



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра цифрових технологій та проектно-аналітичних рішень

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Павло САГАЙДА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Комп'ютерні науки та цифровий інтелект»
за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

на тему «Дослідження та проектування програмного рішення для
встановлення якісних характеристик металобрухту з
використанням технології комп'ютерного зору»

Керівник роботи

Валентина МОСКАЛЕНКО

Консультант від
бази практики

Іван КОВАЛЕВСЬКИЙ

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Андрій АНДРЕЄНКОВ

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Олена ПАВЛЕНКО

КРИВИЙ РІГ 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра	цифрових технологій та проєктно-аналітичних рішень
Ступінь вищої освіти	магістр
Спеціальність	122 Комп'ютерні науки
ОПП	Комп'ютерні науки та цифровий інтелект

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

_____ Павло САГАЙДА

«06» листопада 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Андрєєнкову Андрієві Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Дослідження та проєктування програмного рішення для встановлення якісних характеристик металобрухту з використанням технології комп'ютерного зору

керівник роботи Москаленко Валентина Володимирівна, професор, д.т.н
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 29.08. 2023 р. №137.1/29.08.2023

2. Термін подання роботи 16.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Навчальна література, державні стандарти, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики технологій комп'ютерного зору та методів цифрового інтелекту, літературні джерела, результати власних експериментів та досліджень, технологічні інструкції тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань): Реферат. Зміст. Вступ. Розділ 1. Аналіз підходів щодо використання технології комп'ютерного зору для встановлення якісних характеристик металобрухту. Розділ 2. Розробка алгоритмічного забезпечення для розпізнавання якісних характеристик металобрухту. Розділ 3. Проєктування програмного рішення для встановлення якісних характеристик металобрухту. Розділ 4. Опис проєкту щодо розробки програмного рішення для встановлення якісних характеристик металобрухту. 5. Економічні розрахунки. Загальні висновки. Перелік посилань. Додатки

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Актуальність, мета, об'єкт, предмет та завдання дослідження; математичні моделі, методика дослідження; діаграми проєкту програмно-методичного комплексу в нотації UML (діаграми прецедентів, класів, послідовностей, діяльності); результати експериментальних досліджень; результати економічних розрахунків; висновки до роботи; публікація результатів дослідження.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Москаленко В.В., проф. каф. ЦТПАР
2	Москаленко В.В., проф. каф. ЦТПАР
3	Москаленко В.В., проф. каф. ЦТПАР
4	Москаленко В.В., проф. каф. ЦТПАР
5	Гетьман І.А., доц. каф. ЦТПАР

7. Дата видачі завдання 06.11.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Аналіз підходів щодо використання технології комп'ютерного зору для встановлення якісних характеристик металобрухту	06.11.2023 - 16.11.2023
2	Розділ 2. Розробка алгоритмічного забезпечення для розпізнавання якісних характеристик металобрухту	17.11.2023 - 27.11.2023
3	Розділ 3. Проєктування програмного рішення для встановлення якісних характеристик металобрухту	28.11.2023 - 11.12.2023
4	Розділ 4. Опис проєкту щодо розробки програмного рішення для встановлення якісних характеристик металобрухту	12.12.2023 - 20.12.2023
5	Розділ 5. Економічні розрахунки	21.12.2023 - 26.12.2023
6	Загальні висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	27.12.2023 - 08.01.2024
7	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	10.01.2024 - 16.01.2024
8	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	17.01.2024 - 19.01.2024
9	Рецензування завершеної роботи. Захист	19.01.2024 - 24.01.2024

Здобувач

Андрій АНДРЕЄНКОВ

Керівник роботи

Валентина МОСКАЛЕНКО

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 142 сторінок, 32 рисунки, 34 таблиць, 4 додатки, 36 літературних джерела.

Мета роботи – підвищення ефективності оцінки якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного зору.

Об'єкт дослідження – процес оцінки зображень металобрухту з використанням нейронних мереж.

Предмет дослідження – визначення моделей нейронних мереж для оцінки зображень металобрухту та проектування програмного рішення для встановлення якісних характеристик металобрухту з використанням технології комп'ютерного зору.

Методологія дослідження – визначення архітектури згорткових нейронних мереж для класифікації зображень металобрухту. Системний аналіз з застосуванням діаграмних методик. Застосування логічного моделювання та проектування програмного забезпечення.

Проведено аналіз методів обробки зображень, згорткових нейронних мереж для класифікації зображень. Запропоновано моделі згорткових нейронних мереж SSD-ResNet, VGG16, які використовуються для класифікації зображень брухту. Здійснено проектування програмного рішення. Проведено планування проєкту програмного рішення.

Наукова новизна: на основі дослідження нейронних мереж різного типу запропоновано модель нейронної мережі, яка здійснює класифікацію зображень металобрухту для визначення рівня засміченості та виявлення заборонених фрагментів. Практична цінність полягає в розробці методів та технологій для класифікації зображень з використанням нейронних мереж, які можна використовувати у бізнес-процесі приймання брухту.

КЛАСИФІКАЦІЯ ЗОБРАЖЕНЬ, ЗГОРТКОВА НЕЙРОННА МЕРЕЖА, SSD-RESNET, VGG16, ПРОГРАМНЕ РІШЕННЯ, БІЗНЕС-ВИМОГА, STORY MAPPING

SUMMARY

Master's thesis: 142 pages, 32 figures, 34 tables, 4 appendices, 36 references.

The purpose of the work is to improve the efficiency of assessing the quality characteristics of scrap metal using computer vision technology.

The object of study is the process of evaluating scrap metal images using neural networks.

The subject of the study is to determine the models of neural networks for evaluating scrap metal images and designing a software solution for establishing the quality characteristics of scrap metal using computer vision technology.

Research methodology: determining the architecture of convolutional neural networks for scrap metal image classification. System analysis using diagrammatic techniques. Application of logic modeling and software design.

The analysis of image processing methods and convolutional neural networks for image classification is carried out. The models of convolutional neural networks SSD-ResNet, VGG16, which are used to classify scrap images, are proposed. The design of the software solution was carried out. Planning of the software solution project was carried out.

Scientific novelty: based on the study of neural networks of various types, a neural network model is proposed that classifies scrap metal images to determine the level of contamination and identify prohibited fragments. The practical value lies in the development of methods and technologies for image classification using neural networks, which can be used in the business process of scrap acceptance.

IMAGE CLASSIFICATION, CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK, SSD-RESNET, VGG16, SOFTWARE SOLUTION, BUSINESS REQUIREMENT, STORY MAPPING.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛОБРУХТУ	9
1.1 Аналіз задачі встановлення якісних характеристик металобрухту.....	9
1.2 Аналіз програмних систем для розпізнавання (класифікації) металобрухту.....	18
1.3 Глосарій термінів предметної області.....	25
1.4 Якісна постановка задачі дослідження.....	26
1.5 Висновки за розділом 1	30
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛОБРУХТУ.....	31
2.1 Опис алгоритмів розпізнавання на основі нейронних мереж.....	31
2.2 Опис нейронних мереж для розпізнавання зображень металобрухту.....	39
2.3 Висновки за розділом 2	46
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО РІШЕННЯ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛОБРУХТУ.....	47
3.1 Розробка бізнес-вимог до програмного рішення.....	47
3.2 Розробка функціональних та нефункціональних вимог до програмного рішення.....	57
3.2.1 Функціональні вимоги до програмного рішення	57
3.2.2 Нефункціональні вимоги до програмного рішення	65
3.3 Висновки за розділом 3	100
РОЗДІЛ 4. ОПИС ПРОЄКТУ ЩОДО РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО РІШЕННЯ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛОБРУХТУ	Помилка! Закладку не визначено.
4.1 Концепція проекту щодо розробки програмного рішення для встановлення якісних характеристик металобрухту Помилка! Закладку не визначено.	
4.1.1 Бізнес-цілі та критерії успіху проекту... Помилка! Закладку	

не визначено.

4.1.2 Припущення та залежності проєкту **Помилка! Закладку не визначено.**

4.1.3 Стейкхолдери проєкту **Помилка! Закладку не визначено.**

4.1.4 Ризики проєкту.....**Помилка! Закладку не визначено.**

4.1.5 WBS проєкту.....**Помилка! Закладку не визначено.**

4.1.6 Пріоритети аспектів проєкту **Помилка! Закладку не визначено.**

4.1.7 Пріорітизація функцій програмного рішення для планування проєкту.....**Помилка! Закладку не визначено.**

4.1.8 Планування версій програмного рішення..... **Помилка! Закладку не визначено.**

4.2 Опис проєкту щодо розробки програмного рішення за методологією SCRAM.....**Помилка! Закладку не визначено.**

4.3 Висновки за розділом 4**Помилка! Закладку не визначено.**

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ Помилка! Закладку не визначено.

5.1 Календарне планування робіт проєкту. **Помилка! Закладку не визначено.**

5.2 Ресурсний план проєкту**Помилка! Закладку не визначено.**

5.3 Бюджет проєкту**Помилка! Закладку не визначено.**

5.4 Висновки за розділом 5**Помилка! Закладку не визначено.**

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 104

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... 106

ДОДАТОК А. ВІДОМІСТЬ РОБОТИ 110

ДОДАТОК Б. СПЕЦИФІКАЦІЯ БІЗНЕС ВИМОГ111

ДОДАТОК В. СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИМОГ ДО ПРОГРАМНОГО РІШЕННЯ . 120

ДОДАТОК Г. ТЕЗИ ДОПОВІДІ. СЕРТИФІКАТ ПРО УЧАСТЬ У КОНФЕРЕНЦІЇ 140

ВСТУП

Зміцнення України у воєнний час та її відбудова після війни потребує активізації зусиль щодо підтримки, стабілізації та розвитку економіки, зокрема у галузях металургії, енергетики та будівництва.

Металургійне виробництво потребує якісної сировини. До стратегічної сировини металургійних підприємств відноситься брухт чорних металів, який повинен відповідати вимогам якості та безпечності. Вимоги щодо металобрухту визначаються Національним стандартом «Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови», ДСТУ 4121-2002 [1]. Відповідно до стандарту у металобрухті не повинно бути вибухонебезпечних речовин. У разі знаходження незнешкоджених боєприпасів, посудин з невідомим вмістом тощо подальшу роботу з металобрухтом потрібно призупинити.

Через проведення військових дій на території України значно збільшується ризик постачання разом з металобрухтом заборонених видів та фрагментів (вибухонебезпечних, конверсійних). Для вирішення цієї проблеми необхідна розробка та впровадження механізму ефективного контролю й профілактики на усіх виробничих ланцюгах – від заготівлі та переробки до використання брухту у виробництві. Також до реалізації цього механізму повинні залучатися усі суб'єкти ринку – від заготівельників та постачальників до споживачів.

Для реалізації контролю металобрухту споживачами виникає необхідність своєчасного (тобто безпосередньо під час вивантаження сировини із транспортного засобу) виявлення заборонених видів і фрагментів, потрапляння яких до металургійної переробки може причинити потенційні ризики завдання шкоди життю, здоров'ю працівників та майнової шкоди обладнанню.

Інша проблема пов'язана із особливістю ринку металобрухту та

процесами його комерційного приймання. Зазвичай, рішення про фактичний вид та засміченість металобрухту приймається комісією, проте не виключена суб'єктивність оцінки або її невідповідність. Отже, виникає необхідність формування інструменту додаткових рекомендацій щодо виду та засміченість металобрухту в процесі його комерційного приймання.

Вирішенням наведених проблем може стати впровадження у процес оцінки металобрухту системи встановлення якісних характеристик за допомогою технології комп'ютерного зору. На даний час металургійні підприємства України не мають таких систем.

Через вищесказане тема магістерської роботи є актуальною, а запропоноване програмне рішення може розглядатися як додатковий інструмент підвищення ефективності бізнес процесу забезпечення металобрухтом Групи МЕТІНВЕСТ.

Мета роботи: підвищення ефективності оцінки якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного зору.

Об'єкт дослідження: процес оцінки зображень металобрухту з використанням нейронних мереж.

Предмет дослідження: визначення моделей нейронних мереж для оцінки зображень металобрухту та проектування програмного рішення для встановлення якісних характеристик металобрухту з використанням технології комп'ютерного зору.

Задачами дипломної роботи є:

- аналіз методів і моделей методів класифікації зображень;
- вивчення методів та підходів для аналізу зображень;
- дослідження алгоритмів та моделей класифікації зображень з використанням нейронних мереж різної архітектури;
- розробка математичної моделі для класифікації зображень;
- проектування програмного забезпечення для класифікації зображень з використанням нейронних мереж.

Методи дослідження: визначення архітектури згорткових нейронних мереж для навчання нейронних мереж та класифікації зображень металобрухту. Системний аналіз предметної області дослідження з застосуванням діаграмних методик для опису алгоритмів розпізнавання зображень металобрухту. Використання інформаційного моделювання предметної області для побудови структури даних, застосування логічного моделювання для визначення етапів обробки даних, функціональних вимог до програмного забезпечення. Методи проведення експериментальних досліджень та обробки їх результатів.

Наукова новизна: на основі дослідження нейронних мереж різного типу запропоновано модель нейронної мережі, яка здійснює класифікацію зображень металобрухту для визначення рівня засміченості та виявлення заборонених фрагментів металобрухту.

Практична цінність: практична цінність дослідження полягає в розробці методів та технологій для класифікації зображень металобрухту з використанням нейронних мереж, які можна впроваджувати в практику та використовувати у бізнес процесі приймання металобрухту в умовах металургійних підприємств Групи МЕТІНВЕСТ. Розроблена модель програмного рішення дозволить підвищити ефективність бізнес-процесу приймання металобрухту, збільшити ефективність виявлення заборонених фрагментів металобрухту, насамперед конверсійного та вибухонебезпечного типу

В рамках виконання магістерської роботи прийнято участь у науково-практичній конференції MININGMETALTECH 2023 – THE MINING AND METALS SECTOR: INTEGRATION OF BUSINESS, TECHNOLOGY AND EDUCATION, представлено та опубліковано доповідь на тему: Justification for the development of a software system for determining the quality characteristics of scrap metal using computer vision technology.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛОБРУХТУ

1.1 Аналіз задачі встановлення якісних характеристик металобрухту

Металобрухт є найважливішою стратегічною та енергозберігаючою сировиною для металургійного виробництва. Відносини, що виникають у процесі збирання, заготівлі та здійснення операцій з брухтом, регулюються Законом України «Про металобрухту» [2], дія якого спрямована на захист інтересів підприємств вітчизняної металургійної галузі та забезпечення екологічної безпеки.

Металобрухт – це непридатні для прямого використання виробу або частини виробів, які за рішенням власника втратили експлуатаційну цінність внаслідок фізичного або морального зносу і містять у собі чорні або кольорові метали чи їх сплави, а також виробу з металу, що мають непоправний брак, залишки чорних і кольорових металів і їх сплавів.

Металургійна переробка металобрухту – це переплавка металобрухту в металургійних агрегатах з використанням додаткових матеріалів та особливих технологічних режимів з метою зміни структури металу, доведення його хімічного складу до параметрів, що відповідають вимогам законодавства, та отримання легованої сталі, відповідних марок кольорових металів і їх сплавів.

Вимоги до якості металобрухту визначаються Національним стандартом України «Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови», ДСТУ 4121-2002 [1]. Дія стандарту поширюється на метали чорні вторинні для перероблення, а також на продукти їхнього перероблення (шихтовий брухт), які використовують як металургійну сировину у процесі

виплавляння чавуну та сталі, для виробництва сталевих і чавунних виливків та феросплавів або з іншою метою.

В рамках магістерської роботи розглядається питання вдосконалення бізнес процесу приймання металобрухту в умовах металургійних підприємств Групи METINVEST.

Поточний бізнес процес оцінки металобрухту описано в наступному алгоритмі та представлено у вигляді BPMN-нотації на рисунку 1.1.

- відвантажений постачальником брухт в транспортному засобі вивантажується на склад кінцевого отримувача – металургійного підприємства;

- вивантаженню передуює процес комерційного приймання, під час якого здійснюється візуальний огляд металобрухту членами комісії, його оцінка та погодження рішення про якість з постачальником;

- представник цеху здійснює розстановку транспортних засобів по фронтах вивантаження, про що інформує представника постачальника;

- представник постачальника здійснює фотофіксацію поверхні вагона з металобрухтом, по завершенню інформує цех про можливість почати часткове вивантаження (рисунок 1.2);

- представниками цеха здійснюється часткове вивантаження металобрухту для можливості його огляду в транспортному засобі;

- по закінченню часткового вивантаження інформується представник відділу технічного контролю (ВТК) про готовність до огляду. Представник ВТК збирає комісію для огляду;

- представник постачальника здійснює фотофіксацію брухту та разом з представниками ВТК та цеху виконує візуальний огляд металобрухту (рисунок 1.3). Кожен із членів комісії озвучує рішення про якість, яке погоджують між собою для формування рішення комісії;

- якщо рішення комісії сформоване, то представник постачальника надсилає фотоматеріали та доводить рішення до постачальника;

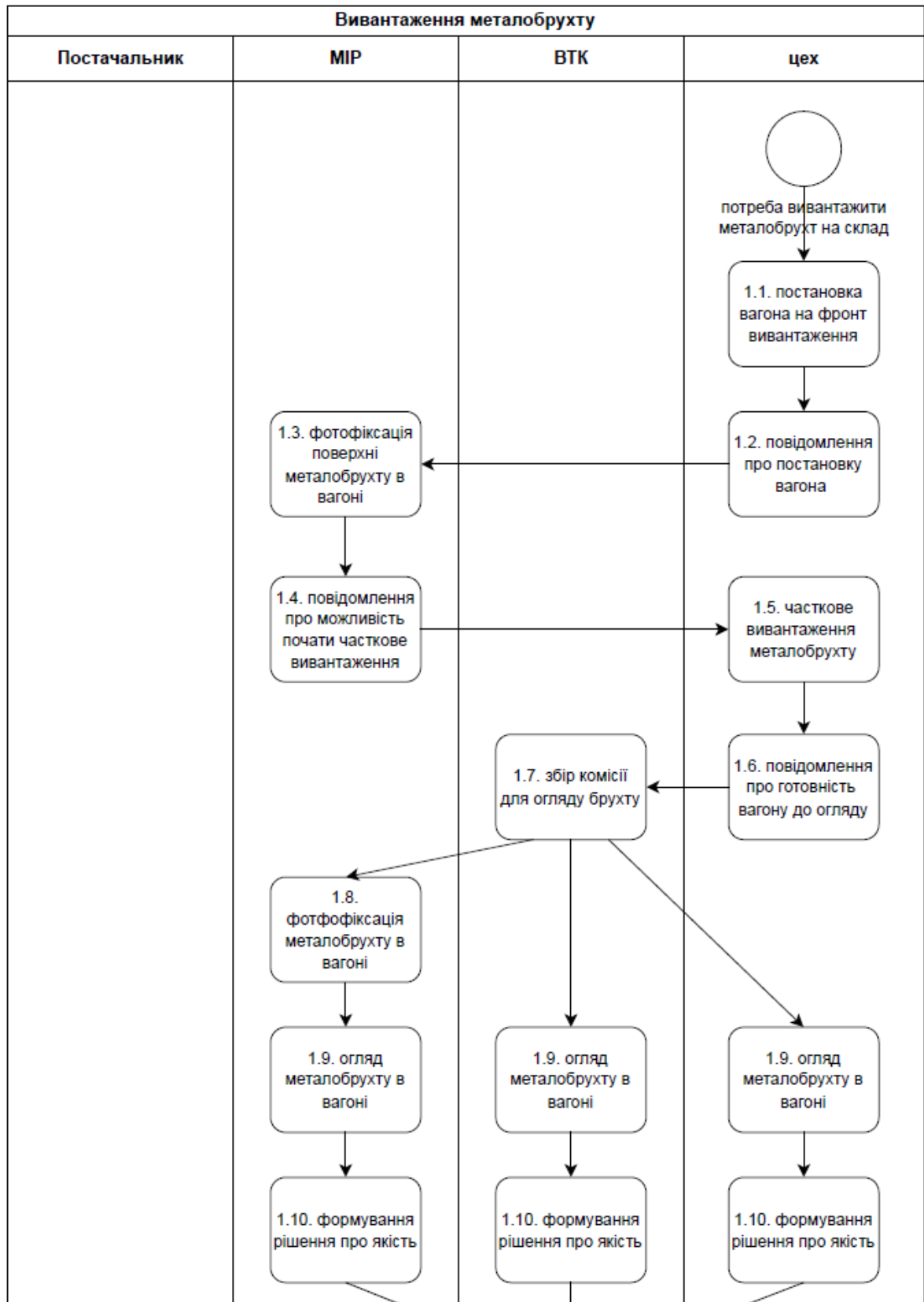
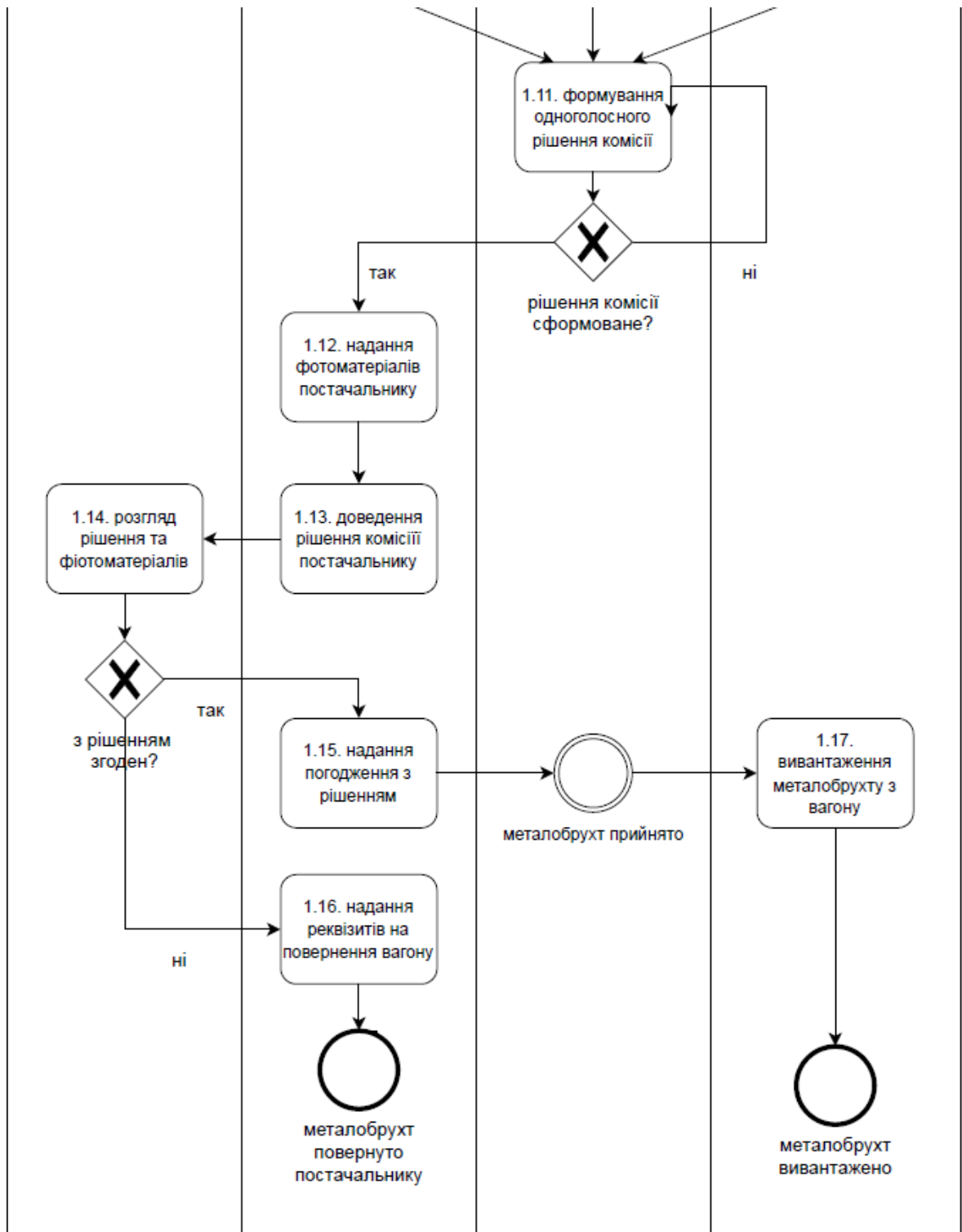


Рисунок 1.1 – Бізнес-процес встановлення якісних характеристик металобрухту



Продовження рисунку 1.1



Рисунок 1.2 – Фото поверхні вагона з металобрухтом



Рисунок 1.3 – Фото металобрухту на момент приймання членами комісії

– постачальник розглядає рішення та фотоматеріали. Якщо з рішенням згоден, то надає погодження представнику, після чого металобрухт вважається прийнятим. Якщо з рішенням не згоден, то надає представнику реквізити на повернення металобрухту, металобрухт в транспортному засобі повертається постачальнику;

– прийнятий металобрухт вивантажується із транспортного засобу на склад.

Загальні вимоги до якості металобрухту наведені в ДСТУ 4121-2002 [1], зокрема:

– не допускають у металобрухті наявності брухту чи відходів кольорових металів та їх сплавів;

– металобрухт не повинен бути проіржавілий, горілий або роз'їдений кислотами (наліт іржі допускають). Шихтовий металобрухт не повинен містити дроту та виробів із нього;

– у шихтовому металобрухті не допускають наявності бітумної гідроізоляції, гуми та інших органічних матеріалів, а також негабаритного брухту;

– посудини усіх типів і розмірів (балони, бочки тощо), а також усі порожнисті предмети (циліндри двигунів тощо) повинні бути спорожнені від того, що у них містилось, від крижаних пробок та вологи і мати доступ для огляду внутрішньої поверхні; горловини балонів повинні бути відкриті, а на їхньому корпусі повинен бути прорізаний другий отвір; днища бочок та інших посудин повинні бути розкриті.

Додаткові вимоги до металобрухту та показники якості, які не нормує ДСТУ 4121-2002, можна встановлювати за домовленістю між споживачем та постачальником металобрухту.

Далі наведені додаткові вимоги, встановлені споживачами в рамках договірних відносин с постачальниками. Зокрема, категорично забороняється поставка без письмового дозволу:

- скрапу, відходів ливарного виробництва;
- окалини, чавунної стружки;
- брухту з шлакових відвалів;
- кордового дроту (в кусковому, пакетованому брухті);
- конверсійного (військового), вибухонебезпечного брухту, а також корпусів мін, снарядів та інших боєприпасів;

- немагнітного металобрухту;
- металобрухту з наявністю брухту або відходів кольорових металів і їх сплавів;
- проржавілого, горілого або роз'їдені кислотами металобрухту (наліт іржі допускається);
- металобрухту з наявністю дроту або виробів з нього, бітумної ізоляції, гуми та інших органічних матеріалів, а також негабаритного металобрухту;
- пакетів, що містять сміття, окалини;
- прихованого навантаження в транспортному засобі з металобрухтом неметалевих домішок (землі, шлаку, щебню та інше);
- не допускається змішування сталевого і чавунного брухту, а також вуглецевого і легованого брухту.

Деякі приклади порушень вимог ДСТУ 4121-2002 та умов договірних відносин щодо якості металобрухту наведені на рисунках 1.4-1.9.



Рисунок 1.4 – Фрагмент конверсійного брухту



Рисунок 1.5 – Фрагмент конверсійного брухту



Рисунок 1.6 – Нерозібрана ємність (балон)



Рисунок 1.7 – Дрібнофракційний сторонній матеріал



Рисунок 1.8 – Дрібнофракційний сторонній матеріал



Рисунок 1.9 – Дрібнофракційний сторонній матеріал

Як висновок можна зазначити, що наведений процес не автоматизований, пов'язаний із ризиками надлишкової залежності від суб'єктивної оцінки з боку членів комісії. Виникає потреба додаткової автоматизації процесу.

1.2 Аналіз програмних систем для розпізнавання (класифікації) металобрухту

На даний час металургійні підприємства України не використовують програмні системи для оцінки якісних характеристик металобрухту.

У якості бенчмарку представлено приклад італійської металургійної та гірничодобувної компанії Tenova, яка впровадила рішення на основі технологій комп'ютерного зору, що дозволяє класифікувати металобрухт для зменшення потрапляння нестандартизованого брухту у виробництво [3].

Інноваційним рішенням Tenova є система інтелектуального управління скраповим двором (Intelligent Scrap Yard Management, iSYM). Система забезпечує повну ідентифікацію та відстеження всього брухту, що використовується в процесі виробництва сталі. iSYM складається з модулів, які виконують різні функції: перший модуль забезпечує приймання сировини на вході до заводу, другий призначений для обробки сировини в зоні приймання металобрухту, третій забезпечує оптимізацію витрат електроплавильної печі.

iSYM розроблена для інтеграції з інформаційними системами вищого рівня, призначеними для управління запасами та замовленнями на закупівлю брухту, а також для доповнення функціональності вагових систем, задіяних при постачанні брухту автомобільним або залізничним транспортом. Додатково iSYM передає системам управління електроплавильної печі інформацію про фактичну завалку, тим самим дозволяючи оптимізувати виробничий процес.

Однією з найбільш інноваційних та продуктивних функцій iSYM є автоматична класифікація матеріалів (рисунок 1.10). Ця функція заснована на алгоритмах машинного навчання, які застосовуються до зображень, знятих відеокамерою на в'їзних воротах. Ця система вже

функціонує на італійському сталеливарному заводі та досягла результату понад 99% точності.

На момент встановлення система була наділена досвідом, успадкованим від попередніх проєктів, на основі бази даних з десятками тисяч закодованих зображень. До них додаються зображення з програми постачальника, що дозволяє збагачувати систему інформацією та досвідом клієнта. Це означає, що лише після кількох сотень отриманих зображень, система вже здатна автоматично ідентифікувати тип брухту, наявного у вантажівці чи залізничному вагоні.

Система здатна ідентифікувати до 9 категорій брухту. Загальною метою проєкту було визначення категорії матеріалу, що є класичним завданням комп'ютерного зору. Для навчання моделі використовувалась нейронна мережа.

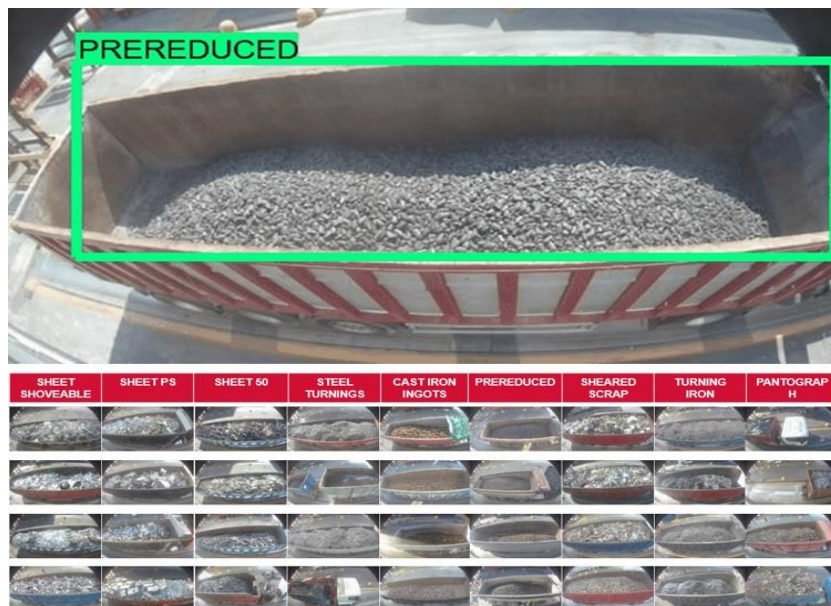


Рисунок 1.10 – Класифікація металобрухту системою iSYM

Іншим прикладом використання технології комп'ютерного зору в металургійній галузі є рішення від іспанської компанії Pervasive Technologies [4] - інноваційної компанії, що спеціалізується на розробці

прогнозних рішень за допомогою передового штучного інтелекту, машинного та глибокого навчання для різних секторів. Основний напрямок діяльності - застосування технологій інтелектуальної обробки зображень і відео. Розроблені готові до використання передові рішення штучного інтелекту для промислового середовища.

Pervasive Technologies розробила рішення штучного інтелекту Kalybs Automatic Classification на основі обробки зображень (рисунок 1.11). Рішення розпізнає елементи на зображенні та класифікує їх відповідно. Система автоматизує та прискорює процес класифікації, приносить користь працівникам, покращуючи їх безпеку, а компаніям підвищує продуктивність, заощаджуючи час і ресурси.

У 2022 р. компанія представила версію 2.0 свого рішення для класифікації металобрухту Kalybs [5]. Сортування є типовим завданням у промислових середовищах, матеріали необхідно віднести до різних категорій, щоб продовжувати їх переробку. З цієї причини Pervasive розробила рішення для автоматичного сортування брухту на основі штучного інтелекту для обробки зображень і відео для автоматизації традиційної ручної системи та оптимізації процесу сортування. Kalybs дозволяє компаніям знизити витрати на виробництво, оскільки досягає підвищення продуктивності та економії часу та ресурсів. Крім того, це покращує продуктивність і безпеку операторів, оскільки сприяє зменшенню кількості персоналу, присутнього в зоні розвантаження з інтенсивним рухом важких транспортних засобів і високим рівнем пилу.

Kalybs надає інструмент перевірки в режимі реального часу для централізованої та однорідної класифікації брухту, ідентифікації різної якості у викидах матеріалу. Він включає в себе аналіз і вимірювання кольорових металів, таких як порошок, земля, пластик або деревина, окрім ідентифікації чорних елементів, з якими потрібно поводитися інакше, наприклад, закриті ємності, які можуть спричинити вибух, або великі предмети, які можуть перешкоджають процесу лиття. Таким чином

забезпечується правильна ідентифікація сировини для виробництва сталі.

У Kalybs є мобільна версія, якою можна легко користуватися без попереднього навчання, якщо ви хочете звернутися безпосередньо до постачальників і зробити початкову ідентифікацію сировини для покупки. Пропонується рішення з двома різними режимами роботи, один через стаціонарні камери, а інший через камери мобільних пристроїв, таких як телефони або планшети.

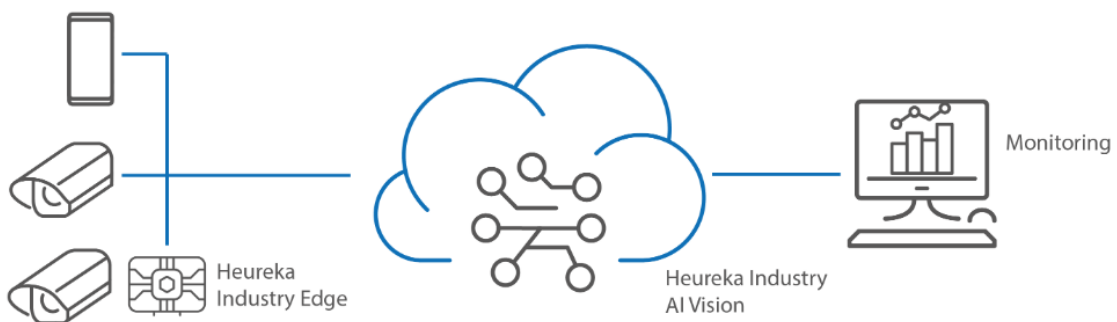


Рисунок 1.11 – Рішення штучного інтелекту Kalybs Automatic Classification

Міжнародною металургійною компанією SMS Group пропонується рішення Scrap Management Suite - інструмент для збору технологічної та матеріальної інформації на пункті прийому металобрухту [6]. За допомогою пакета Scrap Management Suite компанія SMS розробила систему для зменшення вуглецевого сліду та скорочення виробничих витрат.

Основним функціоналом системи є збір технологічної та матеріальної інформації на пункті прийому металобрухту. Процес обробки матеріалів візуально документується, камери фіксують процес вивантаження брухту. Кожен вхідний вантаж брухту розподіляється між вагонами та вантажівками в міру їх прибуття, щоб можна було визначити походження доставки та підтвердити якість брухту від постачальника. SMS використовує штучний інтелект для класифікації типів брухту в процесі

розвантаження (рисунок 1.12).

Алгоритми розпізнавання зображень спрощують велику кількість трудомістких функцій. Використовуючи історичний хімічний аналіз розплаву, моделі машинного навчання можуть робити прогнози щодо хімічного складу наявних у виробництві типів брухту. Прогнозування хімічного складу брухту використовується для алгоритму оптимізації, який розраховує найбільш економічно вигідну брутосуміш і зводить частку прямого відновленого заліза до мінімуму. У минулому управління пунктом прийому металобрухту часто відігравало лише другорядну роль у виробництві сталі. У зв'язку із ростом витрат, з яким стикаються виробники, і переходом до більш стійких виробничих процесів, управління пунктами прийому металобрухту все частіше стає важливою відмінною рисою, яка виділяє компанію SMS Group.

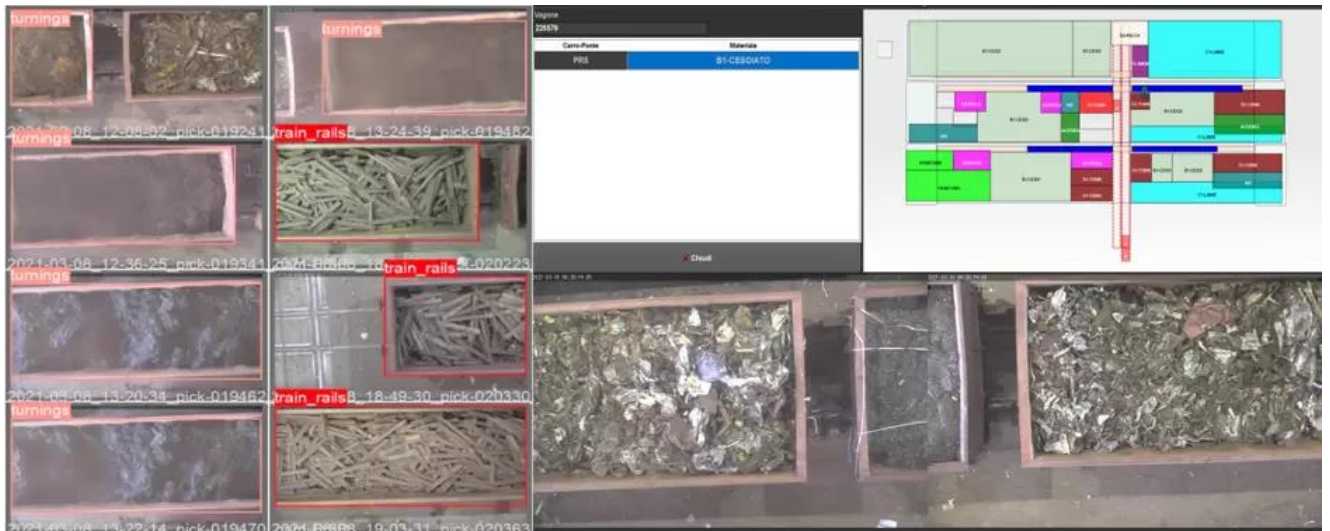


Рисунок 1.12 – Класифікація металобрухту системою Scrap Management Suite

Для вирішення проблем втручання людини та низької ефективності традиційних ручних методів класифікації та оцінки сталевого брухту китайськими розробниками запропонована модель на основі глибокого

навчання для багатокатегорійної класифікації та рейтингу сталевого брухту CSBFNet [7].

В рамках експерименту побудована фізична модель перевірки якості брухту для імітації розвантаження вантажної автівки. Використовувався відеодатчик з високою роздільною здатністю для фіксації морфологічних характеристик різного брухту (рисунок 1.13). Після чого CSBFNet була навчена по інформації отриманої в ході експерименту про різні типи брухту. Далі CSBFNet перевірена на китайському металургійному заводі. Результати продемонстрували, що модель може ефективно визначити автоматичний рейтинг для різних сортів брухту. Середній показник точності всіх видів сталевого брухту досяг 92,4%, а для повної категорії mAP 90,7%. У порівнянні з традиційним визначенням якості, модель має явні переваги в точності та справедливості оцінки.

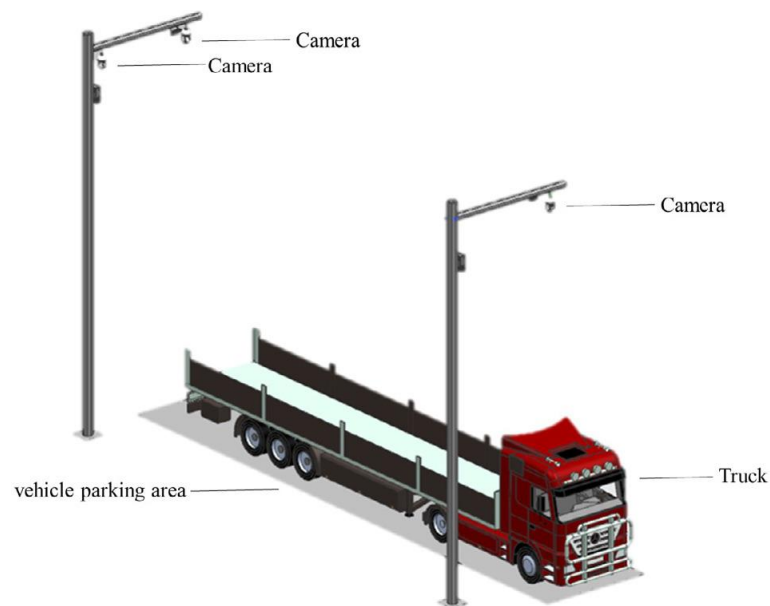


Рисунок 1.13 – Схема моделі перевірки якості брухту при розвантаженні автівки

Більшість металургійних підприємств визначають клас брухту переважно шляхом візуального огляду та вимірювання персоналом, що

пов'язано з високою небезпекою, низькою точністю та сумнівною справедливістю. Зі збільшенням попиту на сталевий брухт, проблеми з оцінкою якості в процесі приймання загостряться. Наразі світовою промисловістю в меншій мірі виконуються дослідження інтелектуальної класифікації та рейтингу сталевих брухту проти досліджень класифікації та виявлення кольорових металів і легуючих елементів.

Так, для виявлення та розділення кольорових металів запропонована комбінація електромагнітних датчиків і датчиків рентгенівського випромінювання з подвійною енергією як метод автоматичної класифікації брухту кольорових металів і класифікації металів на основі відмінностей в електропровідності та атомному номері [8].

Метод, заснований на відмінностях у видимій щільності та тривимірній формі частин металу. За допомогою лінійних лазерів та пов'язаних з ними оптичних камер, здійснюється вимірювання ширини, висоти, об'єму та проєктованої площі неправильних частин металу, які, у свою чергу, ідентифікують алюмінієві та магнієві фрагменти зі сталевих брухту [9].

Метод автоматичної ідентифікації матеріалів шляхом застосування технології машинного зору та машинного навчання в Industry 4.0 для досягнення ідентифікації алюмінію, міді, м'якої сталі та їх класифікації [10].

Використання прикладної спектроскопії лазерно-індукованого пробую (LIBS) для методу класифікації сталевих брухту з вмістом міді для швидкої та точної ідентифікації за спектральною довжиною хвилі [11].

Використання комбінації методів оптичного розпізнавання та глибокого навчання та використанням згортової нейронної мережі (CNN) для оптимізації виявлення металевих міді, мінімізуючи ефекти, пов'язані з неоднорідністю поверхні [12].

1.3 Глосарій термінів предметної області

Для проектування програмного рішення розроблено словник основних термінів (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Глосарій предметної області

№	Термін	Визначення терміну
1	Автоматизована система	Організаційно-технічна система, що забезпечує вироблення рішень на основі автоматизації інформаційних процесів
2	База даних	Сукупність даних, організованих відповідно до концепції, яка описує характеристику цих даних і взаємозв'язки між їх елементами, ця сукупність підтримує щонайменше одну з областей застосування
3	Згорткова нейронна мережа	Клас глибоких штучних нейронних мереж прямого поширення, який успішно застосовувався до аналізу візуальних зображень. Архітектура штучних нейронних мереж націлена на ефективно розпізнавання образів, що входить до складу технологій глибокого навчання
4	Класифікація зображень	Формалізована задача, яка містить множину об'єктів (ситуацій), поділених певним чином на класи
5	Навчальна вибірка	Деяка підмножина досліджуваної загальної (генеральної) сукупності. На основі вивчення навчальної вибірки висновки про генеральну сукупність
6	Навчання нейронної мережі	Процес налаштування архітектури нейронної мережі (структури зв'язків між нейронами) і ваги синаптичних зв'язків для розв'язання задачі
7	Штучна нейронна мережа	Математична модель, яка призначена для розв'язання задач штучного інтелекту. Складається з великої кількості з'єднаних штучних нейронів, організованих в шари
8	TensorFlow	Високопродуктивна бібліотека машинного навчання з відкритим кодом, розроблена Google у 2015 р. Використовується для побудови та навчання нейронних мереж

Продовження таблиці 1.1

№	Термін	Визначення терміну
9	Датасет	Набір даних для навчання нейронної мережі
10	SSD	Модель SSD (Single Shot Multibox Detector) є однією з найпопулярніших моделей виявлення об'єктів у зображеннях, включаючи класифікацію
11	VGG16	Архітектура згорткової нейронної мережі, названа на честь створившої її Оксфордської групи - Visual Geometry Group. Модель досягає точності 92.7% - топ-5, при тестуванні на ImageNet у задачі розпізнавання об'єктів на зображенні
12	Augmentation (аугментація)	Техніка обробки даних, яка полягає у створенні нових даних шляхом зміни вихідних даних. У контексті машинного навчання аугментація застосовується до зображень і полягає у застосуванні різних перетворень (повороти, масштабування, зміна яскравості та контрастності, відображення тощо)
13	Resizing (зміна розміру)	Процес зміни розміру зображень у датасеті, щоб привести їх до одного стандартного розміру. Використовується при підготовці датасету для навчання нейронних мереж для забезпечення узгодженості розмірів вхідних зображень
14	Histogram equalization (еквалізація гістограми)	Метод обробки зображень, який застосовується при підготовці датасету для покращення контрасту та яскравості шляхом розподілу яскравих значень пікселів на ширший діапазон
15	Normalization (нормалізація)	Процес перетворення даних на заданий діапазон значень чи розподілу із метою зменшення впливу масштабування на результати навчання моделі

1.4 Якісна постановка задачі дослідження

Зміцнення України у воєнний час та її відбудова після війни потребує активізації зусиль щодо підтримки, стабілізації та розвитку економіки, зокрема у галузях металургії, енергетики та будівництва.

Металургійне виробництво потребує якісної сировини. До

стратегічної сировини металургійних підприємств відноситься брухт чорних металів, який повинен відповідати вимогам якості та безпеки. Відповідно до ДСТУ 4121-2002 [1], у металобрухті не повинно бути вибухонебезпечних речовин. У разі знаходження незнешкоджених боєприпасів, посудин з невідомим вмістом тощо подальшу роботу з металобрухтом потрібно призупинити.

Через проведення військових дій на території України значно збільшується ризик постачання разом з металобрухтом заборонених видів та фрагментів (вибухонебезпечних, конверсійних). Для вирішення цієї проблеми необхідна розробка та впровадження механізму ефективного контролю й профілактики на усіх виробничих ланцюгах – від заготівлі та переробки до використання брухту у виробництві. Також до реалізації цього механізму повинні залучатися усі суб'єкти ринку – від заготівельників та постачальників до споживачів.

Для реалізації контролю металобрухту споживачами виникає необхідність своєчасного (тобто безпосередньо під час вивантаження сировини із транспортного засобу) виявлення заборонених видів і фрагментів, потрапляння яких до металургійної переробки може причинити потенційні ризики завдання шкоди життю, здоров'ю працівників та майнової шкоди обладнанню.

Інша проблема пов'язана із особливістю ринку металобрухту та процесами його комерційного приймання. Зазвичай, рішення про фактичний вид та засміченість металобрухту приймається комісією, проте не виключена суб'єктивність оцінки або її невідповідність. Отже, виникає необхідність формування інструменту додаткових рекомендацій щодо виду та засміченість металобрухту в процесі його комерційного приймання.

Вирішенням наведених проблем може стати впровадження у процес оцінки металобрухту системи встановлення якісних характеристик за допомогою технології комп'ютерного зору.

Система дозволить:

- зменшити ризики потрапляння до металошихти вибухонебезпечних фрагментів, в першу чергу конверсійного брухту;
- на підставі отримуваних рекомендації відносно якості металобрухту, зменшити вплив «людського фактору» та мінімізувати ризики приймання металобрухту зі значними порушеннями або навпаки необґрунтованого заниження якості металобрухту.

На даний час металургійні підприємства України не мають таких систем.

Передбачається, що система в автоматичному режимі здійснюватиме спостереження за процесом вивантаження брухту із транспортного засобу та:

- виконувати ідентифікацію заборонених фрагментів.

Передбачається створення технології комп'ютерного зору;

- здійснювати оповіщення про виявлення заборонених фрагментів.

Після отримання сигналу оператор приймає рішення щодо зупинення вивантаження та вилучення заборонених предметів;

- виконувати оцінку якісних характеристик металобрухту.

Передбачається створення нейронної мережі з використанням алгоритмів глибокого навчання;

– надавати рекомендацію про засміченість брухту. Ці рекомендації як основний інструмент (без участі експертної комісії) або як додатковий інструмент до оцінки комісії можуть використовуватися для подальшого прийняття рішення щодо якості металобрухту.

Проведено першочергове моделювання, на рисунку 1.14 представлена контекстна діаграма програмної системи в нотації IDEF0.

У центрі діаграми представлений верхній (узагальнюючий) рівень, а саме процес оцінювання якості металобрухту за допомогою системи комп'ютерного зору. Ліворуч зазначено потік вхідних даних (фото зразків брухту, навчальна вибірка, відео приймання брухту). Праворуч зазначено

потік вихідних даних (інформування про виявлення заборонених фрагментів та рекомендації щодо якості брухту). Знизу зазначено механізми системи (адміністратор та нейронна мережа). Зверху зазначено керування системою – тобто оцінювання якості металобрухту здійснюється за допомогою системи комп'ютерного зору на основі обраної нейронної мережі з певним алгоритмом навчання.

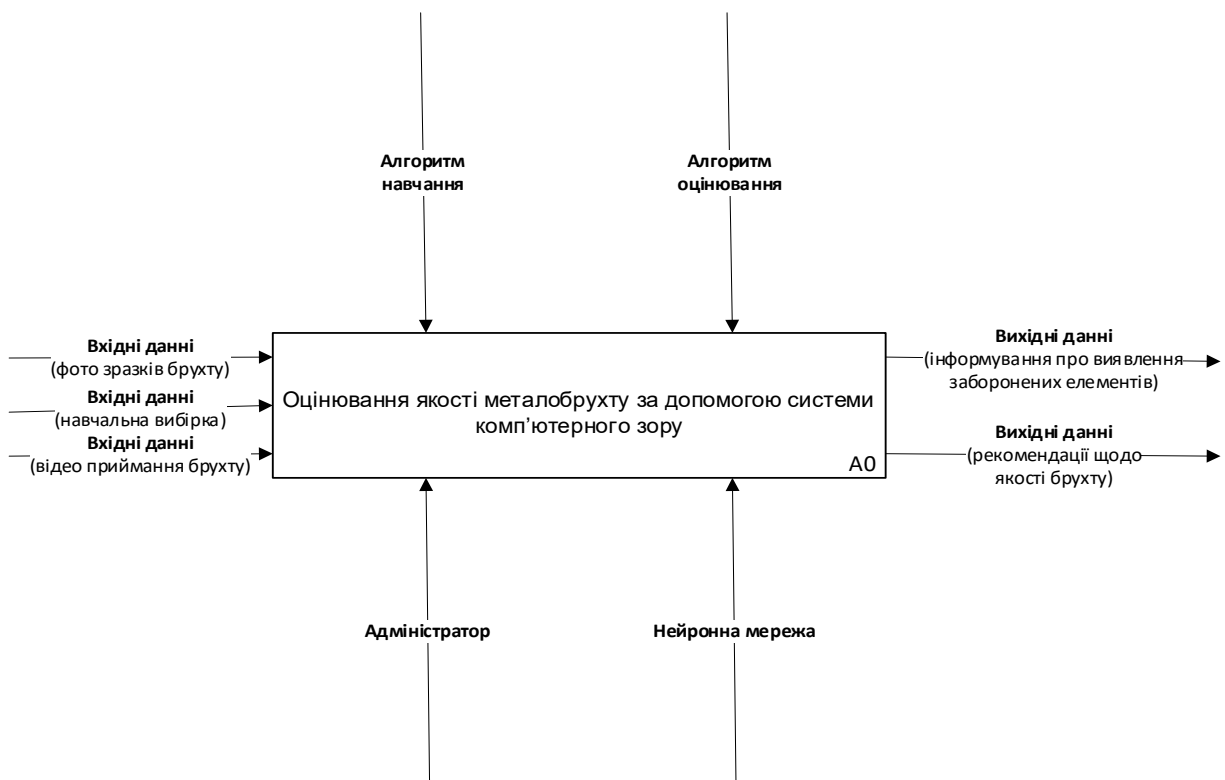


Рисунок 1.14 – Контекстна діаграма

Отже, об'єктом дослідження є процес оцінки зображень металобрухту з використанням нейронних мереж. Запропоноване програмне рішення може розглядатися як додатковий інструмент підвищення ефективності бізнес процесу забезпечення металобрухтом Групи МЕТІНВЕСТ.

1.5 Висновки за розділом 1

Проаналізовано підходи щодо використання технології комп'ютерного зору для встановлення якісних характеристик металобрухту.

Проведено аналіз задачі встановлення якісних характеристик металобрухту.

Розглянуто проточний бізнес-процес приймання металобрухту, визначено ризикові зони, які можуть бути мінімізовані наведеним додатковим інструментом контролю.

Проведено аналіз програмних систем для розпізнавання (класифікації) металобрухту.

Визначено, що металургійні підприємства України не використовують програмні системи для оцінки металобрухту.

В якості бенчмарку наведено приклади рішень італійської металургійної компанії Tenova, іспанської компанії Pervasive Technologies, німецької металургійної компанії SMS Group, а також модель на основі глибокого навчання для багатокатегорійної класифікації та рейтингу сталевих брухту CSBFNet.

Сформовано якісну постановку задачі дослідження.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РОЗПІЗНАВАННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛОБРУХТУ

2.1 Опис алгоритмів розпізнавання на основі нейронних мереж

Комп'ютерний зір є науковим напрямком у галузі штучного інтелекту, що стосується отримання зображень реальних об'єктів, їх обробки та використання отриманих даних для різноманітних прикладних завдань без прямого втручання людини. Завдання комп'ютерного зору зводяться до аналізу зображень або відео потоку з метою виявлення фрагменту, що містить необхідну інформацію (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Завдання комп'ютерного зору

Ідентифікація – завдання, яке полягає у класифікації цілого зображення. Для досягнення виділяються ключові області на зображенні, потім проводиться класифікація.

Розпізнавання об'єктів – виділення певного набору об'єктів на зображенні. Алгоритм не може класифікувати довільні об'єкти, однак здатний з високою точністю розпізнавати попередньо навчений набір об'єктів. Найпростішим методом детекції є метод R-CNN (Regions with Convolutional Neural Network) - виділення регіонів за допомогою згорткових нейронних мереж з використанням ковзного вікна [13].

Сегментація зображення - розділення зображення на відповідні сегменти або пікселі в межах одного сегмента, що мають деякі загальні атрибути, такі як інтенсивність, текстура та колір. Застосовується в різних галузях - виробництво (виявлення дефектів при збиранні деталей), медицина (первинна обробка зображень), картографія (створення мап місцевості з супутникових знімків) [14].

Оцінка положення – включає виділення каркасу об'єкта та визначення його положення на зображенні. Залежно від кількості об'єктів, розрізняють одиночну та багато об'єктну оцінку [15].

Розпізнавання тексту – завдання, за яким спочатку виконується алгоритми детекції для виділення області з текстом, а потім проводиться розпізнавання тексту за допомогою алгоритмів сегментації [16].

Генерація об'єктів – створення нових об'єктів, які подібні до відомого набору об'єктів, але відрізняються від них тестовими прикладами. Наприклад, створення анімаційних персонажів мультфільму. Використовуються генеративно-змагальні мережі (Generative Adversarial Networks, GANs) [17].

Аналіз відео – оскільки відео складається з послідовності зображень, зроблених через інтервали часу, для виконання використовуються всі описані функції. Додатково можливе передбачення положення об'єкта на майбутніх кадрах, використовуючи набір поточних кадрів. Також можливе завдання ситуаційної обізнаності, яке полягає в здатності визначити положення і статус кожного об'єкта на всіх кадрах відео.

Основні методи класифікації зображень [14, 18]:

– згорткові нейронні мережі (Convolutional Neural Networks, CNN) - глибокі нейронні мережі, спеціально розроблені для роботи із зображеннями. Ґрунтуються на використанні згорткових шарів, які вивчають ознаки на різних рівнях абстракції;

– метод опорних векторів (Support Vector Machines, SVM) - метод, який знаходить гіперплощину у багатовимірному просторі, що розділяє об'єкти різних класів. Широко використовується у задачах класифікації зображень;

– дерева рішень (Decision Trees) – метод побудови дерева, кожен вузол є тестом на значення однієї з ознак, а кожний лист прогноз для конкретного класу;

– Random Forest – ансамблевий метод, який використовує кілька дерев рішень для покращення точності класифікації;

– метод найближчих сусідів (K-Nearest Neighbors, KNN) – метод, який класифікує об'єкти на основі близькості до вже відомих об'єктів;

– наївний клас класифікатора Байєса (Naive Bayes Classifier) - простий імовірнісний класифікатор, заснований на теоремі Байєса;

– лінійна регресія (Linear Regression) – метод, який використовується для пошуку лінійного зв'язку між двома змінними, може бути використаний для класифікації зображень, якщо вихідна змінна є категоріальною.

Для автоматичного аналізу зображень існує багато методів [19], кожен може бути корисним для вирішення певної задачі. При цьому немає універсальних методів, які були би достатньо всебічними в порівнянні зі здібностями людського аналізу зображень.

Деякі методи аналізу зображень представлені на рисунку 2.2.

Далі більш детально розглянута задача знаходження об'єктів на зображенні, яка відноситься до області машинного навчання. Задача включає визначення наявності або відсутності об'єкта певного типу та визначення меж цього об'єкта у системі координат пікселів оригінального

зображення. Залежно від алгоритму навчання, об'єкт може бути представлений координатами обмежувальної рамки, ключовими точками або контуром об'єкта [20].



Рисунок 2.2 – Методи аналізу зображень

Знаходження об'єктів на зображенні може мати різні формулювання та включати в себе різні підзадачі:

Семантична сегментація є завданням, в якому моделі подається зображення, а на виході кожному пікселю призначається мітка, що вказує на його приналежність до певної категорії. Семантична сегментація має суттєвий недолік при розпізнаванні об'єктів, оскільки маркує пікселі за приналежністю до типу, не враховуючи відмінності між окремими об'єктами.

Класифікація з локалізацією включає передбачення мітки категорії класу, а також визначення рамки, що обмежує положення окремого об'єкта на зображенні. Зазвичай ця рамка є прямокутною і має сторони, паралельні до вихідного зображення, з мінімальною площею, що повністю охоплює об'єкт всередині. Розміщення обмежувальної рамки може бути

визначено за допомогою центру, ширини і висоти або за допомогою чотирьох сторін.

Детекція об'єктів полягає в виділенні декількох об'єктів на зображенні шляхом визначення координат їх обмежувальних рамок та класифікації цих рамок з великої кількості попередньо відомих класів. На відміну від класифікації з локалізацією, кількість об'єктів на зображенні є невідомою. Підходи до розв'язання задачі детекції можуть бути різними. Один із підходів базується на згорткових нейронних мережах та полягає у використанні ядер, що представляють канонічні зображення класів, які потрібно знайти на зображенні.

Використовують два основних підходи:

– двоетапні методи або «методи, засновані на регіонах» - розбивають процес на два етапи. У першому етапі використовується селективний пошук або спеціальний шар нейронної мережі для виділення регіонів інтересу - областей, які ймовірно містять об'єкти. На другому етапі обрані регіони проходять через класифікатор для визначення приналежності до певних класів та регресор, який уточнює розташування обмежувальних рамок;

– одноетапні методи – засновані на підході, при якому не використовується окремий алгоритм для генерації регіонів. Замість цього вони передбачають координати кількох обмежувальних рамок з різними характеристиками, такими як класифікаційні результати та ступінь впевненості, і потім коригують положення рамок.

Двоетапні методи R-CNN. Алгоритм Region-CNN (R-CNN, Region-based Convolutional Network) є підходом, заснованим на згорткових нейронних мережах [21]. Замість використання фіксованих ковзних вікон для пошуку зображень, на першому кроці алгоритм застосовує селективний пошук для виявлення «регіонів». Це дозволяє швидше та ефективніше знаходити об'єкти незалежно від їх розміру, відстані до камери або кута зору. Загальна кількість регіонів, згенерованих для

кожного зображення на першому кроці, становить приблизно 2000. Знайдені регіони змінюють свій розмір за допомогою афінних перетворень, щоб вони могли бути введені у згорткову нейронну мережу.

Fast R-CNN. Оригінальна версія алгоритму R-CNN вимагає окремої класифікації для кожного з 2000 регіонів, що призводить до значного витрати часу під час навчання [22]. У зв'язку з цим, автори запропонували покращену версію алгоритму під назвою Fast R-CNN, яка забезпечує більшу продуктивність. Однією з особливостей Fast R-CNN є подача всього зображення на вхід згортковій нейронній мережі для отримання загальної карти ознак, замість регіонів. Запропоновані регіони накладаються на цю загальну карту ознак, що дозволяє суттєво зменшити кількість операцій згортки.

Faster R-CNN. Fast R-CNN, подібно до оригінального алгоритму R-CNN, використовує селективний пошук для виявлення регіонів. Хоча час навчання на одному тестовому зображенні знизився з 49 до 2,3 секунди завдяки одноразовій згортці, селективний пошук залишається суттєвим обмеженням продуктивності. Автори алгоритму Faster R-CNN, який був розроблений для вирішення цієї проблеми, запропонували використовувати окремий модуль, відомий як мережа генерації пропозицій регіонів (Region Proposal Network, RPN), для обчислення регіонів. RPN є згортковою мережею, яка генерує пропозиції регіонів на основі ознак вихідного зображення. Згенеровані регіони потім передаються в два повнозв'язкових шари: шар регресії рамок (прогнозує зсуви для рамок обмежень) і шар класифікації (класифікує зображення в межах пропонованої області).

Mask R-CNN. Mask R-CNN є поліпшенням алгоритму Faster R-CNN, яке було запропоноване у 2017 р. і дозволяє виконувати сегментацію екземплярів об'єктів, а не тільки формувати обмежувальні рамки з класифікацією. У Mask R-CNN окрім традиційних міток класу і координат рамки додається маска об'єкта - прямокутна матриця, яка відображає

приналежність пікселів до конкретного об'єкта. Маски прогнозуються для кожного класу за допомогою класифікатора на останньому рівні мережі, без наявності інформації про зміст регіону [23].

Одноетапні методи. Сімейство алгоритмів R-CNN використовує передбачення регіонів, що дозволяє досягати високої точності, але може бути повільним для використання у безпілотному керуванні автомобілем [22]. Окрім цього існує інше сімейство алгоритмів, що розвивається паралельно, яке не використовує передбачення регіонів - це сімейство алгоритмів швидкої детекції.

YOLO (You Look Only Once) – алгоритм, запропонований у 2016 р., був першою спробою забезпечити детекцію об'єктів у реальному часі [17, 24]. У рамках алгоритму YOLO вихідне зображення розбивається на сітку розміром $N \times N$ клітинок. Якщо центр об'єкта потрапляє всередину координат клітинки, то ця клітинка вважається відповідальною за визначення параметрів місцезнаходження об'єкта. Кожна клітинка описує кілька варіантів обмежувальних рамок для того ж об'єкта. Кожен варіант характеризується п'ятьма значеннями - координатами центру рамки, її шириною і висотою, а також ступенем впевненості, що рамка містить об'єкт. Алгоритм YOLO працює швидше, ніж алгоритми з сімейства R-CNN, завдяки тому, що він розділяє зображення на постійну кількість клітинок замість пропозиції регіонів та обробки кожного регіону окремо. Проблемою YOLO є низька якість розпізнавання об'єктів складної форми або групи невеликих об'єктів.

YOLOv2, YOLOv3. Покращена версія моделі YOLOv2 відрізняється від попередньої версії застосуванням батчевої нормалізації на згорткових шарах, навчанням моделі на зображеннях з вищою роздільною здатністю, використанням ключових рамок для передбачення місцезнаходження об'єктів, а також застосуванням кластеризації з алгоритмом k-середніх для більш ефективного вибору розмірів рамок на тренувальній вибірці [25]. У YOLOv3 внесено невеликі поліпшення порівняно з YOLOv2.

Зокрема, використовується логістична регресія для оцінки достовірності обмежувальних рамок, замість суми квадратів помилок для умовної класифікації. Також використовується кілька незалежних логістичних класифікаторів для кожного класу замість одного шару softmax.

SSD. Модель Single Shot Detector (SSD) використовує підхід пірамідальної ієрархії виходів згорткової мережі для виявлення об'єктів різних розмірів [24]. Зображення проходить через послідовні шари згорткової мережі, які поступово зменшують його розмір. Вихідні дані з останнього шару кожного розміру використовуються для прийняття рішення щодо детекції об'єктів, утворюючи так звану «пірамідальну характеристику» зображення. Цей підхід дозволяє виявляти об'єкти різних масштабів, оскільки виходи перших шарів сильно корелюють з рамками, що обмежують маленькі об'єкти, тоді як останні шари більш чутливі до великих об'єктів. У відмінність від YOLO, SSD не розбиває зображення на сітку довільного розміру, а передбачає зміщення ключових рамок. Ключові рамки різних рівнів масштабуються так, що одна з розмірностей вихідного шару відповідає об'єктам свого масштабу. Це дозволяє виявляти великі об'єкти на вищих рівнях і маленькі об'єкти на нижчих рівнях.

Далі більш детально розглянуто згорткову нейронну мережу.

Згорткова нейронна мережа (Convolutional Neural Network, CNN) є спеціальною архітектурою нейронних мереж, яку запропонував Ян Лекус і яка спочатку була спрямована на ефективне розпізнавання зображень. Цю категорію нейронних мереж можна використовувати для ідентифікації просторових шаблонів. Вона досягає надійності шляхом економного використання параметрів і систематичної ідентифікації простих шаблонів, які об'єднуються в складні специфікації за допомогою наступних рівнів. Використання в сучасних цифрових технологіях зображення повсюдне, причому більшість камер запрограмовано на автоматичне виділення об'єктів за допомогою CNN [13].

Останніми роками штучні нейронні мережі досягли успіху в обробці

неструктурованих даних, особливо зображень, тексту, аудіо та мови. CNN найкраще працюють для таких неструктурованих даних. Щоразу, коли існує топологія, пов'язана з даними, згорткові нейронні мережі добре справляються з вилученням важливих функцій із даних. З архітектурної точки зору, CNN натхненні багатошаровими персептронами. Накладаючи локальні обмеження зв'язку між нейронами сусідніх шарів, CNN використовує локальну просторову кореляцію. Основною функцією згорткових нейронних мереж є обробка даних за допомогою операції згортки. Згортка будь-якого сигналу з іншим сигналом породжує третій сигнал, який може розкрити більше інформації про сигнал, ніж сам вихідний сигнал.

Перевага згорткових нейронних мереж полягає в розрідженому зв'язку, який є результатом розподілу ваги, що значно зменшує кількість параметрів для навчання. Один і той же фільтр може навчитися виявляти один і той же край в будь-якій заданій частині зображення за допомогою своєї властивості еківаріації, яка є чудовою властивістю згортки, корисною для виявлення ознак.

2.2 Опис нейронних мереж для розпізнавання зображень металобрухту

Використання глибокого навчання та комп'ютерного зору може бути ефективним способом обробки зображень металобрухту для сортування металевих відходів.

Переробка передбачає сортування твердих відходів, що є складним і дорогим процесом. Для спрощення цього процесу може бути використана автоматична система ідентифікації на основі класифікації для розпізнавання та виявлення цілі, що допоможе зменшити ризики та ручне

сортування [7].

Деякі дослідження даної проблеми.

1. Класифікація відходів за допомогою комп'ютерного зору та автоматичного сортування за чотирма категоріями. Запропоновано новий двоетапний алгоритм визначення відходів (Waste Recognition-Retrieval algorithm, W2R). У першому етапі тренування моделі визначення (Recognition Model, RegM), яка розпізнавала відходи на одну з тринадцяти підкатегорій. На другому етапі створення моделі відновлення (Recognition-Retrieval Model, RevM), яка класифікувала визнану підкатегорію в одну з чотирьох категорій. Також тренувалася одноетапної моделі класифікації (Classification Model, ClfM) для порівняння. Обидві найбільш ефективні моделі встановлені на автоматичний сортувальний пристрій в рамках експерименту. Пристрій складався з трьох модулів: модуля комп'ютерного зору, модуля сортування та модуля кастомізації. Десятеро учасників також класифікували та сортували той самий набір відходів за допомогою ручного сортування (MS). Результати експерименту показують, що середня точність моделі RevM 94,71%, була значно вище, ніж у ClfM (69,66%) і MS (72,50%) [26].

2. Використання комп'ютерного зору для автоматичного визначення типу відходу та його класифікації на п'ять категорій: пластик, метал, папір, картон і скло. Система включає відсік для переробки, який автоматично відкриває кришку, відповідну визначеному типу відходу. Основний акцент зроблено на алгоритмах машинного навчання. Для тренування використовувалися заздалегідь наявні зображення для 12 варіантів алгоритму згорткових нейронних мереж (CNN) та три класифікатори: метод опорних векторів, сигмоїда та SoftMax. Результати експерименту показали, що модель VGG19 з класифікатором SoftMax дають точність приблизно 88% [27].

3. З розвитком глибокого навчання широко застосовувалася група фреймворків з відкритим вихідним кодом, представлених TensorFlow і

Keras. Запропоновано прикладне дослідження автоматичного сортування відходів на основі TensorFlow та бібліотеки зображень з відкритим вихідним кодом OpenCV [28].

4. Встановлення методів автоматичної класифікації для підвищення загальної ефективності процесу переробки відходів [29].

5. Запропоновано рішення на основі штучного інтелекту для автоматичної класифікації видів відходів з металу, пластику та скляних виробів [30].

Для класифікації зображень за допомогою нейронних мереж використовуються різні моделі навчання, включаючи SSD/FPN ResNet [31]. У цій моделі SSD відноситься до моделі навчання нейронної мережі, а FPN є додатковим модулем, що покращує точність класифікації. Це поєднання показує найкращі результати в аналізі та класифікації зображень. Крім того, модель SSD може бути заснована на архітектурі VGG16.

Розглянемо архітектуру Single-Shot Detector (SSD). На рисунку 2.3 зображено структуру мережі SSD [23, 31]. Перші п'ять груп згорткових шарів, які були взяті з моделі VGG-16, використовуються для вилучення ознак, тоді як кілька додаткових згорткових шарів використовуються для отримання ще більш глибоких особливостей зображення.

SSD ResNet – це модель глибокого навчання, яка використовує архітектуру ResNet для вилучення ознак і Single Shot Detector (SSD) для детектування об'єктів. ResNet – це згорткова нейронна мережа, яка може навчатися на більш глибоких рівнях, що дозволяє досягати вищої точності у завданнях комп'ютерного зору. SSD є алгоритмом, який дозволяє виявляти об'єкти на зображеннях, використовуючи лише один прохід мережі та багат шарові ознакові карти різного масштабу. На рисунку 2.4 зображено структуру мережі SSD ResNet.

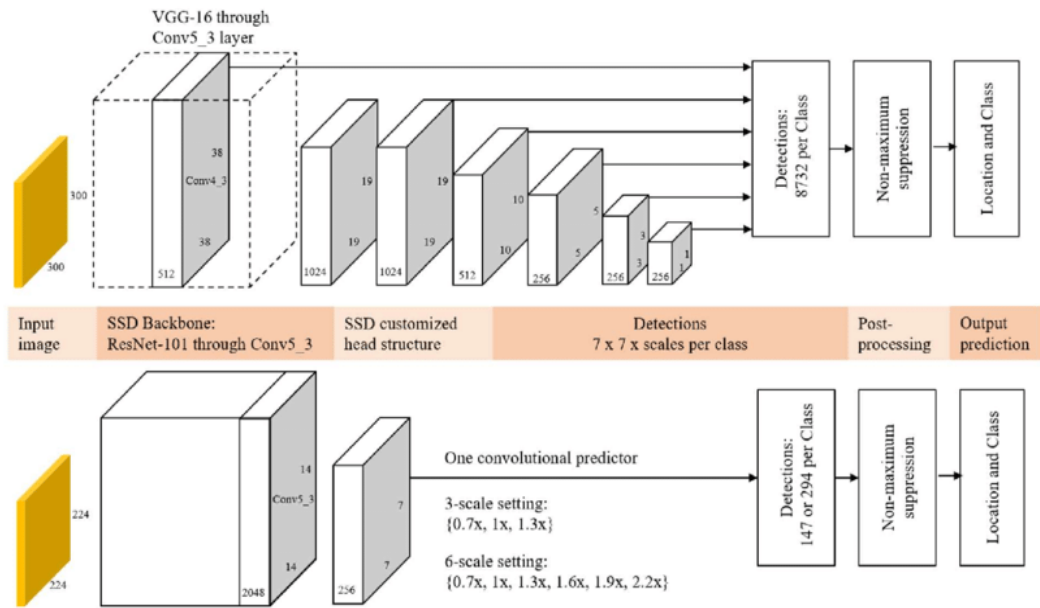


Рисунок 2.3 – Архітектура нейронної мережі SSD

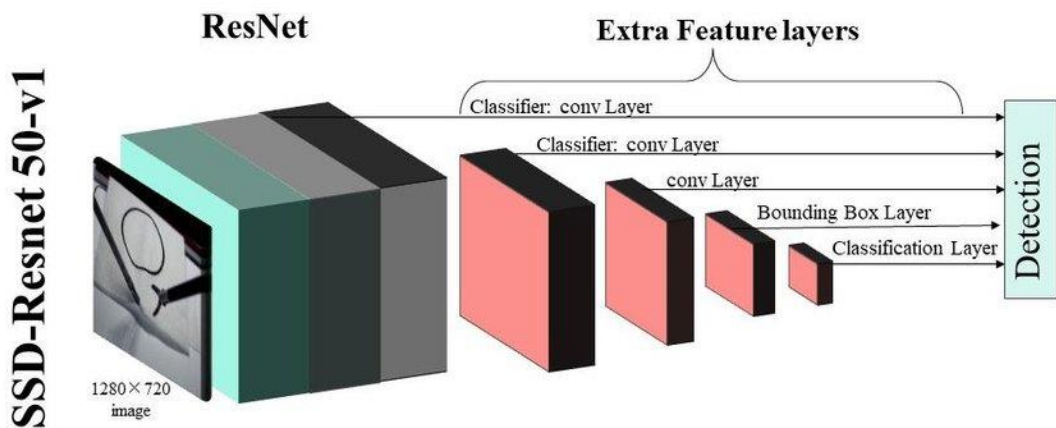


Рисунок 2.4 – Архітектура нейронної мережі SSD-ResNet50 V1 FPN

Поєднання цих двох архітектур дозволяє створити модель, яка здатна виявляти об'єкти на зображеннях з високою точністю.

Функція втрати. Функція втрат для SSD складається з двох компонентів: втрати довіри (L_{conf}) і втрати локалізації (L_{loc}):

$$L(x, c, l, g) = \frac{1}{N} (L_{conf}(x, c) + \alpha L_{loc}(x, l, g)),$$

(2.1)

Функція втрат довіри (L_{conf}) враховує відповідність між передбачуваними класами і дійсними класами для відповідних полях. Вона обчислюється для кожного поля за замовчуванням (N), де α - параметр, що визначає баланс між L_{conf} і L_{loc} . Значення α дорівнює 1, якщо поле відповідає основному об'єкту, інакше воно дорівнює 0. Змінна s вказує на категорію довіри, а l і g представляють блок передбачення та дійсну область обмеження відповідно.

Функція втрат локалізації (L_{loc}) визначається шляхом розрахунку різниці між передбачуваними координатами центра (s_x, s_y), шириною (w) і висотою (h) області обмеження за замовчуванням (d) і відповідними дійсними координатами.

Таким чином, функція втрат SSD враховує як точність класифікації, так і точність локалізації об'єктів під час тренування моделі.

$$L_{\text{loc}}(x, l, g) = \sum_{i \in \text{Positive}}^N \sum_{m \in \{cx, cy, w, h\}} x_{ij}^k \text{smooth}_{L1}(l_i^m - (g')_j^m), \quad (2.2)$$

$$\text{smooth}_{L1}(x) = \begin{cases} 0.5x^2 & \text{if } |x| < 1, \\ |x| - 0.5 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (2.3)$$

$$(g')_j^m = \begin{cases} (g_j^{cx} - d_i^{cx})/d_i^w, & m = cx, \\ (g_j^{cy} - d_i^{cy})/d_i^h, & m = cy, \\ \log(g_j^w/d_i^w), & m = w, \\ \log(g_j^h/d_i^h), & m = h. \end{cases} \quad (2.4)$$

Для врахування декількох класів достовірності використовується softmax втрата як частина втрати довіри. Softmax втрата допомагає розподілити достовірність між різними класами, шляхом перетворення вихідних значень мережі в ймовірності. Це дозволяє кожному класу мати

свою вагу в загальній функції втрати, що допомагає в точнішому прогнозуванні класів об'єктів (L_{conf}).

$$L_{conf}(x, c) = - \sum_{i \in Pos} x_{ij}^P \log(c_i^P) - \sum_{i \in Neg} \log(c_i^0), \quad (2.5)$$

де

$$c_i^P = \frac{\exp(c_i^P)}{\sum_P \exp(c_i^P)}. \quad (2.6)$$

Мережа Feature Pyramid Network (FPN) [23] використовує піраміди ознак для поліпшення точності виявлення об'єктів, особливо малих об'єктів. Зазвичай, методи побудови пірамід ознак використовують різні масштаби зображень для обчислення функцій у відповідних масштабах. Однак, FPN вирішує проблему слабких функцій низького рівня шляхом їх комбінування з надійними функціями високого рівня.

Метод побудови піраміди FPN показаний на рисунку 2.5, де демонструється процес пониження та підвищення вибірки. Цей метод базується на архітектурі SSD [31], що дозволяє досягти точного та ефективного виявлення об'єктів. Оскільки SSD може бути неефективним у виявленні малих об'єктів, використання FPN допомагає покращити продуктивність системи.

Отже, FPN є потужним інструментом для виявлення об'єктів, який поєднує переваги побудови пірамід ознак із здатністю виявляти як малі, так і великі об'єкти з високою точністю.

Моделі VGG16 та VGG19. VGG-16 – це згортова нейронна мережа (CNN), яка вважається однією з кращих моделей комп'ютерного зору (рисунки 2.5, 2.6).

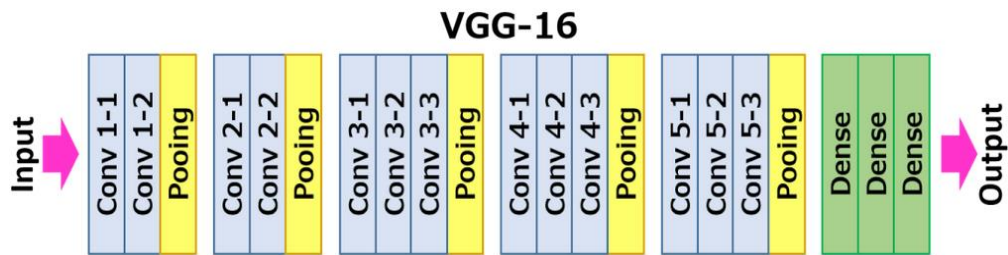


Рисунок 2.5 – Архітектура нейронної мережі VGG16 [23]

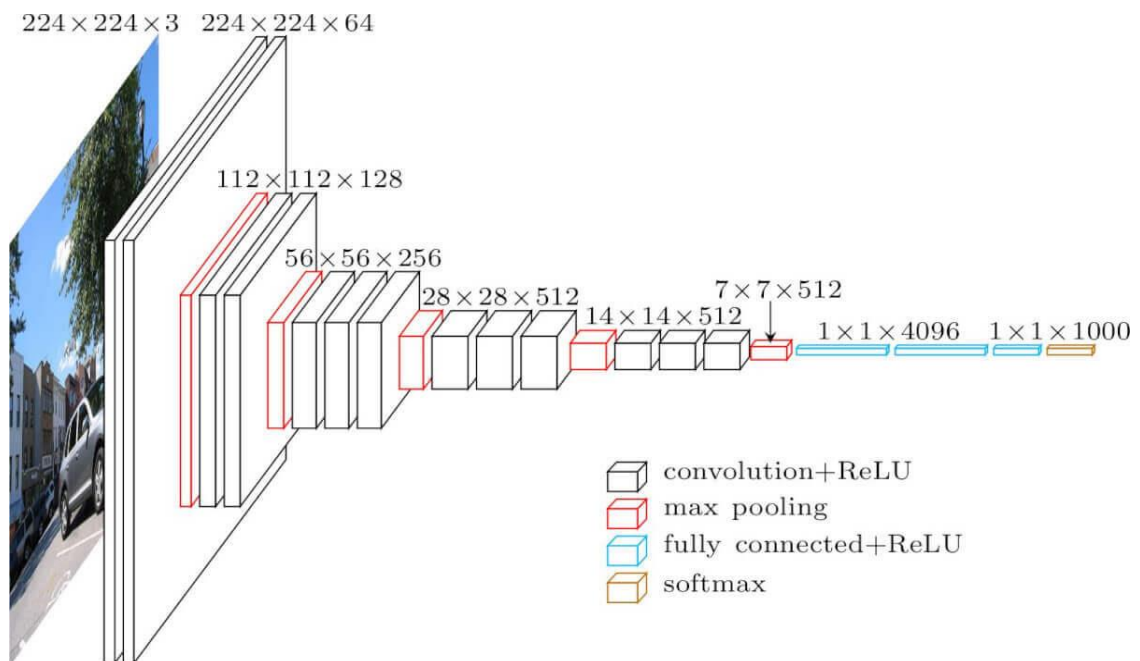


Рисунок 2.6 – Архітектура нейронної мережі VGG16 [23]

Шар передбачення визначає категорію та розташування об'єктів, витягнутих із різних шарів. Для отримання остаточного результату виявлення використовується скринінг, при якому не застосовується максимальне пригнічення.

VGG16 та VGG19 – це дві згорткові нейронні мережі, розроблені в Оксфордському університеті в 2014 р. [32]. Вони названі відповідно за кількістю шарів – VGG16 містить 16 шарів, а VGG19 – 19 шарів. Ці моделі були першими, хто досяг високих результатів у задачах класифікації зображень на відомих датасетах, таких як ImageNet.

Архітектури VGG16 та VGG19 складаються з послідовних шарів згортки та пулінгу, а потім повнозв'язкових шарів. Шари згортки та пулінгу використовуються для вивчення ознак зображення, а пов'язані шари - для класифікації. VGG16 і VGG19 мають багато параметрів, що ускладнює їхнє навчання і вимагає великої кількості даних. Однак, під час навчання на великих наборах даних вони можуть досягати високих результатів у задачах класифікації зображень.

В даний час VGG16 і VGG19 не є найсучаснішими згортковими нейронними мережами, але вони, як і раніше, використовуються як базові моделі для навчання на різних завданнях комп'ютерного зору.

2.3 Висновки за розділом 2

Розроблено алгоритмічне забезпечення для розпізнавання якісних характеристик металобрухту.

Виконано дослідження методів класифікації зображень, яке показало, що найбільш ефективним способом класифікації є використання згорткових нейронних мереж.

Зроблено аналіз та опис згорткових нейронних мереж різних архітектур.

Визначено моделі згорткових нейронних мереж, які запропоновано використовувати для класифікації зображень металобрухту, а саме SSD-ResNet, VGG16.

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО РІШЕННЯ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛОБРУХТУ

3.1 Розробка бізнес-вимог до програмного рішення

В рамках першого етапу моделювання програмного рішення визначені стейкхолдери та сформовані основні бізнес-вимоги, які формалізовані в Специфікації бізнес-вимог (Business Requirements Specification). Призначенням документа є деталізація та уточнення бізнес-вимог, заявлених зацікавленими сторонами в рамках проєкту «Встановлення якісних характеристик металобрухту з використанням технології комп'ютерного зору».

Документ призначений для читання:

- володарями бізнес-процесу, керівниками проєкту та іншими зацікавленими сторонами, які розглядають та підписують вимоги;
- командою розробників програмного рішення.

Встановлені припущення:

- система може формувати рекомендації про засміченість металобрухту в процесі його комерційного приймання в умовах металургійного підприємства;
- система може використовувати додаткову інформацію з бази «Оперативний облік» системи «1С:Підприємство» ТОВ «МЕТІНВЕСТ-РЕСУРС»;
- до системи може бути доданий модуль «1С:Підприємство» ТОВ «МЕТІНВЕСТ-РЕСУРС».

Функціонування системи може залежати від:

- встановлення камер та якості отриманого вхідного відеосигналу;
- якості маркування даних та отриманої навчальної вибірки;

- якості навчання та налаштування нейронної мережі;
- авторизації користувачів в системі.

Визначене обмеження – система розробляється виключно для внутрішнього використання в Групі METINVEST.

Для збору та документування вимог використано підходи:

- інтерв'ювання спонсорів проекту, власників бізнес-процесу та інших зацікавлених сторін (потенційних користувачів системи);
- особисте спостереження за бізнес-процесом;
- особистий досвід;
- пошук інформації в мережі Інтернет.

Причини ініціювання проекту:

1. Збільшення ризику постачання заборонених видів та фрагментів металобрухту (вибухонебезпечний, конверсійний) через проведення військових дій на території держави. Необхідність під час вивантаження металобрухту своєчасного виявлення заборонених до постачання видів та фрагментів, потрапляння яких до металургійної переробки зможе причинити потенційні ризики завдання шкоди життю, здоров'ю працівників та майнової шкоди обладнанню (фрагменти конверсійного брухту, закриті (нерозібрані) ємності, балони, тощо).

2. Потенційна суб'єктивність, заангажованість рішення членів комісії щодо якості металобрухту, наявність людських помилок. Необхідність формування рекомендацій про вид та засміченість металобрухту в процесі його комерційного приймання на металургійному підприємстві.

Замовником надано опис бізнес процесу. Зокрема, в процесі комісійного приймання виконується візуальний огляд декількох шарів металобрухту під час вивантаження з транспортного засобу. Шар металобрухту, що візуально проглядається, становить приблизно 4-5 т. від загальної ваги брухту. Після зняття укриття, комісією приймається попереднє рішення про вид та засміченість металобрухту. В подальшому в процесі пошарового вивантаження та візуального огляду металобрухту,

комісія може коригувати вид та засміченість. Згідно вимог ДСТУ 4121-2002: не допускають наявність вибухонебезпечних речовин у металобрухті; у разі знаходження незнешкоджених боєприпасів, посудин з невідомим вмістом тощо подальшу роботу з металобрухтом потрібно призупинити; вмістища вузлів машин (двигуни, коробки передач тощо) повинні бути звільнені від залишків горючих і змащувальних речовин; посудини усіх типів і розмірів (балони, бочки тощо), а також усі порожнисті предмети (циліндри двигунів тощо) повинні бути спорожнені від того, що у них містилось, від крижаних пробок та вологи і мати доступ для огляду внутрішньої поверхні; горловини балонів повинні бути відкриті, а на їхньому корпусі повинен бути прорізаний другий отвір; днища бочок та інших посудин повинні бути розкриті.

Визначено сферу застосування системи в межах проекту. Так, для досягнення цілей проекту та реалізації максимально можливих матеріальних та нематеріальних переваг, буде здійснено спектр заходів та вирішені задачі:

- збір інформації для формування навчальної вибірки (фото зразків заборонених видів та фрагментів металобрухту, фото металобрухту різної ступені засміченості);
- маркування даних та налаштування навчальної вибірки;
- ідентифікація заборонених фрагментів металобрухту за допомогою нейронної мережі;
- ідентифікація виду та засміченості металобрухту за допомогою нейронної мережі;
- надання необхідної звітності.

Бізнес-ціллю є розробка системи, яка в автоматичному режимі буде здійснювати спостереження за процесом вивантаження металобрухту із транспортного засобу, інформувати про виявлення заборонених до постачання фрагментів металобрухту та надавати рекомендацію про засміченість металобрухту. Зменшення ризиків потрапляння до

металошихти вибухонебезпечних фрагментів. На підставі отримуваних рекомендації відносно якості металобрухту, зменшення впливу «людського фактору» та мінімізація ризиків постачання металобрухту зі значними порушеннями.

Визначені бізнес-вимоги до системи (таблиця 3.1) з урахуванням пріоритетів, що базуються на техніці MoSCoW.

Таблиця 3.1 – Вимоги бізнесу

Код	Вимоги	Пріоритет
BR01	Ідентифікація заборонених до постачання видів та фрагментів металобрухту	M
BR02	Інформування оператора системи про виявлення заборонених видів та фрагментів металобрухту	M
BR03	Тільки адміністратор системи може змінювати налаштування алгоритму навчання	M
BR04	Формування рекомендацій про вид та засміченість металобрухту	S
BR05	Данні, отримані в результаті роботи системи, зберігаються впродовж 5 років	S
BR06	Період резервного копіювання даних - щотижня	S
BR07	Тільки адміністратор системи може змінювати дані	S
BR08	Формування зведеної звітності щодо якості прийнятого металобрухту	C
BR09	Вивантаження звітності в Excel файли за формою, визначеною Замовником	C
BR10	Надсилання звітності через поштового клієнта Outlook	C
BR11	Тільки зареєстрований користувач може бути оператором системи	C
BR12	Тільки оператор системи може переглядати дані	C
BR13	Наявність зручного та зрозумілого інтерфейсу	C

Рейтинг пріоритетів, що базуються на техніці MoSCoW, наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Рейтинг пріоритетів вимог

Рейтинг пріоритетів	Опис
M - Must Have, повинен мати	Описуються вимоги, що повинні бути задоволені у фінальному представленні рішення для досягнення успіху
S - Should Have, варто було б мати	Представляє високо-пріоритетні деталі (пункти), що повинні бути добавлені у рішення, якщо це можливо. Дуже часто це вирішальні вимоги, проте кожен з них може бути задоволений іншим шляхом, якщо суворо необхідно
C - Could Have, можливо мати	Описуються вимоги, які вважаються бажаними, але не обов'язковими. Вони будуть включені, якщо дозволять час і ресурси
W – Won't Have, хотілося б мати	Представляє вимоги, які були погоджені зацікавленими сторонами, що не будуть додаватися до анонсування, проте можуть бути розглянуті у майбутньому

В рамках розробки логічної моделі програмної системи виконано опис предметної області у вигляді діаграми прецедентів Use Case (рисунок 3.1). Діаграма прецедентів визначає функціонал системи при її взаємодії з «акторами» (користувачами системи) [33, 34].

Подання варіантів використання дозволяє виявити всіх «акторів» системи, варіантів їх використання, а також вказати, які актори в яких варіантах використання фігурують.

Головними діючими особами визначено:

- оператора системи;
- адміністратора системи

Короткий опис користувачів наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Опис користувачів системи

Користувач	Короткий опис
Адміністратор системи	здійснює налаштування нейронної мережі здійснює авторизацію оператора системи
Оператор системи	отримує інформацію від системи про заборонені фрагменти та про якість металобрухту формує запит на звітність та отримує звітність



Рисунок 3.1 – Use Case діаграма прецедентів

В таблиці 3.4 наведено докладний опис одного із основних варіантів використання (Use Case) «Ідентифікація заборонених фрагментів».

Таблиця 3.4 – Use Case «Ідентифікація заборонених фрагментів»

Ідентифікатор та назва:	UC-1 Ідентифікація заборонених фрагментів	
Автор:	Андрєєнков А.В.	Дата створення:
Основна діюча особа:	Оператор системи	Додаткова діюча особа: Адміністратор системи
Опис:	Система оцінює зображення металобрухту з відеокамери, зіставляє їх зі зразками заборонених фрагментів металобрухту та за результатами ідентифікує заборонені фрагменти у зображеннях металобрухту з відеокамери. Результат ідентифікації система доводить оператору	
Тригер:	Системою отримано вхідний відеосигнал з відеокамери	
Попередні умови:	PRE-1 Система отримала марковані фото зразків заборонених фрагментів. PRE-2 Система отримала зображення металобрухту з відеокамери	
Вихідні умови:	POST-1 Система проінформувала оператора про виявлення заборонених фрагментів	
Нормальний напрям розвитку варіанта використання:	1.0 Ідентифікація заборонених фрагментів Система отримує марковані фото зразків заборонених фрагментів. Система отримує зображення брухту з відеокамери. Система зіставляє зображення металобрухту з відеокамери зі зразками заборонених фрагментів. Система ідентифікує заборонені фрагменти в зображенні металобрухту із відеокамери або не ідентифікує (п. 1.1.) Система інформує оператора про виявлення заборонених фрагментів	
Альтернативний напрям розвитку варіанта використання:	1.1 Система не ідентифікувала заборонені фрагменти 1. Система інформує оператора про не виявлення заборонених фрагментів	
Виключення:	1.0.E1 система не отримала марковані фото зразків заборонених фрагментів 1.0.E2 система не отримала зображення металобрухту з відеокамери	

Продовження таблиці 3.4

Пріоритет:	Високий
Частота використання:	Варіант використання буде виконуватися кожен раз при функціонуванні системи
Бізнес-правила:	<p>System-6, System-7, System-8</p> <p>За результатами оцінки зображення з камери система ідентифікує або не ідентифікує заборонені фрагменти.</p> <p>У випадку ідентифікації:</p> <ul style="list-style-type: none"> – повідомлення про заборонений фрагмент виводиться на екран оператора: «Увага! Виявлено заборонений фрагмент. Необхідно зупинити вивантаження металобрухту та повідомити відділ технічного контролю» (System-6); – повідомлення про заборонений фрагмент дублюється звуковим сигналом (System-7) <p>У випадку не ідентифікації:</p> <ul style="list-style-type: none"> – повідомлення про не виявлення забороненого фрагменту виводиться на екран оператора: «Заборонених фрагментів не виявлено» (System-8)
Спеціальні вимоги:	Система буде імпортувати фото та відео файли

На етапі виявлення, збору та аналізу вимог здійснено документування бізнес-правил (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 – Визначення правил

ID	Визначення правила	Тип правила	Статичне чи динамічне	Джерело
System-1	В рамках одного спрацювання системи здійснюється оцінка металобрухту тільки в одному транспортному засобі	Факт	Статичне	Моделювання бізнес-процесу
System-2	Кожному транспортному засобу присвоюється унікальний ID код	Факт	Статичне	Моделювання бізнес-процесу

Продовження таблиці 3.5

ID	Визначення правила	Тип правила	Статичне чи динамічне	Джерело
System-3	Якщо заборонений фрагмент ідентифіковано, то транспортний засіб вважається поставленим з порушенням умов договору	Висновок	Динамічне	Загальновідомі знання Компанії
System-4	Якщо заборонений фрагмент не ідентифіковано, то транспортний засіб вважається поставленим без порушення умов договору	Висновок	Статичне	Загальновідомі знання Компанії
System-5	Якщо засміченість металобрухту встановлена на рівні 7% та більше, то транспортний засіб вважається поставленим з порушенням умов договору	Висновок	Динамічне	Загальновідомі знання Компанії
System-6	Якщо заборонений фрагмент ідентифіковано, то система інформує оператора шляхом виводу сповіщення на екран	Активатор	Статичне	Моделювання бізнес-процесу
System-7	Якщо заборонений фрагмент ідентифіковано, то система інформує оператора шляхом подачі звукового сигналу	Активатор	Статичне	Моделювання бізнес-процесу

Продовження таблиці 3.5

ID	Визначення правила	Тип правила	Статичне чи динамічне	Джерело
System-8	Якщо заборонений фрагмент не ідентифіковано, то система інформує оператора шляхом виводу сповіщення на екран	Активатор	Статичне	Моделювання бізнес-процесу
System-9	Якщо оцінка якісних характеристик проведена, то система інформує оператора шляхом виводу сповіщення на екран	Активатор	Статичне	Моделювання бізнес-процесу
Access-1	Тільки зареєстрований користувач може бути адміністратором системи	Обмеження	Статичне	Стандарт інформаційної безпеки
Access-2	Тільки зареєстрований користувач може бути оператором системи	Обмеження	Статичне	Стандарт інформаційної безпеки
Access-3	Тільки адміністратор системи може надавати права доступу оператора системи	Обмеження	Динамічне	Стандарт інформаційної безпеки
Report-1	Тільки оператор системи може надсилати запит на формування звітності	Обмеження	Динамічне	Моделювання бізнес-процесу
Report-2	Тільки оператор системи може отримувати звітність на запит	Обмеження	Динамічне	Моделювання бізнес-процесу
Report-3	Тільки оператор системи формує перелік користувачі для відправлення звітності через Outlook	Обмеження	Динамічне	Моделювання бізнес-процесу

Продовження таблиці 3.5

ID	Визначення правила	Тип правила	Статичне чи динамічне	Джерело
NeuralNetwork-1	Тільки адміністратор системи може маркувати данні для навчальної вибірки	Обмеження	Статичне	Вимоги функції «Безпека»
NeuralNetwork-2	Тільки адміністратор системи може змінювати налаштування нейронної мережі	Обмеження	Статичне	Вимоги функції «Безпека»
NeuralNetwork-3	Під час оцінки металобрухту в транспортному засобі не можна змінювати налаштування нейронної мережі	Обмеження	Статичне	Вимоги функції «Безпека»

Бізнес-правило – це вказівка, що визначає чи обмежує певний аспект бізнесу, необхідна для встановлення бізнес-структури чи для управління та впливу на бізнес-діяльність.

Виділяють наступні типи правил: факти, обмеження, активатори операцій, висновки, розрахунки.

3.2 Розробка функціональних та нефункціональних вимог до програмного рішення

3.2.1 Функціональні вимоги до програмного рішення

В рамках проектування програмного рішення виконано розробку вимог, які представлені в документі Специфікація вимог до програмного продукту (Software Requirements Specification).

Метою цього документу є формування вимог до програмного рішення для встановлення якісних характеристик металобрухту за

допомогою технології комп'ютерного зору. Сфера дії продукту поширюється на процес оцінки якісних характеристик металобрухту під час вивантаження із транспортного засобу на підприємстві.

Документ призначений для читання:

- командою розробників для використання як бази з технічними специфікаціями, тестування дизайну та виконання тестового плану;
- володарями бізнес-процесу, керівниками проєкту та іншими зацікавленими сторонами у розгляді та затвердженні вимог.

Програмне рішення призначене для:

- представників бізнес-підрозділу, які забезпечують вхідний контроль при прийманні металобрухту та бажають використовувати додатковий інструмент виявлення заборонених матеріалів;
- представників функції безпеки, які забезпечують мінімізацію ризиків та бажають ввести додатковий контроль за процесом;
- керівництва ТОВ «МЕТІНВЕСТ-РЕСУРС».

Система встановлення якісних характеристик металобрухту здійснюватиме спостереження за процесом вивантаження металобрухту із транспортного засобу, в тому числі:

- ідентифікувати заборонені до постачання види та фрагменти металобрухту за допомогою нейронної мережі;
- інформувати про виявлення заборонених до постачання фрагментів брухту;
- оцінювати якісні характеристики металобрухту за допомогою нейронної мережі;
- надавати рекомендацію про вид та засміченість металобрухту.

На відміну від існуючих інструментів вхідного контролю система дозволить:

- зменшити ризики потрапляння до металошихти вибухонебезпечних фрагментів;
- зменшити вплив «людського фактору»;

– мінімізувати ризики приймання металобрухту зі значними порушеннями або навпаки необґрунтованого заниження якості металобрухту.

У процесі проєктування визначені основні функції програмного рішення, які наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Основні функціональні вимоги до програмного рішення

Код	Функція
PF-01	Отримання фото зі зразками заборонених видів та фрагментів металобрухту
PF-02	Отримання фото зі зразками металобрухту різного ступеня засміченості
PF-03	Маркування фото
PF-04	Навчання нейронної мережі
PF-05	Отримання відео з камери
PF-06	Оцінювання відео за допомогою невченої нейронної мережі
PF-07	Ідентифікація заборонених фрагментів
PF-08	Оцінка якісних характеристик металобрухту
PF-09	Виведення результатів відносно заборонених матеріалів
PF-10	Виведення рекомендацій відносно якості металобрухту
PF-11	Формування звітності
PF-12	Авторизація оператора системи

Система функціональних вимог до програмного рішення представлена у вигляді інтелект-карти (рисунок 3.2).

Інтелектуальна карта – це основна із технік бізнес-аналізу, яка передбачає візуальне представлення думок, ідей і проблем, пов'язаних із бізнесом, щоб дати чітке розуміння того, що потрібно зробити.

В рамках проєктування програмного рішення визначені основні функціональні вимоги.

1. Функція ідентифікації заборонених фрагментів.

Система виконує ідентифікацію заборонених фрагментів на основі обробки зображень з використанням технологій Computer Vision. Має високий пріоритет.

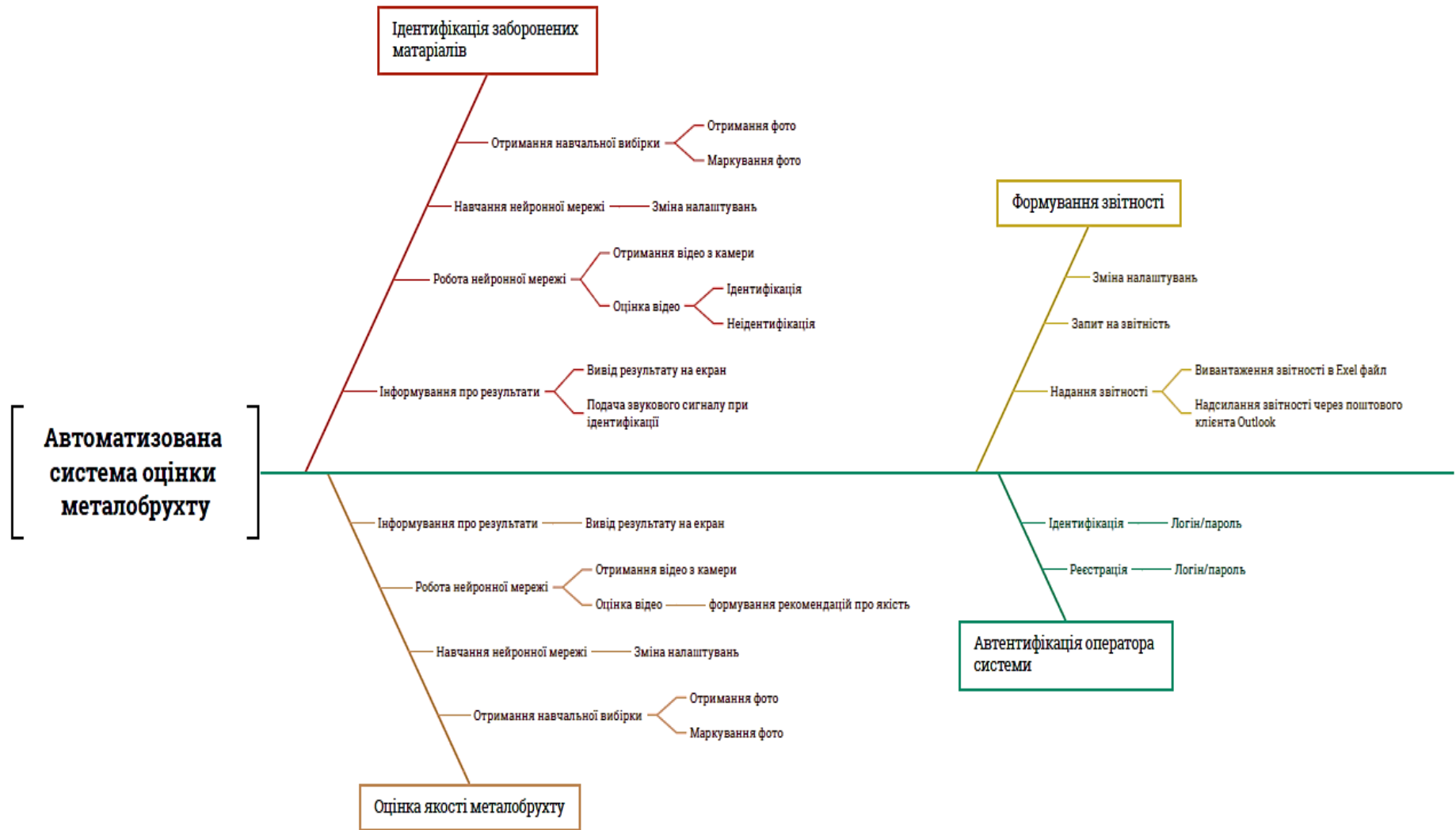


Рисунок 3.2 – Система функціональних вимог до програмного рішення

Послідовності стимулів/відповідей:

- система отримує марковані фото зразків заборонених фрагментів;
- система отримує зображення металобрухту з відеокамери;
- система оцінює зображення з відеокамери, зіставляє зі зразками та виявляє заборонені фрагменти;
- система інформує оператора про виявлення заборонених фрагментів.

Детальний опис функціональної вимоги представлено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Опис функції ідентифікації заборонених фрагментів

ID вимоги	FR-01
Тип вимоги	функціональна
Пріоритет	П
Опис вимоги	Система виконує ідентифікацію заборонених фрагментів на основі обробки зображень
Перехресне посилання на БВ	BR-07. Ідентифікація заборонених фрагментів
Бізнес-правило	За результатами оцінки зображення з відеокамери система ідентифікує або не ідентифікує заборонені фрагменти. У випадку ідентифікації: <ul style="list-style-type: none">– повідомлення про заборонений фрагмент виводиться на екран оператора: «Увага! Виявлено заборонений фрагмент. Необхідно зупинити вивантаження металобрухту та повідомити відділ технічного контролю»;– повідомлення про заборонений фрагмент дублюється звуковим сигналом. У випадку не ідентифікації: <ul style="list-style-type: none">– повідомлення про не виявлення забороненого фрагменту виводиться на екран оператора: «Заборонених фрагментів не виявлено»

2. Функція оцінки якісних характеристик металобрухту.

Система виконує оцінку якісних характеристик металобрухту на основі обробки зображень з використанням технологій Computer Vision. Має середній пріоритет.

Послідовності стимулів/відповідей:

- система отримує марковані фото зразків металобрухту різної якості;
- система отримує зображення металобрухту з відеокамери;
- система оцінює зображення з відеокамери, зіставляє зі зразками та оцінює якість металобрухту;
- система інформує оператора про якість металобрухту.

Детальний опис функціональної вимоги представлено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Опис функції оцінки якісних характеристик

ID вимоги	FR-02
Тип вимоги	функціональна
Пріоритет	B
Опис вимоги	Система встановлює якість металобрухту на основі обробки зображень
Перехресне посилання на БВ	BR-08. Оцінка якісних характеристик металобрухту
Бізнес правило	За результатами оцінки зображення з відеокамери система встановлює якість металобрухту. Після встановлення якості: – повідомлення про оцінену якість металобрухту виводиться на екран оператора: «Оцінена якість металобрухту: вид № ____, засміченість ____%»

3. Функція формування звітності.

Система формує звітність на підставі запиту оператора системи.
Має середній пріоритет.

Послідовності стимулів/відповідей:

- система отримує запит оператора на формування звітності;
- система формує звітність на підставі та в об'ємі запита;
- система виводить сформовану звітність на екран оператору;
- система може вивантажити сформовану звітність в файл Excel;
- може відсилати сформовану звітність форматі Excel через Outlook.

Детальний опис функціональної вимоги представлено в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Опис функції формування звітності

ID вимоги	FR-03
Тип вимоги	функціональна
Пріоритет	П
Опис вимоги	Система формує звітність на підставі запиту оператора
Перехресне посилання на БВ	BR-11. Формування звітності
Бізнес правило	На підставі запиту оператора, система виводить сформовану звітність на екран оператора. Додатково по команді оператора вивантажує сформовану звітність в файл Excel. Додатково по команді оператора відсилає звітність у Excel через Outlook

4. Функція авторизації оператора системи.

Адміністратор авторизує оператора системи. Має високий пріоритет.

Послідовності стимулів/відповідей:

- адміністратор проводить ідентифікацію оператора (встановлення логіну та паролю для оператора);
- система проводить аутентифікацію оператора (порівняння введеного логіна та пароля з даними, збереженим у базі даних);
- адміністратор проводить авторизацію оператора (надання доступу для виконання функціоналу оператора).

Детальний опис функціональної вимоги представлено в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Опис функції авторизації оператора системи

ID вимоги	FR-04
Тип вимоги	функціональна
Пріоритет	П
Опис вимоги	Авторизація оператора системи
Перехресне посилання на БВ	BR-12. Аутентифікація оператора системи

Продовження таблиці 3.10.

Бізнес правило	<p>Ідентифікація оператора:</p> <ul style="list-style-type: none"> – адміністратором встановлюється логін та пароль для оператора; – логін у форматі «name@metinvestholding.com»; – вимоги до паролю: не менше 10 знаків (символи, літери, цифри); – занесення логіну та паролю в базу даних системи <p>Аутентифікація оператора:</p> <ul style="list-style-type: none"> – порівняння введеного логіна та пароля з даними, збереженим у системі. <p>Авторизація оператора:</p> <ul style="list-style-type: none"> – надання доступу для виконання функціоналу оператора
----------------	---

5. Функція маркування фото для навчання нейронної мережі.

Здійснення маркування фото для навчання нейронної мережі. Має високий пріоритет.

Послідовності стимулів/відповідей:

- в систему завантажуються фото для маркування;
- адміністратор здійснює маркування, вказуючи фото зі зразками заборонених фрагментів та зразками металобрухту різної якості;
- запускається процес навчання нейронної мережі;
- результат навчання нейронної мережі виводиться на екран. При необхідності адміністратор здійснює зміну налаштування та запускає процес навчання нейронної мережі повторно.

Детальний опис функціональної вимоги представлено в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Опис функції маркування фото для навчання

ID вимоги	FR-05
Тип вимоги	функціональна
Пріоритет	П
Опис вимоги	Маркування фото для навчання нейронної мережі

Продовження таблиці 3.11.

Перехресне посилання на БВ	BR-03. Маркування фото
Бізнес правило	<p>Підготовка навчальної вибірки:</p> <ul style="list-style-type: none"> – завантаження фото для маркування; – адміністратор вказує фото зі зразками заборонених фрагментів та зразками металобрухту різної якості. <p>Навчання нейронної мережі:</p> <ul style="list-style-type: none"> – адміністратор налаштовує параметри навчання нейронної мережі; – адміністратор запускає процес навчання. <p>Вивід результатів навчання нейронної мережі на екран оператора.</p> <p>Система запитує оператора чи погоджується з результатом навчання.</p> <p>При необхідності адміністратор здійснює налаштування та запускає навчання нейронної мережі повторно. Схема бізнес правил описана за допомогою діаграми діяльності (рисунок 3.3)</p>

3.2.2 Нефункціональні вимоги до програмного рішення

В рамках проектування програмного рішення визначені основні нефункціональні вимоги: надійність, зручність використання, сумісність, перевірка якості зображень, модифікованість, валідація даних, адаптованість, тестованість, цілісність даних.

Функціональні вимоги — це цілі нової системи, що розробляється. Вони описують систему і те, як вона працюватиме, щоб допомогти із завданнями користувача.

Модель роботи системи у вигляді діаграми діяльності наведено на рисунку 3.3

Детальний опис нефункціональних вимог наведено в таблицях 3.12-3.20.

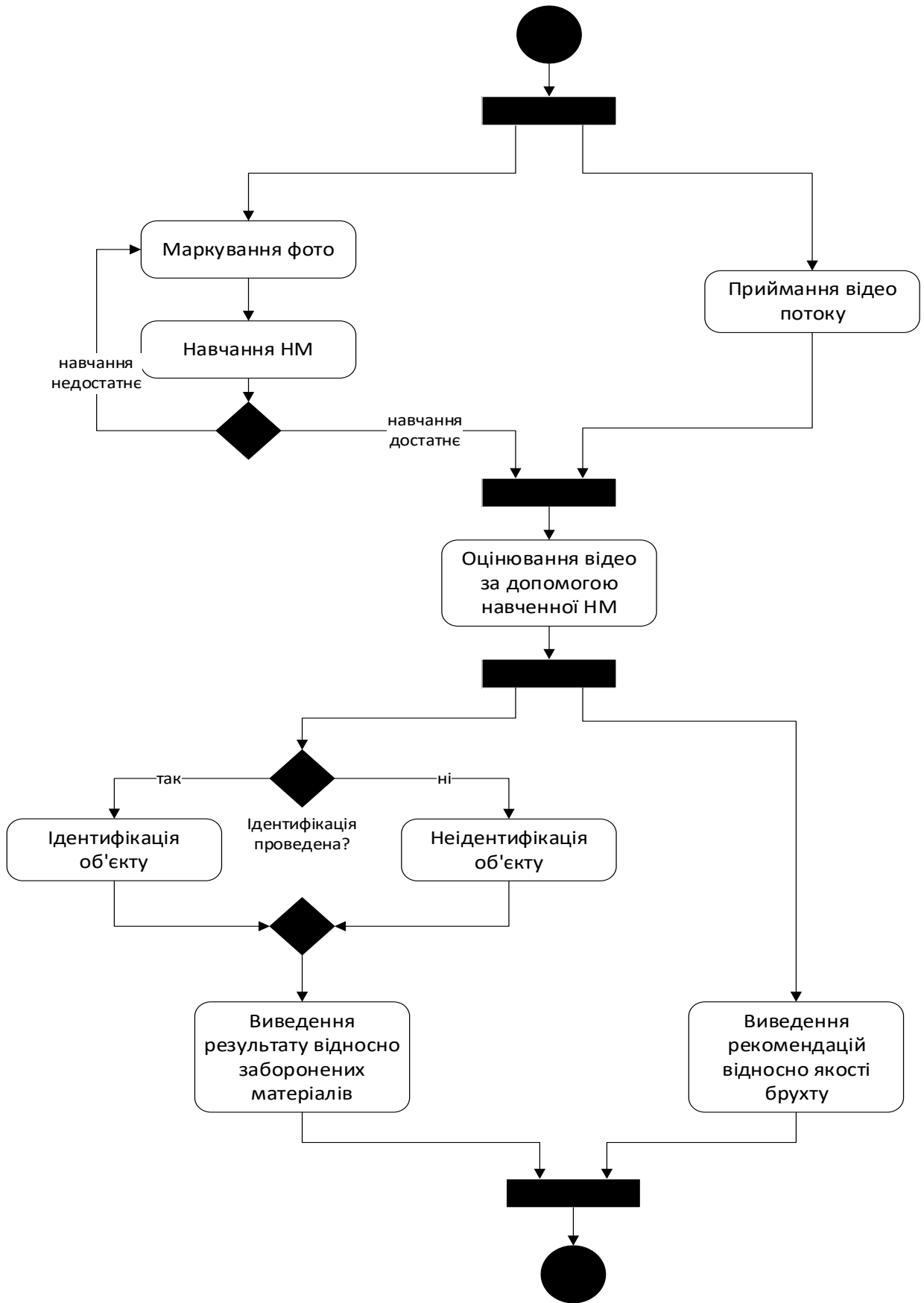


Рисунок 3.3 – Модель роботи системи у вигляді діаграми діяльності

Таблиця 3.12 – Нефункціональна вимога «Надійність»

ID вимоги	NFR-01
Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	П
Опис вимоги	Надійність системи
Перехресне посилання на БВ	бізнес-вимога не визначена
Перехресне посилання на використання	FR-01, FR-02, FR-05
Бізнес правило	швидкість передачі даних; час обробки даних; доступність (функціонування та доступність ПЗ, коли воно потрібне); відмовостійкість (можливість роботи ПЗ як передбачалося, незважаючи на наявність апаратних або програмних збоїв). Залежність від відмовостійкості серверу. Забезпечення безперебійного (альтернативного) інтернет-зв'язку; відновлюваність (можливість відновлення «постраждалих» даних та відновлення бажаного стану ПЗ у разі переривання або невдачі)

Таблиця 3.13 – Нефункціональна вимога «Зручність використання»

ID вимоги	NFR-02
Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	В
Опис вимоги	Зручність використання системи з точки зору користувача
Перехресне посилання на БВ	BR13. Наявність зручного та зрозумілого інтерфейсу
Перехресне посилання на використання	FR-03, FR-04
Бізнес правило	керуваність (наявність атрибутів, які дають змогу легко керувати ПЗ та контролювати його); захист від помилок користувача (ступінь захисту від помилкових рішень); доступність (можливість використання користувачами з найширшим діапазоном характеристик та можливостей)

Таблиця 3.14 – Нефункціональна вимога «Сумісність»

ID вимоги	NFR-03
Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	B
Опис вимоги	Сумісність роботи системи з іншими системами
Перехресне посилання на БВ	бізнес-вимога не визначена
Посилання на використання	FR-04, FR-05
Бізнес правило	співіснування – ефективність виконання функцій ПЗ під час спільного використання ресурсів з іншим ПЗ; взаємодія (можливість обміну інформацією з іншим ПЗ та використання одержаної інформації). До ПЗ буде доданий модуль «1С:Підприємство»

Таблиця 3.15 – Вимога «Перевірка якості зображень»

ID вимоги	NFR-04
Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	B
Опис вимоги	Необхідність перевірки якості зображень
Перехресне посилання на БВ	бізнес-вимога не визначена
Посилання на використання	FR-01, FR-02, FR-05
Бізнес правило	використання зображень допустимої встановленої якості

Таблиця 3.16 – Нефункціональна вимога «Модифікованість»

ID вимоги	NFR-05
Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	B
Опис вимоги	Модифікованість системи
Перехресне посилання на БВ	бізнес-вимога не визначена
Посилання на використання	FR-01, FR-02, FR-05
Бізнес правило	можливість ефективної зміни ПЗ без введення дефектів та без зниження якості; можливість проводити перенавчання нейронної мережі на нових даних та заміна самої мережі

Таблиця 3.17 – Нефункціональна вимога «Валідація даних»

ID вимоги	NFR-06
Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	B
Опис вимоги	Валідація даних
Перехресне посилання на БВ	бізнес-вимога не визначена
Перехресне посилання на використання	FR-01, FR-02, FR-05
Бізнес правило	підтвердження того що дані є достовірними та отримані з конкретної камери та в певний час

Таблиця 3.18 – Нефункціональна вимога «Адаптованість»

ID вимоги	NFR-07
Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	B
Опис вимоги	Адаптованість системи
Перехресне посилання на БВ	бізнес-вимога не визначена
Посилання на використання	FR-01, FR-02, FR-05
Бізнес правило	можливість ПЗ ефективно адаптуватись до різного апаратного і програмного забезпечення або до різних оперативних середовищ. Можливість адаптувати програмний продукт до більш «свіжих» операційних систем

Таблиця 3.19 – Нефункціональна вимога «Тестованість»

ID вимоги	NFR-08
Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	B
Опис вимоги	Тестованість системи
Перехресне посилання на БВ	бізнес-вимога не визначена
Посилання на використання	FR-01, FR-02, FR-05
Бізнес правило	ефективність, з якою критерії випробувань можуть бути встановлені для ПЗ. Вимога ручного тестування

Таблиця 3.20 – Нефункціональна вимога «Цілісність даних»

ID вимоги	NFR-09
Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	П
Опис вимоги	Забезпечення цілісності даних
Перехресне посилання на БВ	BR-03, BR-05, BR-06, BR-12
Посилання на використання	FR-03, FR-05
Бізнес правило	можливість запобігання несанкціонованому доступу і зміні ПЗ та даних. Дані захищені за допомогою системи доступу. Доступ к даним та налаштуванням мережі має тільки адміністратор

Вимоги безпеки системи наведені в таблиці 3.21.

Таблиця 3.21 – Вимоги безпеки системи

Ідентифікатор	Опис вимоги
SEC-01	Розмежування прав доступу користувачів
SEC-02	Авторизація оператора системи
SEC-03	Період резервного копіювання даних - щотижня

В процесі моделювання системи було декомповано контекстну діаграму (рисунок 1.14) в бізнес-процес, який виконаний в нотації IDEF0 та представлений на рисунку 3.4.

IDEF0 – це методологія функціонального моделювання, яка за допомогою наочної графічної мови представляється у вигляді набору взаємозалежних функцій [35]. Принцип функціональної декомпозиції являє собою спосіб моделювання типової ситуації, коли будь-яка дія, операція, функція можуть бути розбиті (декомповані) на більш прості дії, операції, функції.

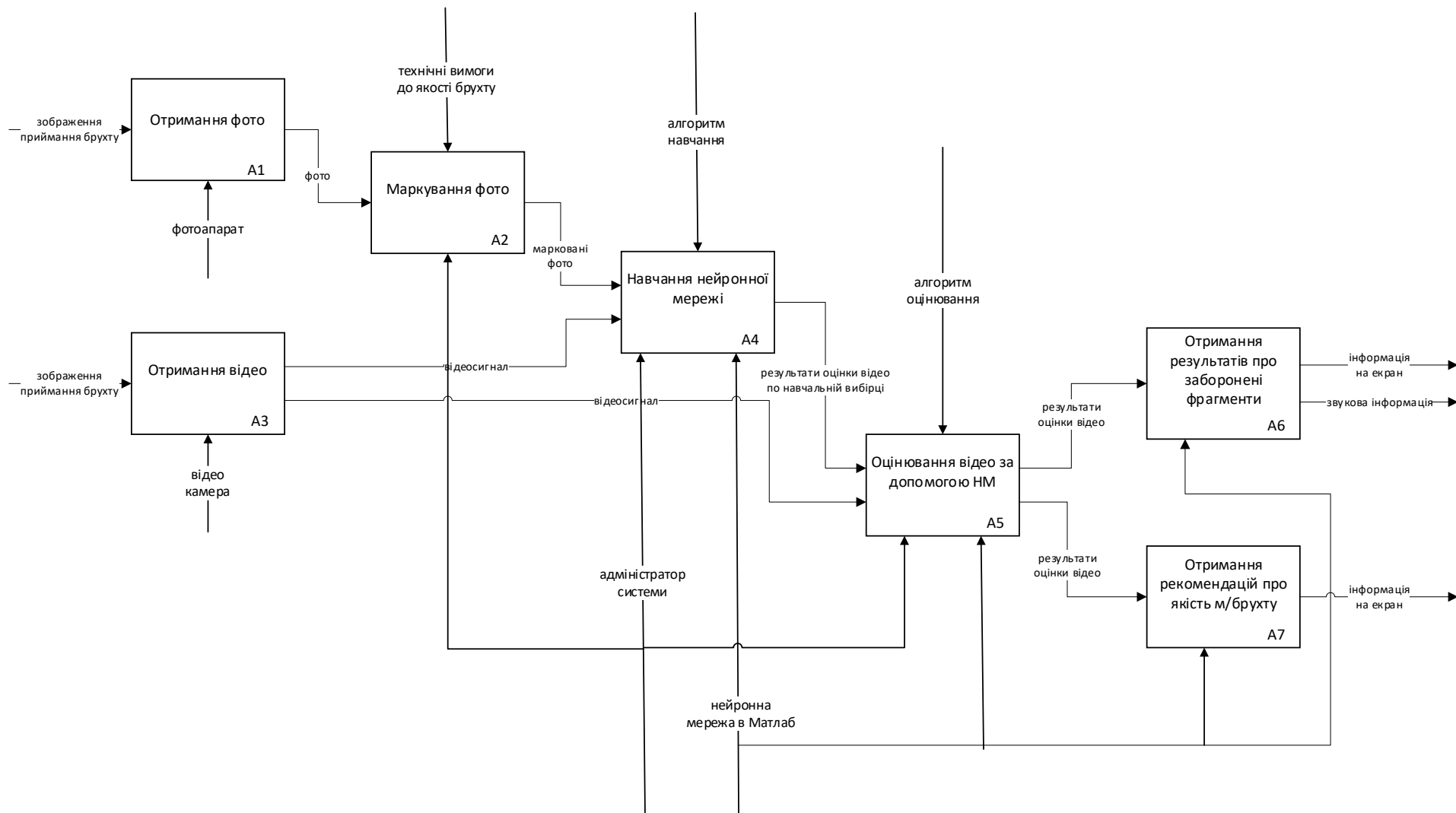


Рисунок 3.4 – Модель бізнес-процесу в нотації IDEF0

У моделі бізнес-процесу наведені:

- 1) основні елементарні функції системи:
 - отримання фото; отримання відео;
 - маркування фото;
 - навчання нейронної мережі;
 - оцінювання відео за допомогою нейронної мережі;
 - отримання результату про заборонені фрагменти;
 - отримання рекомендації про якість брухту,
- 2) послідовність взаємодій та зв'язки між ними.

На рисунку 3.5 представлено бізнес-процес оцінювання металобрухту, який реалізовується за допомогою програмної системи. Бізнес-процес був проаналізований та спроектований у нотації BPMN. Нотація моделі бізнес-процесів (BPMN) – це стандартний спосіб графічного представлення бізнес-процесів. У моделі наведені:

- 1) входи в процес: зображення брухту, фото зразків брухту;
- 2) виходи із процесу:
 - інформація на екрані: якість брухту; неідентифікація заборонених фрагментів; ідентифікація заборонених фрагментів;
 - звуковий сигнал про ідентифікацію заборонених фрагментів;
- 3) ролі (учасники) процесу: оператор системи, адміністратор системи, відеокамера, нейронна мережа;
- 4) основні дії (задачі): обробка відео, маркування фото, навчання мережі, налаштування навчання, оцінювання відео, оцінка якісних характеристик брухту, ідентифікація заборонених фрагментів, вивід інформації на екран відносно якості брухту та інше, подача звукового сигналу про ідентифікацію заборонених фрагментів;
- 5) логічні оператори (оператор АБО, оператор І),
- 6) потоки дій.

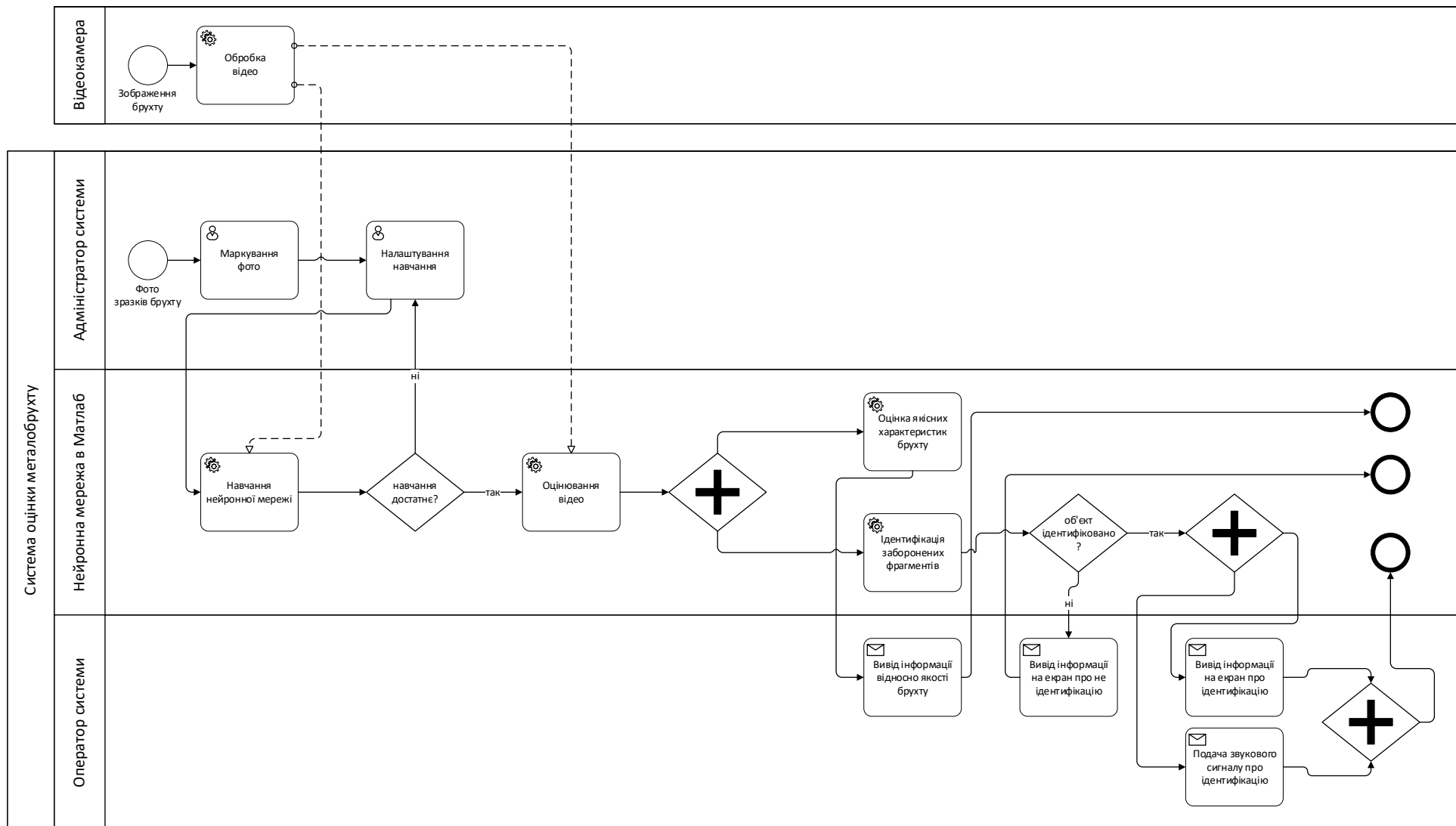


Рисунок 3.5 – Модель бізнес-процесу в нотації BP

3.3 Висновки за розділом 3

Виконано проектування програмного рішення для встановлення якісних характеристик металобрухту.

Розроблені бізнес-вимоги до програмного рішення, а також функціональні та нефункціональні вимоги.

В рамках проектування розроблені діаграми за методологією UML (діаграма прецедентів предметної області, діаграма діяльності програмної системи для класифікації зображень), діаграми за методологією IDEF0 (узагальнююча контекстна діаграма системи, декомпована модель бізнес-процесу), модель бізнес-процесу у нотації BPMN, схема функціональних вимог до програмного рішення у вигляді інтелектуальної карти.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В рамках кваліфікаційної магістерської роботи визначена актуальність та практична цінність використання програмного рішення для встановлення якісних характеристик металобрухту з використанням технології комп'ютерного зору в умовах металургійних підприємств Групи METINVEST.

Проведено аналіз задачі встановлення якісних характеристик металобрухту. Розглянуто існуючий бізнес-процес приймання металобрухту, визначено ризикові зони, які можуть бути мінімізовані наведеним додатковим інструментом контролю.

Проведено аналіз програмних систем для розпізнавання (класифікації) металобрухту. Визначено, що металургійні підприємства України не використовують програмні системи для оцінки металобрухту. В якості бенчмарку наведено приклади рішень італійської металургійної компанії Tenova, іспанської компанії Pervasive Technologies, німецької металургійної компанії SMS Group, а також модель на основі глибокого навчання для багатокатегорійної класифікації та рейтингу сталевих брухту CSBFNet. Розроблений глосарій предметної області.

Представлене алгоритмічне забезпечення для розпізнавання якісних характеристик металобрухту. Виконано дослідження методів класифікації зображень, яке показало, що найбільш ефективним способом класифікації є використання згорткових нейронних мереж. Зроблено аналіз та опис згорткових нейронних мереж різних архітектур. Визначено моделі згорткових нейронних мереж, які можливо використовувати для класифікації зображень металобрухту, а саме SSD-ResNet, VGG16.

Виконано проєктування програмного рішення для встановлення якісних характеристик металобрухту. Розроблені бізнес-вимоги до програмного рішення, а також функціональні та нефункціональні вимоги.

В рамках проєктування розроблені діаграми за методологією UML (діаграма прецедентів предметної області, діаграма діяльності програмної системи для класифікації зображень), діаграми за методологією IDEF0 (узагальнююча контекстна діаграма системи, декомпована модель бізнес-процесу), діаграма за методологією BPMN (модель бізнес-процесу), діаграма у вигляді інтелектуальної карти (система функціональних вимог до програмного рішення).

Виконано опис проєкту щодо розробки програмного рішення. Визначено концепцію проєкту, наведено опис проєкту за методологією SCRAM.

Здійснені економічні розрахунки та визначено бюджет проєкту.

Розроблена модель програмного рішення дозволить підвищити ефективність бізнес-процесу приймання металобрухту, посилити ефективність виявлення заборонених фрагментів металобрухту, в першу чергу конверсійного та вибухонебезпечного.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 4121-2002. Національний стандарт України «Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови», затверджений наказом Держстандарту України від 30.09.2002 р., чинний з 01.04.2003 р. Київ: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2003
2. Закон України «Про металобрухт» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1999, № 25, ст.212) № 619-XIV від 05.05.1999 р., із змінами і доповненнями згідно із Законом № 776-IX від 14.07.2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/619-14>
3. Tenova - <https://tenova.com>
4. Pervasive Technologies - <https://pervasive-tech.com>
5. Pervasive Technologies - <https://www.automation-fair.com/automation-with-artificial-intelligence-for-scrap-metal-classification>
6. SMS Group - <https://www.sms-group.com/en-ua/plants/metallurgy>
7. Wenguang Xu, Pengcheng Xiao, Liguang Zhu, Yan Zhang, Jinbao Chang, Rong Zhu, Yunfeng Xu. Classification and rating of steel scrap using deep learning. Engineering Applications of Artificial Intelligence 123 (2023) 106241
8. Mesina M.B., T.P.R. de Jong, Dalmijn W.L. Automatic sorting of scrap metals with a combined electromagnetic and dual energy X-ray transmission sensor. International Journal of Mineral Processing, Volume 82, Issue 4, June 2007, p. 222-232
9. Koyanaka Shigeki, Kobayashi Kenichiro. Automatic sorting of lightweight metal scrap by sensing apparent density and three-dimensional shape. Resources, Conservation and Recycling, Volume 54, Issue 9, July 2010, p. 571-578
10. Penumuru Durga Prasad, Muthuswamy Sreekumar, Karumbu Premkumar. Identification and classification of materials using machine vision

and machine learning in the context of industry 4.0. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Volume 31, November 2019, p. 1229–1241

11. Kashiwakura Shunsuke, Wagatsuma Kazuaki. Characteristics of the Calibration Curves of Copper for the Rapid Sorting of Steel Scrap by Means of Laser-induced Breakdown Spectroscopy under Ambient Air Atmospheres. *Analytical Sciences*, Volume 29, December 2013, p. 1159–1164

12. Gao Zhijiang, Sridhar S., Erik Spiller D., Taylor Patrick R. Applying Improved Optical Recognition with Machine Learning on Sorting Cu Impurities in Steel Scrap. *Journal of Sustainable Metallurgy*, Volume 6, December 2020, p. 785–795

13. Samit Ahlawat. Reinforcement Learning for Finance: Solve Problems in Finance with CNN and RNN Using the TensorFlow Library. Apress, 2023, 435 p. ISBN: 9781484288344

14. Aurelien Geron. Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow. O'Reilly, 2023. 861 p. ISBN: 9781098125974

15. V Kishore Ayyadevara, Yeshwanth Reddy. Modern Computer Vision with PyTorch. Packt Publishing, 2020, 824 p. ISBN: 9781839213472

16. Santanu Pattanayak. Pro Deep Learning with TensorFlow 2.0: A Mathematical Approach to Advanced Artificial Intelligence in Python. Apress, 2022, 667 p., ISBN: 978144289310

17. Valliappa Lakshmanan, Martin Görner, Ryan Gillard. Practical Machine Learning for Computer Vision. O'Reilly, 2021, 480 p. ISBN: 9781098102364

18. Творошенко І.С. Конспект лекцій з дисципліни «Цифрова обробка зображень» для студентів 4 курсу денної форми навчання напряму 6.080101 – Геодезія, картографія та землеустрій. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017 – 75 с.

19. Isaac Bankman. Handbook of Medical Image Processing and Analysis. Academic Press, 2009, 970 p. ISBN: 9780123739049

20. Jasjit S. Suri, David Wilson, Swamy Laxminarayan. Handbook of

Biomedical Image Analysis. Kluwer Academic, 2005, 583 p. ISBN: 0306485508

21. Dengsheng Zhang. Fundamentals of Image Data Mining: Analysis, Features, Classification and Retrieval. Springer, 2022, 363 p. ISBN: 9783030692537

22. Morton John Canty. Image Analysis, Classification and Change Detection in Remote Sensing. With Algorithms for Python, Fourth Edition. CRC Press, 2019, 532 p. ISBN: 9781032475745

23. Ahmed Alsaffar, Hai Tao, Mohammed Ahmed Talab. Review of deep convolution neural network in image classification. Jakarta, Indonesia, 2017, International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET), DOI:10.1109/ICRAMET.2017.8253139

24. Vaibhav Verdhan. Computer Vision Using Deep Learning: Neural Network Architectures with Python and Keras. Apress, 2021, 320 p. ISBN: 9781484266151

25. Umberto Michelucci. Applied Deep Learning with TensorFlow 2: Learn to Implement Advanced Deep Learning Techniques with Python. Apress, 2022, 408 p. ISBN: 9781484280195.

26. Zhang Song, Chen Yumiao, Yang Zhongliang, Gong Hugh. Computer Vision Based Two-stage Waste Recognition-Retrieval Algorithm for Waste Classification. Resources, Conservation and Recycling, Volume 169, June 2021, 105543.

27. Ramsurrun Nadish, Suddul Geerish; Armoogum Sandhya; Foogooa Ravi. Recyclable Waste Classification Using Computer Vision And Deep Learning. 2021 Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC). DOI: 10.1109/ZINC52049.2021.9499291

28. Hu Jing, Zhang Bo. Application Research of Automatic Garbage Sorting Based on TensorFlow and OpenCV. Journal of Physics: Conference Series, Volume 1883, 2021 2nd International Conference on Computer Information and Big Data Applications 26-28 March 2021, Wuhan, China, DOI 10.1088/1742-6596/1883/1/012169

29. Bobulski Janusz, Kubanek Mariusz. Project of sorting system for plastic garbage in sorting plant based on artificial intelligence. In: CS & IT Conference Proceedings (Vol. 10, No. 9). CS & IT Conference Proceedings.

30. Gupta Praveen Kumar, Shree Vidhya, Hiremath Lingayya, Rajendran Sindhu. The Use of Modern Technology in Smart Waste Management and Recycling: Artificial Intelligence and Machine Learning. In: Recent Advances in Computational Intelligence. Springer, Cham, p. 173–188

31. Linmi Tao, Atif Mughees. Deep Learning for Hyperspectral Image Analysis and Classification. Springer, 2021, 217 p. ISBN: 9813344199

32. Amita Kapoor, Antonio Gulli, Sujit Pal. Deep Learning with TensorFlow and Keras - Third Edition. Packt Publishing, 2022, 698 p. ISBN: 9781803232911

33. Suriya Sundaramoorthy. UML Diagramming. A Case Study Approach. CRC Press, 2022, 430 p. ISBN: 9781003287124

34. Ajit Singh, Ms. Anamika. Object Oriented Modeling and Design Using UML. Independently published, 2022, 153 p. ISBN: 9798846348363

35. Гадецька З.М., Холопова М.О. Моделювання бізнес-процесів діяльності підприємства. Ефективна економіка № 5, 2016, УДК 504.064

36. Стандарт з управління проектами та Настанові до зводу знань з управління проектами (Настанова PMBOK, сьоме видання), Project Management Institute, Inc (PMI), ISBN: 9781628256673.

ДОДАТОК А. ВІДОМІСТЬ РОБОТИ

ф	Назва документу	Найменування об'єкта або виробу	Формат	Кількість сторінок
1	Пояснювальна записка	КЦТПАР.122-22-2М.01.00.КР.ПЛ	A4	142
Графічна частина				
2	Тема роботи. Мета, об'єкт, предмет і завдання дослідження	КЦТПАР.122-22-2М.02.00.КР.ПЛ	A4	1
3	Бізнес-процес приймання металобрухту	КЦТПАР.122-22-2М.03.00.КР.ПЛ	A4	1
4	Контекстна діаграма системи	КЦТПАР.122-22-2М.04.00.КР.ПЛ	A4	1
5	Завдання комп'ютерного зору. Методи аналізу зображень	КЦТПАР.122-22-2М.05.00.КР.ПЛ	A4	1
6	Математична модель класифікації зображень	КЦТПАР.122-22-2М.06.00.КР.ПЛ	A4	1
7	Use Case діаграма	КЦТПАР.122-22-2М.07.00.КР.ПЛ	A4	1
8	Система функціональних вимог	КЦТПАР.122-22-2М.08.00.ДР.ПЛ	A4	1
9	Діаграма діяльності	КЦТПАР.122-22-2М.09.00.КР.ПЛ	A4	1
10	Модель бізнес-процесу в нотації IDEFO	КЦТПАР.122-22-2М.10.00.КР.ПЛ	A4	1
11	Модель бізнес-процесу в нотації BPMN	КЦТПАР.122-22-2М.11.00.КР.ПЛ	A4	1
12	WBS проекту	КЦТПАР.122-22-2М.12.00.КР.ПЛ	A4	1
13	User Story	КЦТПАР.122-22-2М.13.00.КР.ПЛ	A4	1
14	Story Mapping	КЦТПАР.122-22-2М.14.00.КР.ПЛ	A4	1
15	Загальні висновки	КЦТПАР.122-22-2М.15.00.КР.ПЛ	A4	1

КЦТПАР.122-22-2М.00.00.КР.ВР				
Ізм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат
Розроб.		Андреєнков А.В.		
Перевір.		Москаленко В.В.		
Реценз.				
Н. контр.		Москаленко В.В.		
Затвердив		Сагайда П.І.		
Відомість роботи			Лист.	Лист
				140
122-22-2М				

ДОДАТОК Б. СПЕЦИФІКАЦІЯ БІЗНЕС ВИМОГ

Розробка автоматизованої системи встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного зору

Затвердження

Власник бізнесу/Зацікавлена сторона	Затверджено/ Не затверджено	Підпис	Посада	Дата
Ковалевський І.І.	затверджено		Генеральний директор ТОВ «МЕТІНВЕСТ-РЕСУРС»	04.04.2023
Андрєєнков А.В.	затверджено		Директор за аналізу та управління ризиками безпеки ТОВ «МЕТІНВЕСТ-РЕСУРС»	04.04.2023
Недбайло М.Я.	затверджено		Начальник відділу приймання та контролю якості ТОВ «МЕТІНВЕСТ-РЕСУРС»	03.04.2023

Список розповсюджувачів

Усі, хто перераховані нижче повинні допомогти розповсюдженню ресурсів та усвідомлюють що наступну інформацію так детально розглянуто з метою погодження:

Ім'я	Посада
Ковалевський І.І.	Генеральний директор ТОВ «МЕТІНВЕСТ-РЕСУРС»
Андрєєнков А.В.	Директор з аналізу та управління ризиками безпеки ТОВ «МЕТІНВЕСТ-РЕСУРС»
Недбайло М.Я.	Начальник відділу приймання та контролю якості ТОВ «МЕТІНВЕСТ-РЕСУРС»

Автор: Андрєєнков А.В.

Версія: 1.0.

Дата: 3 January 2024

Контроль версій

Версія	Ім'я	Посада	Контактна Інформація	Дата	Підсумок Змін
Версія 1.0	Андрєєнков А.В.		andrii.andriienkov@mipolytech.education	15.04.2023	Складання документа з розробки бізнес вимог

Деталі Документа

Ім'я Документа	Місцезнаходження Документа
Business Requirements Specification	Андрєєнков А.В.

Зміст

1. Вступ.....	4
1.1. Призначення.....	4
1.2. Цільова аудиторія.....	4
1.3. Визначення, термінологія, скорочення та аббревіатури.....	4
1.4. Припущення.....	4
1.5. Залежності.....	5
1.6. Обмеження.....	5
1.7. Підхід до збору вимог.....	5
1.8. Контекст бізнесу.....	5
1.8.1 Причини ініціювання проєкту.....	5
1.8.2. Опис процесів, наданий замовником.....	5
1.8.3. Контекстна діаграма.....	6
2. Сфера застосування.....	7
2.1. В межах проєкту.....	7
2.2. За межами проєкту.....	7
3. Ділова ціль/Завдання.....	7
4. Ключові зацікавлені сторони.....	7
5. Моделі бізнес-процесів.....	7
6. Вимоги розміщення пріоритетів.....	8
7. Вимоги бізнесу (BR).....	8
8. Додаток.....	9

1. Вступ

1.1. Призначення

Призначенням цього документа є деталізація та уточнення бізнес вимог, заявлених зацікавленими сторонами в рамках проекту «Розробка автоматизованої системи встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення»

1.2. Цільова аудиторія

Цей документ призначений для читання:

- володарями бізнес-процесу, керівниками проекту та іншими ключовими сторонами, зацікавленими в розгляданні та для підписання вимог;
- командою розробників для подальшого використання як бази з технічними специфікаціями, тестування дизайну та виконання тестового плану.

1.3. Визначення, термінологія, скорочення та аббревіатури

Визначення, термінологія, скорочення та аббревіатури, що використовуються в межах цього проекту, містяться у цій таблиці:

Визначення, термінологія, скорочення та аббревіатури	Визначення/Опис
АС – автоматизована система	організаційно-технічна система, що забезпечує вироблення рішень на основі автоматизації інформаційних процесів
БД – база даних	сукупність даних, організованих відповідно до концепції, яка описує характеристику цих даних і взаємозв'язки між їх елементами, ця сукупність підтримує щонайменше одну з областей застосування
ДСТУ 4121-2002	Національний стандарт України «Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови»
Компанія	ТОВ «МЕТІНВЕСТ-РЕСУРС»
Металобрухт	непридатні для прямого використання виробу або частини виробів, які за рішенням власника втратили експлуатаційну цінність внаслідок фізичного або морального зносу і містять у собі чорні метали чи їх сплави, а також вироби з металу, що містять непоправний брак, залишки чорних металів і їх сплавів
НВ – навчальна вибірка	деяка підмножина досліджуваної загальної (генеральної) сукупності. На основі вивчення навчальної вибірки висновки про генеральну сукупність
Університет	ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
CV – Computer Vision, комп'ютерне бачення	теорія та технологія створення машин, які можуть проводити виявлення, відстежування та визначення об'єктів

1.4. Припущення

- система може формувати рекомендації про вид та засміченість металобрухту в процесі його комерційного приймання в умовах металургійного підприємства;

- АС може використовувати додаткову інформацію з бази «Оперативний облік» системи «1С:Підприємство» ТОВ «МЕТІНВЕСТ-ПЕСУРС»;
- до системи може бути доданий модуль системи «1С:Підприємство» ТОВ «МЕТІНВЕСТ-ПЕСУРС»

1.5. Залежності

Функціонування АС може залежати від:

- встановлення камер та якості отриманого вхідного відеосигналу;
- якості маркування даних та отриманих навчальної вибірки;
- якості навчання та налаштування нейронної мережі;
- аутентифікації користувачів в системі

1.6. Обмеження

АС розробляється виключно для внутрішнього використання Компанією

1.7. Підхід до збору вимог

Для збору та документування вимог використано наступні підходи:

- інтерв'ювання спонсорів проєкту, власників бізнес-процесу та інших зацікавлених сторін (потенційних користувачів системи);
- особисте спостереження за бізнес-процесом;
- особистий досвід;
- пошук інформації в мережі Інтернет.

1.8. Контекст бізнесу. Контекстна діаграма

1.8.1. Причини ініціювання проєкту:

Збільшення ризику постачання заборонених видів та фрагментів металобрухту (вибухонебезпечний, конверсійний) через проведення військових дій на території держави. Необхідність своєчасного (під час вивантаження металобрухту) виявлення заборонених до постачання видів та фрагментів, потрапляння яких до металургійної переробки зможе причинити потенційні ризики завдання шкоди життю, здоров'ю працівників та майнової шкоди обладнанню (фрагменти конверсійного брухту, закриті (нерозібрані) ємності, балони, тощо).

Потенційна суб'єктивність, заангажованість рішення членів комісії щодо якості металобрухту, наявність людського фактору. Необхідність формування рекомендацій про вид та засміченість металобрухту в процесі його комерційного приймання в умовах металургійного підприємства.

1.8.2. Опис процесів, наданий Замовником:

В процесі комісійного приймання виконується візуальний огляд декількох шарів металобрухту під час вивантаження з транспортного засобу. Шар металобрухту, що візуально проглядається, становить приблизно 4-5 тн від загальної ваги брухту.

Після зняття укриття, комісією приймається попереднє рішення про вид та засміченість металобрухту. В подальшому в процесі пошарового вивантаження та візуального огляду металобрухту, комісія може коригувати вид та засміченість.

Згідно вимог ДСТУ 4121-2002:

- не допускають наявність вибухонебезпечних речовин у металобрухті;
- у разі знаходження незнешкоджених боєприпасів, посудин з невідомим вмістом тощо подальшу роботу з металобрухтом потрібно призупинити;
- вмістища вузлів машин (двигуни, коробки передач тощо) повинні бути звільнені від залишків горючих і змашувальних речовин;
- посудини усіх типів і розмірів (балони, бочки тощо), а також усі порожні предмети (циліндри двигунів тощо) повинні бути спорожнені від того, що у них містилось, від крижаних пробок та вологи і мати доступ для огляду внутрішньої поверхні; горловини балонів повинні бути відкриті, а на їхньому корпусі повинен бути прорізаний другий отвір; днища бочок та інших посудин повинні бути розкриті

Фото зображень металобрухту із порушеннями наведені Замовником в файлі «Приклади порушень вимог щодо якості при постачанні металобрухту» (додаток до протоколу № 2).

1.8.3. Контекстна діаграма:

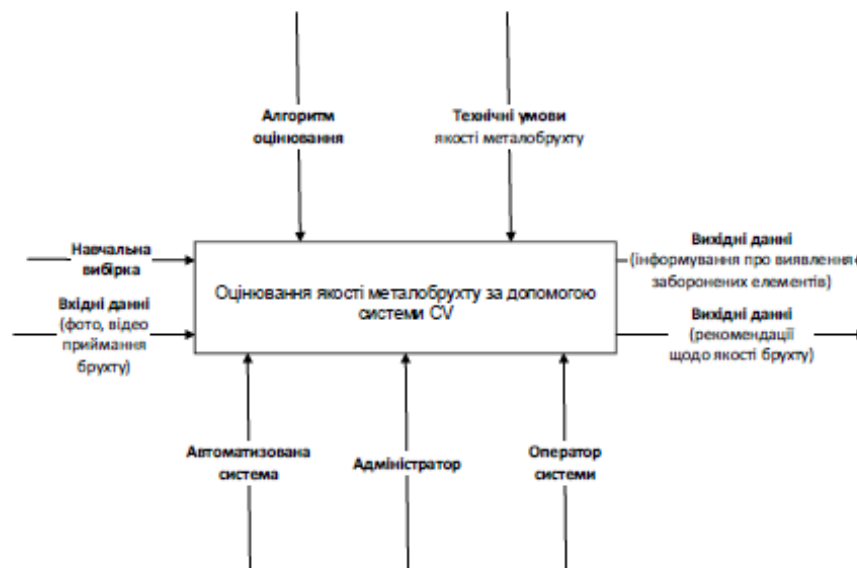


Рис. 1 – Модель роботи системи у вигляді діаграми IDEFO

2. Сфера застосування

2.1. В межах проекту

Для досягнення цілей проекту, поставлених бізнесом, та реалізації максимально можливих матеріальних та нематеріальних переваг, буде здійснено спектр заходів та вирішені задачі:

- збір інформації для формування навчальної вибірки (фото зразків заборонених видів та фрагментів металобрухту, фото металобрухту різної ступені засміченості);
- маркування даних та налаштування навчальної вибірки;
- ідентифікація заборонених фрагментів металобрухту за допомогою нейронної мережі;
- ідентифікація виду та засміченості металобрухту за допомогою нейронної мережі;
- надання необхідної звітності

2.2. За межами проекту

Система планується до використання в периметрі Компанії та не буде реалізовуватися питання ідентифікації користувача

3. Ділова мета, цілі/Завдання

Розробити систему, яка в автоматичному режимі буде здійснювати спостереження за процесом вивантаження металобрухту із транспортного засобу, інформувати про виявлення заборонених до постачання видів та фрагментів металобрухту, надавати рекомендацію про вид та засміченість металобрухту.

Зменшити ризики потрапляння до метало шихти вибухонебезпечних фрагментів.

На підставі отримуваних рекомендації відносно якості металобрухту, зменшити вплив «людського фактору» та мінімізувати ризики постачання металобрухту зі значними порушеннями.

4. Ключові зацікавлені сторони

Андрєєнков А.В. – розробник

Ковалевський І.І. – керівник проекту зі сторони Компанії

Москаленко В.В. – керівник проекту зі сторони Університету

Кінцевий користувач – бере участь у опитуваннях, необхідних для написання бізнес вимог

5. Моделі бізнес-процесів

Для моделей «As Is» і «To Be» бізнес процесів зверніться до секції 8, «Вкладення»

6. Вимоги розміщення пріоритетів

Вимоги будуть розміщені згідно пріоритетам, що базуються на техніці MoSCoW, котра розділяє вимоги на наступні категорії:

Рейтинг пріоритетів	Опис
П – Повинен мати (M – Must Have)	Описуються вимоги, що повинні бути задоволені у фінальному представленні рішення для досягнення успіху
В – Варто було б мати (S – Should Have)	Представляє високо-пріоритетні деталі (пункти), що повинні бути добавлені у рішення, якщо це можливо. Дуже часто це вирішальні вимоги, проте кожен з них може бути задоволений іншим шляхом, якщо суворо необхідно
М – Можливо мати (C – Could Have)	Описуються вимоги, які вважаються бажаними, але не обов'язковими. Вони будуть включені, якщо дозволять час і ресурси
X – Хотілося б мати (W – Won't Have)	Представляє вимоги, які були погоджені зацікавленими сторонами, що не будуть додаватися до анонсування, проте можуть бути розглянуті у майбутньому

7. Вимоги бізнесу (BR)

Посилання	Вимоги	Пріоритет	Примітка
BR01	Ідентифікація заборонених до постачання видів та фрагментів металобрухту	M	протокол 1
BR02	Інформування оператора системи про виявлення заборонених до постачання видів та фрагментів металобрухту	M	протокол 1
BR03	Тільки адміністратор системи може змінювати налаштування алгоритму навчання	M	протокол 2
BR04	Формування рекомендацій про вид та засміченість металобрухту	S	протокол 2
BR05	Данні, отримані в результаті роботи системи, зберігаються впродовж 5 років	S	протокол 2
BR06	Період резервного копіювання даних - щотижня	S	протокол 2
BR07	Тільки адміністратор системи може змінювати дані	S	протокол 2
BR08	Формування зведеної звітності щодо якості прийнятого металобрухту	C	протокол 2
BR09	Вивантаження звітності в Excel файли за формою та наповненням, визначеними Замовником	C	протокол 2, додаток 2
BR10	Надсилання звітності через поштового клієнта Outlook	C	протокол 2
BR11	Тільки зареєстрований користувач може бути оператором системи	C	протокол 2
BR12	Тільки оператор системи може переглядати дані	C	протокол 2
BR13	Наявність зручного та зрозумілого інтерфейсу	C	протокол 2

8. Додаток

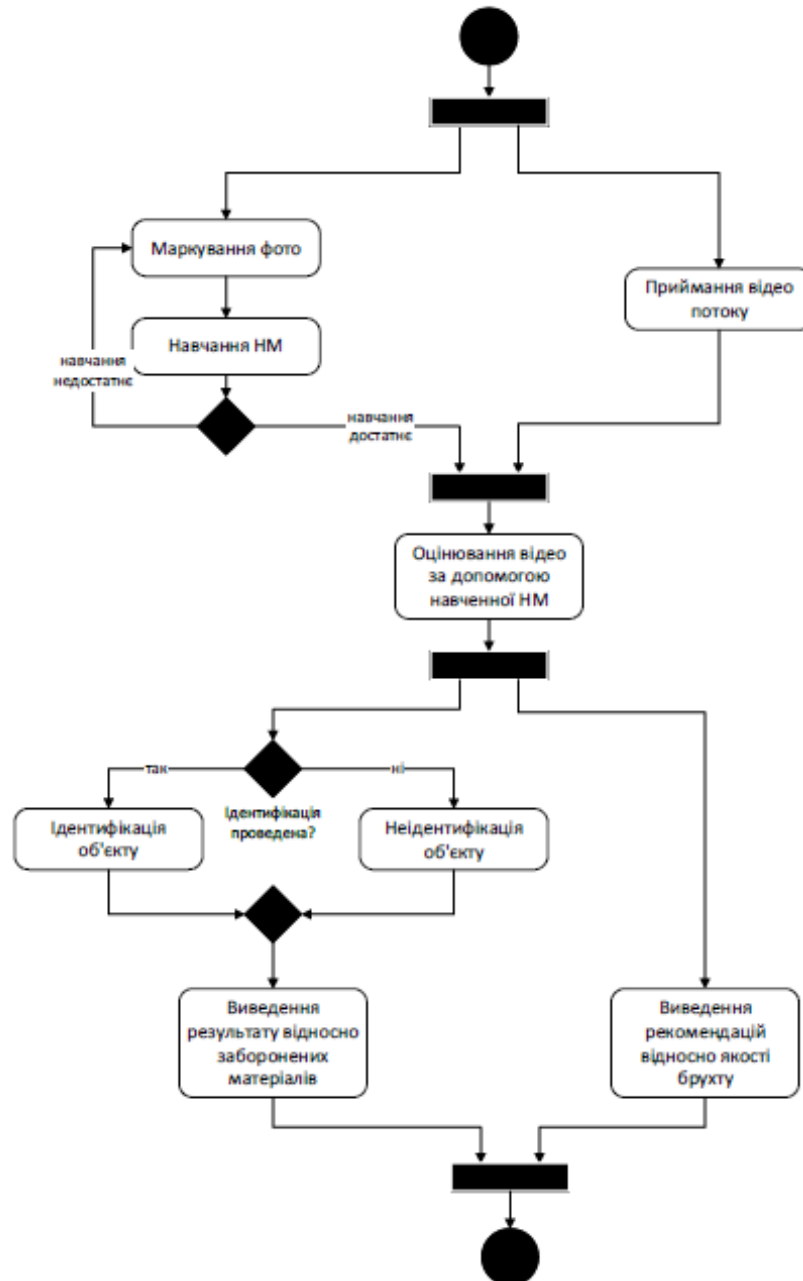


Рис. 2 – Модель роботи системи у вигляді діаграми діяльності

ДОДАТОК В. СПЕЦИФІКАЦІЯ ВИМОГ ДО ПРОГРАМНОГО РІШЕННЯ

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

1

Специфікація вимог до програмного продукту

Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного зору

Затверджено версію 1.0

Підготовлено Андрєєнков А.В.

ТОВ «МЕТІНВЕСТ-РЕСУРС»

11.05.2023 р.

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

Зміст

1. Введення (Introduction)	3
1.1 Мета (Purpose)	3
1.2 Конвенції про документ (Document Conventions)	3
1.3 Цільова аудиторія і пропозиції з читання (Intended Audience and Reading Suggestions)	3
1.4 Область проекту (Project Scope)	3
1.5 Посилання (References)	4
2. Загальний опис (Overall Description)	5
2.1 Перспектива продукту (Product Perspective)	5
2.2 Особливості продукту (Product Features)	6
2.3 Класи та характеристики користувачів (User Classes and Characteristics)	7
2.4 Операційне середовище (Operating Environment)	8
2.5 Обмеження щодо проектування та впровадження (Design and Implementation Constraints)	8
2.6 Документація користувача (User Documentation)	8
2.7 Припущення та залежності (Assumptions and Dependencies)	8
3. Системні функції (System Features)	9
3.1 Системна функція 1 (System Feature 1)	9
3.2 Системна функція 2 (і так далі) (System Feature 2 (and so on))	14
4. Вимоги до зовнішнього інтерфейсу (External Interface Requirements)	9
4.1 Інтерфейси користувача (User Interfaces)	9
4.2 Апаратні інтерфейси (Hardware Interfaces)	10
4.3 Інтерфейси програмного забезпечення (Software Interfaces)	10
4.4 Інтерфейси зв'язку (Communications Interfaces)	10
5. Інші нефункціональні вимоги (Other Nonfunctional Requirements)	15
5.1 Вимоги до продуктивності (Performance Requirements)	18
5.2 Вимоги до безпеки (Safety Requirements)	18
5.3 Вимоги безпеки (Security Requirements)	Ошибкa! Зaклaдкa нe oпpeдeлeнa.
5.4 Атрибути якості програмного забезпечення (Software Quality Attributes)	18
6. Інші вимоги (Other Requirements)	18

Журнал версій (Revision History)

Ім'я	Дата	Причина для змін	Версія
Андрєєнкoв А.В.	11.05.2023 р.	складання документу з розробки вимог до програмного продукту	1.0.

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

1. Введення (Introduction)**1.1 Мета (Purpose)**

Метою цього документу є формування вимог до Автоматизованої системи встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення. Сфера дії продукту поширюється на процес оцінки якісних характеристик металобрухту під час вивантаження із транспортного засобу в умовах металургійного підприємства.

1.2 Умовні позначення документів (Document Conventions)

Визначення, термінологія, скорочення та абревіатури, що використовуються в межах цього проекту, містяться у таблиці наведені у додатку А: Глосарій (словник) (Glossary)

1.3 Цільова аудиторія і пропозиції з читання (Intended Audience and Reading Suggestions)

Цей документ призначений для читання:

- командою розробників для використання як бази з технічними специфікаціями, тестування дизайну та виконання тестового плану;
- володарями бізнес-процесу, керівниками проекту та іншими ключовими сторонами, зацікавленими в розгляданні та для підписання вимог.

1.4 Область застосування продукту (Product Scope)

Продукт призначений для:

- представників бізнес-підрозділу, які забезпечують вхідний контроль при прийманні металобрухту та бажають використовувати додатковий інструмент виявлення заборонених матеріалів;
- для представників функції безпеки, які забезпечують мінімізацію ризиків та бажають ввести додатковий контроль за процесом;
- для керівництва ТОВ «МЕТІНВЕСТ-РЕСУРС».

Автоматизована інформаційна система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення здійснюватиме спостереження за процесом вивантаження металобрухту із транспортного засобу, в тому числі:

- ідентифікувати заборонені до постачання види та фрагменти металобрухту за допомогою нейронної мережі;
- інформувати про виявлення заборонених до постачання видів та фрагментів брухту;
- оцінювати якісні характеристики металобрухту за допомогою нейронної мережі;
- надавати рекомендацію про вид та засміченість металобрухту.

На відміну від поточних інструментів вхідного контролю, продукт дозволить:

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

- зменшити ризики потрапляння до металошихти вибухонебезпечних фрагментів;
- зменшити вплив «людського фактору»;
- мінімізувати ризики приймання металобрухту зі значними порушеннями або навпаки необґрунтованого заниження якості металобрухту.

1.5 Посилання (References)

Супутня інформація представлена у наступних документах:

- документ про концепцію та межі проекту;
- Business Requirements Specification.

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
*Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик
 металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення*

2. Загальний опис (Overall Description)

2.1 Перспектива продукту (Product Perspective)

Система в автоматичному режимі буде здійснювати спостереження за процесом вивантаження металобрухту із транспортного засобу та в процесі:

- виконувати ідентифікацію заборонених до постачання видів та фрагментів металобрухту;
- здійснювати оповіщення про виявлення заборонених до постачання видів та фрагментів;
- оцінювати якісні характеристики металобрухту;
- надавати рекомендацію про вид та засміченість металобрухту.

Контекстна діаграма системи представлена на схемі (рис. 1):

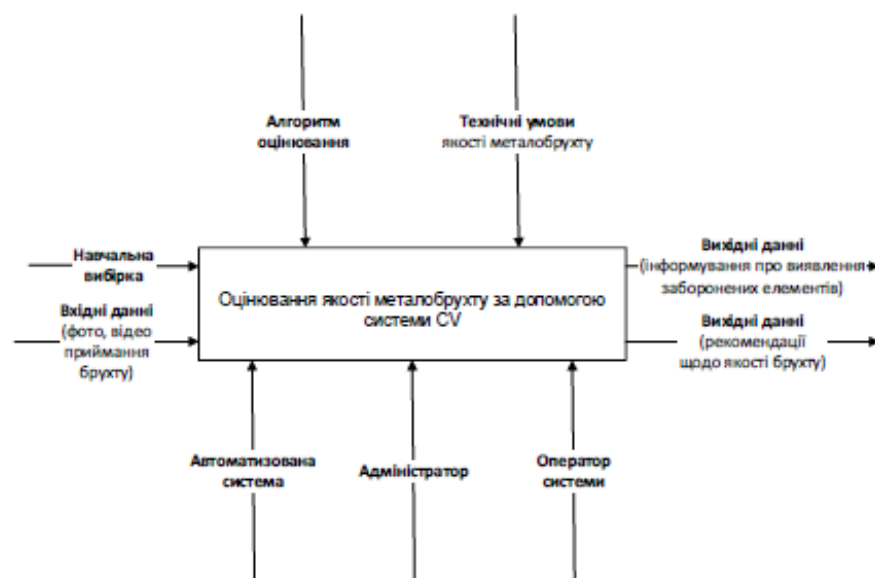


Рис. 1 – модель системи у вигляді діаграми IDEF0

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

2.2 Особливості продукту (Product Features)

Список основних функцій представлений в таблиці:

Код	Функція
PF-01	Отримання фото зі зразками заборонених видів та фрагментів металобрухту
PF-02	Отримання фото зі зразками металобрухту різного ступеня зашміченості
PF-03	Маркування фото
PF-04	Навчання нейронної мережі
PF-05	Отримання відео з камери
PF-06	Оцінювання відео за допомогою невченої нейронної мережі
PF-07	Ідентифікація заборонених фрагментів
PF-08	Оцінка якісних характеристик металобрухту
PF-09	Виведення результатів відносно заборонених матеріалів
PF-10	Виведення рекомендацій відносно якості металобрухту
PF-11	Формування звітності
PF-12	Аутифікації оператора системи

Зв'язок груп пов'язаних вимог представлений на діаграмі (рис. 2):



Рис. 2 – система функціональних вимог у вигляді розумової діаграми

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

2.3 Класи та характеристики користувачів (User Classes and Characteristics)

Короткий опис користувачів системи наведено в таблиці:

Користувач	Короткий опис
Адміністратор системи	здійснює налаштування нейронної мережі здійснює автентифікацію оператора системи
Оператор системи	отримує інформацію від системи про заборонені фрагменти та про якість металобрухту формує запит на звітність та отримує звітність

Опис варіантів використання представлено в діаграмі (рис. 3):



Рис. 3 – модель системи у Use Case діаграмі

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

2.4 Операційне середовище (Operating Environment)

Клієнт-серверна архітектура на основі веб-технологій

Операційна система: Windows Server, 2019

База даних на базі Azure SQL Database

Бібліотека алгоритмів OpenCV, версії 2

Менеджер керування камерами відеоспостереження Milestone XProtect (діюча система)

Система моніторингу та резервного копіювання на основі хмарних технологій для забезпечення безпеки (System Center Operations Manager, SCOM)

1С:Підприємство для обміну даних (діюча облікова система)

2.5 Обмеження щодо проектування та впровадження (Design and Implementation Constraints)

Обмеження визначні використанням систем, зазначених в п. 2.4 Операційне середовище

2.6 Документація користувача (User Documentation)

Інструкція для адміністратора та оператора системи

2.7 Припущення та залежності (Assumptions and Dependencies)

Припущення:

- система може формувати рекомендації про вид та засміченість металобрухту в процесі його комерційного приймання в умовах металургійного підприємства;
- система може використовувати інформацію з бази «Оперативний облік» системи «1С:Підприємство» ТОВ «МЕТІНВЕСТ-РЕСУРС»;
- до системи буде доданий модуль системи «1С:Підприємство» ТОВ «МЕТІНВЕСТ-РЕСУРС».

Функціонування системи може залежати від:

- типу, характеристик камер та особливостей їх розміщення;
- якості маркування даних та отриманих навчальної вибірки;
- швидкості передачі даних.

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

3. Вимоги до зовнішнього інтерфейсу (External Interface Requirements)

3.1 Інтерфейси користувача (User Interfaces, UINT)

3.1.1 Інтерфейс користувача для Оператора системи:

Ідентифікатор вимог до інтерфейсів	Опис
UINT-1.01	користувач має можливість зайти в систему за допомогою логіну та паролю оператора системи (аутентифікація)
UINT-1.02	користувач повинен отримувати сповіщення на екрані про виявлення заборонених фрагментів металобрухту
UINT-1.03	користувач повинен отримувати звукове сповіщення про виявлення заборонених фрагментів металобрухту
UINT-1.04	користувач повинен отримувати сповіщення на екрані про рекомендацію відносно якості металобрухту
UINT-1.05	користувач повинен вводити умови запиту та надсилати запит на отримання звітності
UINT-1.06	користувач повинен отримувати на екрані звітність, оформовану за результатами запиту
UINT-1.07	користувач повинен вивантажувати звітність в файл Excel
UINT-1.08	користувач повинен надсилати звітність у форматі Excel через Outlook
UINT-1.09	інтерфейс користувача повинен бути представлений на українській мові

3.1.2 Інтерфейс користувача для Адміністратора системи:

Ідентифікатор вимог до інтерфейсів	Опис
UINT-2.01	користувач має можливість зайти в систему за допомогою логіну та паролю адміністратора системи (аутентифікація)
UINT-2.02	користувач повинен здійснювати реєстрацію та авторизацію оператора системи
UINT-2.03	користувач повинен додавати фото для підготовки навчальної вибірки
UINT-2.04	користувач повинен маркувати фото для підготовки навчальної вибірки
UINT-2.05	користувач повинен налаштувати навчання нейронної мережі
UINT-2.06	користувач отримує результат навчання нейронної мережі на екран
UINT-2.07	інтерфейс користувача повинен бути представлений на українській мові

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

3.2 Апаратні інтерфейси (Hardware Interfaces, HINT)

Серверна частина:

Ідентифікатор вимог до інтерфейсів	Опис
HINT-1.01	хмарний сервер Microsoft Azure серії NC A100 версії 4 (Standard_NC24ads_A100_v4)
HINT-1.02	маршрутизатор Cisco C1113-8P (2 од)
HINT-1.03	камери відео нагляду AXIS P1468-LE (2 од), AXIS Q62 PTZ Camera Series (1 од)

Клієнтська частина:

Ідентифікатор вимог до інтерфейсів	Опис
HINT-2.01	процесор AMD Ryzen 3 4300U with Radeon Graphics, 2.70 GHz
HINT-2.02	монітор 49" Samsung Odyssey Neo G9 S49AG95
HINT-2.03	відеокарта MSI Nvidia GeForce RTX 4090 VENTUS 3X 24G OC
HINT-2.04	мережева карта HP Ethernet 1Gb 2-port 332T Adapter
HINT-2.05	оперативна пам'ять DDR4 16GB (2x8GB) 3000 MHz Sniper X G.Skill
HINT-2.06	жорсткий диск Kingston NV2 500GB M.2 2280 NVMe PCIe 4.0 x4

3.3 Інтерфейси програмного забезпечення (Software Interfaces, SwINT)

Ідентифікатор вимог до інтерфейсів	Опис
SwINT-01	Використання Application Programming Interface

3.4 Інтерфейси зв'язку (Communications Interfaces, CINT)

Ідентифікатор вимог до інтерфейсів	Опис
CINT-01	Система повинна забезпечувати можливість підключення до баз даних через стандартизовані мережеві інтерфейси, такі як T-SQL, ODBC, JDBC, ADO.NET

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

4. Особливості системи (System Features)

Вимоги можуть бути розміщені згідно пріоритетам, що базуються на техніці MoSCoW, котра розділяє вимоги на наступні категорії:

Рейтинг пріоритетів	Опис
П – Повинен мати	Описує вимоги, що повинні бути задоволені у фінальному представленні рішення для досягнення успіху
В – Варто було б мати	Представляє високо-пріоритетні деталі (пункти), що повинні бути додані у рішення, якщо це можливо. Дуже часто це вирішальні вимоги, проте кожен з них може бути задоволений іншим шляхом, якщо суворо необхідно
М – Можливо мати	Описує вимоги котрі вважаються бажаними, але не обов'язковими. Вони будуть включені, якщо дозволять час і ресурси
Х – Хотілося б мати	Представляє вимоги, які були погоджені зацікавленими сторонами, що не будуть додаватися до анонсування, проте можуть бути розглянуті у подальшому

4.1 Функція системи 1: Ідентифікація заборонених фрагментів

4.1.1 Опис і пріоритет (Description and Priority)

Система виконує ідентифікацію заборонених фрагментів на основі обробки зображень з використанням технології Computer Vision. Має високий пріоритет

4.1.2 Послідовності стимулів/відповідей (Stimulus/Response Sequences)

Система отримує марковані фото зразків заборонених фрагментів.

Система отримує зображення металобрухту з відеокамери.

Система оцінює зображення з відеокамери, зіставляє зі зразками та виявляє заборонені фрагменти.

Система інформує оператора про виявлення заборонених фрагментів.

4.1.3 Функціональні вимоги (Functional Requirements)

ID функціональної вимоги	FR-01
Тип вимоги	функціональна
Пріоритет	П
Опис вимоги	Система виконує ідентифікацію заборонених фрагментів на основі обробки зображень
Перехресне посилання на вимоги бізнесу	BR-07. Ідентифікація заборонених фрагментів
Бізнес правило	<p>За результатами оцінки зображення з відеокамери система ідентифікує або не ідентифікує заборонені фрагменти.</p> <p>У випадку ідентифікації:</p> <ul style="list-style-type: none"> повідомлення про заборонений фрагмент виводиться на екран оператора: «Увага! Виявлено заборонений фрагмент. Необхідно зупинити вивантаження металобрухту та повідомити відділ технічного контролю»; повідомлення про заборонений фрагмент дублюється звуковим сигналом

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

	У випадку не ідентифікації: <ul style="list-style-type: none"> повідомлення про не виявлення забороненого фрагменту виводиться на екран оператора: «Заборонених фрагментів не виявлено»
Джерело	-

4.2 Функція системи 2: Оцінка якісних характеристик металобрухту

4.2.1 Опис і пріоритет (Description and Priority)

Система виконує оцінку якісних характеристик металобрухту на основі обробки зображень з використанням технологій Computer Vision. Має середній пріоритет

4.2.2 Послідовності стимулів/відповідей (Stimulus/Response Sequences)

Система отримує марковані фото зразків металобрухту різної якості.

Система отримує зображення металобрухту з відеокамери.

Система оцінює зображення з відеокамери, зіставляє зі зразками та оцінює якість металобрухту.

Система інформує оператора про якість металобрухту.

4.2.3 Функціональні вимоги (Functional Requirements)

ID функціональної вимоги	FR-02
Тип вимоги	функціональна
Пріоритет	B
Опис вимоги	Система встановлює якість металобрухту на основі обробки зображень
Перехресне посилання на вимоги бізнесу	BR-08. Оцінка якісних характеристик металобрухту
Бізнес правило	За результатами оцінки зображення з відеокамери система встановлює якість металобрухту. Після встановлення якості: <ul style="list-style-type: none"> повідомлення про оцінену якість металобрухту виводиться на екран оператора: «Оцінена якість металобрухту: вид № ____, засміченість ____%»
Джерело	-

4.3 Функція системи 3: Формування звітності

4.3.1 Опис і пріоритет (Description and Priority)

Система формує звітність на підставі запиту оператора системи. Має середній пріоритет

4.3.2 Послідовності стимулів/відповідей (Stimulus/Response Sequences)

Система отримує запит оператора на формування звітності.

Система формує звітність на підставі та в об'ємі зазначеним у запиті.

Система виводить сформовану звітність на екран оператора.

Система може вивантажити сформовану звітність в файл Excel..

Система може відсилати сформовану звітність у форматі Excel через Outlook

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

4.3.3 Функціональні вимоги (Functional Requirements)

ID функціональної вимоги	FR-03
Тип вимоги	функціональна
Пріоритет	П
Опис вимоги	Система формує звітність на підставі запиту оператора
Перехресне посилання на вимоги бізнесу	BR-11. Формування звітності
Бізнес правило	На підставі запиту оператора, система виводить сформовану звітність на екран оператора. Додатково по команді оператора, система вивантажує сформовану звітність в файл Excel. Додатково по команді оператора, система відсилає сформовану звітність у форматі Excel через Outlook
Джерело	-

4.4 Функція системи 4: Авторизація оператора системи

4.4.1 Опис і пріоритет (Description and Priority)

Адміністратор авторизує оператора системи. Має високий пріоритет.

4.4.2 Послідовності стимулів/відповідей (Stimulus/Response Sequences)

Адміністратор проводить ідентифікацію оператора (встановлення логіну та паролю для оператора).

Система проводить аутентифікацію оператора (порівняння введеного логіна та пароля з даними, збереженим у базі даних).

Адміністратор проводить авторизацію оператора (надання доступу для виконання функціоналу оператора).

4.4.3 Функціональні вимоги (Functional Requirements)

ID функціональної вимоги	FR-04
Тип вимоги	функціональна
Пріоритет	П
Опис вимоги	Авторизація оператора системи
Перехресне посилання на вимоги бізнесу	BR-12. Аутентифікація оператора системи
Бізнес правило	Ідентифікація оператора: <ul style="list-style-type: none"> • адміністратором встановлюється логін та пароль для оператора; • логін у форматі «name@metinvestholding.com» • вимоги до паролю: не менше 10 знаків (символи, літери, цифри) • занесення логіну та паролю в базу даних системи Аутентифікація оператора: <ul style="list-style-type: none"> • порівняння введеного логіна та пароля з даними, збереженим у системі.

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

	Авторизація оператора: <ul style="list-style-type: none"> надання доступу для виконання функціоналу оператора.
Джерело	-

4.5 Функція системи 5: Маркування фото для навчання нейронної мережі

4.5.1 Опис і пріоритет (Description and Priority)

Здійснення маркування фото для навчання нейронної мережі. Має високий пріоритет.

4.5.2 Послідовності стимулів/відповідей (Stimulus/Response Sequences)

В систему завантажуються фото для маркування.

Адміністратор здійснює маркування, вказуючи фото зі зразками заборонених фрагментів та зразками металобрухту різної якості.

Запускається процес навчання нейронної мережі.

Результат навчання нейронної мережі виводиться на екран. При необхідності адміністратор здійснює зміну налаштування та запускає процес навчання нейронної мережі повторно.

4.5.3 Функціональні вимоги (Functional Requirements)

ID функціональної вимоги	FR-05
Тип вимоги	функціональна
Пріоритет	П
Опис вимоги	Маркування фото для навчання нейронної мережі
Перехресне посилання на вимоги бізнесу	BR-03. Маркування фото
Бізнес правило	<p>Підготовка навчальної вибірки:</p> <ul style="list-style-type: none"> завантаження фото для маркування; адміністратор вказує фото зі зразками заборонених фрагментів та зразками металобрухту різної якості. <p>Навчання нейронної мережі:</p> <ul style="list-style-type: none"> адміністратор налаштовує параметри навчання нейронної мережі; адміністратор запускає процес навчання; <p>Вивід результатів навчання нейронної мережі на екран оператора. Система запитує оператора чи погоджується з результатом навчання. При необхідності адміністратор здійснює зміну налаштування та запускає процес навчання нейронної мережі повторно.</p> <p>Схема бізнес правила описана за допомогою діаграми діяльності (додаток В: Моделі аналізу (Analysis Models), рис. 4)</p>
Джерело	-

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

5. Нефункціональні вимоги (Other Nonfunctional Requirements)

Функція: Надійність

ID нефункціональної вимоги	NFR-01
Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	П
Опис вимоги	Надійність системи
Перехресне посилання на бізнес-вимогу	бізнес-вимога не визначена
Перехресне посилання на використання	FR-01, FR-02, FR-05
Бізнес правило	<ul style="list-style-type: none"> швидкість передачі даних; час обробки даних; доступність (функціонування та доступність ПЗ, коли воно потрібне); відмовостійкість (можливість роботи ПЗ як передбачалося, незважаючи на наявність апаратних або програмних збоїв). Залежність від відмовостійкості серверу. Забезпечення безперебійного (альтернативного) інтернет-зв'язку; відновлюваність (можливість відновлення «постраждалих» даних та відновлення бажаного стану ПЗ у разі переривання або невдачі)
Джерело	-

Функція: Зручність використання

ID нефункціональної вимоги	NFR-02
Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	В
Опис вимоги	Зручність використання системи з точки зору користувача
Перехресне посилання на бізнес-вимогу	BR13. Наявність зручного та зрозумілого інтерфейсу
Перехресне посилання на використання	FR-03, FR-04
Бізнес правило	<ul style="list-style-type: none"> керованість (наявність атрибутів, які дають змогу легко керувати ПЗ та контролювати його); захист від помилок користувача (ступінь захисту від помилкових рішень); доступність (можливість використання користувачами з найширшим діапазоном характеристик та можливостей)
Джерело	-

Функція: Сумісність

ID нефункціональної вимоги	NFR-03
Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	В

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

Опис вимоги	Сумісність роботи системи з іншими системами
Перехресне посилання на бізнес-вимогу	бізнес-вимога не визначена
Перехресне посилання на використання	FR-04, FR-05
Бізнес правило	<ul style="list-style-type: none"> співіснування (ефективність виконання функцій програмним забезпеченням під час спільного використання ресурсів з іншим ПЗ); взаємодія (можливість обміну інформацією з іншим ПЗ та використання одержаної інформації). До ПЗ буде доданий модуль системи «ІС:Підприємство» ТОВ «МЕТІНВЕСТ-РЕСУРС».
Джерело	-

Функція: Перевірка якості зображень

ID нефункціональної вимоги	NFR-04
Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	B
Опис вимоги	Необхідність перевірки якості зображень
Перехресне посилання на бізнес-вимогу	бізнес-вимога не визначена
Перехресне посилання на використання	FR-01, FR-02, FR-05
Бізнес правило	<ul style="list-style-type: none"> використання зображень допустимої встановленої якості
Джерело	-

Функція: Модифікованість

ID нефункціональної вимоги	NFR-05
Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	B
Опис вимоги	Модифікованість системи
Перехресне посилання на бізнес-вимогу	бізнес-вимога не визначена
Перехресне посилання на використання	FR-01, FR-02, FR-05
Бізнес правило	<ul style="list-style-type: none"> можливість ефективної зміни ПЗ без введення дефектів та без зниження якості; можливість проводити перенавчання нейронної мережі на нових даних та можливе заміна самої нейронної мережі
Джерело	-

Функція: Валідація даних

ID нефункціональної вимоги	NFR-06
----------------------------	--------

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	B
Опис вимоги	Валідація даних
Перехресне посилання на бізнес-вимогу	бізнес-вимога не визначена
Перехресне посилання на використання	FR-01, FR-02, FR-05
Бізнес правило	<ul style="list-style-type: none"> підтвердження того що дані є достовірними та отримані з конкретної камери та в певний час
Джерело	-

Функція: Адаптованість

ID нефункціональної вимоги	NFR-07
Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	B
Опис вимоги	Адаптованість системи
Перехресне посилання на бізнес-вимогу	бізнес-вимога не визначена
Перехресне посилання на використання	FR-01, FR-02, FR-05
Бізнес правило	<ul style="list-style-type: none"> можливість ПЗ ефективно адаптуватись до різного апаратного і програмного забезпечення або до різних оперативних середовищ. Можливість адаптувати програмний продукт до більш «свіжих» операційних систем
Джерело	-

Функція: Тестованість

ID нефункціональної вимоги	NFR-08
Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	B
Опис вимоги	Тестованість системи
Перехресне посилання на бізнес-вимогу	бізнес-вимога не визначена
Перехресне посилання на використання	FR-01, FR-02, FR-05
Бізнес правило	<ul style="list-style-type: none"> ефективність, з якою критерії випробувань можуть бути встановлені для ПЗ. Вимога ручного тестування
Джерело	-

Функція: Цілісність даних

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

ID нефункціональної вимоги	NFR-09
Тип вимоги	нефункціональна
Пріоритет	П
Опис вимоги	Забезпечення цілісності даних
Перехресне посилання на бізнес-вимогу	BR-03, BR-05, BR-06, BR-12
Перехресне посилання на використання	FR-03, FR-05
Бізнес правило	<ul style="list-style-type: none"> можливість запобігання несанкціонованому доступу і зміні ПЗ та даних. Дані захищені за допомогою системи доступів. Доступ к даним та налаштуванням нейронної мережі має тільки адміністратор
Джерело	-

5.1 Вимоги до продуктивності (Performance Requirements, PER)

Окремо не визначені

5.2 Вимоги щодо неушкодженості (техніки безпеки) (Safety Requirements)

Окремо не визначені

5.3 Атрибути якості програмного забезпечення (Software Quality Attributes)

Доступність. Запланований час, протягом якого система доступна для використання і повністю працездатна.

Ефективність. Ідентифікація заборонених до постачання фрагментів металобрухту з точністю на рівні не менше 80%

Надійність. Вірогідність роботи ПЗ без збоїв протягом певного періоду часу

6. Інші вимоги (Other Requirements)

Не визначені

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення

Додаток А: Глосарій (словник) (Glossary)

Визначення, термінологія, скорочення та аббревіатури	Визначення/Опис
АС – автоматизована система	організаційно-технічна система, що забезпечує вироблення рішень на основі автоматизації інформаційних процесів
БД – база даних	сукупність даних, організованих відповідно до концепції, яка описує характеристику цих даних і взаємозв'язки між їх елементами, ця сукупність підтримує щонайменше одну з областей застосування
СВН	система відео нагляду
НВ – навчальна вибірка	деяка підмножина досліджуваної загальної (генеральної) сукупності. На основі вивчення навчальної вибірки висновки про генеральну сукупність
CV – Computer Vision, комп'ютерне бачення	теорія та технологія створення машин, які можуть проводити виявлення, відстежування та визначення об'єктів

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
*Software Requirements Specification for Автоматизована система встановлення якісних характеристик
 металобрухту за допомогою технології комп'ютерного бачення*

Додаток В: Моделі аналізу (Analysis Models)

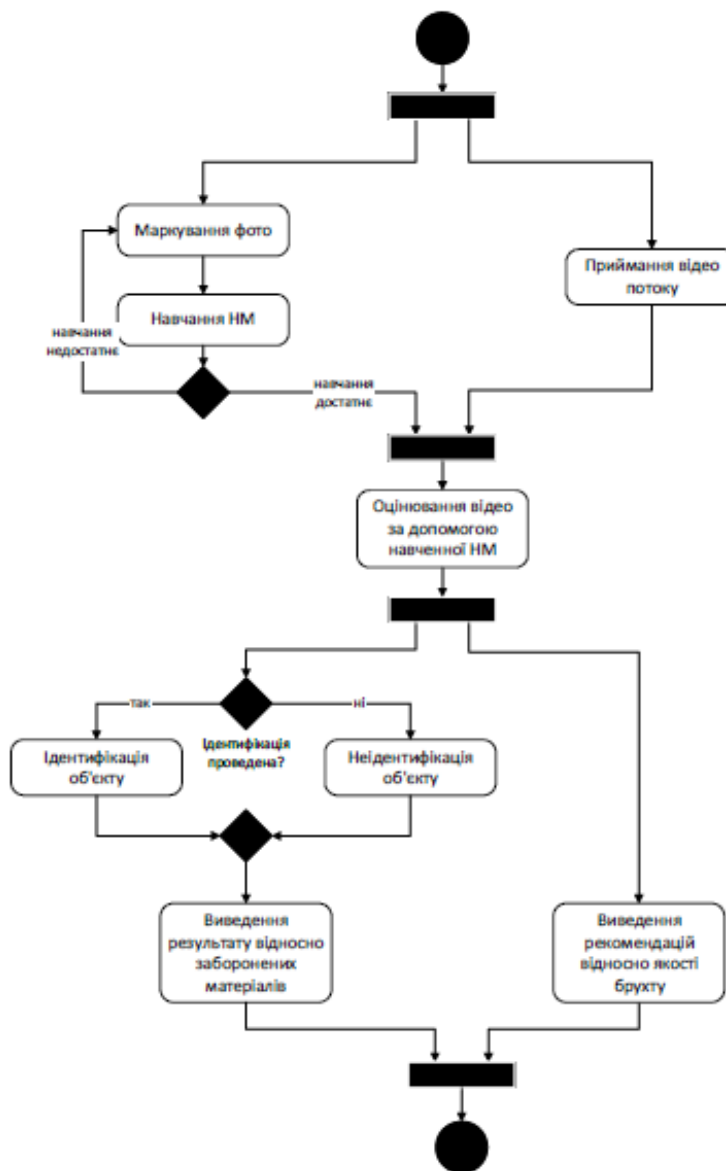


Рис. 4 – діаграма діяльності

ДОДАТОК Г. ТЕЗИ ДОПОВІДІ. СЕРТИФІКАТ ПРО УЧАСТЬ У КОНФЕРЕНЦІЇ

International scientific conference

SOFTWARE AND INFORMATION SUPPORT FOR COMPUTERIZED SYSTEMS OF BUSINESS PROCESS MANAGEMENT

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-68>

JUSTIFICATION FOR THE DEVELOPMENT OF A SOFTWARE SYSTEM FOR DETERMINING THE QUALITY CHARACTERISTICS OF SCRAP METAL USING COMPUTER VISION TECHNOLOGY

ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛОБРУХТУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ

<p>Andrieienkov A.V. <i>master,</i> <i>LLC "Technical university</i> <i>"Metinvest polytechnic",</i> <i>Zaporizhzhia, Ukraine</i></p>	<p>Андрєєнков А.В. <i>магістр,</i> <i>ТОВ «Технічний університет</i> <i>«Метінвест політехніка»,</i> <i>м. Запоріжжя, Україна</i></p>
--	--

Зміцнення України у воєнний час та її відбудова після війни потребує активізації зусиль щодо підтримки, стабілізації та розвитку економіки, зокрема у галузях металургії, енергетики та будівництва.

Металургійне виробництво потребує якісної сировини. До стратегічної сировини металургійних підприємств відноситься брухт чорних металів, який повинен відповідати вимогам якості та безпечності. Вимоги щодо металобрухту визначаються Національним стандартом «Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови», ДСТУ 4121-2002 [1]. Відповідно до стандарту у металобрухті не повинно бути вибухонебезпечних речовин. У разі знаходження незнешкоджених боєприпасів, посудин з невідомим вмістом тощо подальшу роботу з металобрухтом потрібно призупинити.

Через проведення військових дій на території України значно збільшується ризик постачання разом з металобрухтом заборонених

видів та фрагментів (вибухонебезпечних, конверсійних). Для вирішення цієї проблеми необхідна розробка та впровадження механізму ефективного контролю й профілактики на усіх виробничих ланцюгах – від заготівлі та переробки до використання брухту у виробництві. Також до реалізації цього механізму повинні залучатися усі суб'єкти ринку – від заготівельників та постачальників до споживачів.

Для реалізації контролю металобрухту споживачами виникає необхідність своєчасного (тобто безпосередньо під час вивантаження сировини із транспортного засобу) виявлення заборонених видів і фрагментів, потрапляння яких до металургійної переробки може причинити потенційні ризики завдання шкоди життю, здоров'ю працівників та майнової шкоди обладнанню.

Інша проблема пов'язана із особливістю ринку металобрухту та процесами його комерційного приймання. Зазвичай, рішення про фактичний вид та засміченість металобрухту приймається комісією, проте не виключена суб'єктивність оцінки або її невідповідність. Отже, виникає необхідність формування інструменту додаткових рекомендацій щодо виду та засміченість металобрухту в процесі його комерційного приймання.

Вирішенням наведених проблем може стати впровадження у процес оцінки металобрухту системи встановлення якісних характеристик за допомогою технології комп'ютерного зору. На даний час металургійні підприємства України не мають таких систем. Передбачається, що система в автоматичному режимі здійснюватиме спостереження за процесом вивантаження металобрухту із транспортного засобу та буде:

- виконувати ідентифікацію заборонених фрагментів. Передбачається створення технології комп'ютерного зору;
- здійснювати оповіщення про виявлення заборонених фрагментів. Після отримання сигналу оператор приймає рішення щодо зупинення вивантаження та вилучення заборонених предметів;
- виконувати оцінку якісних характеристик металобрухту. Передбачається створення нейронної мережі з використанням алгоритмів глибокого навчання;
- надавати рекомендацію про засміченість брухту. Ці рекомендації як основний інструмент (без участі експертної комісії) або як додатковий інструмент до оцінки комісії можуть використовуватися для подальшого прийняття рішення щодо якості металобрухту.

На рис. 1 представлена контекстна діаграма системи в нотації IDEF0.

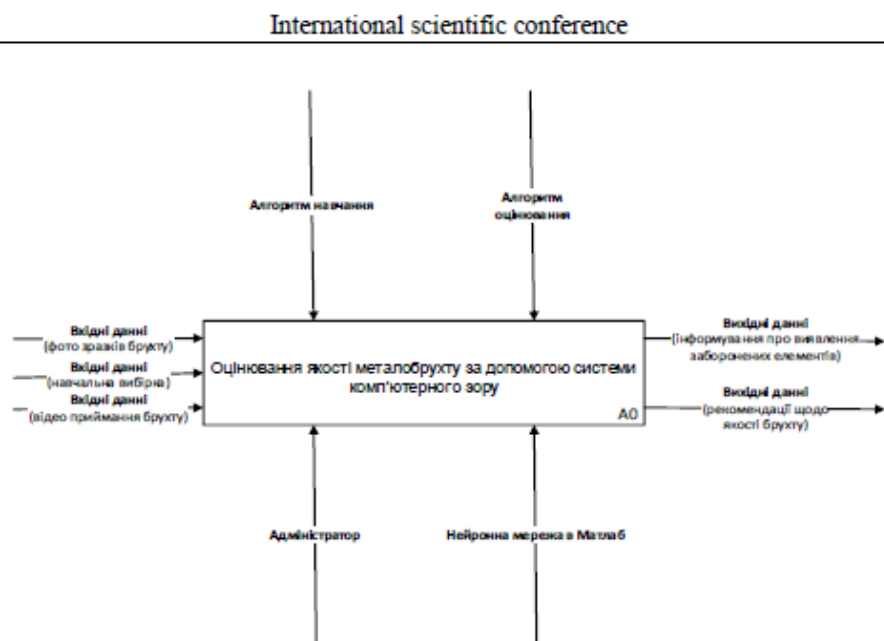


Рис. 1. Контексна діаграма системи встановлення якісних характеристик металобрухту

Перелік використаних джерел

1. Національний стандарт України ДСТУ 4121-2002 «Метали чорні вторинні. Загальні технічні умови», затверджений наказом Держстандарту України № 516 від 30.09.2002 р. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=56520

TSC-2930005-MIP dated 30.11.2023

CERTIFICATE

mip metinvest
polytechnic

Andrii ANDRIEENKOV

for Participation in the International scientific-technical conference

MININGMETALTECH 2023 - The mining and metals sector: integration of business, technology and education

November 29–30, 2023

Total: 15 hours – 0.5 ECTS credit

Oleksandr POVAZHNYI

Doctor of Economics, Professor

Rector of LLC "TECHNICAL UNIVERSITY
"METINVEST POLYTECHNIC"

