

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Гірничий факультет
Кафедра природоохоронної діяльності

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
Віктор КОСТЕНКО
(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ” 2022 р.

**ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
МАГІСТРА**

на тему:

"Підвищення екологічної безпеки переробки побутових відходів за
рахунок вдосконалення систем сортування"

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕКОМ-21

напряму підготовки: 101 Екологія

Віктор КОРОБЧИЦЬ

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник доцент кафедри ПД Олексій КУТНЯШЕНКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Нормоконтроль:

Кутняшенко О.І.

(підпис)

*Засвідчую, що у цій дипломній
роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.*

Студент

(підпис)

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Гірничий факультет

Кафедра «Природоохоронна діяльність»
Освітньо-кваліфікаційний рівень - магістр
Напрямок підготовки 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри, д.т.н., проф.

_____ Віктор КОСТЕНКО

_____. _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ
на випускню кваліфікаційну роботу магістра
Віктора КОРОБЧИЦЯ

1. Тема роботи: Підвищення екологічної безпеки переробки побутових відходів за рахунок вдосконалення систем сортування керівник роботи доцент кафедри ПД Олексій КУТНЯШЕНКО затверджені наказом вищого навчального закладу від 30.09.2022 №457

2. Строк подання студентом роботи. _____ 28.11.2022р

3. Вихідні дані до проекту: інформація про стан поводження з відходами в Україні (з відкритих джерел), відомості про сміттесортувальні комплекси України, матеріали переддипломної практики, та ін..

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Оцінка стану поводження з побутовими відходами в Україні;
2. Експлуатація сміттесортувальних комплексів в Україні;
3. Впровадження сучасних технологічних рішень для вдосконалення сміттесортувальних комплексів;
4. Вимоги охорони праці при роботі на сміттесортувальних лініях.

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

презентація в форматі А4

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Олексій КУТНЯШЕНКО		
Розділ 2	Олексій КУТНЯШЕНКО		
Розділ 3	Олексій КУТНЯШЕНКО		
Розділ 4	Юлія СІМОНОВА		
Нормоконтроль	Олексій КУТНЯШЕНКО		

7. Дата видачі завдання 03.10.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Найменування видів робіт	Термін виконання	Форма звітності	Відмітка наукового керівника
Розділ 1	24.10.2022	Рукопис	
Розділ 2	14.11.2022	Рукопис	
Розділ 3	28.11.2022	Рукопис	
Розділ 4	28.11.2022	Рукопис	
Оформлення пояснювальної записки	28.11.2022	Рукопис	
Підготовка презентації	19.12.2022	Рукопис	

Науковий керівник

Олексій КУТНЯШЕНКО

Студент

Віктор КОРОБЧИЦЬ

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	6
ВСТУП.....	8
1 ОЦІНКА СТАНУ ПОВОДЖЕННЯ З ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ В УКРАЇНІ.....	11
1.1 Обсяги утворення відходів в Україні.....	12
1.2 Захоронення та складування відходів на полігонах.....	14
1.3 Технологія організації сміттєвих полігонів в Україні.....	15
1.4 Недоліки існуючих методів поводження з відходами в Україні.....	18
1.5 Основні складнощі організації переробки ТПВ в Україні.....	20
1.6 Перспективи розвитку системи поводження з відходами.....	22
1.7 Висновки за розділом.....	23
2 ЕКСПЛУАТАЦІЯ СМІТТЕСОРТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ В УКРАЇНІ.....	25
2.1 Обґрунтування актуальності модернізації діючих сортувальних комплексів.....	30
2.2 Модернізація діючого сортувального комплексу.....	32
2.2.1 Опис технологічного процесу сортування.....	32
2.2.2 Визначення шляхів удосконалення пропонованого технологічного процесу. Опис пропонованого технологічного процесу..	34
2.2.3 Вибір основного обладнання для модернізації діючого сортувального комплексу.....	38
2.3 Аналіз переваг пропонованого технологічного процесу та оцінка ефективності.....	46
2.4 Висновки за розділом.....	49
3 ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ СМІТТЕСОРТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	50
3.1 Роботизований комплекс сортування твердих побутових відходів...	50
3.2 Структура роботизованого комплексу детектування та сортування (РКДЗ).....	53

3.3 Система технічного зору.....	56
3.4 Маніпулятори РКДС.....	63
3.5 Алгоритм збирання розпізнаних об'єктів.....	68
3.6 Висновки за розділом.....	72
4 ВИМОГИ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ НА СМІТТЄСОРТУВАЛЬНИХ ЛІНІЯХ.....	74
4.1 Інструкція з охорони праці під час роботи на сортувальних лініях...	74
4.2 Вимоги щодо охорони праці перед початком роботи.....	77
4.3 Вимоги щодо охорони праці під час роботи.....	79
4.4 Вимоги щодо охорони праці після закінчення роботи.....	82
4.5 Вимоги щодо охорони праці в аварійних ситуаціях.....	82
ВИСНОВКИ.....	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	88
ДОДАТОК А.....	94

АНОТАЦІЯ

Віктор КОРОБЧИЦЬ. Підвищення екологічної безпеки переробки побутових відходів за рахунок вдосконалення систем сортування. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за напрямом підготовки 101 Екологія. – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2022.

Робота присвячена актуальному питанню підвищення екологічної безпеки переробки побутових відходів за рахунок вдосконалення систем їх сортування.

Вдосконалена технологія запропонованого в роботі варіанта сміттесортування полягає у додаванні до вже існуючого комплексу нових елементів, завдяки яким можна підвищити відсоток відбору вторинних матеріальних ресурсів та перейти до більш сучасного виду сортування – автоматичного. Запропонована схема дозволяється підняти відсоток відбору вторинних матеріальних ресурсів від 9 до 16%. Прибуток від продажу вторинних матеріальних ресурсів зросте 40,3 млн. грн. на рік та плата за розміщення відходів зменшиться на 8,7 млн. грн. на рік. Також буде відсутня плата за викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря пересувними джерелами, що становить 15,2 тис. грн. на рік.

В роботі представлені етапи розробки роботизованого комплексу, який здійснює детектування та вилучення фракцій твердих побутових відходів у рамках роботи сміттєпереробного заводу, побудованого за конвеєрним типом. Комплекс дозволяє замінити людину на небезпечну та монотонну роботу, підвищити якість сортування сміття, забезпечити безперервність процесу сортування. Описано схему роботизованого комплексу та структуру системи управління ім. Показано реалізацію системи технічного зору з використанням згорткової нейронної мережі в середовищі MATLAB Neural Network Toolbox, обґрунтовано вибір архітектури мережі. Розроблено модель роботизованого комплексу у середовищі MATLAB Simulink та проведено її дослідження. Визначено параметри зони сервісу маніпулятора, які відповідають вимогам технологічного процесу.

Ключові слова: ТВЕРДІ ПОБУТОВІ ВІДХОДИ, ПОЛІГОН, СОРТУВАННЯ, ВТОРИННІ МАТЕРІАЛЬНІ РЕСУРСИ, РОБОТИЗОВАНИЙ КОМПЛЕКС

ANNOTATION

Victor KOROBCHITS. Increasing the environmental safety of household waste processing due to the improvement of sorting systems. Graduation qualification work for obtaining an educational degree "Master" in the direction of training 101 Ecology. - DVNZ DonNTU, Lutsk, 2022.

The work is devoted to the topical issue of increasing the environmental safety of household waste processing through the improvement of their sorting systems.

The improved technology of the garbage sorting option proposed in the paper consists in adding new elements to the already existing complex, thanks to which it is possible to increase the percentage of selection of secondary material resources and move to a more modern type of sorting - automatic. The proposed scheme allows raising the percentage of selection of secondary material resources from 9 to 16%. Profit from the sale of secondary material resources will increase by UAH 40.3 million. per year and the waste disposal fee will decrease by UAH 8.7 million. for a year. There will also be no fee for emissions of pollutants into the air by mobile sources, which amounts to UAH 15.2 thousand. for a year.

The work presents the stages of development of a robotic complex that detects and extracts fractions of solid household waste as part of the work of a waste processing plant built according to the conveyor type. The complex allows replacing a person with dangerous and monotonous work, improving the quality of waste sorting, and ensuring the continuity of the sorting process. The scheme of the robotic complex and the structure of the control system named after The implementation of the technical vision system using a convolutional neural network in the MATLAB Neural Network Toolbox environment is shown, the choice of network architecture is justified. A model of the robotic complex was developed in the MATLAB Simulink environment and its research was carried out. The parameters of the manipulator service area that meet the requirements of the technological process have been determined.

Keywords: SOLID HOUSEHOLD WASTE, LANDFILL, SORTING, SECONDARY MATERIAL RESOURCES, ROBOTIC COMPLEX

ВСТУП

В даний час у світі виробляється до 5,5 мільйонів тонн відходів на день, і ця кількість продовжує безперервно зростати. Тому питання переробки сміття є одним із найважливіших та найактуальніших, які стоять перед людством в останні десятиліття. В Україні щороку виробляється близько 6,2 млрд. тонн відходів. При цьому кількість твердих побутових відходів (ТПВ) становить близько 63 млн т/рік, що відповідає в середньому 445 кг на людину. Проблема «позбавлення» відходів найбільш актуальна для великих населених пунктів.

Існує кілька основних способів утилізації ТПВ:

- Поховання на звалищах;
- спалювання;
- переробка, тобто. перетворення відходів на вторинну сировину.

Останній спосіб, крім зниження забруднення навколишнього середовища, дозволяє отримувати додаткову вигоду за рахунок вироблення електроенергії (у тому числі виробництва біогазу), перепродажу отриманої сировини та ін.

Основні обсяги сміття вивозяться на звалища, яких в Україні налічується понад 13 тисяч, і їхня кількість постійно збільшується.

Частка сміття, що переробляється в Україні становить у середньому 10–15 %, причому для ТПВ вона не перевищує 4 %. При цьому доводиться враховувати, що попереднє сортування сміття (особливо населенням) поки що не набуло широкого поширення в містах України. Тому існує проблема зниження трудовитрат на переробку «несортованого» сміття, збільшення ступеня вилучення з нього «корисних» об'єктів.

Проблема сміттєзвалищ в Україні є чи не найгострішою в порівнянні з усіма європейськими країнами. Йдеться про кількість і непридатний екологічний стан більшості з них.

Масштаби проблеми неналежної утилізації твердих побутових відходів можна проілюструвати простим порівнянням: якщо в Євросоюзі норматив кількості сміттєзвалищ становить до 500 на країну, то в 2018 році в Україні їх було лише 6,5 тисячі. , з яких чверть не відповідає екологічним нормам. Понад 35 тис. сміттєзвалищ створюються стихійно, не мають жодних правових підстав для існування та просто забруднюють довкілля. Всі максимально ефективні способи поводження з відходами у світовій практиці, що дозволяють ефективно використовувати матеріально-енергетичний потенціал відходів, включають в себе етап сортування відходів, часто ще на етапі збору відходів.

Мета кваліфікаційної роботи - підвищення екологічної безпеки переробки побутових відходів за рахунок вдосконалення систем сортування.

Об'єкт дослідження в роботі – сортування побутових відходів у сміттєсортувальних комплексах.

Предмет дослідження – ефективність розділення фракцій заскладованих побутових відходів.

Задачі роботи:

- аналіз існуючого стану поводження з побутовими відходами в Україні;
- аналіз та оцінка ефективності існуючих в Україні систем сміттєсортування;
- розробка рекомендацій щодо вдосконалення технологічної схеми сміттєсортувальних комплексів України;
- розробка системи роботизованого комплексу сортування твердих побутових відходів для підвищення екологічної безпеки персоналу;
- аналіз існуючих нормативів охорони праці на сміттєсортувальному комплексі.

Практична цінність:

Вдосконалена технологія запропонованого в роботі варіанта сміттєсортування полягає у додаванні до вже існуючого комплексу нових

елементів, завдяки яким можна підвищити відсоток відбору вторинних матеріальних ресурсів та перейти до більш сучасного виду сортування – автоматичного. Запропонована схема дозволяється підняти відсоток відбору вторинних матеріальних ресурсів від 9 до 16%. Прибуток від продажу вторинних матеріальних ресурсів зросте 40,3 млн. грн. на рік та плата за розміщення відходів зменшиться на 8,7 млн. грн. на рік. Також буде відсутня плата за викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря пересувними джерелами, що становить 15,2 тис. грн. на рік.

Запропонований у роботі РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування) дозволяє замінити людей, які виконують монотонну працю в небезпечному та шкідливому для життєдіяльності середовищі. Комплекс здатний виконувати сортування ТПВ цілодобово, збільшуючи час роботи сміттєпереробного заводу мінімум у 2 рази. З впровадженням такого рішення також підвищиться якість сортування та буде здійснено оптимізацію процесу переробки загалом. Зрештою, це призведе до підвищення рентабельності роботи заводу.

1 ОЦІНКА СТАНУ ПОВОДЖЕННЯ З ПОБУТОВИМИ ВІДХОДАМИ В УКРАЇНІ

За останніми даними, у 2018 році в Україні було утворено майже 54 млн м³ побутових відходів, тобто понад 9 млн тонн. Планується, що це сміття буде захоронено на 6 тис. полігонів і полігонів, загальною площею 9 тис. га. За даними того ж джерела, в Україні є 256 перевантажених сміттєзвалищ, а 1347 сміттєзвалищ не відповідають стандартам екологічної безпеки.

Так, в Україні сміття – це катастрофа. 90% усіх побутових відходів потрапляє на полігони твердих побутових відходів. Гори засипаної землею сміття – це наша сьогоднішня реальність.

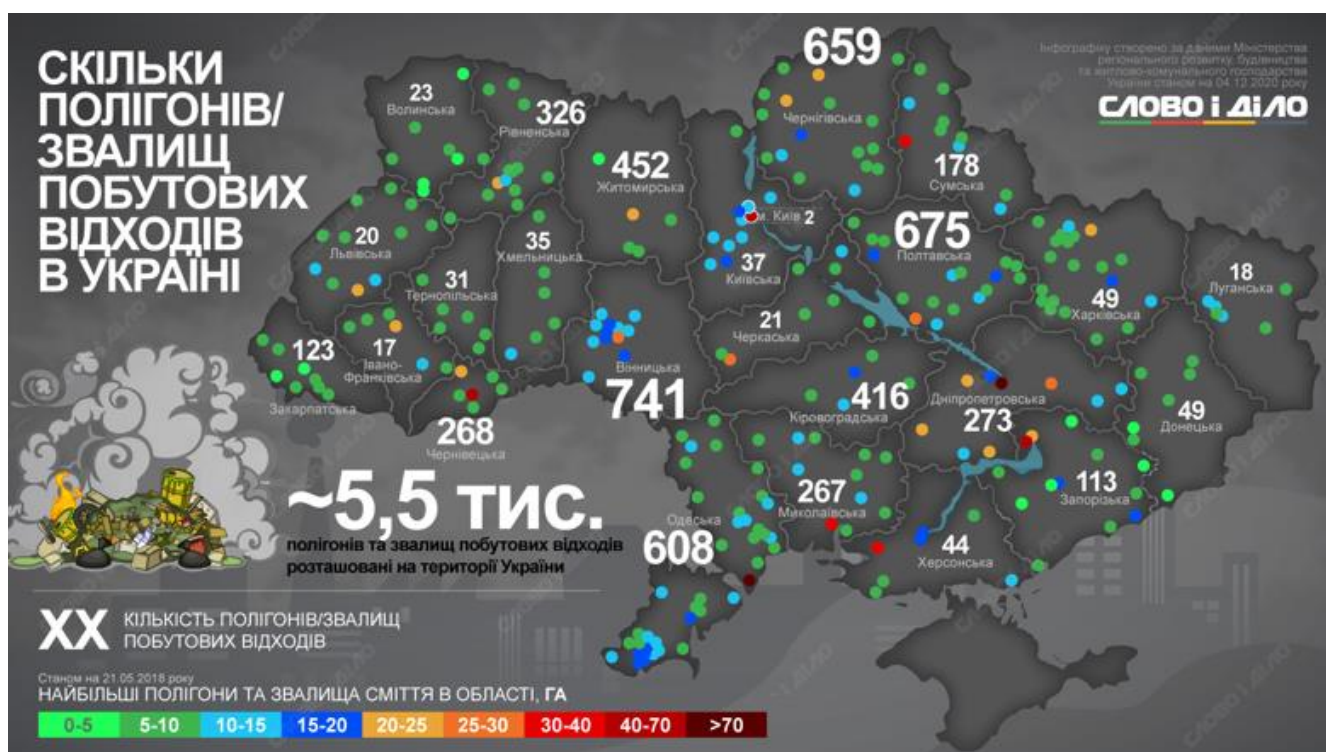


Рисунок 1.1– Схема розташування полігонів та сміттєзвалищ в Україні

В Україні офіційно налічується 5455 сміттєзвалищ і полігонів загальною площею понад 8,5 тис. кв. га. Такі дані наводить Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-побутового господарства України.

Найбільший мегаполіс Києва обслуговує лише два офіційних полігони -

полігон твердих побутових відходів № 5 у селі Підгірці Обуховського району Київської області (площа 63,7 га) та полігон будівельного сміття № 6 на вулиці Пирогівський шлях, 94-96 (площа 11,6 га).

Водночас у Вінницькій області найбільше сміттєзвалищ та сміттєзвалищ – 741, середня площа яких становить 10-15 га.

У Полтавській області нараховується 675 сміттєзвалищ, у Чернігівській – 659, в Одеській – 608 полігонів і сміттєзвалищ.

Найменше офіційних сміттєзвалищ в Івано-Франківській (17), Луганській (18), Львівській (20), Черкаській (21), Тернопільській (31) та Хмельницькій (35) областях.

1.1 Обсяги утворення відходів в Україні

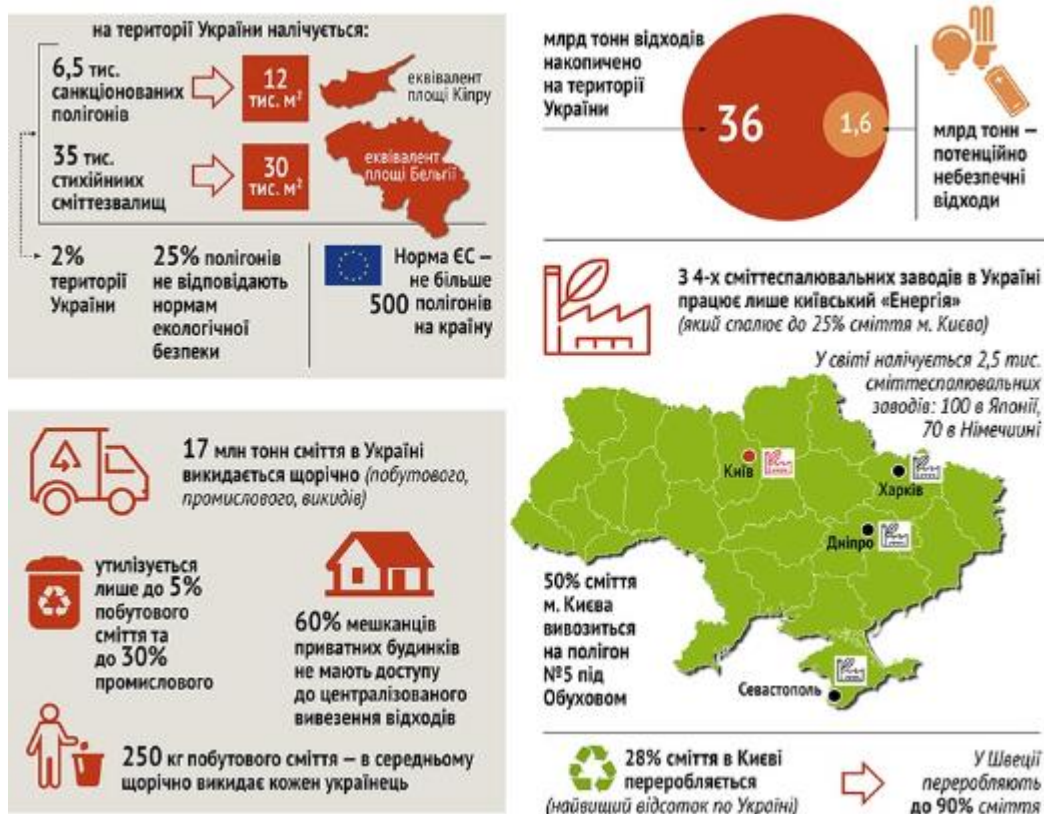


Рисунок 1.2 – Інфографіка накопичення побутових відходів в Україні

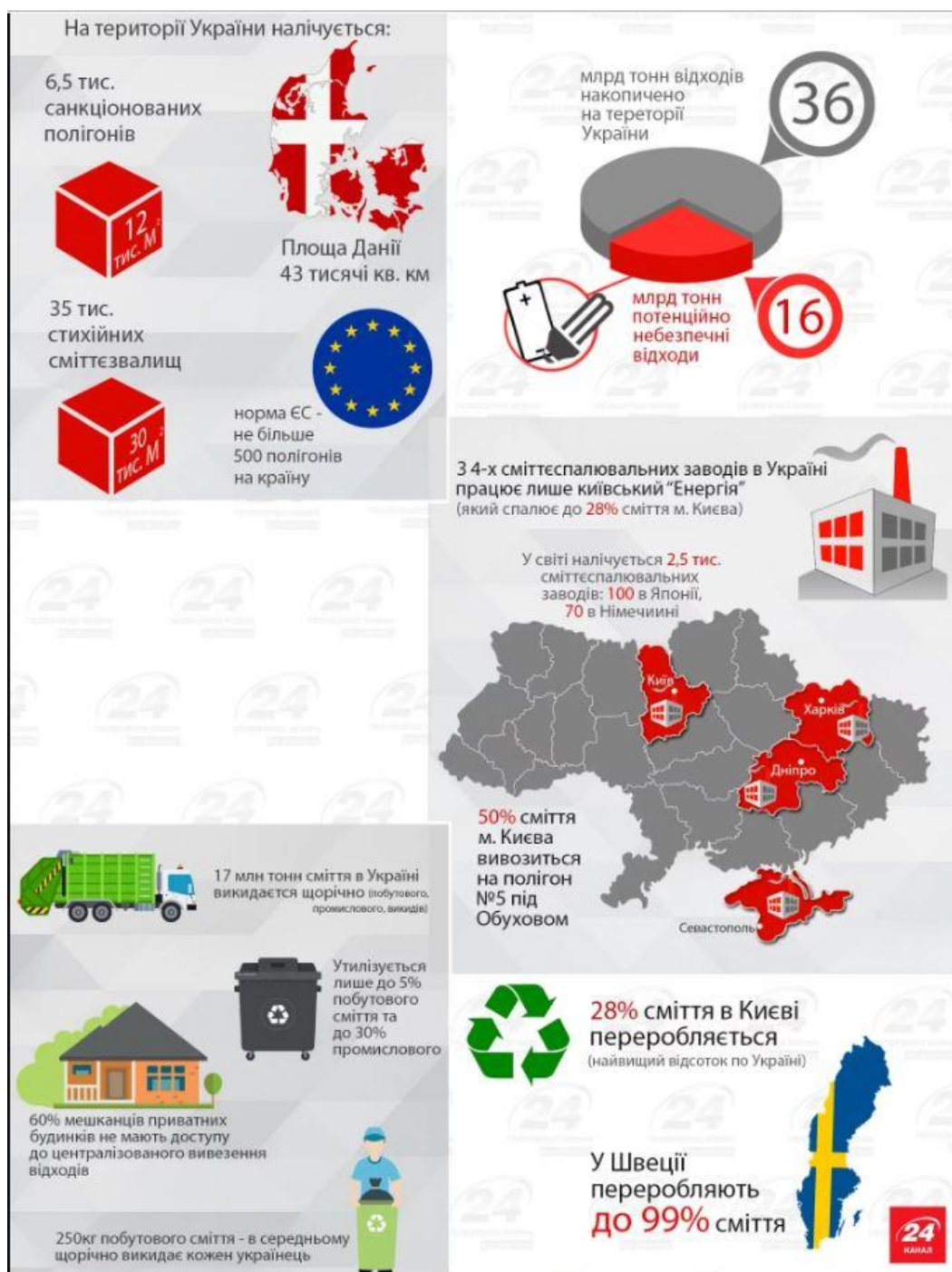


Рисунок 1.3 – Інфографіка переробки побутових відходів в Україні

- У 2017 році в нашій країні вироблено 366 054,0 тис тонн I-IV класів небезпеки різних категорій. З них знешкоджено 100 056,3 тис. тонн, 1064,3 тис. тонн 169801,6 тис. тонн.
- У цьому ж році ми виробили 11271,2 тис. шт. тонн твердих та подібних до них побутових відходів, або 265,3 кг на одну особу.
- Всього в Україні 2159 сміттєзвалищ – 2159 де є все: спалювальні

установки для виробництва енергії; для випалу для термічної обробки; інші установки, що підлягають видаленню; спеціально відведені місця та споруди для розміщення відходів.

Держстат наводить усі дані, крім тимчасово окупованих АР Крим та м. Севастополя, частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях. Також немає даних у районі проведення операції Об'єднаних сил, де стан забруднення є таким, що цілком реальною є перспектива екологічного колапсу.

1.2 Захоронення та складування відходів на полігонах



Рисунок 1.4 – Стан полігонів та звалищ відходів в Україні (фото)

Склад твердих побутових відходів є багатокомпонентним, і на полігони приймають широкий спектр типів відходів з багатьох джерел. Це сміття з ЖКГ, соціальної сфери, всіляких установ і компаній. Вуличне сміття, не завжди продезінфіковані відходи фармацевтичної та медичної промисловості, будівельне сміття. В основному все, що не можна переробити та використати повторно. А це більшість усіх відходів нашої країни.

У сотнях тонн цих відходів, які гниють на звалищах, можна знайти найрізноманітніші речі: харчові залишки, макулатуру, деревину, чорні та

кольорові метали, шкіру, інші органічні залишки, гуму, текстиль, скло, усі види пластмаси, побутова техніка. А також те, що становить особливу загрозу: солі ртуті з батарейок і термометрів, карбонати фосфору з люмінесцентних ламп, токсини у фарбах, лаках, розчинниках, аерозолях, батарейках, фармацевтичній продукції. Будівельне сміття: цемент, ацетон, покриття, металовмісні продукти завдають непоправної шкоди навколишньому середовищу.

Ані збір, ані складування твердих побутових відходів в Україні не відповідають вимогам санітарних та правових норм, які належним чином не контролюються відповідними службами. Тому, якщо не вжити кардинальних заходів, неважко передбачити, в якому напрямку ми підемо і якими землями будуть користуватися наші нащадки.

1.3 Технологія організації сміттєвих полігонів в Україні

Реальність показує, що основним способом утилізації в Україні є захоронення відходів на полігонах твердих побутових відходів, тобто полігонах. В ідеалі всі вони повинні працювати за певними правилами та вимогами, регламентованими законодавством України.



Рисунок 1.5 – Облаштування герметичного шару під полігон ТПВ (фото)

На законодавчому рівні використання сміттєзвалищ в нашій країні регулюється:

- Державні будівельні норми України (ДБН В.2.4-2-2005);
- Закон України «Про відходи»;
- Розпорядження «Про затвердження Правил експлуатації звалищ побутових відходів».

Згідно з цими документами, полігони твердих побутових відходів повинні будуватися на висоті не менше двох метрів над рівнем ґрунтових вод і на відстані не менше 50 метрів від бордюрів і лісосмуг. Крім того, сміттєзвалища заборонені в межах 200 метрів від сільськогосподарських угідь, мереж загального користування та доріг (включаючи залізницю).

Полігони повинні розташовуватися на відстані півкілометра від житлової та громадської забудови, 1000 метрів від міської межі, 3 км від курортів, відкритих водойм господарського призначення, культурно-оздоровчих об'єктів, заповідників і морського узбережжя. А між полігоном і аеропортом має бути 15 км. В середньому полігон твердих побутових відходів не працює більше 20 років. На в'їзді до сміттєзвалища має бути розміщена табличка з інформацією про цей об'єкт. На табличці обов'язкова така інформація:

- Прізвище,
- рік запуску,
- спосіб роботи,
- прийняті види відходів,
- інші аспекти діяльності полігону.

Обов'язковою є наявність КПП з автомобільними вагами для зважування завезених відходів, а також вишки та спеціальних приладів для радіометричного контролю. Полігони повинні мати систему моніторингу, яка передає отримані дані в спеціалізовані лабораторії. Ці системи відбирають та аналізують проби повітря, ґрунтових вод і ґрунту безпосередньо на полігоні та на межі санітарно-захисної зони.

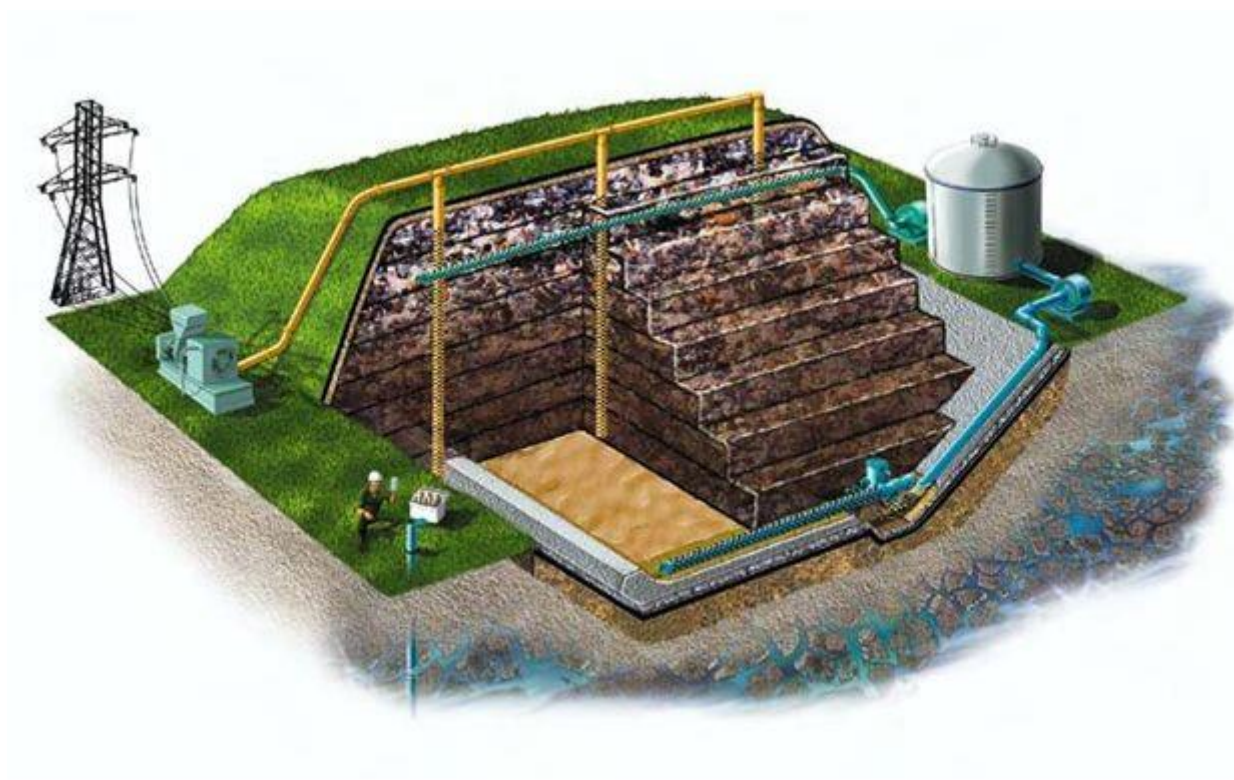


Рисунок 1.6 – Схема полігону ТПВ

Полігон може розташовуватися в різних місцях. Як правило, він розділений на дві зони: сектор вивантаження відходів і зону складування відходів.

Сміттєзвалище також має особливу конструкцію. Вони викопують на території величезну яму і покривають її «дно» гофрою, яка перешкоджає потраплянню отруйних речовин в ґрунт. В якості матеріалів найчастіше використовується будівельне сміття: бетон, цегла і захисний шар пластику. Потім утрамбовані тюки сміття або сипучого матеріалу засипають в яму шаром до двох метрів, кожен засипають ґрунтом і ущільнюють спецтехнікою.

Звалища, як правило, огорожені лісозахисними смугами та обладнані спеціальними сітками та екранами. Останні перешкоджають поширенню біогазу, що утворюється під час метановодневого бродіння.

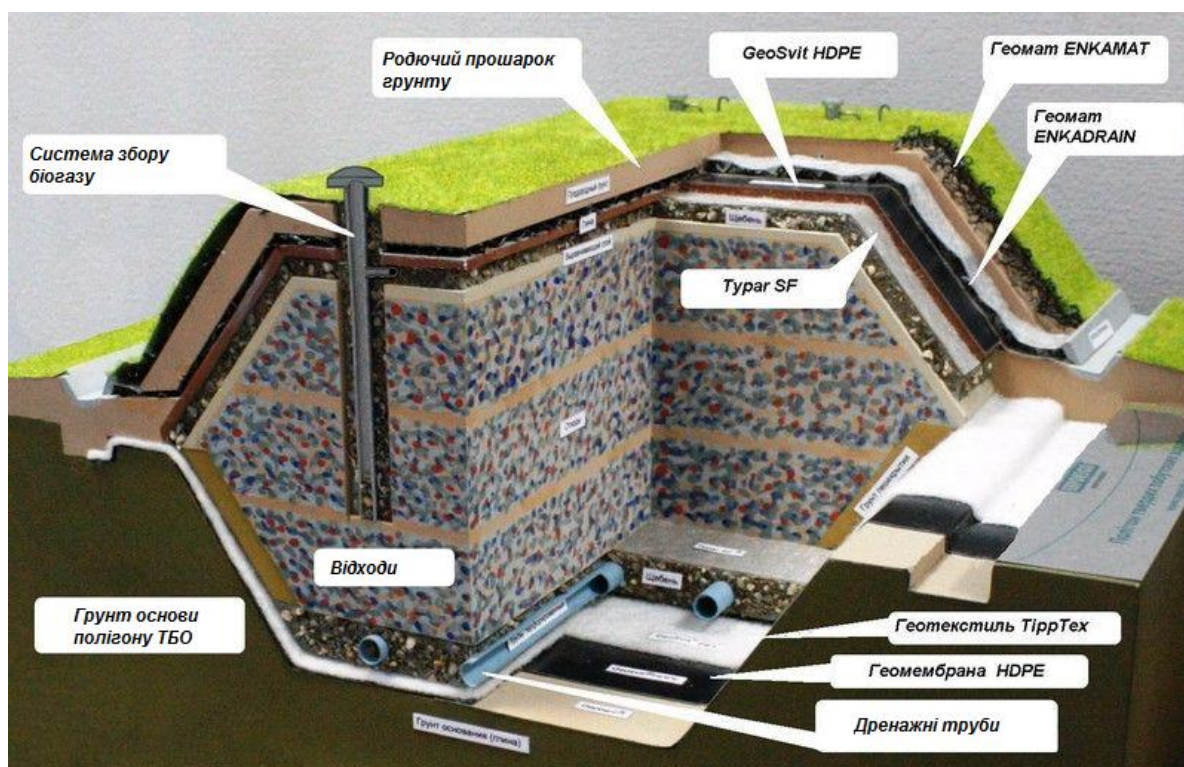


Рисунок 1.7 – Схема дренажу та поверхневих шарів полігону ТПВ

Тому полігон має бути організований таким чином, щоб унеможливити негативний вплив процесу розкладання відходів на довкілля та здоров'я людей протягом усіх 20 років експлуатації. За статистикою, в нашій країні їх 6,5 тис. таких полігонів, що займають 7% території. Окрім цих легальних сміттєзвалищ, у нас є 35 тисяч незаконних сміттєзвалищ. Загальну площу величезних сміттєзвалищ в Україні можна порівняти з площею всієї Данії (понад 43 тис. км²).

1.4 Недоліки існуючих методів поводження з відходами в Україні

Близько 15-17 мільйонів тонн щорічно потрапляє на звалища, і ситуація з кожним роком погіршується. Екологи підрахували, що в Україні зібрано 54 мільйони кубометрів сміття. А переробляється лише десята частина. Все інше розкладатиметься століттями, а родючі, завалені сміттям ґрунти не відновляться щонайменше 300 років.

Ще сумніша картина в країні. У селах просто відсутні санітарні вузли як

такі, ні контейнери для твердих побутових відходів, ні захоронення. І люди не приховують цього стану, а висловлюють свої враження в соцмережах.

У районних центрах захоронення відходів на легальних звалищах потребує коштів, яких часто не вистачає в місцевих бюджетах. І більшість полігонів вичерпали свої ліміти.

У селах і селищах звалища ростуть у струмках, лісосмугах, біля річок і в лісах. Це ж стосується і гірських регіонів. Зелений рай України – Карпати – все більше страждає від напливу туристів і стрімкого зростання кількості залишків сміття. Гори сміття вже ростуть на берегах річок, у багатоквартирних будинках, біля підніжжя гір.

Загалом екологічний контроль у нашій державі досі малоефективний, екологічна свідомість мешканців низька, а всі державні плани щодо покращення ситуації в переважній більшості залишаються просто планами, що висять у повітрі.



Рисунок 1.8 – Лінії сортування сміття (фото)

Усі ми пам'ятаємо трагедію 2016 року на Грибовецькому сміттєзвалищі під Львовом, яка буквально кричала на Україну про глобальні екологічні проблеми.

Але українська влада не бачить або не хоче бачити масштабів катастрофи, яка нас чекає неминуче.

По-перше, має бути економічний підхід на державному та місцевому рівнях. А найкращим міжнародним досвідом належного поводження з відходами є розширена відповідальність виробника.

По-друге, потрібні інвестори.

«Найкращими стимулами для інвесторів, які мають намір інвестувати в сміттєпереробні заводи, є надання пільгового кредитування та звільнення від податків на 3-5 років, прозорий та спрощений механізм отримання дозволів. На державному рівні необхідно стимулювати компанії інвестувати в екологічно чисті технології переробки та утилізації відходів, інакше наша країна перетвориться на суцільне сміттєзвалище. На законодавчому рівні необхідно збільшити продажі одноразових пластикових виробів – особливо пакетів і пластикових пляшок, що буде їх кількість і стимулюватиме зростання екологічних товарів. Якщо в Україні буде інвестор, сміттєпереробні заводи та сміттєсортувальні лінії можна побудувати за 1-2 роки», – зазначила Алла Войціховська, еколог Міжнародної благодійної організації «Екологія. Право. Людина».

1.5 Основні складнощі організації переробки ТПВ в Україні

Основною складністю на шляху до переробки ТПВ є відсутність у нашій країні системи роздільного збору сміття, яка є неминучою умовою для його глибокого рециклінгу. Так, 60-80% морфологічного складу ТПВ є потенційна сировина для використання в промисловості (35-45%) або компостування (25-35%). Однак сортування змішаних та перевезених в одному сміттєвозі ТПВ дозволяє витягти лише 11-15% вторинних ресурсів.

При цьому практично неможливо використовувати біорозкладні (органічні) відходи. Крім того, сортування, пресування та компостування не тільки спрощує процес переробки відходів, а й дозволяють знизити їх обсяг у

7-16 разів. Для порівняння: спалювання зменшує обсяг відходів лише в 10 разів, але при цьому підвищується їхня токсичність, що негативно позначається на екології міст, а обходиться це втричі дорожче.

Причинами, що призводять до таких високих витрат на збирання та переробку відходів споживання, є:

- необхідність створення спеціальної виробничої інфраструктури, що включає пункти збору вторинної сировини та заготівельні підприємства;
- трудомісткість сортування та складних відходів на окремі компоненти за видами матеріалу, а також їх чищення, миття та дезінфекції, перевірки на наявність радіоактивних та інших небезпечних матеріалів;
- значну витрату енергії на їх дроблення та випуск з них вторинної сировини або напівфабрикатів;
- зниження продуктивності обладнання через наявність у переробних відходах домішок і сміття (особливо це стосується переробки полімерних відходів).

Економічні стимули, які б спонукати підприємців зайнятися збиранням і переробкою нерентабельних вторинних ресурсів, також досить низки. Викликано це щодо низькою конкурентоспроможністю товарів, вироблених з використанням відходів, оскільки навіть за відносної дешевизни співвідношення ціна/якість їм менш сприятливо, ніж для продукції, виготовленої лише з природного сировини. Головним чином, це відноситься до широкого асортименту продукції з відходів термопластів та гуми (тарі, поливальним шлангам, полімерній плівці, виробам технічного призначення), регенованим моторним маслам, туалетному паперу з макулатури і т.д.

Попит на таку продукцію нерідко залишається досить низьким навіть за суттєвого – до 50% і більше – зниження ціни на неї.

Інтенсифікувати використання відходів як вторинних матеріальних ресурсів можна, лише створивши при цьому більш сприятливі організаційні, нормативно-правові та економічні умови, що вимагатиме значного посилення державного регулювання у цій галузі.

1.6 Перспективи розвитку системи поводження з відходами

У багатьох розвинених країнах світу полігони та полігони твердих побутових відходів давно повністю демонтовані, закриті, налагоджено збір і подальша переробка відходів. Перероблена сировина отримала статус повноцінного продукту міжнародної торгівлі в Європі. Україні ще попереду довгий шлях у «сміттєвій війні».

По-перше, закрити та знешкодити існуючі сміттєзвалища та звалища, що забруднюють довкілля. Будувати сміттєпереробні заводи, сортувальні лінії та полігони, які відповідають екологічним стандартам щодо відходів, що не підлягають переробці.

Здорові та свіжі ідеї можна запозичити в інших країнах, які виявилися більш винахідливими у боротьбі з відходами.

Так, наприклад, можна побудувати теплицю на полігоні, як це зробили в Латвії на найбільшому полігоні країни. Зараз там ростуть помідори та огірки. Овочі обігріваються теплом від електростанції звалища. Крім того, виявляється, що з відходів можна добувати і очищати воду, а з відходів роблять будівельне сміття. Ще одне сміттєзвалище латиші перетворили на пасовище для овець.

У Німеччині на місці одного зі старих смітників відкрився парк розваг. А енергія від спалювання сміття обігріває сусідні житлові масиви.

В Японії, одній із найчистіших країн, сміття переробляють, «зайву» вторсировину вивозять до сусідів, а те, що не переробляється, спалюють. В якості основи для штучних островів використовується зола від сміття, тому острови Одайба і Теннозу зробили з промислових відходів. На таких островах будують заводи, аеропорти та парки.

1.7 Висновки за розділом

За останніми даними, у 2018 році в Україні було утворено майже 54 млн м² Побутових відходів, тобто понад 9 млн тонн. Планується, що це сміття буде захоронено на 6 тис. полігонів і полігонів, загальною площею 9 тис. га. За даними того ж джерела, в Україні є 256 перевантажених сміттєзвалищ, а 1347 сміттєзвалищ не відповідають стандартам екологічної безпеки.

Основним способом утилізації в Україні є захоронення відходів на полігонах твердих побутових відходів, тобто полігонах. В ідеалі всі вони повинні працювати за певними правилами та вимогами, регламентованими законодавством України. Полігон має бути організований таким чином, щоб унеможливити негативний вплив процесу розкладання відходів на довкілля та здоров'я людей протягом усіх 20 років експлуатації. За статистикою, в нашій країні їх 6,5 тис. таких полігонів, що займають 7% території. Окрім цих легальних сміттєзвалищ, у нас є 35 тисяч незаконних сміттєзвалищ. Загальну площу величезних сміттєзвалищ в Україні можна порівняти з площею всієї Данії (понад 43 тис. км²).

Основною складністю на шляху до переробки ТПВ є відсутність у нашій країні системи роздільного збору сміття, яка є неминучою умовою для його глибокого рециклінгу. Так, 60-80% морфологічного складу ТПВ є потенційна сировина для використання в промисловості (35-45%) або компостування (25-35%). Однак сортування змішаних та перевезених в одному сміттевозі ТПВ дозволяє витягти лише 11-15% вторинних ресурсів.

При цьому практично неможливо використовувати біорозкладні (органічні) відходи. Крім того, сортування, пресування та компостування не тільки спрощує процес переробки відходів, а й дозволяють знизити їх обсяг у 7-16 разів. Для порівняння: спалювання зменшує обсяг відходів лише в 10 разів, але при цьому підвищується їхня токсичність, що негативно позначається на екології міст, а обходиться це втричі дорожче.

Інтенсифікувати використання відходів як вторинних матеріальних ресурсів можна, лише створивши при цьому більш сприятливі організаційні, нормативно-правові та економічні умови, що вимагатиме значного посилення державного регулювання у цій галузі, а також вдосконалити існуючі на сьогодні системи сортування відходів.

2 ЕКСПЛУАТАЦІЯ СМІТТЕСОРТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ В УКРАЇНІ

Тверді побутові відходи є сумішшю різних за фізичним станом, крупністю і властивостями органічних і неорганічних елементів складного компонентного і хімічного складу (макулатура, чорний і кольорові метали, пластмаси, текстиль, харчові та рослинні відходи тощо). Склад ТПВ (рисунок 2.1) може змінюватися в часі (у тому числі за сезонами року) та залежить від місця розташування населеного пункту, його величини, рівня розвитку промисловості та низки інших показників [25].

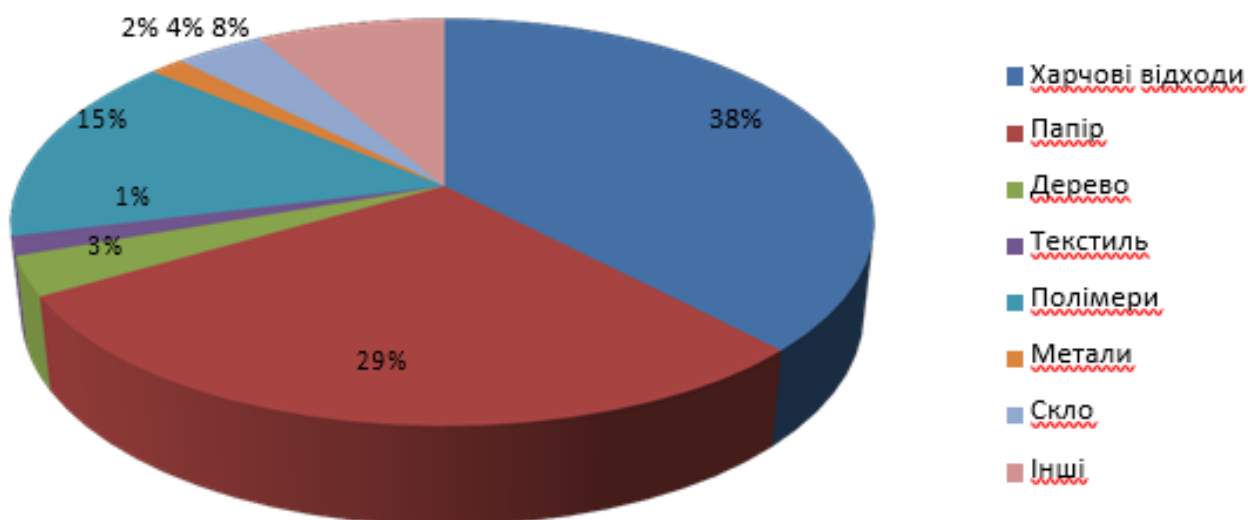


Рисунок 2.1 – Середньостатистичний склад ТПВ на звалищах України

Фракційний склад твердих побутових відходів – це відсотковий вміст маси компонентів, що проходять через сита з осередками різного розміру (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 - Орієнтовний фракційний склад ТПВ, % за масою

Компонент	Розмір фракції, мм				
	понад	150-250	100-150	50-100	менше
Папір, картон	3-8	8-10	9-11	7-8	2-5
Харчові відходи	-	0-1	2-10	7-12,6	17-21
Дерево	0,5	0-0,5	0-0,5	0,5	0-0,5
Метал	-	0-1	0,5-1	0,8-1,6	0,3-0,5
Текстиль	0,2-1,3	1-1,5	0,5-1	0,3-0,8	0-0,6
Пластмаса	0-0,2	0,5-1	1-2,2	1-2,5	0,2-0,5
Скло	-	0-0,3	0,3-1	1-2	1-1,6
Кістки	-	-	-	0,3-0,5	0,5-0,9
Шкіра, гума	-	0-1	0,5-2	0,5-1,5	-
Камені	-	-	0,2-1	0,5-1,8	0,5-2
Інше	0-0,3	0,2-0,6	0-0,5	0-0,4	0-0,5
Відсів	-	-	-	-	4-6

Ресурсний потенціал твердих побутових відходів визначається як відношення сумарної маси компонентів ТПВ, що становлять цінність як вторинні ресурси, до загальної маси відходів. У цьому перелік компонентів, які вважаються вторинними ресурсами, то, можливо принципово різним. У загальному випадку до потенційно цінних компонентів відносять сукупність металів, скла, полімерів та макулатури, іноді цей перелік також включається текстиль. Ресурсний потенціал ТПВ складається з матеріального, енергетичного та біологічного потенціалів [13].

«Матеріальний потенціал оцінюється з погляду можливого вилучення вторинної сировини. Потенціал вторинної сировини – відношення сумарної маси компонентів твердих побутових відходів, що становлять цінність як вторинну сировину до загальної маси відходів. Енергетичний потенціал – відсоток сумарної маси компонентів ТПВ, здатних розкладатися та/або окислюватися в умовах високих температур із виділенням енергії. Біологічний потенціал – співвідношення сумарної маси компонентів твердих побутових відходів, здатних розкладатися внаслідок біохімічних трансформацій з утворенням вуглекислого газу, біогазу та гумусоподібних сполук, та загальної маси ТПВ» [15].

Сортування – поділ та/або змішання відходів згідно з певними критеріями на складові, що якісно розрізняються. Метод зазвичай дозволяє

виділити із загального потоку ТПВ вторинну сировину (витяг матеріального потенціалу) певного складу та якості для подальшої переробки, дрібну фракцію (витяг біологічного потенціалу), яка може бути піддана компостуванню. Частина ТПВ, що залишилася після сортування, так звані «хвости», можуть бути використані для отримання палива або відправлені на поховання з можливістю отримання біогазу (витяг енергетичного потенціалу) [4]-[8].

Первинний процес сортування твердих побутових відходів може здійснюватися безпосередньо у житлових приміщеннях чи контейнерних майданчиках, які передбачають роздільний збір відходів. Початкове сортування відходів у місцях їх утворення значно полегшує всі наступні процедури поводження з відходами. Відходи транспортуються або на сміттесортувальний комплекс (змішані відходи), або на сміттєпереробний завод, а також транспортування може проводитися на сміттєперевантажувальну станцію і полігон як підсумкове місце поховання відходів [1], [8].

Сортування змішаних твердих побутових відходів на сміттесортувальних комплексах поділяється на:

- ручну;
- з елементами автоматичного;
- автоматичну.

Ручне сортування має на увазі під собою ручний відбір вторинної сировини. Після сміттєвозу відходи надходять на розподільний конвеєр, а потім на сортувальний конвеєр, де люди відбирають певний вид вторинної сировини. Кількість постів для відбору (папір, картон, пластик, скло і т. д.) вторинної сировини залежить від кількості фракцій, що відбираються, кожен пост обслуговується одним або двома робітниками. Відходи, що залишилися, доставляються на полігон поховання твердих побутових відходів за допомогою спецтехніки. Іноді відходи перед транспортуванням проходять через пресування [2], [8].

При сортуванні з елементами автоматичного вручну відокремлюються великогабаритні та заважають включення (великі плівки, великий текстиль і металобрухт тощо). Розрив пакетів з відходами проводиться вручну або за допомогою спеціальних пристроїв (розривників пакетів), що забезпечують також розпалювання розкритих пакетів. За допомогою спеціальних пристроїв (барабанних гуркотів, вібросит) відходи поділяються на різні по фракції. За допомогою магнітного та електродинамічного сепаратора відокремлюються відповідно чорні та кольорові метали. Для підвищення якості виділення цільових компонентів відходів можливе використання додаткових пристроїв, що сепарують (наприклад, сепаратор барабанного типу та ін.) [3], [9].

Автоматичне сортування ґрунтується на визначенні придатних для вторинного використання компонентів твердих побутових відходів за допомогою рентгенівського або інфрачервоного випромінювання. Автоматизовані системи відбору вторинної сировини значно підвищують ефективність та продуктивність процесу сортування [10], [18].

Переваги та недоліки ручного та автоматичного методу сортування наведені у таблиці 2.2

Відсоток відбору вторинних матеріальних ресурсів при ручному сортуванні становить близько 7-10%. При автоматичному сортуванні цей показник становить близько 16-20%.

Таблиця 2.2 – Переваги та недоліки ручного та автоматичного методу сортування

Вид сортування	Переваги	Недоліки
Ручнѳ	- Простота обладнання; - Чистота виділених компонентів; - низька вартість.	- Високі вимоги до техніки безпеки; - Неповне вилучення різних фракцій ТПВ; - складність проведення ідентифікації матеріалу на основі лише візуального огляду; - Низька швидкість відбору;
Автоматичнѳ	- Чистота виділених компонентів; - Висока швидкість сортування;	- Висока вартість обладнання; - необхідність попередньої підготовки до автоматичного сортування;
	- Можливість сортування по багатьом параметрам (колір, форма, густина і т.д.).	- Поява нових матеріалів, відсутніх у базі даних оптичного сканера.

Існує безліч різноманітних технічних рішень процесу сортування ТПВ на сміттесортувальних комплексах. Одні відрізняються своєю простотою та низькими матеріальними витратами та містять у своїй основі використання ручного сортування з деякими елементами автоматизації процесу. Інші, навпаки, складні в експлуатації, мають досить великий технологічний ланцюг і великі витрати на етапі проектування та будівництва. Вони включають застосування технології розпізнавання ВМР на базі рентгенівського або інфрачервоного випромінювання з подальшим їх вилученням за допомогою різного виду сепараторів.

Вибір того чи іншого варіанта технології сортування твердих побутових відходів залежить від таких факторів, як:

- фінансові можливості на проектування та утримання сміттесортувального комплексу;
- розташування сміттесортувального комплексу та розмір промислового майданчика, що виділяється під забудову;
- задана продуктивність;
- компонентний склад твердих побутових відходів;

- кількість компонентів, що входять до складу ТПВ, які в даних техніко-економічних умовах становлять практичну цінність і повинні витягуватися в самостійний продукт (чорні метали, кольорові метали тощо), наявність споживачів цієї продукції;

- число компонентів, які є небезпечними та повинні бути видалені з ТПВ або з екологічних міркувань, або виходячи з вимог подальшої обробки;

- вимоги екологічних та санітарно-гігієнічних норм з урахуванням фонових забруднень території.

2.1 Обґрунтування актуальності модернізації діючих сортувальних комплексів

Технологічна схема сортування твердих побутових відходів індивідуальна кожному за підприємства і підбирається з маси (обсягу) вхідного потоку відходів, їх компонентного складу, попиту окремі види вторинної сировини та наявних площ [24].

Необхідність модернізації діючого сортувального комплексу ТОВ «ЕкоРесурсПоволжя» полягає в тому, що через відсутність у місті Тольятті роздільного збору сміття лінії ручного сортування, що застосовуються на даному підприємстві, не дають можливості достатнього відбору вторинних матеріальних ресурсів, через це відбувається їх часткова втрата. Це негативно позначається на економіці та екології підприємства міста в цілому, т.к. замість рециклінгу відходів та повернення їх у товарообіг, вони вирушають на полігони та звалища, тим самим втрачаючи свою матеріальну цінність. Дане висловлювання можна підтвердити, вивчивши морфологічний склад другого хвоста, наведений у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Морфологічний склад другого хвоста

№	Фракція	Середня частка від загального тоннажу другого хвоста, %	Маса, т/год
1	Органічні речовини (природна органіка)	3,97	0,70
2	Папір, картон	22,48	3,95
3	Деревина	19,34	3,40
4	Текстиль	8,02	1,41
5	Гума	1,76	0,31
6	Полімерні матеріали	17,33	3,04
7	Чорний метал	1,73	0,30
8	Скло	11,35	1,99
9	Пісок, ґрунт	14,02	2,46

У другому хвості міститься 22,48% паперу та картону, 17,33% полімерних матеріалів. Ці матеріали є вторинними матеріальними ресурсами і можуть бути повторно залучені до товарообігу після рециклінгу.

На даний момент лінія ручного сортування працює в оптимальному режимі. Якщо спробувати домогтися збільшення відсотка відбору ВМР за рахунок збільшення швидкості конвеєра, то може статися ще більша втрата, тому що люди фізично не встигатимуть відокремлювати їх від загального потоку. Якщо ж навпаки знизити швидкість конвеєра, може відбутися перевантаження самого комплексу внаслідок недостатньої швидкості переробки всього потоку.

На підставі цього можна зробити висновок про те, що додавання обладнання та лінії сортування, ускладнення технологічного процесу допоможе збільшити відсоток відбору вторинних матеріальних ресурсів і знизити обсяг відходів вступників на полігон.

2.2 Модернізація діючого сортувального комплексу

2.2.1 Опис технологічного процесу сортування

Доставка твердих побутових відходів на сміттесортувальний комплекс відбувається за допомогою спеціального автотранспорту: сміттєвозів та автопоїздів.

Кожен сміттєвоз, що прибуває на комплекс, проходить зважування на автоматичних терезах.

Розвантаження сміттєвозів з нерозділеними відходами, що надходять на комплекс, провадиться у відділенні прийому ТПВ. При розвантаженні працівниками контролю ТПВ проводиться візуальний огляд прийнятих відходів, в результаті якого відбираються небезпечні компоненти. Відібрані небезпечні компоненти накопичуються окремо відповідно до їх класу небезпеки та передаються для подальшої утилізації та знешкодження спеціалізованим організаціям, які мають відповідну ліцензію [26].

Приймальне відділення комплексу є бетонованим майданчиком, в якому знаходяться три заглиблені конвеєри, що подають відходи на три сортувальні лінії, розташовані в закритому приміщенні.

Попереднє ручне сортування проводиться у приймальному відділенні шляхом вилучення з підготовленого шару ТПВ наступних компонентів:

- крупногабаритних та масивних предметів (КГМ), здатних вивести з ладу обладнання комплексу;
- деревних відходів;
- картону.

Відібрані компоненти складуються в окремі бункери, встановлені в безпосередній близькості від зони попереднього сортування, і в міру заповнення вивозяться на технологічні долі або відправляються на полігони.

Після завершення попереднього сортування шар відходів зсувається за допомогою трактора на конвеєр, що подає. За конвеєром відходи подаються в динамічний сепаратор.

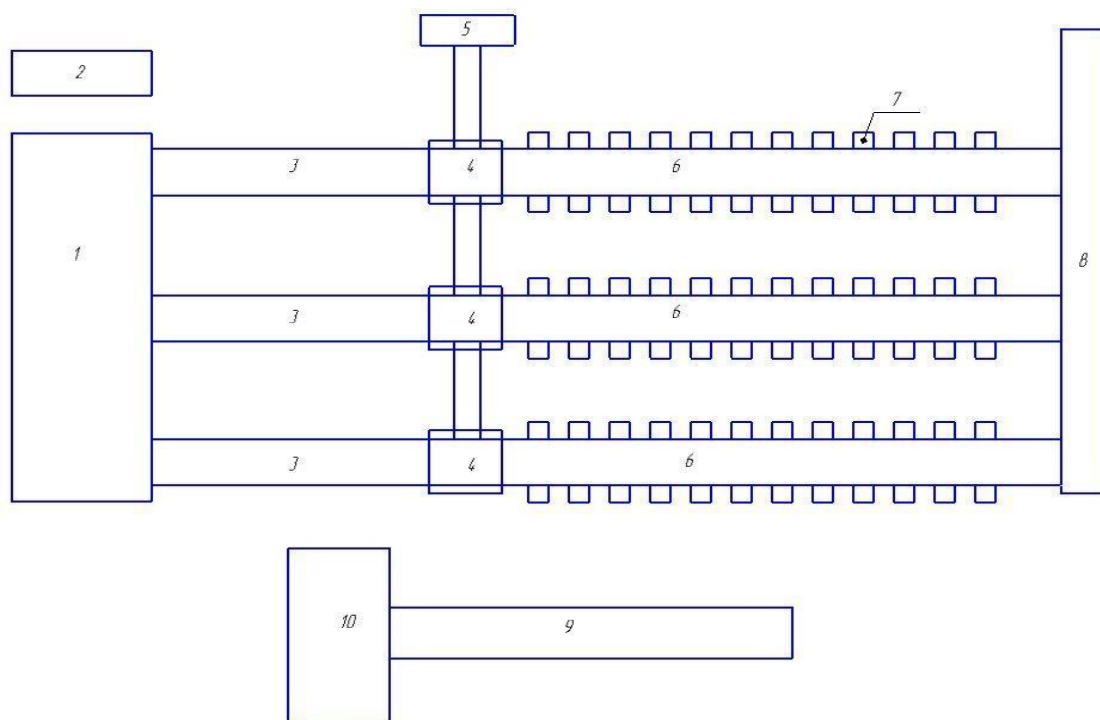
«У процесі сепарування відходи поділяються на два потоки, представлені нижнім та верхнім продуктами. Нижній продукт представлений дрібними фракціями відходів менше 50 мм, що містять в основному органічні (харчові) залишки, кошторисів. Вони накопичуються у пересувному бункері й у міру заповнення вивозяться на полігон для поховання» [26].

Верхній продукт є фракції ТПВ, що містять вторинні матеріальні ресурси, які надходять на лінію ручного сортування, тобто подається на три горизонтальні конвеєри, що розподіляють відходи до робочих місць виробничих робітників, де вручну здійснюється відбір вторинних матеріальних ресурсів (ВМР).

ВМР, що відбираються, скидаються вручну в приймальні осередки, розташовані біля кожного робочого місця. Вторинні матеріальні ресурси, придатні пресування, відправляють у зону пресування. Спресовані ВМР відправляють складу [26].

Технологічна схема викладеного вище процесу наведена рисунку 2.2.

Відходи, що залишилися після ручного сортування, є неутилізованою сумішшю, і направляються стрічковим транспортером в кузов спецтранспорту, який вивозить відходи на полігон.



1 - пункт прийому ТПВ, 2 - бункер для зберігання КГМ (крупногабаритні масивні предмети і матеріали), 3 - конвеєр, що подає, 4 - динамічний сепаратор, 5 - пересувний бункер для фракції відходів менше 50 мм, 6 - лінія ручного сортування, 7 - приймальні осередки для ВМР, 8 - стрічковий транспортер, 9 – конвеєр, що подає, 10 – прес

Рисунок 2.2 – Технологічна схема процесу сортування

2.2.2 Визначення шляхів удосконалення пропонованого технологічного процесу. Опис пропонованого технологічного процесу

Для модернізації сортувального комплексу необхідно розробити технологічну схему, завдяки якій можна буде підвищити відсоток відбору вторинних матеріальних ресурсів.

Введення на початок технологічного процесу розривників пакетів дозволить створити єдиний потік твердих побутових відходів, придатний для сортування.

Для більш повного відбору фракції не менше 50 мм, ввести послідовну лінію, що складається з трьох сепараторів (барабанного, оптичного та балістичного).

Барабанний сепаратор дозволить розбити потік ТПВ на три фракції:

- від 0 до 70 мм, яка йтиме в перший відсів;

- від 70 до 300 мм, з якої відбудуватиметься відбір вторинних матеріальних ресурсів

- більше 300 мм, яка проходитиме платформу контролю якості і далі йтиме в другий відсів.

Оптичний та балістичний сепаратори дозволять відбирати пластики та не пластики та спрямовувати їх на відповідні платформи контролю якості.

Також необхідно окремо ввести магнітні сепаратори для відбору чорних металів. Для відбору кольорових металів призначені вихрострумові магнітні сепаратори, але їх установка в даній технологічній схемі нерентабельна, тому що відсоток відбору кольорових металів невеликий.

Кольорові метали, що надійшли на комплекс, будуть відбиратися в одному з пунктів контролю якості.

Весь процес поєднаний в один нерозривно пов'язаний комплекс за допомогою різних видів конвеєрів (ланцюгового та стрічкового).

Використання зазначеного вище обладнання дозволить скоротити кількість ліній сортування до двох.

Згідно з описаними варіантами модернізації, пропонований технологічний процес включатиме наступні операції:

- зважування сміттєвозу на автоматичних вагах;

- розвантаження сміттєвозу у відділенні прийому твердих побутових відходів, візуальний огляд та відбір КГМ;

- завантаження відходів на лінії сортування за допомогою ланцюгового конвеєра;

-прохід відходів через обладнання для розриву пакетів, тим самим створення однорідної суміші відходів доступною для подальшого сортування;

-далі потік відходів за допомогою стрічкових конвеєрів направляється на пункт попереднього сортування, в якому відбувається відбір ТПВ і склотари різних кольорів (коричнева, зелена, прозора), частина ВМР також буде відправлятися на платформу контролю якості (міх);

-після цього потік ТПВ стрічковими конвеєрами відправляється в барабанний сепаратор, в якому відбувається його поділ на три фракції (від 0 до 70 мм, від 70 до 300 мм і більше 300 мм);

-далі фракція від 0 до 70 мм прямує в магнітний сепаратор, а після нього йде в перший відсів;

-фракція більше 300 мм прямує на платформу контролю якості (> 300), де відбуватиметься відбір картону та плівки ПВД;

-фракція від 70 до 300 мм проходить оптичний сепаратор, в якому вона поділяється на два потоки: полімери та неполімери;

-полімери відправляються в балістичний сепаратор, в якому вони діляться ще на два потоки: 3D та 2D;

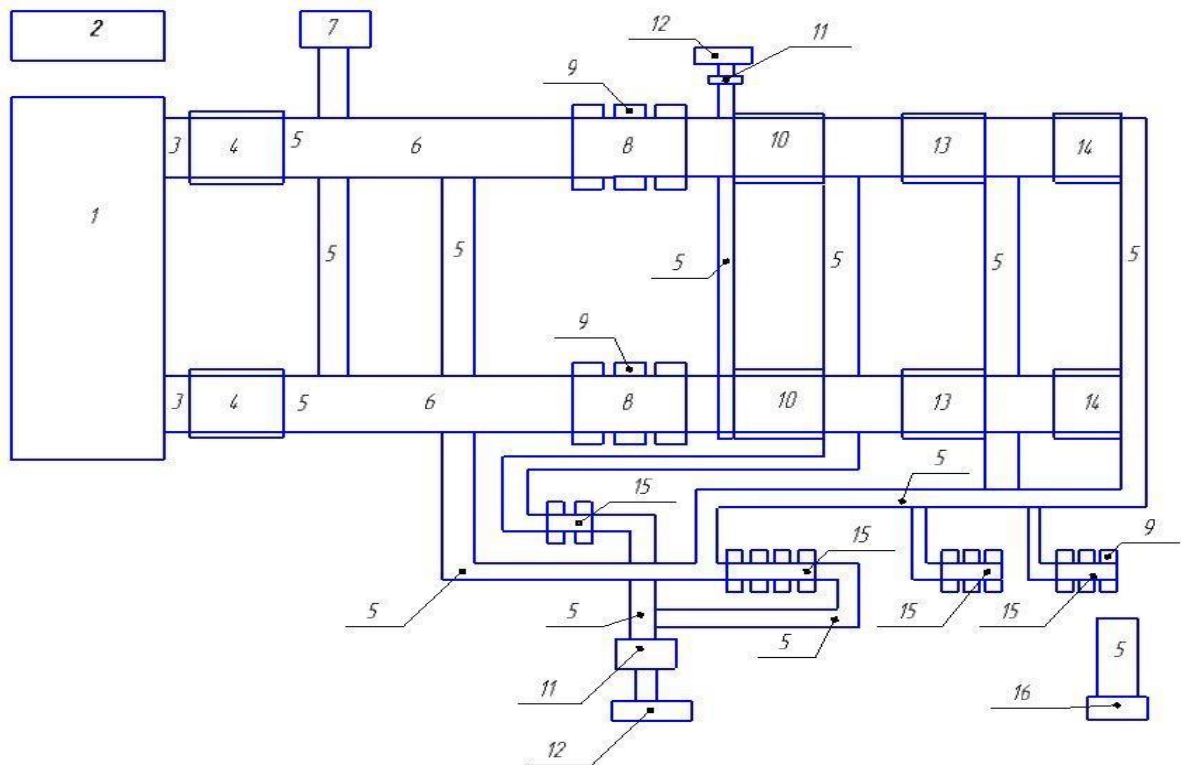
-3D фракція йде на платформу контролю якості (ПЕТ та 3D), в якій відбувається відбір ПЕТ, ПНД каністри, ПНД тюрбика та пластика 3D;

-2D фракція йде на платформу контролю якості (2D), в якій відбувається відбір плівки ПВД та пластику 2D;

-неполімери направляються на платформу контролю якості (міх), де відбирається папір, картон, пластик та кольоровий метал;

-після платформ контролю якості (міх) та (>300) потік ТПВ спрямовує на магнітний сепаратор, де відбираються чорні метали;

-з усіх постів якості ВМР скеровуються на прес. Даний технологічний процес представлений рисунку 2.3.



1 – пункт прийому ТПВ, 2 – бункер для зберігання КГМ (крупногабаритні масивні предмети і матеріали), 3 – ланцюговий конвеєр, 4 – розривник пакетів, 5 – стрічковий конвеєр, 6 – платформа попереднього сортування, 7 – бункер для зберігання КГМ (крупногабаритні масивні предмети і матеріали), 8 – пункт відбору склотари, 9 – приймальні осередки для ВМР, 10 – барабанний сепаратор, 11 – магнітний сепаратор, 12 – бункер для збору відсіву, 13 – оптичний сепаратор, 14 – балістичний сепаратор, 15 – пункт контролю якості, 16 – прес

Рисунок 2.3 – Технологічна схема пропонованого процесу сортування

Відходи, що залишилися після платформ контролю якості (міх) і (> 300) і магнітного сепаратора, являє собою відсів, звільнений від металевих включень, який направляється стрічковим транспортером в бункер для збору та подальшої утилізації.

2.2.3 Вибір основного обладнання для модернізації діючого сортувального комплексу

Розривник пакетів для сміття. Розривник є стаціонарною установкою, призначеною:

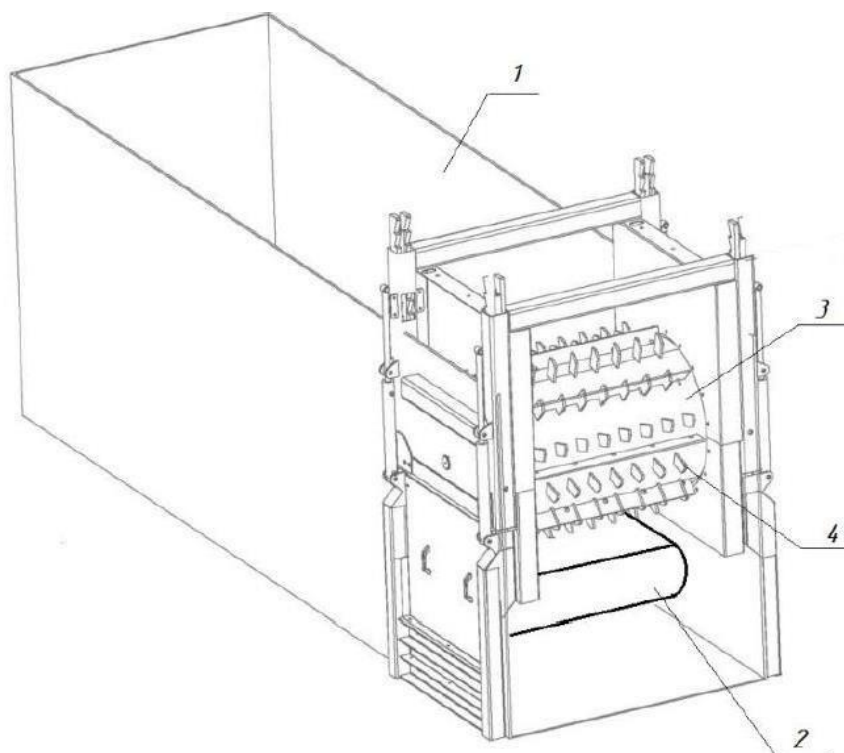
- для розтину та спорожнення мішків з полімерних плівок, заповнених відходами та/або вторинною сировиною;

- для рівномірної подачі у сортувальну або підготовчу установку.

Конструкція розривача є звареною рамою із сталевих труб, закритою сталевими листами, із захисним покриттям. Усередині рами розташовується барабан, що розриває. Його корпус складається із двох частин, на яких із зовнішнього боку встановлені кільцеві сегменти. На кільцях закріплені розривні елементи усіченої форми.

Розривний барабан приводиться в рух двома гідравлічними двигунами. Пакети розриваються через асинхронний рух кільцевих сегментів відносно один одного, що призводить до майже 100% розриву та спорожнення смітєвих мішків. Розрізають ножі наварюються на барабан, що розриває. Крім того, на рамі розташовані притиски, які виготовлені із твердих сталевих труб. Притиски закріплені до верхньої частини рами з можливістю повороту і наводяться в робочий рух в напрямку барабана, що розриває, за допомогою гідравлічного циліндра.

Схема розривача пакетів представлена рисунку 2.4.



1 - бункер-накопичувач, 2 - живильний конвеєр, 3 - барабан,
4 - барабанний ніж

Рисунок 2.4 – Схема розривача пакетів

Сепаратори барабанні. Сепаратор барабанний призначений для відсіву найдрібнішої та найважчої фракції твердих побутових відходів (грунт, пісок, сніг та лід – у зимовий час, щебінь, уламки скла, харчові відходи).

Сепаратор являє собою горизонтально встановлений гвинтовий барабан, що транспортує, з секціями просіюючих сит. На внутрішній поверхні барабана наварені лопаті, що утворюють шнекову поверхню, що переміщують відходи вздовж осі барабана до вихідного торця і додатково розпушують їх.

«Барабан обертається в опорах, що рухаються електродвигуном через редуктор і ланцюгову передачу. При пуску (обертанні) барабана тверді побутові відходи, подані до нього з переднього кінця, переміщуються по шнековій поверхні вздовж осі барабана і висипаються з іншого кінця. При

цьому відбувається відсіювання дрібної фракції крізь осередки сит і розпушення маси відходів, що переміщується» [15].

Схема барабанного сепаратора наведено рисунку 2.5.

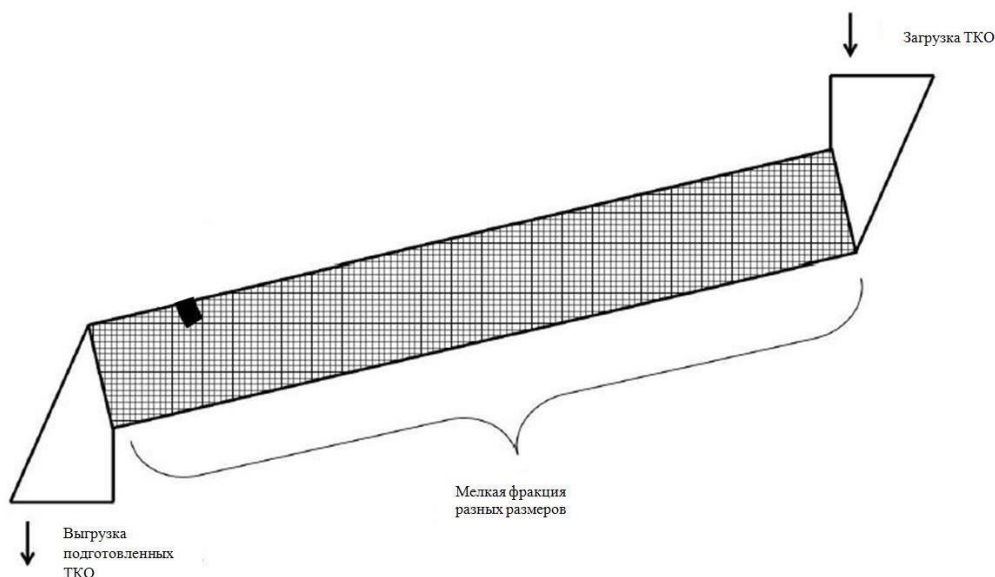


Рисунок 2.5 – Схема барабанного сепаратора

Магнітний сепаратор чорних металів. Сепаратор виконаний у вигляді короткого стрічкового конвеєра із постійним магнітом, закріпленим на підвісах. Сепаратор розташований над конвеєром стрічковим сортувальним перпендикулярно його осі і призначений для відбору та видалення магнітних фракцій ТПВ. Принцип дії сепаратора полягає в притягуванні чорних металів постійним магнітним полем до транспортної стрічки, що рухається, з подальшим скиданням їх у місці збору (рисунок 2.6).

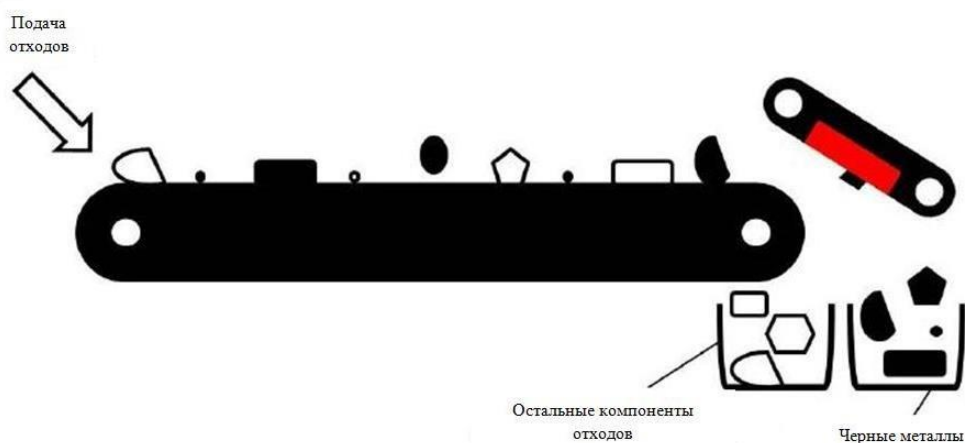
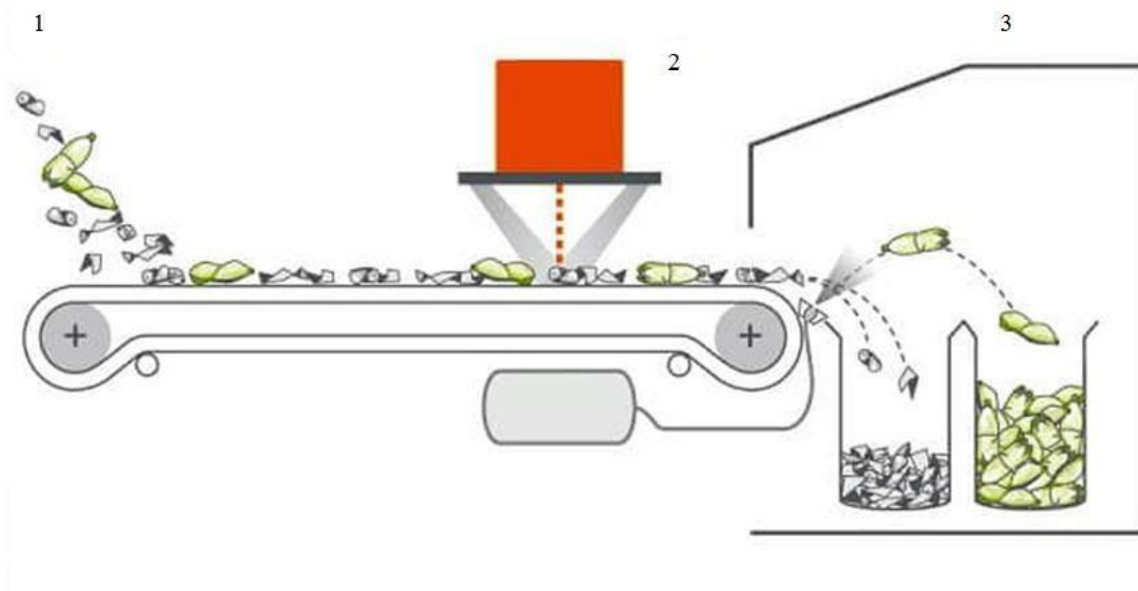


Рисунок 2.6 – Схема магнітного сепаратора

Транспортер магнітного сепаратора розташовується перпендикулярно до руху і на відстані до 250 мм вище транспортної стрічки з відходами. Під час переміщення відходів через зону дії магнітного поля сепаратора, створюваним постійними магнітами на ділянці певної довжини, магнітні фракції притягуються до сепаратора, які переміщення і скидання здійснюється рухом транспортної стрічки сепаратора [15].

Оптичний сепаратор «Спектроскопія у видимій області або фотосортировка – технологія розпізнавання кольорових матеріалів. Технологія дозволяє визначати матеріал, порівнюючи спектральну характеристику відбитого від поверхні матеріалу світлового сигналу, що розпізнається, з інформацією, що міститься в базі даних системи. Матеріал, що вивчається, опромінюється монохроматичним світлом (тобто світлом з однаковою довжиною хвилі) за допомогою спеціальних ламп або лазерів» [15].

Схема оптичного сепаратора представлена рисунку 2.7.



1 – подача несортованого матеріалу; 2 – спектрометричне сканування; 3 – розділювальна камера

Рисунок 2.7 – Схема оптичного сепаратора

Сировина (1) надходить на стрічку конвеєра, де вона розпізнається детектором із ближньою інфрачервоною або візуальною спектрометрією (2). Якщо сенсори сигналізують, що даний матеріал повинен бути відокремлений, блок управління отримує команду продувку відповідних клапанів на вихідному модулі, розташованому в кінці конвеєрної стрічки.

Відсортований матеріал відокремлюється від потоку відходів струменем стисненого повітря. Відсортований матеріал ділиться на дві або три фракції камери відділення (3).

Сепаратор балістичний. Балістичний сепаратор застосовується для розподілу потоків відходів за фізичними параметрами: обсяг, вага, форма.

«Всередині сепаратора розміщена похила поверхня, яка здійснює кругові рухи. Похила поверхня складається з секцій, на яких змонтовані лопаті-зачеми, що визначають характер руху різних компонентів відходів за фізичними параметрами (плоска фракція – плівки, картон, папір тощо) та об'ємна фракція – ПЕТ-пляшки, ПЕ-тара, "Тетрапак"). Плоскі легкі компоненти при зачепленні лопастями транспортуються вгору похилою поверхнею, важкі об'ємні компоненти, здійснюючи складний рух, переміщаються вниз похилою поверхнею» [15].

Для оптимального використання балістичного сепаратора можна регулювати кут нахилу поверхні в залежності від призначення вилучення необхідних компонентів. Сепаратор даного типу дозволяє розпушувати та рівномірно розподіляти матеріали на конвеєрних стрічках, що сприяє більш ефективному поділу на компоненти на наступних операціях технологічного процесу» [15].

Схема балістичного сепаратора представлена рисунку 2.8.

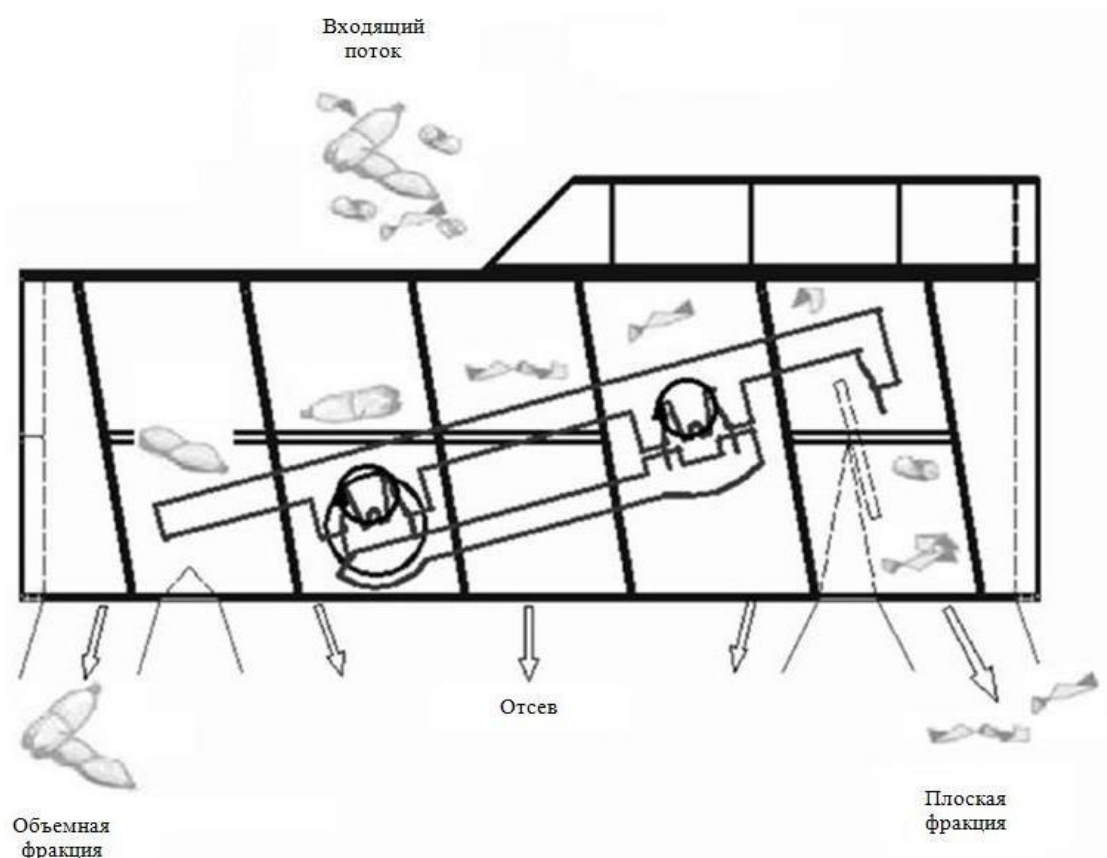


Рисунок 2.8 – Схема балістичного сепаратора

На основі таблиці 2.4 виберемо обладнання, яке підійде для модернізації сортувального комплексу.

Розривник пакетів повинен відповідати наступним параметрам: продуктивність до 20 т/год та потужність 34 кВт. Даним параметрам відповідає розривник пакетів марки EMG РП 1-15-18.

Барабанний сепаратор повинен відповідати наступним параметрам: продуктивність до 20 т/год та забезпечувати поділ на три фракції (0-70 мм, 70-300 мм, > 300 мм). Даним параметрам відповідає барабанний сепаратор марки "Екомашгруп".

Магнітний сепаратор для першого хвоста повинен відповідати наступним параметрам: потужність 2,2 кВт та ширина стрічки 1000 мм. Даним параметрам відповідає магнітний сепаратор марки Gauss Magnetti SM 80100 NS.

Магнітний сепаратор для другого хвоста повинен відповідати наступним параметрам: потужність 3 кВт та ширина стрічки 1200 мм. Даним параметрам відповідає магнітний сепаратор марки Gauss Magnetti SM 120.120 NS.

Оптичний сепаратор повинен відповідати наступним параметрам: потужність 1,9 кВт та поділ фракції на полімер та неpolімер. Даним параметрам відповідає оптичний сепаратор марки TOMRA AUTOSORT Sattelitte 1/2 (B-2800).

Балістичний сепаратор повинен відповідати наступним параметрам: потужність 5,5 кВт та продуктивність 100 м³/год. Даним параметрам відповідає балістичний сепаратор марки BRT Hartner. Зведемо обране обладнання таблицю 2.5.

Розміри даного обладнання вписуються в розміри діючого комплексу, завдяки чому можна здійснити прив'язку лінії сортування ТПВ до параметрів будівлі, що експлуатується.

Таблиця 2.4 – Устаткування автоматичних сортувальних комплексів

№	Марка	Найменування Характеристики	Значення
Розривник пакетів			
1	DKZ-B 50/М3	Продуктивність т/год	до 19
		Номінальна Потужність, кВт	30
2	EMG РП 1-15-18	Продуктивність т/год	до 28
		Номінальна Потужність, кВт	34
Сепаратор барабанний			
3	«Екомашгруп»	Продуктивність,т/год	20
		Потужність, кВт	15
		Кількість фракції	3
4	"Ecotech"	Продуктивність,т/год	15
		Потужність, кВт	7,5
		Кількість фракції	2
Сепаратор магнітний			
5	Gauss Magnetti SM 80.100 NS	Потужність, кВт	2,2
		Висота підвісу, мм	200-300
		Ширина стрічки, мм	1000
6	Steinert UMP 60 100	Потужність, кВт	1,5
		Висота підвісу, мм	250
		Ширина стрічки, мм	1000
7	Gauss Magnetti SM 120.120 NS	Потужність, кВт	3
		Висота підвісу, мм	300-400
		Ширина стрічки, мм	1200
8	Steinert UMP 90 120	Потужність, кВт	2.2
		Висота підвісу, мм	360
		Ширина стрічки, мм	1200
Сепаратор оптичний			
9	AUTOSORT NIR/VIS 1400	Поділ на фракції	ПЕТ
		Номінальна Потужність, кВт	1,6
10	TOMRA AUTOSORT Sattelitte 1/2 (B-2800)	Поділ на фракції	полімер/неполімер
		Номінальна Потужність, кВт	1,9
Сепаратор балістичний			
11	BRT Hartner	Продуктивність, м3/год	100
		Номінальна Потужність, кВт	5,5
№	Марка	Найменування Характеристики	Значення
12	BIANNA SB 40	Продуктивність, м3/год	70
		Номінальна потужність, кВт	5,5

Таблиця 2.5 - Устаткування для модернізації сортувального комплексу

№	Марка	Найменування Характеристики	Значення
1	Розривник пакетів, EMG РП 1-15-18	Продуктивність т/год	до 28
		Номінальна Потужність, кВт	34
		Габарити, мм	8600×2300×2800
2	Сепаратор барабанний «Екомашгруп»	Продуктивність, т/год	20
		Потужність, кВт	15
		Кількість фракції	3
		Габарити, мм	13000×6000×3000
3	Сепаратор магнітний, Gauss Magnetti SM 80.100 NS	Потужність, кВт	2,2
		Висота підвісу, мм	200-300
		Ширина стрічки, мм	1000
		Габарити, мм	2185×1192×390
4	Сепаратор магнітний, Gauss Magnetti SM 120.120 NS	Потужність, кВт	3
		Висота підвісу, мм	300-400
		Ширина стрічки, мм	1200
		Габарити, мм	2410×1595×540
5	Сепаратор оптичний, TOMRA AUTOSORT Sattelite 1/2 (B- 2800)	Поділ на фракції	полімер/неполімер
		Номінальна Потужність, кВт	1,9
		Габарити, мм	9000×5500×1554
6	Сепаратор балістичний, BRT Hartner	Продуктивність, м ³ /год	100
		Номінальна Потужність, кВт	5,5
		Габарити, мм	7750×3246×1452

2.3 Аналіз переваг пропонованого технологічного процесу та оцінка ефективності

Основні переваги пропонованого технологічного процесу полягають у наступному:

Проходження потоку ТПВ через розривники пакетів дозволить отримати рівномірно розподілений на лінії конвеєра придатний потік для подальшого сортування без додаткового ворошення і без залучення персоналу до даного процесу.

Завдяки трьом різним сепараторам (барабанному, оптичному та балістичному) потік ТПВ поділяється на певні фракції, які прямують на пости контролю якості, що дозволяє зробити більш повний відбір ВМР.

Магнітні сепаратори дозволяють позбавитися металевих включень без залучення персоналу до цього процесу.

Також можна виділити екологічні та економічні переваги пропонованого технологічного процесу.

Екологічні переваги полягають у наступному:

- зменшення маси та обсягів розміщених відходів, і як наслідок зниження емісій біогазу в атмосферу та обсягів утворення фільтраційних вод;
- зниження надходження у навколишнє середовище токсичних сполук (важких металів тощо) через попередній відбір частини небезпечних відходів та відділення частини небезпечних відходів разом з дрібною фракцією (наприклад, хімічних джерел струму).

Економічні переваги полягають у наступному:

- продовження терміну експлуатації об'єктів розміщення відходів внаслідок спрямування частини відходів на утилізацію чи знешкодження;
- Можливість виділення та продажу вторинних матеріальних ресурсів;
- Можливість надання нових робочих місць.

Оцінка ефективності запропонованого процесу полягає:

- У розрахунку прибутку від отримання вторинних матеріальних ресурсів;
- У розрахунку плати за розміщення відходів;
- У розрахунку плати за вивезення ТПВ на полігон;
- У розрахунку плати за викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря пересувними джерелами.

Таблиця 2.6 – Порівняння відбору вторинних матеріальних ресурсів застосовуваного та пропонованого технологічних процесів

ВМР	Застосовуваний технологічний процес		Пропонований технологічний процес	
	Відсоток відбору, %	Маса відбору, кг/год	Відсоток відбору, %	Маса відбору, кг/год
Скло коричневе	0,7	280	0,7	280
Скло зелене	1	400	1,0	400
Скло прозоре	1,3	520	1,3	520
Чорний метал	0,1	40	0,8	320
Картон	1,0	400	0,9	360
Плівка ПВД	1,0	400	2,1	840
ПЕТ	2,0	800	3,2	1280
Пластик	1,5	600	0,2	80
Кольорові метали	0,4	160	0,2	80
ПНД каністра			0,4	160
ПНД тубик			0,2	80
Папір міх			0,5	200
Папір А4			0,8	320
РР			0,7	280
Пластик 3D			1,0	400
Пластик 2D			2,0	800
Разом:	9,0	3600	16,0	6400

Прибуток від продажу вторинних матеріальних ресурсів зросте 40,3 млн. грн. на рік та плата за розміщення відходів зменшиться на 8,7 млн. грн. на рік. Також буде відсутня плата за викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря пересувними джерелами, що становить 15,2 тис. грн. на рік.

Технологічна схема запропонованого варіанта полягає у додаванні до вже існуючого комплексу нових елементів, завдяки яким можна підвищити відсоток відбору вторинних матеріальних ресурсів та перейти до більш сучасного виду сортування – автоматичного. Запропонована схема дозволяється підняти відсоток відбору вторинних матеріальних ресурсів від 9 до 16%.

2.4 Висновки за розділом

В даному розділі описаний технологічний процес сортування твердих побутових відходів, що надходять на сміттесортувальний комплекс. Проведено пошук технічних рішень та запропоновано варіант додавання до вже існуючого комплексу нових елементів, завдяки яким можна підвищити відсоток відбору вторинних матеріальних ресурсів та перейти до більш сучасного виду сортування – автоматичного.

Також було зроблено порівняння обладнання, що застосовується на сміттесортувальних комплексах, і на основі даного порівняння підібрано обладнання, яке не тільки відповідає необхідним для збільшення відсоткового відбору вторинних матеріальних ресурсів параметрам, а й вписується у розміри діючого комплексу, завдяки чому можливо здійснити прив'язку лінії сортування ТПВ до параметрів будівлі, що експлуатується.

Технологічна схема запропонованого варіанта полягає у додаванні до вже існуючого комплексу нових елементів, завдяки яким можна підвищити відсоток відбору вторинних матеріальних ресурсів та перейти до більш сучасного виду сортування – автоматичного. Запропонована схема дозволяється підняти відсоток відбору вторинних матеріальних ресурсів від 9 до 16%.

Прибуток від продажу вторинних матеріальних ресурсів зросте 40,3 млн. грн. на рік та плата за розміщення відходів зменшиться на 8,7 млн. грн. на рік. Також буде відсутня плата за викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря пересувними джерелами, що становить 15,2 тис. грн. на рік.

3 ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ СМІТТЕСОРТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

Ще одним зі шляхів підвищення ефективності сміттесортувальних установок, окрім додавання до технологічної схеми додаткового обладнання, це використання сучасних іновативних технологій. Одною із таких технологій може бути створення роботизованого комплексу сортування ТПВ, який дозволить підвищити ефективність сортування та зменшити екологічну небезпеку для робочого персоналу.

3.1 Роботизований комплекс сортування твердих побутових відходів

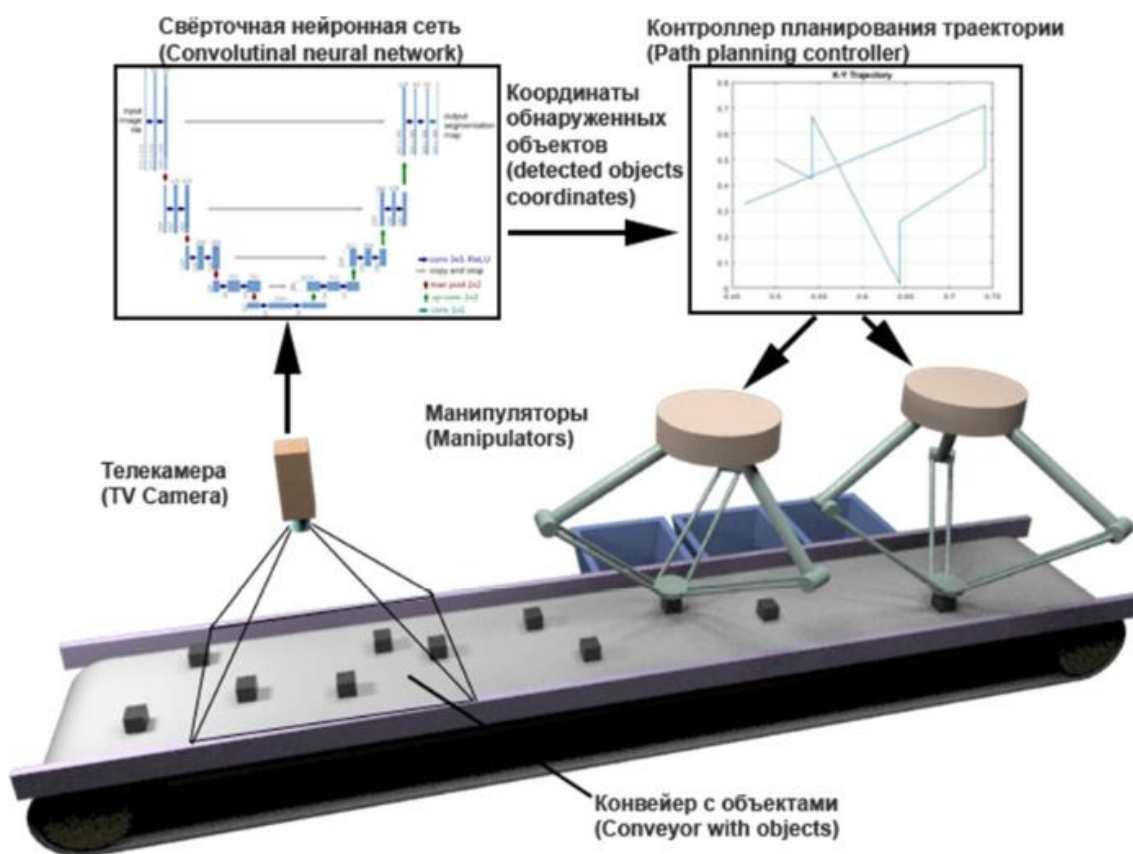


Рисунок 3.1 – Схематичне зображення роботизованого комплексу сортування відходів

Завершальним етапом життєвого циклу будь-якого виробу є його утилізація та переробка. Переробка відходів документально відома з IV ст. е., коли відновлювалися зламані знаряддя, посуд, і навіть металеві вироби.

Одним із стимулів до цього була нестача ресурсів та їхня дорожнеча [40].

Переломний момент у переробці відходів настав наприкінці XX ст. в результаті спільної дії наступних факторів: подорожчання енергії, що використовується; необхідність масової утилізації накопичених виробів електронної техніки з терміном експлуатації, що закінчився (через поломки, моральне старіння тощо); широке використання у побуті виробів із пластмас, які повільно руйнуються в природних умовах; розробка ефективних технологій вилучення з відходів дорогоцінних та рідкісноземельних металів [41].

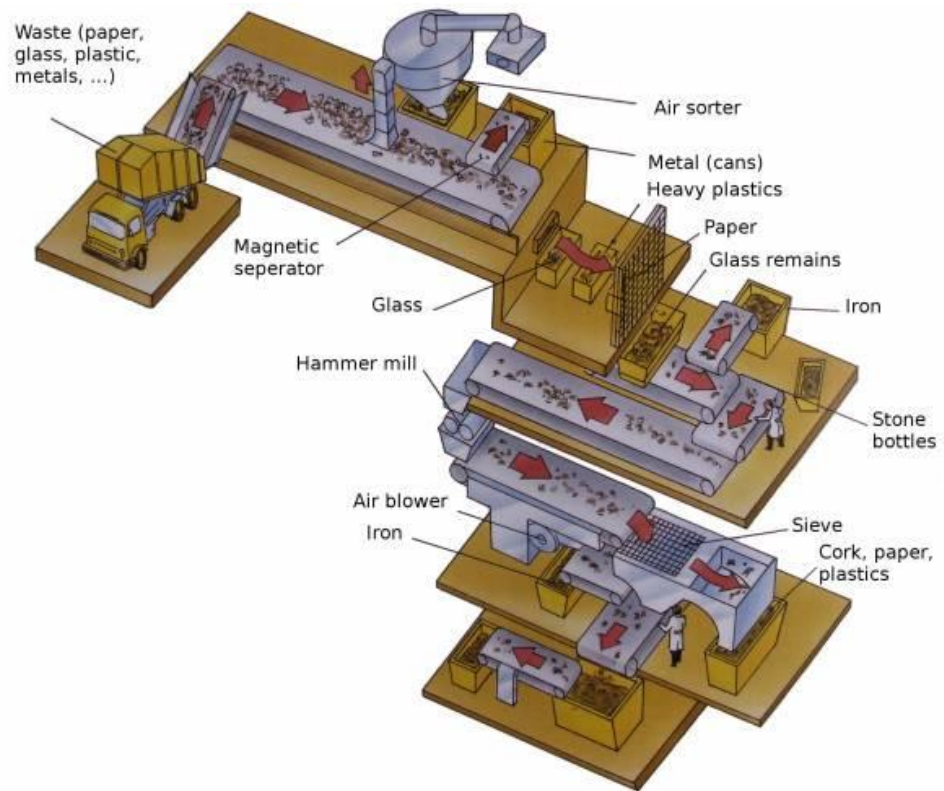
З метою переробки сміття в Україні проектується, будуються та експлуатуються спеціальні заводи, у тому числі які використовують елементи автоматизації. Далі ми для визначеності розглядатимемо певний типовий для України сміттепереробний завод. У складі ТПВ, що надходять на завод, папір та картон складають у середньому 35 %, харчові відходи – 41 %, пластмаси – 3 %, скло – 8 %, метали – 4 %, текстиль та інше – 9 % [32].

Переробка ТПВ на заводі такого типу містить кілька етапів, на кожному з яких фільтрується свого виду відходів (рис. 3.2, а). На першому етапі зі сміття видаляються металеві об'єкти за допомогою магнітного (або електромагнітного) та вихрострумовевого сепараторів.

Далі відбувається сортування (відділення) об'єктів зі скла з використанням центрифуги.

Також за допомогою спеціального пристрою, що засмоктує, фільтруються легкі леткі фракції паперу і картону.

Частина ТПВ подрібнюється в шредері до розмірів 8-12 см.



a)



б)

Рисунок 3.2 – Сміттєпереробний завод: загальна схема (а), ділянка ручного сортування (б)

Однак наведені вище етапи не дозволяють повністю відсортувати ТПВ, а головне, витягти з нього «корисні об'єкти».

Тому на сміттепереробних заводах зазвичай використовується етап ручного відбору, в рамках якого пошук та сортування певного типу сміття здійснюють люди на конвеєрі (рис. 3.2, б).

Етап ручного відбору може виконуватися на різних ділянках, наприклад, при розділенні відходів із пластику або елементів електроніки тощо.

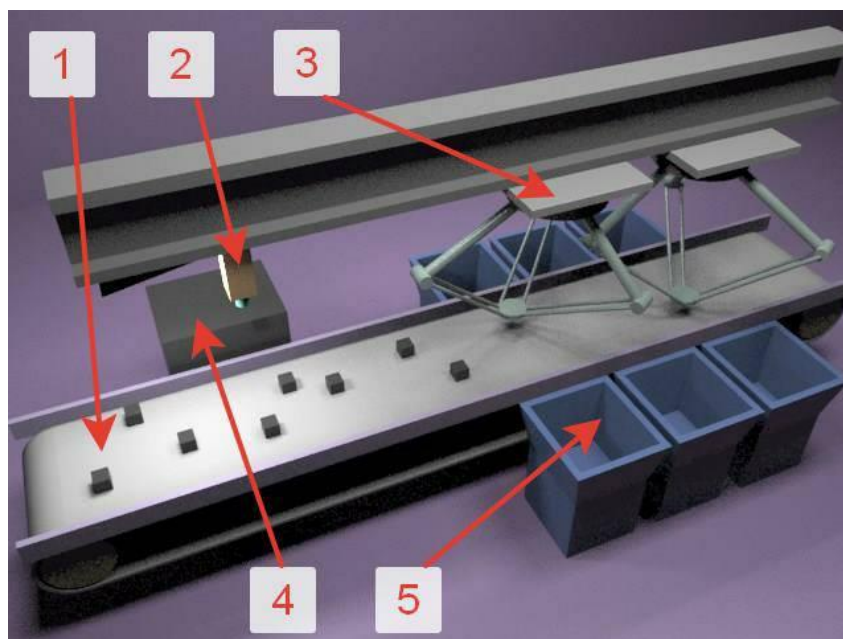
Зазначимо, що при правильній переробці останніх вдається витягти для подальшого використання до 80 % напівдорогоцінних і рідкісноземельних матеріалів, що містяться в них [41].

Однак процеси ручного розбирання сміття досить трудомісткі. Крім того, при цьому може відбуватися «перепустка» об'єктів персоналом. Тому конкретною метою цього розділу роботи є розробка роботизованого комплексу (РК) для сміттепереробного заводу, призначеного для автоматичного детектування та вилучення з ТПВ об'єктів, що належать до категорії радіоелектронних виробів.

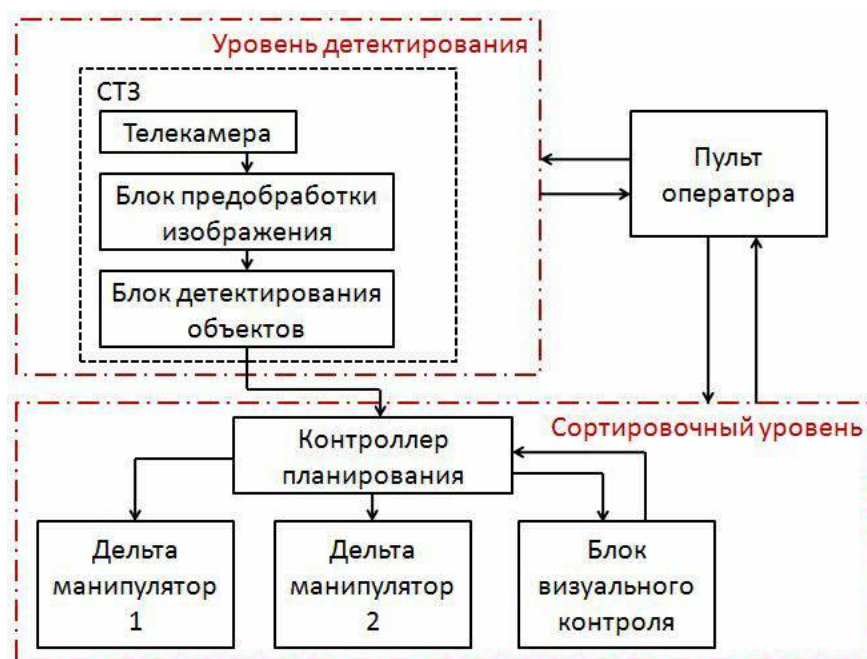
3.2 Структура роботизованого комплексу детектування та сортування (РКДЗ)

РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування), що розробляється, встановлюється над конвеєрною стрічкою, по якій проходять ТПВ (рис. 3.3, а).

Структура системи управління РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування) містить два логічні рівні: рівень детектування та сортувальний рівень (рис. 3.3, б).



а)



б)

Рисунок 3.3 – а – схема роботизованого комплексу: 1 – конвеєрна стрічка, 2 – СТЗ (система технічного зору), 3 – маніпулятори, 4 – пульт оператора, 5 – контейнери відсортованих відходів; б – структура системи управління РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування)

На рівні детектування використовується система технічного зору (СТЗ): об'єкт «2» на рисунку 3.2. Вона включає вертикально розташовану над

конвеєром «1» телекамеру і блок попередньої обробки зображень, що здійснюють запис і візуальну обробку вмісту конвеєра в існуючих умовах освітлення і при заданій швидкості його руху. Завдання сегментації та розпізнавання зображень ТПВ вирішуються в блоці детектування об'єктів. Тут відбувається ідентифікація класу об'єкта, і навіть визначаються координати його геометричного центру (як центру, що описує об'єкт прямокутника).

Основу сортувального рівня складають контролер планування, блок візуального контролю та група виконавчих пристроїв.

Як останні пропонується використовувати два швидкодіючі дельта-маніпулятори «3», розташованих послідовно вздовж конвеєра. При такому розташуванні виключається ймовірність зіткнення маніпуляторів при роботі, і, крім того, у разі пропуску об'єкта першим маніпулятором задіюється другий для усунення помилки. Завданням контролера є планування траєкторії маніпуляторів для забезпечення збору розпізнаних об'єктів та їхнього перенесення в контейнери «5» в умовах руху стрічки конвеєра.

Також контролер розподіляє ці об'єкти між маніпуляторами так, щоб забезпечити їхнє рівномірне завантаження і не допустити перепусток.

Блок візуального контролю підтримує цикл роботи маніпуляторів, здійснює пошук незахоплених об'єктів та передачі зображення робочої зони на пульт оператора «4».

Безпосереднє управління РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування) здійснюється з пульта оператора.

На ньому також відображаються основні робочі параметри РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування), статистика збору ТПВ маніпуляторами та ін.

3.3 Система технічного зору

Основним елементом РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування) є СТЗ (система технічного зору), що дозволяє детектувати об'єкти в робочій зоні та визначати їхню належність до відповідного класу ТПВ.

На даному етапі найбільш актуальним є детектування об'єктів електроніки, акумуляторних батарей та мобільних телефонів, що містять цінні рідкісноземельні метали. Зауважимо, що у випадку робоча зона СТЗ (система технічного зору) містить різні ТПВ й у цілому, є значно недетерминированной.

Вибір параметрів телекамери піддається традиційному алгоритму розрахунку та визначається геометрією робочої зони та кліматичними вимогами.

У той же час визначення структури блоків передобробки та детектування (рис. 3.3, б) є набагато складнішим завданням.

Поряд із застосуванням методів машинного навчання при обробці зображень [35] у рамках цієї роботи пропонується дані блоки будувати на основі технології штучних нейронних мереж (ШНМ).

Аналіз різних топологій цих мереж стосовно завдання ідентифікації об'єктів відомого класу на зображенні недетермінованої сцени показав, що для цього доцільно використовувати згорткові (або конволюційні) нейронні мережі [52].

Конволюційний шар являє собою набір фільтрів, кожен з яких здійснює операцію згортки дискретних функцій зображення f і ковзного вікна g :

$$(f * g)[n] = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f[m]g[n - m],$$

де набір коефіцієнтів вікна індивідуальний кожному за шару. Окремим випадком конволюційного шару є, наприклад, фільтр Собеля [44].

Як функцію активації мережі у цій роботі використовується нелінійна функція ReLU (rectified linear unit). При сильній позитивній активації нейрона

вона дозволяє зберігати градієнт, що ефективно при навчанні ШНМ (штучна нейронна мережа) шляхом зворотного поширення помилки.

При виборі архітектури згорткової ШНМ (штучна нейронна мережа) часто використовують підхід, званий «transfer learning» [43, 50]. Він заснований на використанні готової, вже натренованої (навченої) нейронної мережі, із заміною її повнозв'язкових кінцевих шарів, які відповідають за класифікацію за високорівневими ознаками. Донавчання цієї видозміненої мережі проводиться розробниками на своєму досить обмеженому наборі зображень.

Як готова ШНМ (штучна нейронна мережа) у роботі використовується AlexNet – мережа, розроблена в 2012 р. Олександром Кризевським [39].

Вона була навчена на наборі даних із 1,2 мільйонами зображень та 1000 різними класами з точністю розпізнавання 84,7 % (рис. 3.4). Конволюційні шари у цій мережі служать виділення низько- і високорівневих ознак на зображенні, а пов'язані шари наприкінці служать для класифікації зображення за знайденими наборами ознак.

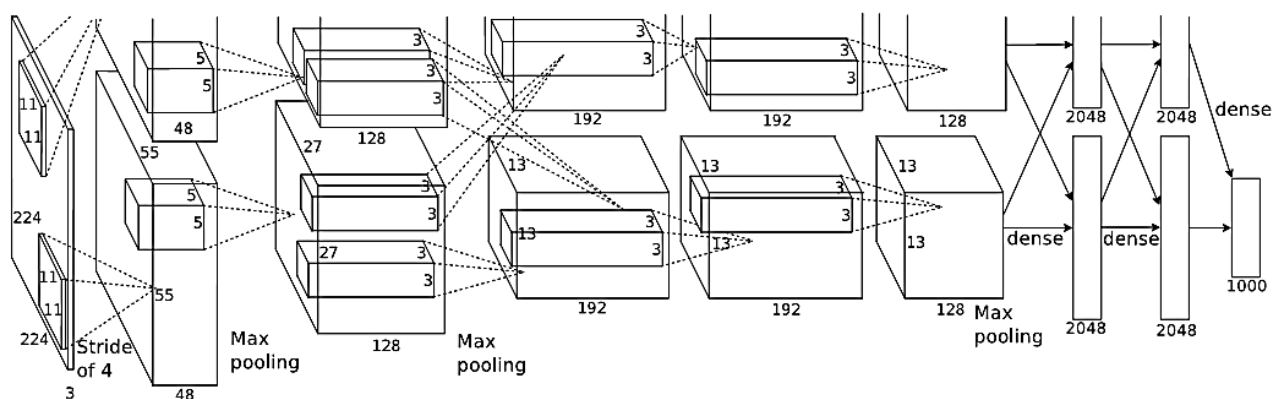


Рисунок 3.4 – Архітектура мережі AlexNet [39]

Для донавчання ШНМ (штучна нейронна мережа) була створена база зображень, що містить зображення об'єктів як бажаних класів, так і інших, які можуть бути виявлені на конвеєрі. Це необхідно для дотримання балансу між класами, щоб ШНМ (штучна нейронна мережа), крім бажаних об'єктів, бачила також інші, вчилася їх розрізняти.

У результаті набір даних містив 11 класів (рис. 3.5):

- циліндричні батарейки/акумулятори форматів AA, AAA;
- акумулятори телефонів;
- батарейки-пігулки;
- картон;
- електроніка, плати;
- скло, тара;
- метал, жерсть;
- папір;
- зламані телефони;
- пластик, упакування;
- інше сміття.



а



б

Рисунок 3.5 – Приклади фотографій об'єктів різних класів із тренувальної бази зображень: електронні компоненти (а), пластик (б)

При навчанні ШНМ (штучна нейронна мережа) була застосована техніка спотворення зображень шляхом їхнього афінного перетворення (зсуву, повороту, відображення). Такий підхід дозволяє уникнути перенавчання мережі (щоб вона запам'ятовувала не конкретні пікселі зображення, а цілі патерни) [39].

Перший етап навчання полягав у тренуванні коректної класифікації зображень із бази даних (рис. 3.6).

Етап донавчання ШНМ (штучна нейронна мережа) здійснювався для датасета з 484 зображень і становив 30 епох (повних циклів прогону бази даних через мережу).

За часом це зайняло 35 хвилин при навчанні на ПЕОМ із CPU Intel Core i5-2430M 2.40GHz з 8 Гб оперативної пам'яті.

Використовувався алгоритм оптимізації Adam з розміром міні-батчу 64 зображення. Початковий коефіцієнт навчання дорівнював 0,000025 зі зниженням у 2 рази кожні 8 епох. У результаті було досягнуто середньої точності класифікації об'єктів – 83,67 %.

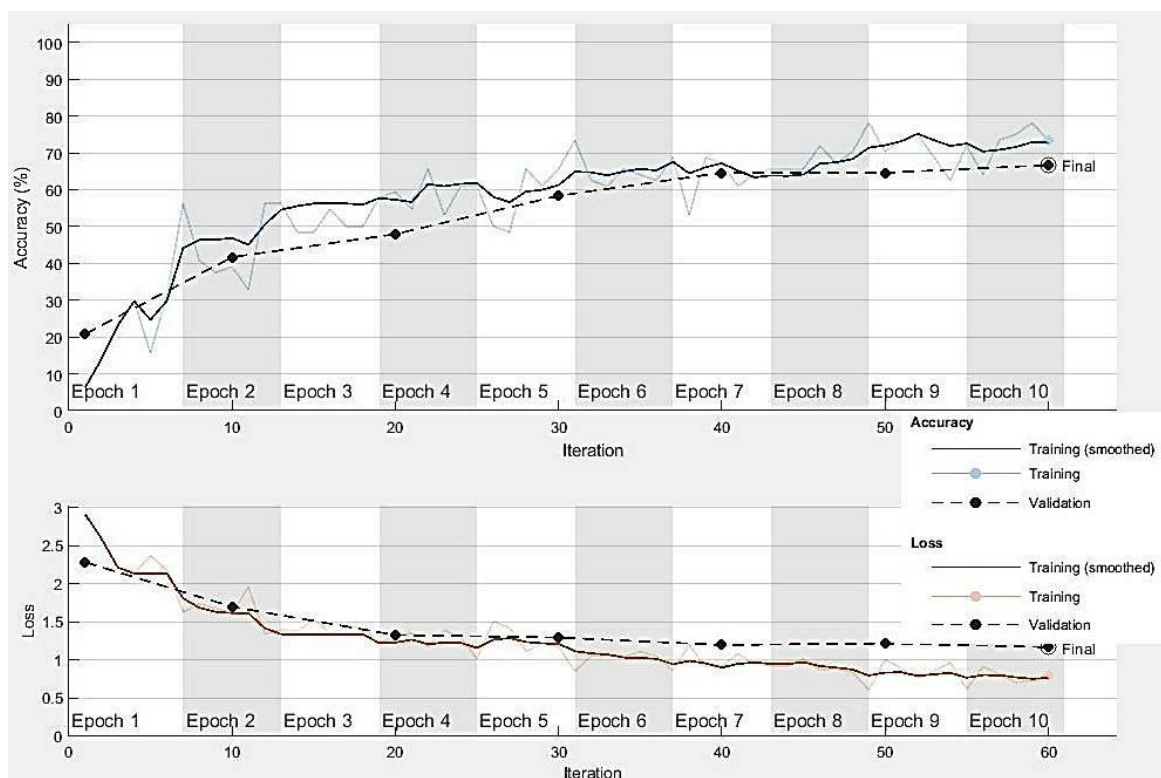


Рисунок 3.6 – Процес навчання нейромережі

Для оцінки точності класифікації об'єктів ШНМ (штучна нейронна мережа) для тестової частини датасета крім середнього значення часто використовують матрицю коварансії (рис. 3.7). Вона показує відповідність дійсного класу (рядки) передбаченому класу (стовпці). Правильно класифіковані класи розташовані по діагоналі матриці (сині), хибні

класифікації позначені рожевим; це дозволяє визначити, передбачення яких класів викликає найбільші труднощі для ШНМ (штучна нейронна мережа). Як впливає з рисунка 3.7, найбільша кількість хибних класифікацій була у класу «СКЛО».

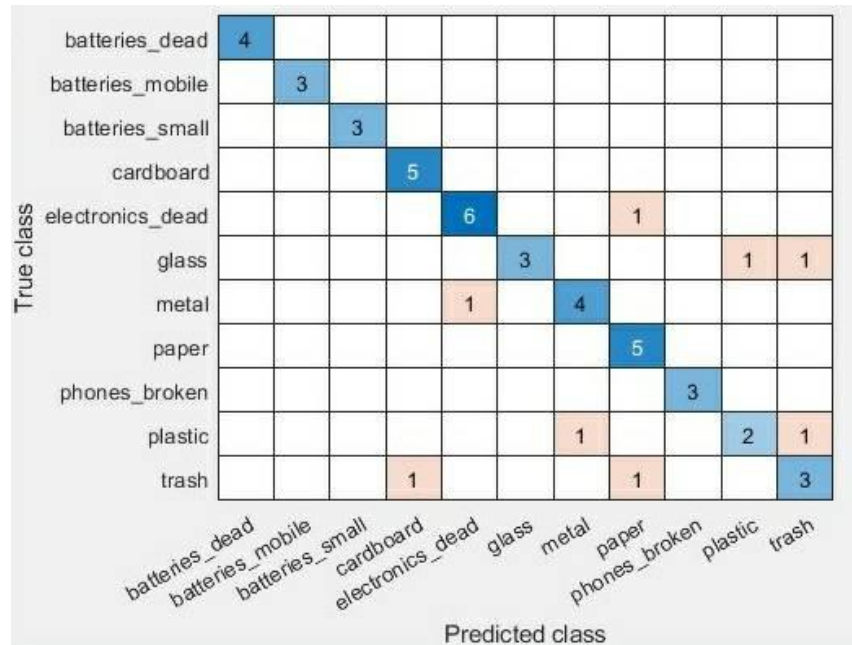


Рисунок 3.7 – Матриця коваріації для тестової вибірки

Другий етап навчання полягає у навчанні ШНМ (штучна нейронна мережа) безпосередньо детектування об'єктів, тобто пошуку об'єкта на зображенні і вказівку його положення (або координатами центру прямокутника, що описує його, або попиксельним виділенням всього зображення об'єкта). Було випробувано дві популярні архітектури ШНМ (штучна нейронна мережа) для детектування об'єктів:

- архітектура Faster R-CNN [48, 49], що є модернізацією конволюційної нейронної мережі (у нашому випадку AlexNet). Виходом цієї мережі є координати центру прямокутника, що описується навколо об'єкта, і номер класу, якому належить знайдений об'єкт;
- архітектура U-Net (рис. 3.8), що відрізняється від стандартних архітектур. Вона не має повнозв'язкових шарів, і вона має форму літери U.

Ця архітектура дозволяє отримувати на виході попиксельне виділення знайдених об'єктів [45].

У нейронній мережі Faster R-CNN зображення проходить через згорткові шари. Потім методами машинного навчання виділяються області зображення, які можуть бути об'єктами класів.

Після цього проводиться класифікація областей і відсіювання тих, у яких ймовірність приналежності до класу нижче встановленого порога.

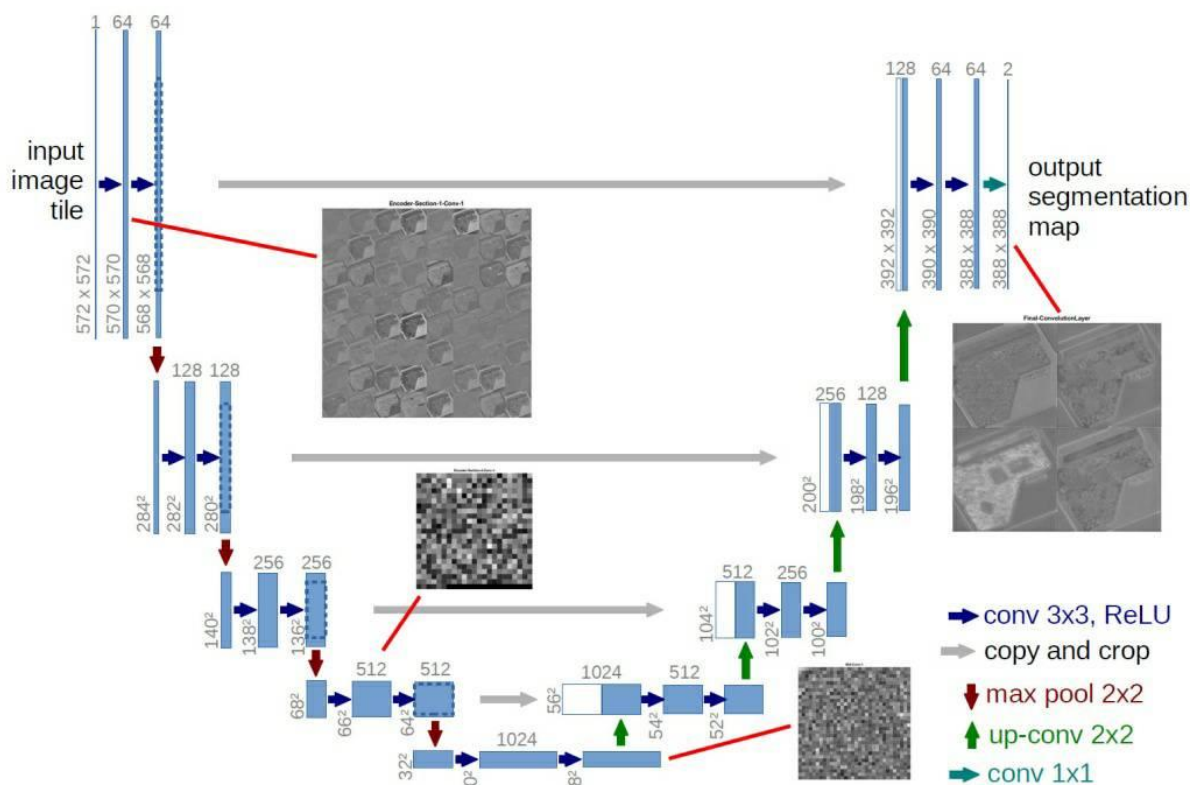


Рисунок 3.8 – Архітектура U-Net для детектування та класифікації об'єктів на зображенні (показано результат роботи деяких шарів мережі для тестового зображення)

Підготовка бази зображень для архітектури U-Net є трудомістким завданням. Причина – для тренувальних зображень, крім самих зображень, потрібні маски об'єктів, що знаходяться на кожному зображенні. Внаслідок цього, а також з огляду на значний час навчання ШНМ (штучна нейронна мережа), кількість класів у базі зображень було скорочено до 4-х: електроніка, телефони, батареї телефонів, а також фон (все, що не відноситься до перших трьох класів).

Тривалість навчання мережі для датасета із 74 зображень склала 130 епох. За часом це відповідало 25 годин на ПЕОМ із CPU Intel Core i5-2430M 2.40GHz; 8Гб оперативної пам'яті. Використовувався алгоритм оптимізації SGDM з розміром міні-батчу 8 зображень. Початковий коефіцієнт навчання дорівнював 0,025 зі зниженням у 2 рази кожні 10 епох.

Точність детектування об'єктів становила 45,5%.

На рисунку 3.9 наведено результати роботи ШНМ (штучна нейронна мережа):

На "а" - для тестового зображення;

«б» – вихідні зображення мережі, які є масками кожного з розпізнаних мережею класів. Видно наявність шуму, однак досягнуто досить чіткого поділу об'єкта «електроніка» і фону. Отримані зображення вимагають додаткового поліпшення, зокрема обробки медіанним фільтром.

Результатом є ідентифікатор класу об'єкта, його розмір, координати X, Y геометричного центру, а також орієнтація об'єкта в робочій зоні, що проглядається СТЗ (система технічного зору) (рис. 3.9, в).

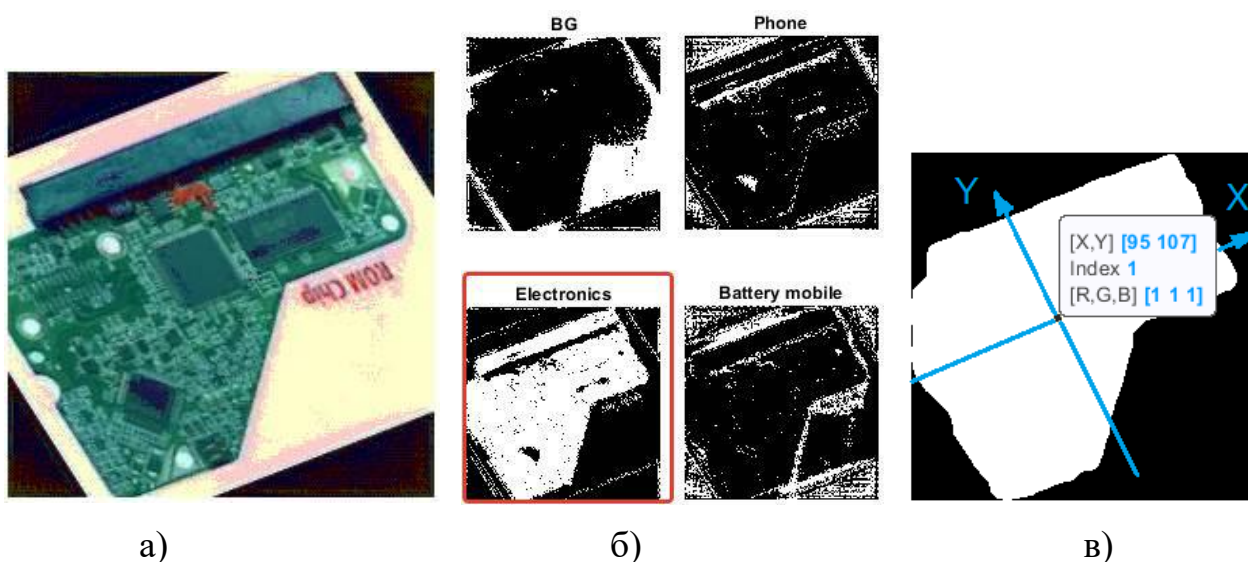


Рисунок 3.9 – Розпізнавання об'єктів мережею U-Net: вихідне зображення (а), вихід мережі для кожного із класів (б), оброблене зображення з координатами об'єкта (в)

Отримані на рівні детектування РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування) дані у вигляді класу та координат центру розпізнаного об'єкта передаються на сортувальний рівень системи управління, де контролер планування формує послідовність збирання об'єктів маніпуляторами.

Ймовірно, більш високу точність детектування можна отримати, якщо подальше тренування нейронної мережі проводити на зображеннях із ресурсу Google Colaboratory. У той же час більш правильним є покращення якості датасету зображень для тренування мережі в умовах, наближених до реальних.

Зазначимо також, що дана нейромережа навчалася на зображеннях, де представлені великі об'єкти, щоб вона змогла запам'ятати текстуру об'єктів. У такому ж форматі встановлена телекамера бачитиме об'єкти на конвеєрі. На невеликих об'єктах нейромережа не випробовувалась, і таких прикладів немає в датасеті.

3.4 Маніпулятори РКДС

Для системи, що розробляється, необхідно було вибрати маніпулятор з урахуванням високих вимог щодо швидкодії. Після аналізу відомих кінематичних схем було запропоновано використати дельта-маніпулятор паралельної структури [46] (рис. 3.10). Він має високі динамічні характеристики: швидкодія – до 300 захватів за хвилину, швидкість переміщення захватного пристрою – 10 м/с, а також дозволяє зберігати просторову орієнтацію захватного пристрою під час його руху [37].

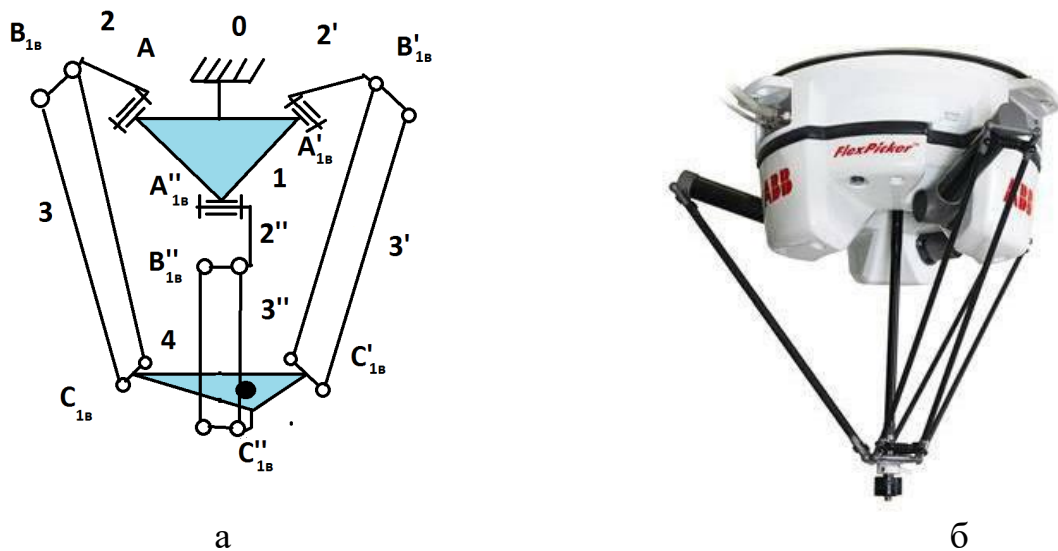


Рисунок 3.10 – Дельта-маніпулятор: типова кінематична схема (а), приклад промислового рішення (ABB FlexPicker, б)

З метою визначення кількості необхідних маніпуляторів у РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування) та їх параметрів (зони сервісу, максимальної швидкості та прискорення захватного пристрою), а також допустимої швидкості руху конвеєра та щільності розташування об'єктів у зоні обслуговування необхідно було побудувати фізичну модель дельта- маніпулятора та варіювати її параметри, аналізуючи отримані результати (рис. 3.11). Дана модель дозволяє задаватиправлячі дії і зчитувати сигнал як на валу приводів «3», так і на захваті «8».

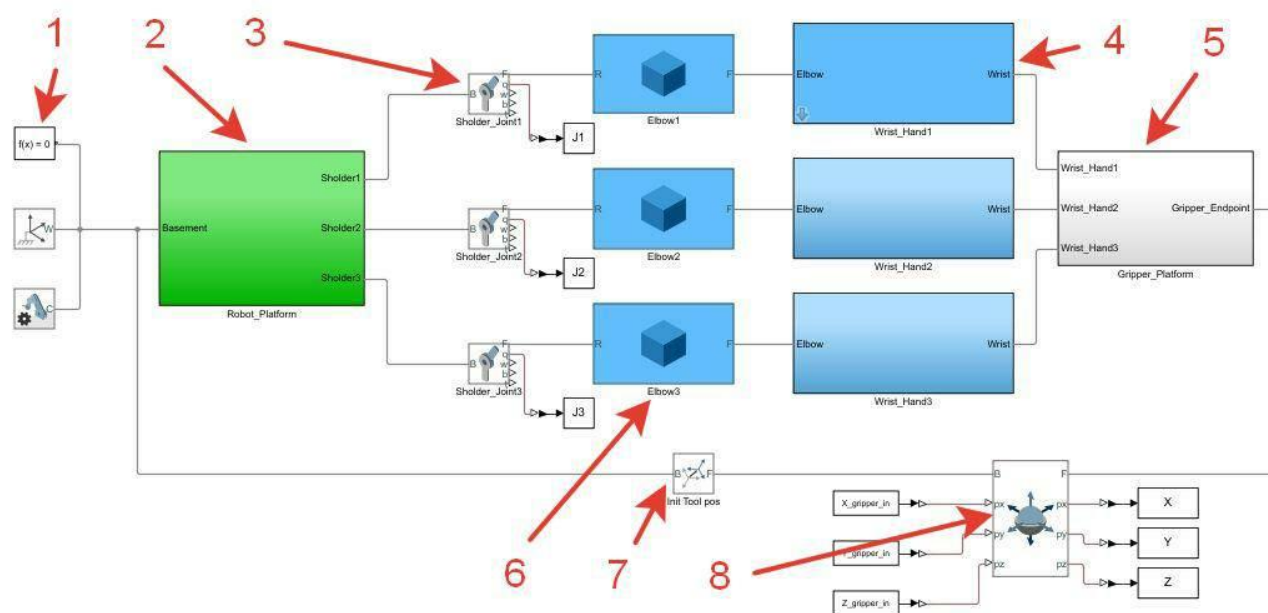


Рисунок 3.11 – Модель дельта-маніпулятора Matlab Simulink Simscape: 1 – система координат робота; 2 – геометрія платформи та приводи маніпулятора; 3 – зчленування приводів; 4 – парні «передпліччя» робота; 5 – геометрія захватного пристрою; 6 – «плечові» ланки; 7 - система координат захватного пристрою; 8 – кінематична пара захватного пристрою

Метою моделювання було визначення допустимих параметрів РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування) для виконання наступних умов:

- зона сервісу маніпулятора повинна включати робочу область розміром $14140,3$ м, необхідну для перекриття повної ширини конвеєра і можливості перенесення об'єктів з конвеєра в ємності-збірки без зачіплення інших об'єктів на конвеєрі;
- пропуск («незахоплення») виявлених СТЗ (система технічного зору) об'єктів у робочому циклі маніпулятора має бути зведений до мінімуму;
- допустимі значення внутрішніх параметрів РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування) (зокрема, максимальної швидкості та прискорення захватного пристрою) та його зовнішніх параметрів (швидкості

конвеєра та щільності розташування об'єктів на ньому) повинні мінімізувати пропуск виявлених об'єктів при заданій продуктивності заводу в цілому.

В результаті моделювання було отримано зону сервісу (обслуговування) маніпулятора, що має досить складну форму (рис.3.12).

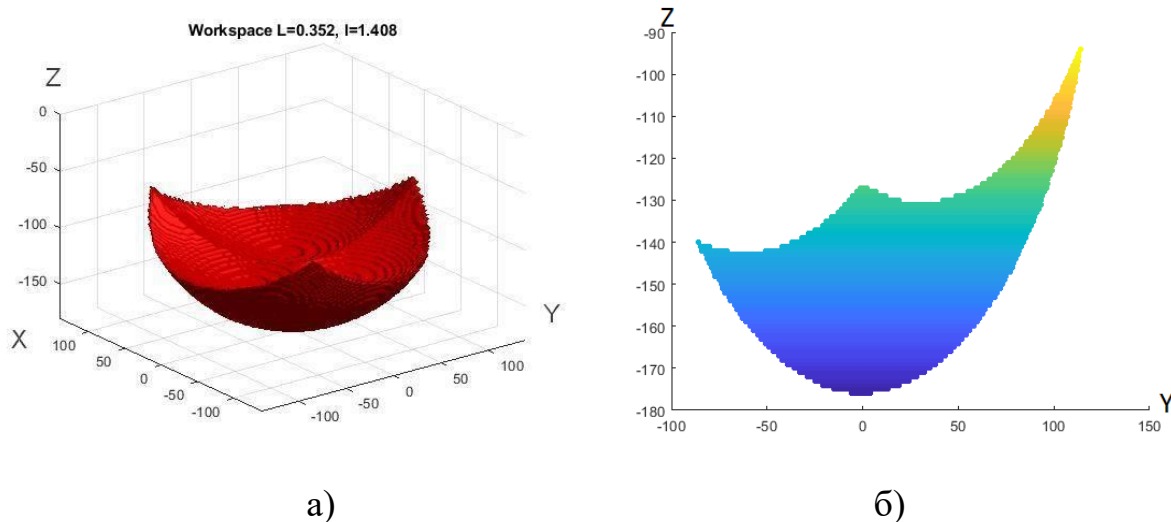


Рисунок 3.12 – Зона сервісу маніпулятора РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування): об'ємне уявлення (а), зріз уздовж площини YOZ (б)

Зона сервісу симетрична щодо осі OZ і розділена на три однакові сектори вздовж цієї осі, що відповідають трьом тягам паралельної структури маніпулятора. Обмеження зони сервісу є положення, коли тяги або максимально витягнуті, або максимально складені. Також зону обмежують критичні (допустимі) кути згину між ланками. Ефективною зоною маніпулятора, що дозволяє вписати робочу область заданого розміру, є область між -178 см і -140 см по осі OZ (рис. 3.12 б), оскільки вона має максимальне охоплення і відсутність порожнин («мертвих зон» всередині області, що обслуговується).

Для визначення необхідної швидкості та прискорення руху маніпулятора, максимальної швидкості конвеєра та допустимої щільності розташування об'єктів при моделюванні як критерій використовувався коефіцієнт пропуску K_{loss} (рівний кількості пропущених об'єктів за одиницю

часу). Для цього було проведено моделювання 2025 послідовностей процедури збору об'єктів маніпулятором, при яких зазначені параметри змінювалися в заданих межах.

В результаті була отримана наступна залежність K_{loss} від змінних, що найбільше впливають на нього: щільності розташування об'єктів і максимального прискорення маніпулятора (рис. 3.13). Зміни інших параметрів у межах проведеного дослідження призводили до значного збільшення K_{loss} .

У загальному випадку лінеаризована функція залежності коефіцієнта пропуску K_{loss} у точці мінімального значення цього коефіцієнта при $\alpha_{max} = 50$ м/с², $v_{max} = 5$ м/с, $\rho_n = 5$ об/м², $v_{konv} = 0,4$ м/с від максимального прискорення α_{max} і швидкості v_{max} захватного пристрою, швидкості конвеєра v_{konv} та щільності розташування об'єктів ρ_n набуде вигляду:

$$K_{loss} = -0,02 \alpha_{max} - 0,1 v_{max} + 3,5 v_{konv} + 0,1 \rho_n + 0,2.$$

Даний вираз дозволяє оцінити ефективність роботи всього РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування) при заданих параметрах, розрахувати необхідні швидкість та прискорення маніпулятора, а також визначити необхідну кількість маніпуляторів РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування) на конвеєрі (рис. 3.3, а). Аналіз цієї залежності дає можливість розподілити роботу між маніпуляторами з метою їхньої рівномірної зайнятості, при якій досягається гарантований захоплення об'єктів з поверхні конвеєра.

Таким чином, оптимальний режим роботи маніпулятора досягається при $\alpha_{max} = 50$ м/с², $v_{max} = 5$ м/с, $\rho_n = 12$ об/м². Для цих значень конструкції маніпулятора можна використовувати приводи помірної потужності при збереженні високих показників швидкості захоплення об'єкта і досягти нульового коефіцієнта пропуску.

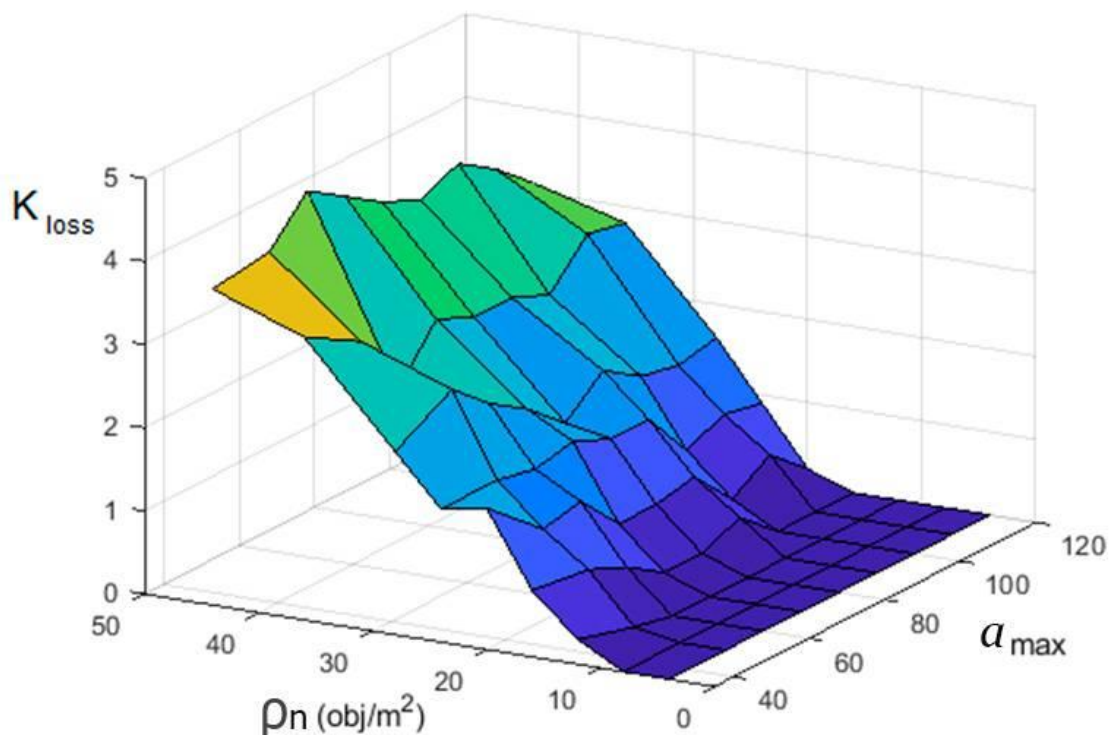


Рисунок 3.13 – Залежність коефіцієнта пропуску об'єктів K_{loss} від щільності розташування об'єктів ρ_n та максимального прискорення a_{max} при максимальній швидкості захватного пристрою $v_{max} = 5$ м/с та швидкості конвеєра $v_{conv} = 0,4$ м/с.

3.5 Алгоритм збирання розпізнаних об'єктів

Запропонована модель (рис. 3.14) дозволяє розробити та дослідити алгоритм збирання розпізнаних об'єктів з конвеєрної стрічки.

Попередньо в моделі проводиться емуляція роботи СТЗ (система технічного зору), для чого перед робочою зоною маніпулятора на конвеєрі генеруються довільно розташовані об'єкти із заданою щільністю та відомими координатами їх геометричних центрів.

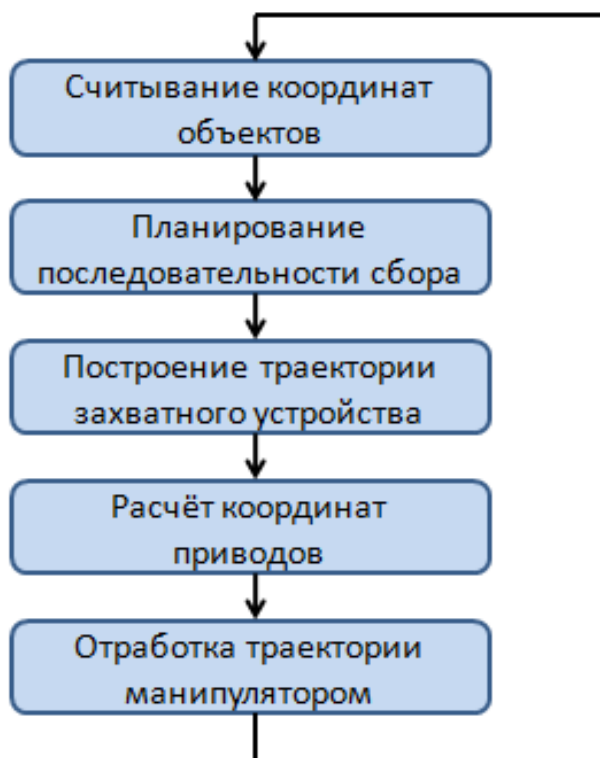


Рисунок 3.14 – Алгоритм збору об'єктів з конвеєрної стрічки

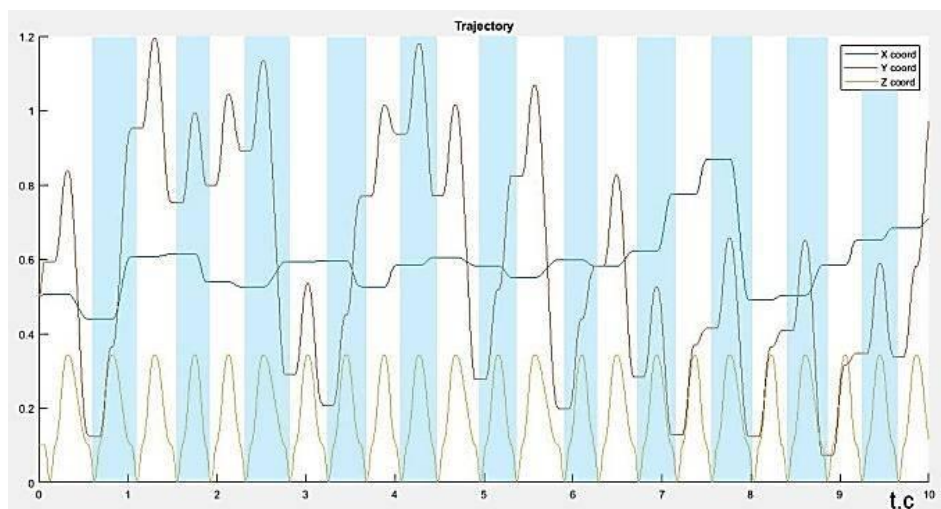
Розглянемо послідовність етапів алгоритму (рис. 13):

- контролер планування (рис. 3.3 б), маючи список виявлених об'єктів, розраховує послідовність їх збору з конвеєра. Визначається пріоритет об'єктів – першими збираються ті, які найперше вийдуть із робочої зони. У цьому прораховується, чи встигає маніпулятор захопити цей об'єкт, якщо ні – об'єкт ігнорується, тобто. на маніпулятор не подаються виконавчі команди;
- сформувавши послідовність збору, контролер планування будує траєкторії переміщення захватного пристрою маніпулятора.
- сформована послідовність переміщення захватного пристрою шляхом вирішення зворотного кінематичного завдання перераховується у необхідні координати повороту приводів маніпулятора;
- маніпулятор відпрацьовує сформовані послідовності операцій.

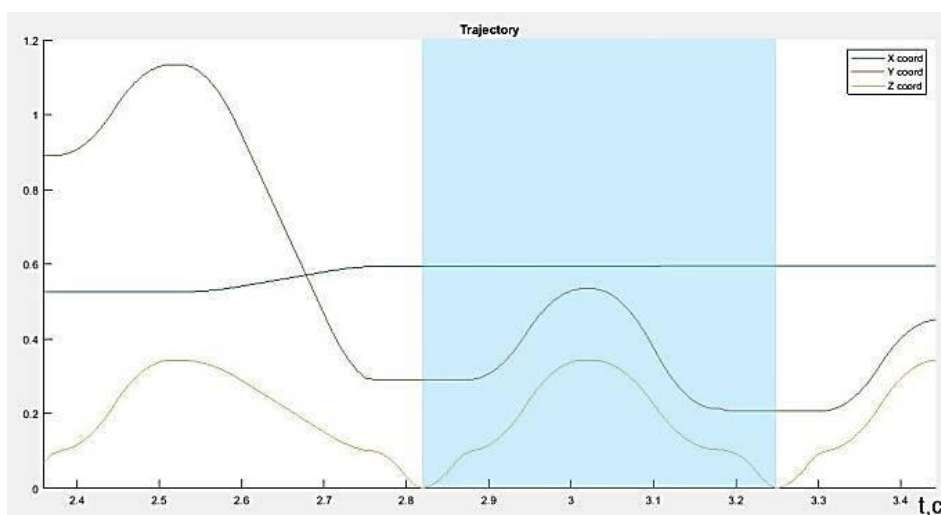
Примітка. Як зазначалося, якщо маніпулятор не захоплює об'єкт, аналогічні дії виконує другий маніпулятор, розташований далі під час конвеєра (рис. 3.3). Виконане дослідження залежності K_{loss} від параметрів

роботи дозволяє розрахувати передбачувану завантаженість маніпуляторів та визначити їх необхідну кількість, що у свою чергу дозволяє розподілити обсяги роботи між маніпуляторами та домогтися їхньої рівномірної зайнятості з гарантованим захопленням об'єктів.

В результаті моделювання даного алгоритму було отримано графіки траєкторії руху захватного пристрою маніпулятора при здійсненні збору об'єктів (рис. 3.15).



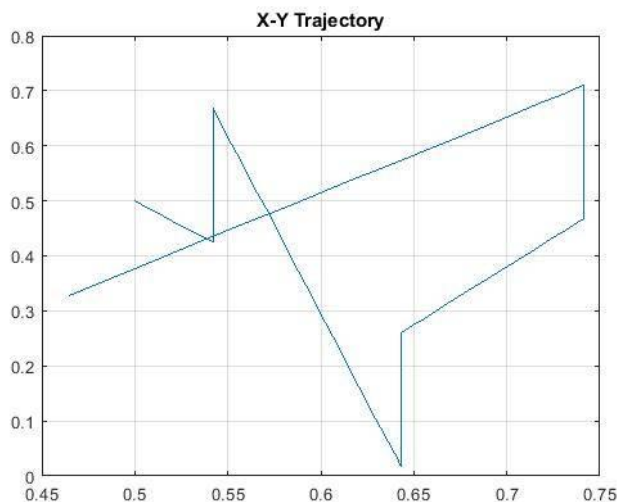
а)



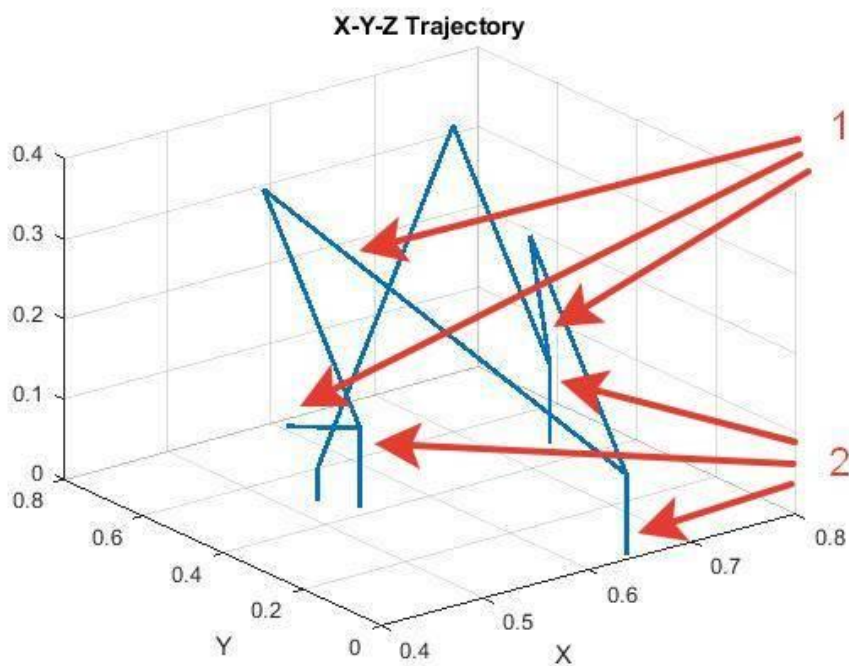
б)

Рисунок 3.15 – Траєкторія переміщення захватного пристрою при моделюванні збору 23 об'єктів протягом 10 с (а) та за 2 цикли збору по 0,4 с (б). По вертикальній осі відкладено координати X, Y, Z, кожній з яких відповідає свій графік

Цикли позначені вертикальними смугами, що чергуються. Траєкторія захватного пристрою в проекціях на осі OX , OY та OZ відкладена по осі ординат, тимчасова шкала відкладена по осі абсцис. Вид траєкторій в осях XY та XYZ наведено на рисунку 3.16.



а)



б)

Рисунок 3.16 – Траєкторія переміщення захватного пристрою маніпулятора за 3 цикли збору в осях: а – XY ; б – XYZ , де 1 - фаза наведення, 2 - фаза захоплення

Отримані графіки добре ілюструють циклічну роботу алгоритму управління маніпулятором та переміщення його захватного пристрою. Підйом об'єкта з конвеєрної стрічки відбувається вздовж осі OZ, переміщення у площині стрічки – вздовж осей OX та OY. Кожен цикл захватного пристрою маніпулятора підходить до точки над об'єктом і опускається для його захоплення. Потім здійснюється підйом обраного об'єкта нагору та його доставка до одного з контейнерів (відповідно до класу об'єкта). Новий цикл починається з переміщення до наступного об'єкта зі списку виявлених за допомогою СТЗ (система технічного зору).

3.6 Висновки за розділом

В результаті виконання даної роботи отримано загальну схему РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування) та структуру його системи управління. Запропоновано використовувати ієрархічну систему управління, яка включає таке:

- 1) рівень детектування зі СТЗ (система технічного зору), що виконує виявлення об'єктів;
- 2) сортувальний рівень, який здійснює планування захоплення та власне захоплення виявлених об'єктів, їх транспортування у контейнери.

Запропоновано структуру СТЗ (система технічного зору) на основі двох згорткових нейронних мереж:

AlexNet для класифікації зображень та U-Net для детектування об'єктів на зображенні.

Подано коефіцієнти навчання, алгоритми оптимізації та результати навчання ШНМ (штучна нейронна мережа), на прикладі об'єктів чотирьох класів.

Показано фрагмент датасету (набору) зображень, використаного для тренування ШНМ (штучна нейронна мережа). Наведено приклад роботи СТЗ

(система технічного зору) під час детектування електронних компонентів на тестовому зображенні.

Розроблено модель дельта-маніпулятора та визначено його основні параметри. Описано залежність коефіцієнта пропуску об'єктів маніпулятором від швидкості конвеєра, щільності розміщення об'єктів, а також максимальних значень швидкості та прискорення маніпулятора. Показано, що при щільності появи об'єктів до 12 об/сек швидкості конвеєра до 0,4 м/с, незважаючи на варіювання швидкості та прискорення маніпулятора, втрати об'єктів зводяться до нуля. Наведено алгоритм збору об'єктів з конвеєрної стрічки та отримано графіки переміщення захватного пристрою маніпулятора при зборі розпізнаних об'єктів з конвеєрної стрічки.

Запропонований у роботі РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування) дозволяє замінити людей, які виконують монотонну працю в небезпечному та шкідливому для життєдіяльності середовищі. Комплекс здатний виконувати сортування ТПВ цілодобово, збільшуючи час роботи сміттєпереробного заводу мінімум у 2 рази. З впровадженням такого рішення також підвищиться якість сортування та буде здійснено оптимізацію процесу переробки загалом. Зрештою, це призведе до підвищення рентабельності роботи заводу.

4 ВИМОГИ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ НА СМІТТЄСОРТУВАЛЬНИХ ЛІНІЯХ

4.1 Інструкція з охорони праці під час роботи на сортувальних лініях

До самостійної роботи на сортувальних лініях із закладання на зберігання плодоовочевої продукції, далі – робітника, допускаються особи, які досягли 18-річного віку, що не мають медичних протипоказань, що пройшли:

- відповідну професійну підготовку, у тому числі з питань охорони праці, які мають посвідчення встановленого зразка про надання кваліфікаційного розряду;

- пройшли навчання та перевірку знань на відповідну вимогам групи з електробезпеки;

- Попередній при прийомі на роботу та періодичні медичні огляди та визнані придатними за станом здоров'я до роботи;

- вступний та первинний інструктаж на робочому місці;

- стажування та перевірку знань з питань охорони праці.

Робітники проходять повторний інструктаж з охорони праці у строки не рідше одного разу на шість місяців та щорічну перевірку знань з питань охорони праці. Робочий повинен:

- дотримуватися правил внутрішнього трудового розпорядку;

- Виконувати тільки ту роботу, яка доручена безпосереднім керівником робіт;

- знати та вдосконалювати методи безпечної роботи;

- дотримуватися технології виконання робіт, застосовувати способи, що забезпечують безпеку праці, встановлені в інструкціях з охорони праці;

- використовувати інструмент, пристрої, інвентар за призначенням, про їх несправність повідомляти керівника робіт;

- знати відповідно до кваліфікації влаштування ліній та установок із сортування плодоовочевої продукції та принцип їх роботи;

- знати місцезнаходження та вміти користуватися первинними засобами пожежогасіння;
- негайно повідомити керівника робіт про будь-яку ситуацію, яка загрожує життю або здоров'ю працюючих та оточуючих, нещасному випадку, що сталося на виробництві;
- пройти відповідну теоретичну та практичну підготовку та вміти надавати долікарську медичну допомогу постраждалим у разі нещасних випадків;
- за необхідності забезпечувати доставку (супровід) потерпілого до закладу охорони здоров'я;
- дотримуватись правил особистої гігієни;
- відповідно до характеру виконуваної роботи правильно використовувати надані йому засоби індивідуального захисту, а у разі їх відсутності чи несправності повідомити про це безпосереднього керівника.

Робочий повинен бути забезпечений спеціальним одягом, взуттям та іншими засобами індивідуального захисту (далі – ЗІЗ), відповідно до Типових галузевих норм безкоштовної видачі засобів індивідуального захисту, робітнику мають бути видані наступні ЗІЗ:

Таблиця 4.1 – Засоби індивідуального захисту при сортуванні сміття

Костюм бавовняний (халат бавовняний)	ЗМі	12
Головний убір		12
Черевики шкіряні	Ми	12
Рукавиці комбіновані	Ми	До зносу
Респіратор		До зносу
Окуляри захисні	Зп	До зносу
Взимку при роботі в приміщеннях, що не опалюються додатково:		
Куртка утеплена	Тн	36
Штани утеплені	Тн	36
Валянки	Тн	48
Калоші на валене взуття		24
Рукавиці утеплені	Тн	До зносу

При роботі на сортувальних лініях на працюючих можлива дія небезпечних і шкідливих виробничих факторів, щодо яких необхідно

дотримуватися запобіжних заходів:

- рухомі механізми та рухомі частини виробничого обладнання;
- підвищена рухливість повітря;
- підвищений рівень шуму;
- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- електричний струм, який може пройти крізь тіло людини;
- підвищена вологість повітря;
- недостатня освітленість робочої зони;
- можливі обвали овочів зі штабелів.

Робочому заборонено появу на робочому місці у стані алкогольного, наркотичного та токсичного сп'яніння, а також розпивання спиртних напоїв, вживання наркотичних, токсичних та психотропних речовин у робочий час та за місцем роботи.

Курити дозволяється лише у спеціально обладнаних місцях. Не допускається куріння у невстановлених місцях та користування відкритим вогнем.

Робочий зобов'язаний сприяти та співпрацювати з наймачем у справі забезпечення здорових та безпечних умов праці, негайно сповіщати свого безпосереднього керівника чи іншу посадову особу наймача про несправність обладнання, інструменту, пристроїв, транспортних засобів, засобів захисту, про погіршення стану свого здоров'я.

За невиконання цієї інструкції робітник несе відповідальність відповідно до законодавства.

4.2 Вимоги щодо охорони праці перед початком роботи

Перед початком роботи необхідно перевірити придатність до експлуатації та застосування засобів індивідуального захисту та надіти спецодяг та інші захисні засоби.

Підготувати робоче місце, прибрати сторонні предмети та все, що може перешкоджати безпечному виконанню робіт, звільнити проходи та місця складування.

Провести огляд обладнання, очистити від налиплої землі та домішок ведучий та ведений барабани приймальних бункерів, транспортерів, вузлів сортувальних пристроїв, вивантажувальних люків накопичувальних бункерів. Видалити каміння із пазів роликів, ланцюгових передач, сторонні предмети з транспортерної стрічки. Переконайтесь у відсутності на перебірних столах, транспортерах та сортувальних пристроях сторонніх предметів.

Перевірити наявність та справність перехідних містків через канали, ями, транспортери, захисні огороження. Мокрий і слизький підлогу слід посипати піском, тирсою.

Перевірити попереджувальні муфти електроприводів, правильність їх регулювання, зазор між полотном та дільником. Перевірити натяг ременів, ланцюгів приводу та транспортних стрічок. Не допускати надмірного натягу стрічки, ременів та ланцюгів. Забороняється наварювати на барабани прутки, куточки з метою збільшення тертя між стрічкою та барабаном.

Під час змащування вузлів машин стежити, щоб не було підтікання мастильних матеріалів. Випадково пролиті на підлогу мастильні матеріали витерти ганчіркою, засипати піском і прибрати з підлоги.

Перевірити наявність та надійність огорож рухомих частин перебірних столів та сортувальниць, місць набігання стрічок на барабани та ролики, ланцюгів на зірочки, ременів на шківи, а також надійність фіксації підвісних транспортерів ланцюгами. Перевірити, щоб каналізаційні ями були закриті чавунними або бетонними кришками. Завалювати їх будь-якими матеріалами,

сировиною, сміттям, тарою чи іншими предметами не дозволяється.

Під час заміни приймального бункера на транспортері-підбирачі зіставляти отвори деталей кріплення тільки за допомогою борідка. Перевірити цілісність ізоляції силового кабелю та надійність заземлення машини, оснащення лінії. У разі виявлення механічних пошкоджень кабелю, проводки, пускової апаратури, ручок управління підключати обладнання до мережі не дозволяється до усунення пошкоджень з подальшою перевіркою.

Включати в роботу обладнання на холостому ході та переконатися у його справності та у відсутності сторонніх шумів, вібрації, запаху гару.

При роботі на лініях та машинах із сортування, калібрування та затарювання плодоовочевої продукції переконатися у відсутності на робочому місці сторонніх предметів, рослинних решток, бруду. Перевірити справність тари. На ній має бути тавро, що вказує вантажопідйомність.

Перевірити наявність та справність лопат, чистиків для очищення транспортерів та роликів, штовхачів для проштовхування коренеплодів у бункері. Лопати, чистики, штовхачі повинні бути з гладкими рукоятками, без тріщин та задирок. Перевірити освітлення на робочому місці, роботу сигналізації.

При закладанні на зберігання овочів та картоплі робітник повинен оглянути робоче місце. Майданчик повинен бути рівним, очищеним від рослинних залишків та сторонніх предметів. Під час роботи у нічний час перевірити наявність освітлення.

Перевірити наявність та справність робочого інструменту та інвентарю (лопат, вил, чистиків, ножів, ножиць), очистити від залишків землі та технологічного продукту всі механізми та транспортери машин та ліній. Перевірте захисні огороження всіх рухомих частин трансмісії карданні, ланцюгові, ремінні та зубчасті передачі, які знаходяться в зоні виконання робіт та обслуговування на висоті менше 2,5 м від підлоги або поверхні робочого майданчика.

На майданчиках та у виробничих приміщеннях повинні бути покажчики

маршруту та швидкості руху транспортних засобів, швидкості в'їзду транспорту на платформу підйомника та його допустимої вантажопідйомності. Швидкість руху транспортних засобів має бути не більше 2 км/год. Завантаження та навантаження овочів та картоплі у мішки, ящики та контейнери повинні бути механізованими.

Якщо при розвантаженні в транспортному засобі залишається частина овочів або картоплі, видаляти їх скребками або лопатою з подовженою ручкою, не піднімаючись у кузов.

При закладанні на зберігання плодів та овочів перевірити наявність та надійність штучного освітлення виробничого приміщення (сховища, холодильника) за відсутності природного освітлення, а також наявність аварійного освітлення.

Перевірити наявність містків та спусків жорсткої та міцної конструкції для навантаження ящиків та контейнерів з овочами та фруктами з автомобілів на платформи та рампи сховищ холодильників.

4.3 Вимоги щодо охорони праці під час роботи

При обслуговуванні ліній та машин за сортуванням, калібруванням та затарюванням плодоовочевої продукції при переміщенні навантажувача дотримуватися відстані між габаритами машини та будівельними конструкціями приміщення або штабелем вантажів, воно повинно бути не менше 0,8 м. При переміщенні машин, підйомі, опусканні, стріли переконалися, щоб у робочій зоні не було сторонніх осіб. При переміщенні машини, підйомі, опусканні, повороті стріли навантажувача переконайтеся у безпеці його дій для оточуючих.

Не дозволяється проводити регульовальні роботи під бункером без встановлення під нього підставки. Не проводити очищення, регулювання, ремонт, змащення на машині з піднятим бункером. Не підключати обладнання до мережі при виявленні пошкодження кабелю, проводки, не допускати наїзду

машини на кабель живлення.

Під час роботи навантажувача, транспортера від валу відбору потужності трактора перевірити надійність кріплень карданного валу та наявність захисних кожухів. Вмикати муфту транспортера лише після увімкнення валу відбору потужності. Вмикати муфту дозволяється лише робітнику, який під час роботи агрегату повинен постійно перебувати біля муфти.

При розвантаженні відходів або продукції на землю переконатись у відсутності працюючих.

Забороняється при виконанні робіт переходити через карданну передачу, залишати відчиненими дверцята пульта керування обладнання. При виконанні профілактичних, ремонтних, регулювальних та очисних робіт відключити лінію від електромережі. На дверцятах відключеного пульта управління вивісити табличку "Не вмикати - працюють люди!".

Перед запуском кантувача, а також перед поверненням кантувача в інше положення переконатися у відсутності людей або обладнання у зоні повороту. Не залишайте кантувач у проміжному положенні. Повороти кантувача проводити повільно, без ривків.

При роботі на лініях та машинах із сортування, калібрування та затарювання плодоовочевої продукції при сортуванні викидати некондиційну продукцію та інші відходи в транспортери або в тару. Проштовхувати коренеплоди, що зависли в бункерах, спеціальними штовхачами.

Не дозволяється розрівнювати коренеплоди у засіках та буртах при працюючому обладнанні. При пробуксуванні транспортної стрічки переповненого бункера або транспортного засобу повідомити обслуговуючого машиніста.

Очищати полотна транспортерів та вузли машини лише з дозволу машиніста. При чищенні поверхні підлоги робітник має бути обережним біля рухомих частин обладнання.

При закладанні на зберігання овочів та картоплі не перебувати на шляху

руху трактора до причіпної машини. Монтаж та демонтаж, пересування транспортерів подачі овочів та картоплі здійснювати відповідно до вимог, викладених у паспорті та інструкціях з експлуатації заводу-виробника.

Тракторний причіп або автомобіль, поставлений для розвантаження, повинен бути надійно припинений, а двигун трактора заглушений. Робітники повинні дотримуватися мінімальної відстані у приміщеннях для приймання та зберігання овочів та картоплі між ящиками – 0,02 м; між піддонами та контейнерами – 0,05-0,1 м. Мінімальний їх відступ від стін та колон, приладів охолодження має бути у наземних сховищах без штучного охолодження 0,4-0,6 м, в інших сховищах – 0,3 м.

Відстань між верхами штабеля та низом виступаючих несучих конструкцій або вентиляційних каналів – не менше 0,3 м. Не захаращувати тарою та іншими предметами проходи між стелажми та штабелями.

Укладати овочі та картоплю у бурти, не допускаючи утворення порожнин і козирків, які можуть обриватися та травмувати людей. При наближенні транспортних засобів для розвантаження овочів, картоплі чи соломи відійти у безпечне місце та розпочати роботу після розвантаження та від'їзду транспортних засобів.

При накриванні бурта соломомою за допомогою вил перебуватиме від інших робітників на відстані не менше 5 м; перед взяттям соломи на вила прийняти стійку позу, брати соломі невеликими порціями. Під час роботи бульдозера під час укріплення бурта землею відійти в безпечне місце.

Перед копанням землі лопатою робітник повинен прийняти зручну, стійку позу. Для попередження зісковзування ноги з лопати та втрати рівноваги натискати на лопату підошвого взуття, упираючись при цьому каблуком у плече лопати. Копати землю так, щоб лезо лопати розташовувалося на безпечній відстані від ніг. Уникати потрапляння під лезо лопати твердих предметів як деталей машин, каменів, залишків залізобетонних виробів. Під час роботи робітники повинні стояти з вітряного боку.

При закладанні на зберігання овочів для переміщення контейнерів

використовувати петлі для їх стропування, не дозволяється зачалувати контейнери за днище та бічні стінки. Для переміщення овочів використовувати конвеєри та автонавантажувачі. Під час запуску конвеєрів слідкувати за роботою сигналізації.

4.4 Вимоги щодо охорони праці після закінчення роботи

Після закінчення робіт робітник повинен відключити лінію або машину від мережі живлення. Закрити пульт керування на ключ.

Очистити машини, обладнання, майданчики, робочі приміщення від пилу, відходів та сміття винести у спеціально відведене місце.

Забрати робоче місце. Очистити інструмент, інвентар, пристрої та покласти у відведене місце. Упорядкувати спецодяг та засоби індивідуального захисту та здати їх на зберігання.

Вимити руки та обличчя теплою водою з милом, по можливості прийняти душ.

При здачі зміни повідомити змінника про технічний стан обладнання та особливості роботи.

Повідомити керівника про всі виявлені недоліки в процесі роботи та вжиті заходи щодо їх усунення.

4.5 Вимоги щодо охорони праці в аварійних ситуаціях

У разі виникнення аварійної ситуації робітник повинен негайно відключити джерело, що викликало аварійну ситуацію, припинити всі роботи, які не пов'язані з ліквідацією аварії.

Вжити заходів щодо запобігання розвитку аварійної ситуації та впливу травмуючих факторів на інших осіб, забезпечити виведення людей з небезпечної зони, якщо є небезпека для їхнього здоров'я та життя.

Повідомити про те, що сталося керівнику робіт.

При пожежі слід викликати підрозділ з надзвичайних ситуацій, повідомити про те, що сталося керівнику робіт, вжити заходів щодо гасіння пожежі наявними засобами пожежогасіння.

У разі нещасного випадку на виробництві необхідно швидко вжити заходів щодо запобігання впливу на потерпілого травмуючих факторів, надання потерпілому першої допомоги, виклику на місце події медичних працівників або доставки потерпілого в організацію охорони здоров'я.

Повідомити про подію керівнику робіт, забезпечити до початку розслідування безпеку обстановки дома події.

У всіх випадках травми чи раптового захворювання необхідно викликати на місце події медичних працівників, за неможливості – доставити потерпілого до найближчої організації охорони здоров'я.

ВИСНОВКИ

За останніми даними, у 2018 році в Україні було утворено майже 54 млн м² Побутових відходів, тобто понад 9 млн тонн. Планується, що це сміття буде захоронено на 6 тис. полігонів і полігонів, загальною площею 9 тис. га. За даними того ж джерела, в Україні є 256 перевантажених сміттєзвалищ, а 1347 сміттєзвалищ не відповідають стандартам екологічної безпеки.

Основним способом утилізації в Україні є захоронення відходів на полігонах твердих побутових відходів, тобто полігонах. В ідеалі всі вони повинні працювати за певними правилами та вимогами, регламентованими законодавством України. Полігон має бути організований таким чином, щоб унеможливити негативний вплив процесу розкладання відходів на довкілля та здоров'я людей протягом усіх 20 років експлуатації. За статистикою, в нашій країні їх 6,5 тис. таких полігонів, що займають 7% території. Окрім цих легальних сміттєзвалищ, у нас є 35 тисяч незаконних сміттєзвалищ. Загальну площу величезних сміттєзвалищ в Україні можна порівняти з площею всієї Данії (понад 43 тис. км²).

Основною складністю на шляху до переробки ТПВ є відсутність у нашій країні системи роздільного збору сміття, яка є неминучою умовою для його глибокого рециклінгу. Так, 60-80% морфологічного складу ТПВ є потенціальна сировина для використання в промисловості (35-45%) або компостування (25-35%). Однак сортування змішаних та перевезених в одному сміттєвозі ТПВ дозволяє витягти лише 11-15% вторинних ресурсів.

При цьому практично неможливо використовувати біорозкладні (органічні) відходи. Крім того, сортування, пресування та компостування не тільки спрощує процес переробки відходів, а й дозволяють знизити їх обсяг у 7-16 разів. Для порівняння: спалювання зменшує обсяг відходів лише в 10 разів, але при цьому підвищується їхня токсичність, що негативно позначається на екології міст, а обходиться це втричі дорожче.

Інтенсифікувати використання відходів як вторинних матеріальних ресурсів можна, лише створивши при цьому більш сприятливі організаційні, нормативно-правові та економічні умови, що вимагатиме значного посилення державного регулювання у цій галузі, а також вдосконалити існуючі на сьогодні системи сортування відходів.

Описаний технологічний процес сортування твердих побутових відходів, що надходять на сміттесортувальний комплекс. Проведено пошук технічних рішень та запропоновано варіант додавання до вже існуючого комплексу нових елементів, завдяки яким можна підвищити відсоток відбору вторинних матеріальних ресурсів та перейти до більш сучасного виду сортування – автоматичного.

Також було зроблено порівняння обладнання, що застосовується на сміттесортувальних комплексах, і на основі даного порівняння підібрано обладнання, яке не тільки відповідає необхідним для збільшення відсоткового відбору вторинних матеріальних ресурсів параметрам, а й вписується у розміри діючого комплексу, завдяки чому можливо здійснити прив'язку лінії сортування ТПВ до параметрів будівлі, що експлуатується.

Технологічна схема запропонованого варіанта полягає у додаванні до вже існуючого комплексу нових елементів, завдяки яким можна підвищити відсоток відбору вторинних матеріальних ресурсів та перейти до більш сучасного виду сортування – автоматичного. Запропонована схема дозволяється підняти відсоток відбору вторинних матеріальних ресурсів від 9 до 16%.

Прибуток від продажу вторинних матеріальних ресурсів зросте 40,3 млн. грн. на рік та плата за розміщення відходів зменшиться на 8,7 млн. грн. на рік. Також буде відсутня плата за викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря пересувними джерелами, що становить 15,2 тис. грн. на рік.

Ще одним зі шляхів підвищення ефективності сміттесортувальних установок, окрім додавання до технологічної схеми додаткового обладнання, це використання сучасних іноваційних технологій. Одною із таких технологій

може бути створення роботизованого комплексу сортування ТПВ, який дозволить підвищити ефективність сортування та зменшити екологічну небезпеку для робочого персоналу.

В роботі представлені етапи розробки роботизованого комплексу, який здійснює детектування та видалення фракцій твердих побутових відходів у рамках роботи сміттєпереробного заводу, побудованого за конвеєрним типом. Комплекс дозволяє замінити людину на небезпечну та монотонну роботу, підвищити якість сортування сміття, забезпечити безперервність процесу сортування. Описано схему роботизованого комплексу та структуру системи управління ім. Показано реалізацію системи технічного зору з використанням згорткової нейронної мережі в середовищі MATLAB Neural Network Toolbox, обґрунтовано вибір архітектури мережі. Розроблено модель роботизованого комплексу у середовищі MATLAB Simulink та проведено її дослідження. Визначено параметри зони сервісу маніпулятора, які відповідають вимогам технологічного процесу.

Отримано залежність коефіцієнта пропуску об'єктів від щільності їх розташування на конвеєрній стрічці та її швидкості, а також від максимальних швидкості та прискорення маніпулятора.

Наведено алгоритм збору розпізнаних об'єктів та проведено його дослідження.

В результаті виконання даної роботи отримано загальну схему РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування) та структуру його системи управління. Запропоновано використовувати ієрархічну систему управління, яка включає таке:

- 1) рівень детектування зі СТЗ (система технічного зору), що виконує виявлення об'єктів;
- 2) сортувальний рівень, який здійснює планування захоплення та власне захоплення виявлених об'єктів, їх транспортування у контейнери.

Запропоновано структуру СТЗ (система технічного зору) на основі двох згорткових нейронних мереж:

AlexNet для класифікації зображень та U-Net для детектування об'єктів на зображенні.

Подано коефіцієнти навчання, алгоритми оптимізації та результати навчання ШНМ (штучна нейронна мережа), на прикладі об'єктів чотирьох класів.

Показано фрагмент датасету (набору) зображень, використаного для тренування ШНМ (штучна нейронна мережа). Наведено приклад роботи СТЗ (система технічного зору) під час детектування електронних компонентів на тестовому зображенні.

Розроблено модель дельта-маніпулятора та визначено його основні параметри. Описано залежність коефіцієнта пропуску об'єктів маніпулятором від швидкості конвеєра, щільності розміщення об'єктів, а також максимальних значень швидкості та прискорення маніпулятора. Показано, що при щільності появи об'єктів до 12 об/сек швидкості конвеєра до 0,4 м/с, незважаючи на варіювання швидкості та прискорення маніпулятора, втрати об'єктів зводяться до нуля. Наведено алгоритм збору об'єктів з конвеєрної стрічки та отримано графіки переміщення захватного пристрою маніпулятора при зборі розпізнаних об'єктів з конвеєрної стрічки.

Запропонований у роботі РКДС (роботизований комплекс детектування та сортування) дозволяє замінити людей, які виконують монотонну працю в небезпечному та шкідливому для життєдіяльності середовищі. Комплекс здатний виконувати сортування ТПВ цілодобово, збільшуючи час роботи сміттєпереробного заводу мінімум у 2 рази. З впровадженням такого рішення також підвищиться якість сортування та буде здійснено оптимізацію процесу переробки загалом. Зрештою, це призведе до підвищення рентабельності роботи заводу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Белов, С. В. Техногенні системи та екологічний ризик: підручник для академічного бакалаврату / С. В. Белов. М.: Юрайт, 2017. 434 с.
2. Бродський, А. К. Загальна екологія: Підручник для студентів вузів/А. К. Бродський. М.: Вид. Центр "Академія", 2016. 256 с.
3. Бугаян З. А. Вторинне використання твердих побутових відходів як невід'ємний елемент раціонального використання природних ресурсів [Електронний ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vtorichnoe-ispolzovanie-tverdyh-bytovykh-othodov-kak-neotemlemyy-element-ratsionalno-ispolzovaniya-prirodnih-resursov> (дата звернення: 08.05.2021).
4. Ветошкін А. Г. Технологія захисту навколишнього середовища від відходів виробництва та споживання. 2-ге вид., Випр. І дод. Видавництво "Лань", 2016. 304 с. ISBN 978-5-8114-2035-3. Текст: електронний // Лань: електронно-бібліотечна система. URL: <https://e.lanbook.com/book/72577> (дата звернення: 08.05.2021).
5. Ветошкін А. Г. «Техніка та технологія поводження з відходами життєдіяльності. Частина І. Системне поводження з відходами». Вид. Інфра-Інженерія, 2019. 441 с.
6. Жмихов І. Н., Човників А. А., Юращик До.К., Ющенко Л. Ф. Поводження з відходами. Вид. Вища школа, 2018. 465 с.
7. Зайцев, В. А. Промислова екологія: Навчальний посібник/В. А. Зайцев. М.: БІНОМ. ЛЗ, 2016. 382 с.
8. Інформаційно-технічний довідник за найкращими доступними технологіями «Розміщення відходів виробництва та споживання» (дата обігу: 08.05.2021).
9. Ламзіна І. В, Жовтобрюхов В. Ф, Шайхієв І. Г. Аналіз методів сортування твердих побутових відходів [Електронний ресурс]. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-sortirovki-tverdyh-bytovykh-othodov> (дата звернення: 08.05.2021).

10. Кібардіна С.М., Соколов Л.І., Патрік Хазенкамп, Сабіні Фламме. Збір та переробка твердих побутових відходів. Вид. Інфра-Інженерія, 2019. 175 с.
11. Кілоєва М.М. Система поводження з твердими побутовими відходами та механізм її фінансування в Росії: стан та напрямки розвитку [Електронний ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-obraschenia-s-tverdymi-kommunalnymi-othodami-i-mehanizm-ee-finansirovania-v-rossii-sostoyanie-i-napravleniya-razvitiya> (дата звернення: 08.05.2021).
12. Комплекс сортування та утилізації твердих побутових відходів [Електронний ресурс]. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2408443C2_20110110 (дата звернення: 08.05.2021).
13. Коненко, А. Є., Пластиніна, Ю. В., Трушніков, А. В. Реалізація «сміттєвої реформи» у Свердловській області // Система управління 64 екологічною безпекою: збірка праць XII заочної міжнародної науково-практичної конференції (Єкатеринбург, 30–31 травня 2018 р.). УрФУ, 2018 р. 292 с.
14. Коненко А. Є., Пластиніна Ю. В., Трушников А. В. Сортування ТПВ: необхідність чи перешкода? [Електронний ресурс]. URL: http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/72314/1/sueb_2019_011.pdf (дата звернення: 08.05.2021).
15. Коротаєв В.М., Ільїних Г.В., Полигалов С.В., Борисов Д.Л., Базильова Я.В. Каталог технічних та технологічних рішень для проектування сміттєпереробних підприємств. ПНДПУ, 2017. 149с.
16. Методичні вказівки щодо виконання курсової роботи з дисципліни «Екологічна експертиза». Тольятті: вид-во ТГУ, 2020. 35 с.
17. Лист Мінприроди Росії від 10.03.2015 N 12-47/5413 «Про плату за негативний вплив від пересувних джерел». [Електронний ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_178182/ (дата звернення: 08.05.2021).

18. Пляскіна І. Н, Харитонов В. Н. Управління у сфері поводження з твердими побутовими відходами: сучасний стан [Електронний ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-v-sfere-obrascheniya-s-tverdymi-kommunalnymi-othodami-sovremennoe-sostoyanie> (дата звернення: 08.05.2021).
19. Путінцева Н.А., Чекалін В.С. Огляд заходів щодо організації управління відходами у Росії як чинника підвищення її енергоефективності [Електронний ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-mer-po-organizatsionii-upravleniya-othodami-v-rossii-kak-faktora-povysheniya-ee-energoeffektivnosti> (дата звернення: 08.05.2021).
20. Роботизований автоматичний комплекс із сортування твердих побутових відходів на основі нейронних мереж [Електронний ресурс]. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2731052C1_20200828 (дата звернення: 08.05.2021).
21. Спосіб переробки твердих побутових відходів та пристрій для переробки твердих побутових відходів [Електронний ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2677297C1/ua> (дата звернення: 08.05.2021).
22. Спосіб сортування сміття [Електронний ресурс]. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2624288C1_20170703 (дата звернення: 08.05.2021).
23. Спосіб сортування твердих побутових відходів та пристрій для його здійснення [Електронний ресурс]. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2517225C1_20140527 (дата звернення: 08.05.2021).
24. Степанова І.А., Степанов А.С. Огляд систем збирання та видалення відходів в антропогенних екосистемах [Електронний ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-sistem-sbora-i-udaleniya-othodov-v-antropogennyh-ekosistemah> (дата звернення: 08.05.2021).

25. Федеральний закон «Про відходи виробництва та споживання». Стаття 1. Основні поняття [Електронний ресурс]. URL:http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/bb9e97fad9d14ac66df4b6e67c453d1be3b77b4c/ (дата звернення: 08.05.2021).
26. Шайдулова А.О. Методичні вказівки щодо виробничої практики на ТОВ «ЕкоРесурсПоволжъ». Ділянка сортування ТПВ, 2019. 20 с.
27. Adipah S., Kwame ON A novel introduction of municipal solid waste management // Journal of Environmental Sciences. 2019. Т. 3, № 2. Р. 147-157.
28. Azevedo BD, Scavarda LF, Caiado RGG Urban solid waste management in developing countries from the sustainable supply chain management perspective. 2019. Vol. 233. P. 1377-1386.
29. Dlamini S., Simatele MD, Serge Kubanza N. Municipal solid waste management in South Africa: з waste to energy recovery through waste-to-energy technology in Johannesburg // Local Environment. 2019. Vol. 24 № 3. P. 249-257.
30. El-Haggar S., Samaha A. Sustainable використання municipal solid waste // Roadmap for Global Sustainability – Rise of the Green Communities. Springer, Cham, 2019. P. 189-203.
31. Pardini K., Rodrigues JJ, Kozlov SA. 2019. Т. 8 № 1. Р. 5.
32. Інфографіка. Шляхи відходів // Навколо світу. - 2012. - № 7. - С. 22.
33. Освіта відходів виробництва та споживання за видами економічної діяльності по Російській Федерації // Федеральна служба державної статистики: крат. Стат. зб. - Москва: Росстат, 2018 - 522 с.
34. Росприроднагляд. Доповідь «Про хід робіт з виявлення та примушення до ліквідації місць несанкціонованого розміщення твердих побутових відходів у 2012 році». – Режим доступу: http://rpn.gov.ru/sites/all/files/documents/doklady/doklad_na_nevskiy_kongress-dlya_zhigileya.doc, вільний. – Назва з екрана. - Яз. руський. (Дата звернення 10.04.2019).
35. Садиков С. С. Розпізнавання накладених реальних плоских об'єктів за безрозмірними ознаками контурів їх зображень/С. С. Садиков, Я. Ю.

- Кульков// Прикаспійський журнал: управління та високі технології. - 2016. - № 4 (36). – С. 10–20.
36. Сироткін І. А. Нейросетова система управління маніпулятором доїльного робота / І. А. Сироткін, С. А. Воротніков // Прикаспійський журнал: управління та високі технології. - 2018. - № 1 (41). - С. 205-215.
 37. ABB Robotics. IRB 360 FlexPicker. Product specification. – Режим доступу: <https://new.abb.com/products/robotics/ua/Industrial-robots/irb-360>, вільний. – Назва з екрана. - Яз. руський. (Дата звернення 10.04.2019).
 38. Agnieszka Mikolajczyk. Data augmentation for improving deep learning in image classification problem / Agnieszka Mikolajczyk, Michal Grochowski // 2018 International Interdisciplinary PhD Workshop (IIPHDW). – May 2018. – P. 117–122. DOI: 10.1109/IIPHDW.2018.8388338.
 39. Алекс Крижевський. ImageNet Classification with Deep Convolutional Neural Networks / Alex Krizhevsky, Ilya Sutskever, Geoffrey E. Hinton. – 17 November 2013. – P. 1–9.
 40. Black Dog Publishing Recycle: a source book. - London, UK: Black Dog Publishing, 2006.
 41. Bleiwas D. "Obsolete Computers, "Gold Mine," або High-Tech Trash? Resource Recovery from Recycling" (PDF) / D. Bleiwas // USGS. – March 4, 2019. – P. 1–4.
 42. Gershman, Brickner & Bratton, Inc. American Chemistry Council. The Evolution of Mixed Waste Processing Facilities 1970-Today. - 2015. - 62 p.
 43. Hoo-Chang Shin. Deep Convolutional Neural Networks for Computer-Aided Detection: CNN Architectures, Dataset Characteristics and Transfer Learning / Hoo-Chang Shin, Holger R. Roth, Mingchen Gao et al. // IEEE Transaction on Medical Imaging. - 2016. - P. 1285-1298.
 44. Irwin Sobel. History and Definition of Sobel Operator / Irwin Sobel. – Режим доступу: <https://ua.scribd.com/document/271811982/History-and-Definition-of-Sobel-Operator>, вільний. – Назва з екрана. - Яз. англ. (Дата звернення 10.04.2019).

45. Olaf Ronneberger. U-Net – Convolutional networks for biomedical image segmentation / Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, Thomas Brox // Computer Vision and Pattern Recognition. - 2015. - P. 234-241.
46. Raymond Clavel. Conception d'un robot parallele rapide a 4 degres de liberte. These # 925 / Raymond Clavel. - EPFL, 1991. - 146 p.
47. Recycling through the ages: 1970s. Plastic Expert – 30 July 2014. – Retrieved 7 March 2015.
48. Ross Girshick. Fast R-CNN/Ross Girshick//Microsoft research. - 2015. - P. 1-9.
49. Shaoqing Ren. Faster R-CNN. Дowards real-time object detection with region proposal networks / Shaoqing Ren, Kaiming He, Ross Girshick Jian Sun // Microsoft Research. - 2015. - P. 1-14.
50. West Jeremy. Spring Research Presentation: Theoretical Foundation for Inductive Transfer / West Jeremy, Ventura Dan, Warnick Sean. – Brigham Young University, College of Physical and Mathematical Sciences, 2017. – Archived from the original on 2007-08-01. Retrieved 2007-08-05.
51. What a Waste 2.0: Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. – Режим доступу: <http://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/>, вільний. – Назва з екрана. - Яз. англ. (Дата звернення 10.04.2019).
52. LeCun Y. Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition / Y. LeCun, B. Boser, JS Denker, D. Henderson, RE Howard, W. Hubbard та LD Jackel // Neural Computation. - 1989. - № 1 (4). - P. 541-551.

ДОДАТОК А
Перелік зауважень нормоконтролера до кваліфікаційної роботи магістра
студента групи ЕКОМ-21 Віктора КОРОБЧИЦЯ

Позначення документа	Документ	Умовна відмітка	Зміст зауваження

Науковий керівник

(підпис, дата) (ПІБ)

Олексій КУТНЯШЕНКО

Нормоконтролер

(підпис, дата) (ПІБ)

Олексій КУТНЯШЕНКО

Завідувач кафедри

(підпис, дата) (ПІБ)

Віктор КОСТЕНКО