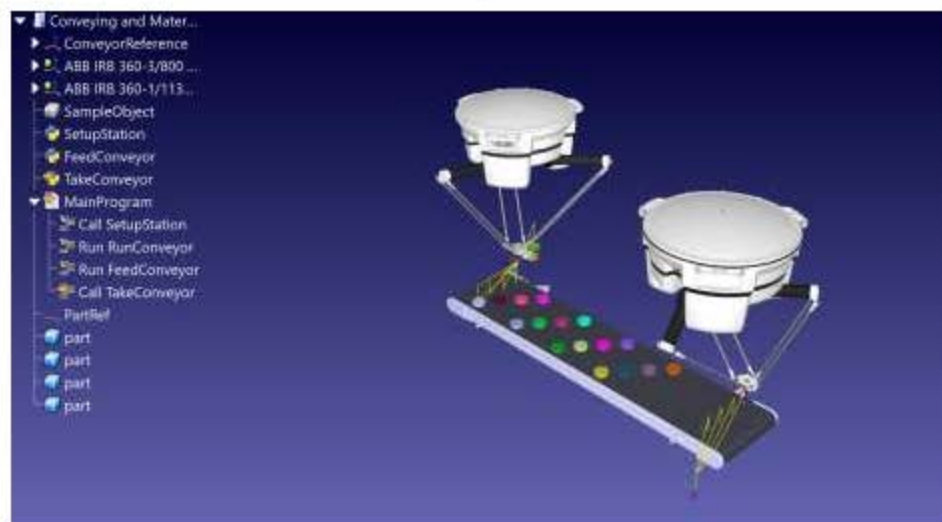
Виявлені помилки – 18,1% від загальної вибірки зумовлені недостатністю вибірки тренувальної. Часто довжина класу Hazelnut співпадала з довжиною класу Almond. Це спричинено різною відстанню та автофокусом камери, яка використовувалась при створенні датасету. Вихід – збільшити кількість зображень у тренувальному датасеті кожного класу.

3.4 Використання роботів ABB IRB 360-3/800 3D та ABB IRB 360-1/1130 4D Base для сортування та розділення продукції.

Використання моделей комп'ютерного зору дозволяє використовувати роботів на виробничих лініях для транспортних, пакувальних та сортувальних операцій. За допомоги програми RoboDK виконали симуляцію процесу сортування з використанням двох роботів

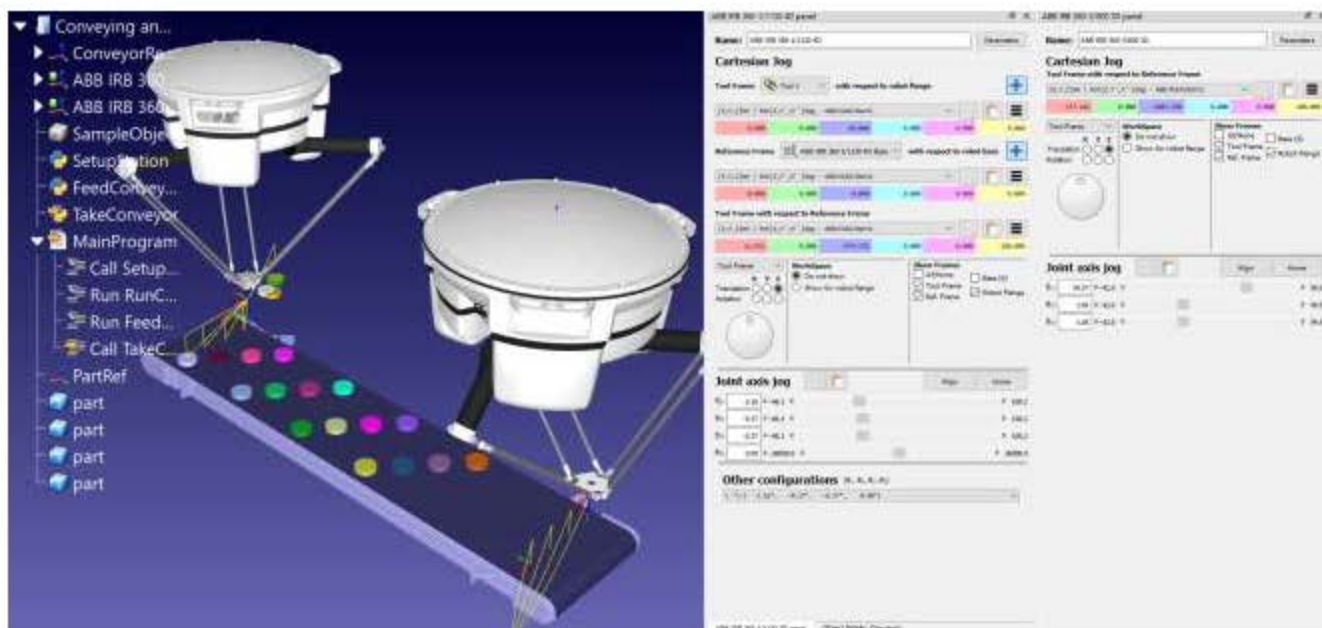


а)



б)

Рисунок 3. 12 Симуляція сортувальної операції роботами ABB IRB 360-3/800 3D та ABB IRB 360-1/1130 4D Base в середовищі RoboDK: а – початок роботи з сортування роботом ABB IRB 360-3/800 3D; б – завершення сортування другим роботом ABB IRB 360-1/1130 4D Base



а)



б)

Рисунок 3.13 Характеристики роботів ABB IRB 360-3/800 3D та ABB IRB 360-1/1130 4D Base в середовищі RoboDK: а – порівняння характеристик моделей; б – фрагмент коду програми для керування конвеєром.

Для синхронної роботи роботів підготовлені програми в середовищі RoboDK.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Суттєві зміни клімату призводять до необхідності адаптації виробників продукції і інтенсивному пошуку нішевих продуктів, зокрема горіхів. Їх імпорт з -за кордону не дає можливості забезпечити населення України якісним продуктом за достатньою ціною. З іншого боку процес переробки горіхів на сьогоднішній день є високотехнологічним і забезпечує зниження питомих витрат при підвищенні якості.

2. Цифрова трансформація, яка лежить в основі Індустрії 4.0 дозволяє машинобудівним підприємствам вийти на принципово новий рівень, як відносно якості продукції, так і її собівартості.

3. В роботі розглянуто обладнання, яке використовується в традиційній технології переробки горіхів.

4. В основному розділі досліджень розроблена модель машинного навчання для ідентифікації різних класів горіхів. Проведено її тренування на тренувальному датасеті та апробація на тестовому. Виявлені помилки – 18,1% від загальної вибірки зумовлені недостатністю вибірки тренувальної. Часто довжина класу Hazelnut співпадала з довжиною класу Almond. Це спричинено різною відстанню та автофокусом камери, яка використовувалась при створенні датасету. Вихід – збільшити кількість зображень у тренувальному датасеті кожного класу.

5. Для підвищення якості сортування горіхів запропоновано використовувати роботів ABB IRB 360-3/800 3D або ABB IRB 360-1/1130 4D Base. Використання моделей комп'ютерного зору дозволяє використовувати роботів на виробничих лініях для транспортних, пакувальних та сортувальних операцій. За допомоги програми RoboDK виконали симуляцію процесу сортування з використанням двох роботів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. UN General Assembly, Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development, 21 October 2015, A/RES/70/1. Available online: <https://www.refworld.org/docid/57b6e3e44.html> (accessed on 28 July 2021).
2. World Economic Forum, Internet of Things Guidelines for Sustainability, Future of Digital Economy and Society System Initiative. 2018. Available online: <http://www3.weforum.org/docs/IoTGuidelinesforSustainability.pdf> (accessed on 28 July 2021).
3. Miranda, J.; Mäkitalo, N.; Garcia-Alonso, J.; Berrocal, J.; Mikkonen, T.; Canal, C.; Murillo, J.M. From the Internet of Things to the Internet of People. *IEEE Internet Comput.* 2015, 19, 40–47.
4. Miraz, M.H.; Ali, M.; Excell, P.S.; Picking, R. A review on Internet of Things (IoT), Internet of Everything (IoE) and Internet of Nano Things (IoNT). In *Proceedings of the 2015 Internet Technologies and Applications (ITA)*, Wrexham, UK, 8–11 September 2015; pp. 219–224.
5. Arshad, R.; Zahoor, S.; Shah, M.A.; Wahid, A.; Yu, H. Green IoT: An Investigation on Energy Saving Practices for 2020 and Beyond. *IEEE Access* 2017, 5, 15667–15681.
6. Albreem, M.A.; Sheikh, A.M.; Alsharif, M.H.; Jusoh, M.; Mohd Yasin, M.N. Green Internet of Things (GIoT): Applications, Practices, Awareness, and Challenges. *IEEE Access* 2021, 9, 38833–38858.
7. Zhu, C.; Leung, V.C.M.; Shu, L.; Ngai, E.C.-H. Green Internet of Things for Smart World. *IEEE Access* 2015, 3, 2151–2162.
8. Mulay, A. Sustaining Moore’s Law: Uncertainty Leading to a Certainty of IoT Revolution. *Morgan Claypool* 2015, 1, 1–109.
9. Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The European Green Deal. Bussels. 11 December 2019. Available online: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_en.pdf (accessed on 28 July 2021).

10. United Nation's 2030 Agenda and Sustainable Development Goals. Available online: <https://sustainabledevelopment.un.org/> (accessed on 28 July 2021).
11. Askoxylakis, I. A Framework for Pairing Circular Economy and the Internet of Things. In Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC), Kansas City, MO, USA, 20–24 May 2018; pp. 1–6. [Google Scholar]
12. European Commission. Circular Economy Action Plan. Available online: https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_es (accessed on 28 July 2021).
13. World Economic Forum. Circular Economy and Material Value Chains. Available online: <https://www.weforum.org/projects/circular-economy> (accessed on 28 July 2021).
14. Explore the Circularity Gap Report 2021. Available online: <https://www.circularity-gap.world> (accessed on 28 July 2021).
15. Digital Circular Economy: A Cornerstone of a Sustainable European Industry Transformation. White Paper-ECERA European Circular Economy Research Alliance. 20 October 2020. Available online: https://www.era-min.eu/sites/default/files/publications/201023_ecera_white_paper_on_digital_circular_economy.pdf (accessed on 28 July 2021).
16. PACE (Platform for Accelerating the Circular Economy) and World Economic Forum. A New Circular Vision for Electronics. Time for a Global Reboot. January 2019. Available online: http://www3.weforum.org/docs/WEF_A_New_Circular_Vision_for_Electronics.pdf (accessed on 28 July 2021).
17. Fernández-Caramés, T.M.; Fraga-Lamas, P. Design of a Fog Computing, Blockchain and IoT-Based Continuous Glucose Monitoring System for Crowdsourcing mHealth. Proceedings 2019, 4, 37.
18. De Donno, M.; Tange, K.; Dragoni, N. Foundations and Evolution of Modern Computing Paradigms: Cloud, IoT, Edge, and Fog. IEEE Access 2019, 7, 150936–150948.

19. Fraga-Lamas, P.; Ramos, L.; Mondéjar-Guerra, V.; Fernández-Caramés, T.M. A Review on IoT Deep Learning UAV Systems for Autonomous Obstacle Detection and Collision Avoidance. *Remote Sens.* 2019, 11, 2144.
20. Alsamhi, S.H.; Afghah, F.; Sahal, R.; Hawbani, A.; Al-qaness, A.A.; Lee, B.; Guizani, M. Green internet of things using UAVs in B5G networks: A review of applications and strategies. *Ad Hoc Netw.* 2021, 117, 102505.
21. Kibria, M.G.; Nguyen, K.; Villardi, G.P.; Zhao, O.; Ishizu, K.; Kojima, F. Big Data Analytics, Machine Learning, and Artificial Intelligence in Next-Generation Wireless Networks. *IEEE Access* 2018, 6, 32328–32338.
22. European Commission, Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-centric and Resilient European Industry. January 2021. Available online: https://ec.europa.eu/info/news/industry-50-towards-more-sustainable-resilient-and-human-centric-industry-2021-jan-07_en (accessed on 28 July 2021).
23. Nahavandi, S. Industry 5.0—A Human-Centric Solution. *Sustainability* 2019, 11, 16.
24. Paschek, D.; Mocan, A.; Draghici, A. Industry 5.0—The expected impact of next industrial revolution. In *Proceedings of the MakeLearn & TIIM Conference*, Piran, Slovenia, 15–17 May 2019; pp. 1–8.
25. Council for Science, Technology and Innovation, Government of Japan, Report on The 5th Science and Technology Basic Plan. 18 December 2015. Available online: https://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/5basicplan_en.pdf (accessed on 28 July 2021).
26. Keidanren (Japan Business Federation), Society 5.0: Co-Creating the Future. November 2018. Available online: <https://www.keidanren.or.jp/en/policy/2018/095.html> (accessed on 28 July 2021).
27. Blanco-Novoa, O.; Fernández-Caramés, T.M.; Fraga-Lamas, P.; Castedo, L. An Electricity-Price Aware Open-Source Smart Socket for the Internet of Energy. *Sensors* 2017, 17, 643.
28. Suárez-Albela, M.; Fraga-Lamas, P.; Fernández-Caramés, T.M.; Dapena, A.; González-López, M. Home Automation System Based on Intelligent Transducer Enablers. *Sensors* 2016, 16, 1595.