

**Інтелектуальна система класифікації побутових відходів методами
глибокого навчання**

***Анотація.** Розроблено та реалізовано інтелектуальну систему класифікації побутових відходів за методами глибокого навчання. Проект включає огляд літератури, аналіз існуючих систем, а також створення математичної та програмної моделей. Система використовує згорткові нейронні мережі для точного розпізнавання різних класів відходів на зображеннях. У результаті дослідження була досягнута висока точність класифікації, що підтверджено тестуванням моделі. Проект має практичне значення для покращення процесів розумного управління відходами.*

***Ключові слова** – інтелектуальна система, глибоке навчання, згорткові нейронні мережі, класифікація побутових відходів.*

Вступ. Забруднення навколишнього середовища через неправильне сортування та утилізацію побутових відходів є проблемою глобального масштабу. Застосування сучасних технологій штучного інтелекту та глибокого навчання дозволяє підвищити ефективність та швидкість сортування відходів. В умовах зростаючого об'єму сміття автоматизовані системи класифікації є необхідним інструментом для управління відходами. Використання машинного навчання дозволяє створити точні рішення для розпізнавання різних типів побутових відходів [1]. Впровадження автоматичних систем сортування може зменшити людські помилки та підвищити швидкість обробки відходів.

Розробка інтелектуальної системи. Інтелектуальна система класифікації побутових відходів є програмним продуктом, розробленим для автоматичного розпізнавання та класифікації сміття за допомогою алгоритмів глибокого навчання. Вона належить до класу систем комп'ютерного зору, які опрацьовують зображення предметів для подальшого прийняття рішень на основі виявлених характеристик [2]. Метою створення системи є підвищення ефективності сор-

тування відходів на ранніх етапах обробки, зниження навантаження на працівників сміттесортувальних станцій, сприяння свідомій поведінці населення шляхом автоматизації процесу визначення категорії сміття.

Основними функціональними можливостями системи є:

- автоматичне визначення типу побутового відходу (пластик, скло, папір, метал, органічні відходи тощо) на основі фото або відеопотоку;
- виведення результату класифікації у зручному для користувача форматі (текстовий опис, іконка, голосовий супровід);
- збереження результатів класифікації до бази даних для подальшого аналізу та оптимізації процесів сортування;
- можливість масштабування для роботи з мобільними, веб- або вбудованими пристроями (смарт-контейнери, роботизовані сортувальні системи).

Інтелектуальна система побудована на основі згорткової нейронної мережі, яка виконує навчання на великій кількості зображень побутових відходів. Мережа навчається виділяти характерні ознаки різних категорій сміття, що дозволяє системі досягати високої точності класифікації навіть у випадках поганого освітлення, фону або часткового перекриття об'єктів на зображенні. Загальна структура системи включає такі основні модулі.

Для реалізації системи було використано такі технології:

- мова програмування Python 3.10;
- фреймворки глибокого навчання TensorFlow, Keras;
- інструменти обробки зображень OpenCV;
- інструменти роботи з даними бібліотеки NumPy, Pandas;
- інтерфейс користувача Streamlit для вебзастосунку;
- інструменти візуалізації бібліотеки Matplotlib, Seaborn;
- середовище розробки Google Colab.



Рисунок 1. Основні модулі інтелектуальної системи

Експериментальна частина. Для реалізації інтелектуальної системи класифікації побутових відходів було обрано набір даних Garbage Classification Dataset, який містить зображення різноманітних категорій сміття, призначених для автоматичного розпізнавання та класифікації. Він включає зображення таких типів відходів, як пластик, метал, скло, органіка, папір, батарейки, текстиль, електроніка. Обраний набір даних дозволяє ефективно навчати та тестувати модель глибокого навчання, що виконує класифікацію сміття за типом. Він є придатним для створення інтелектуальної системи, що застосовується у сферах автоматичного сортування відходів, екологічного моніторингу та розумних сміттєвих контейнерів.

Інтелектуальна система класифікації побутових відходів функціонує як система, що здійснює автоматичне розпізнавання, класифікацію та сортування сміття на основі зображень. Логіка роботи системи базується на послідовному виконанні етапів попередньої обробки, розпізнавання зображень за допомогою згорткової нейронної мережі, класифікації відходів за категоріями та подальшої інтеграції з виконавчими механізмами у випадку впровадження системи на виробництві або сортувальній лінії [3].



Рисунок 2. Послідовність обробки зображень

Графічний інтерфейс інтелектуальної системи представлено нижче.

Таким чином можна відкрити зображення 6 класів побутових відходів та класифікувати їх, для якого виду вони належать.

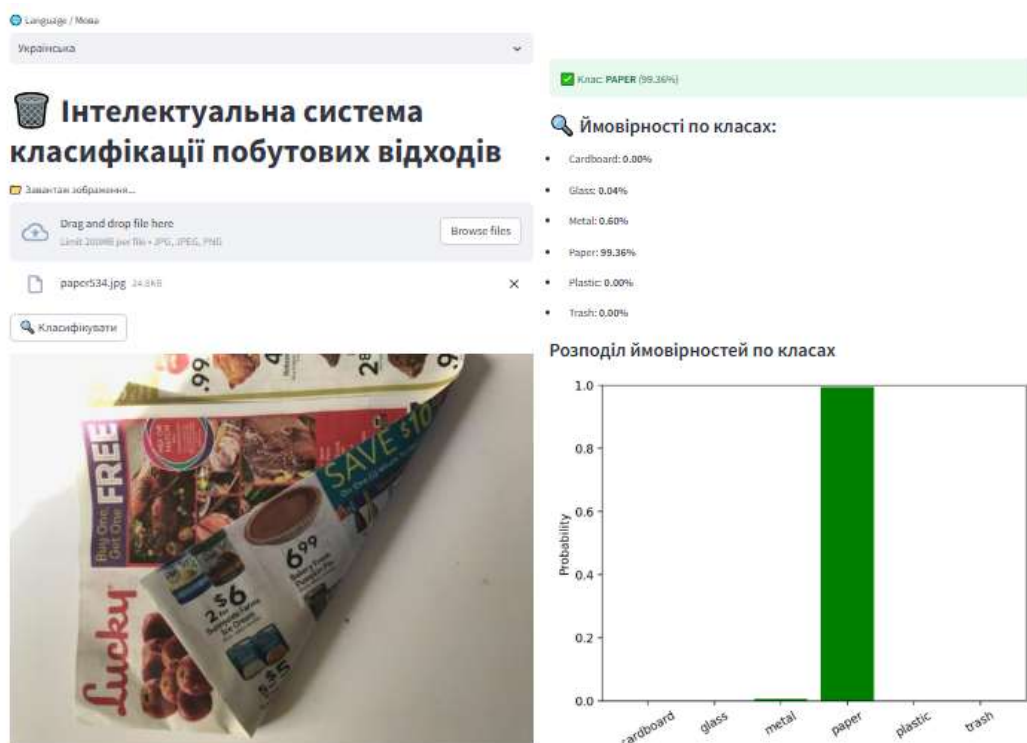


Рисунок 3. Графічний інтерфейс інтелектуальної системи

Висновок. Розроблено інтелектуальну систему автоматичної класифікації побутових відходів на основі методів глибокого навчання. Використана архіте-

ктура згорткової нейронної мережі показала високий рівень точності при тестуванні на контрольних знімках. Результати експериментів показали, що модель досягає рівня точності близько 80-95 %, що є прийнятним для задач багатокласової класифікації. Впровадження зручного інтерфейсу забезпечує швидкий і зручний доступ до системи для користувачів. Система легко масштабується та може бути адаптована для класифікації інших типів зображень або додаткових категорій. Проведені візуалізації та аналіз результатів підтвердили коректність роботи моделі. Впровадження автоматизованої класифікації сприятиме більш ефективному сортуванню та переробці побутових відходів.

Список використаних літературних джерел

- [1] Johansson, N., & Corvellec, H. (2018). Waste policies gone soft: an analysis of European and Swedish waste prevention plans. *Waste management*. Vol. 77, pp. 322-332.
- [2] Abdallah, M., Abu, TalibM., & Feroz, S. (2020). Artificial Intelligence Applications in Solid Waste Management: a systematic research review. *Waste management*. 109, pp. 231-246.
- [3] Abdel-Shafy, H., & Mansour, M. (2018). Solid waste issue: sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian journal of petroleum*. 27, pp. 1275-1290.

Intelligent system for classifying household waste using deep learning methods

Vitaliy Krytchak, Igor Pirko

An intelligent system for classifying household waste using deep learning methods has been developed and implemented. The project includes a literature review, analysis of existing systems, and the creation of mathematical and software models. The system uses convolutional neural networks to accurately recognize different classes of waste in images. As a result of the research, high classification accuracy was achieved, which was confirmed by testing the model. The project has practical significance for improving smart waste management processes.