

УДК 681.51

DOI: 10.18372/2073-4751.70.16849

**Нестеренко В.В.**,  
orcid.org/0000-0003-0742-4546,

**Бердник Ю.М.**,  
orcid.org/0000-0002-0008-4748

## СПОСІБ ОЧИЩЕННЯ ВОДОЙМ ВІД ПЛАВУЧОГО СМІТТЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ДРОНІВ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»

vicway.nesterenko@gmail.com  
y.berdnyk@kpi.ua

### **Вступ**

Однією з сучасних екологічних проблем є значне забруднення водойм плавучим сміттям. Сучасні способи очищення, такі як виловлювання вручну, човнами чи встановлення сіток на поверхні водойм вимагають потужного людського, часового та грошового ресурсу.

Проблема забруднення водойм зараз стоїть доволі гостро, тому існує потреба у створенні інструменту, що допомагав би виявляти такі проблеми на початкових стадіях та вирішувати їх одразу, витрачаючи мінімум ресурсів.

Різкий розвиток технологій дозволяє запропонувати підходи, що дозволять вирішувати такі проблеми. На теперішній час дрони все ширше застосовуються у різних сферах: медіа, військова сфера, аграрна сфера та охоронна сфера.

Існуючі системи очищення вирішують дану проблему лише частково. Наразі на ринку представлені такі системи очищення водойм від плавучого сміття: човник «Good Ship IKEA», аквадрон «Waste Shark» та безпілотний літальний апарат «Drone Cleanzilla» [5].

Човник «Good Ship IKEA» – це компактний човен, який оснащений технологією екологічного очищення водойм та за допомогою пульта керується користувачем [2]. Аналогічний метод керування у аквадрона «Waste Shark», але він може перевозити набагато більше сміття, аніж попередня система [3]. Безпілотний літальний апарат «Drone Cleanzilla» є більш сучасною розробкою через те, що оснащена

технологією виявлення сміття на поверхні водойми та надіслання зроблених фото на сервер, щоб користувач міг відслідкувати забруднені ділянки та очистити їх [1].

Розглянуті системи [1-3] не можуть забезпечити процес очищення водойми без постійної участі оператора.

У статті запропоновано спосіб очищення водойм від плавучого сміття за допомогою дрону та човна. Дрон літає над поверхнею водойми, розпізнає сміття та передає його координати човну, який збирає сміття.

Для розпізнавання плавучого сміття використовуються методи, основою яких є навчання нейронних мереж.

### **Мета**

Метою статті є покращення екологічного стану водойм шляхом очищення їх від плавучого сміття.

### **Основна частина**

Для досягнення мети в статті запропоновано спосіб очищення водойм за допомогою системи, яка складається з дрона та човна.

Дрон літає над площею водойми, виявляє вид сміття та його місце розташування і надсилає координати виявленого сміття човну. Човен виконує функції: збору плавучого сміття за допомогою ємності, яка розміщена на човні. Потім човен підпливає до берега та заїжджає по похилій платформі, яку попередньо розташувала вантажівка з вивозу сміття. Після прибуття на місце, човен висипає у контейнер вантажівки зібране сміття та по

похилій платформі повертається назад у водойму.

На рис. 1 наведена функціональна схема запропонованої системи.

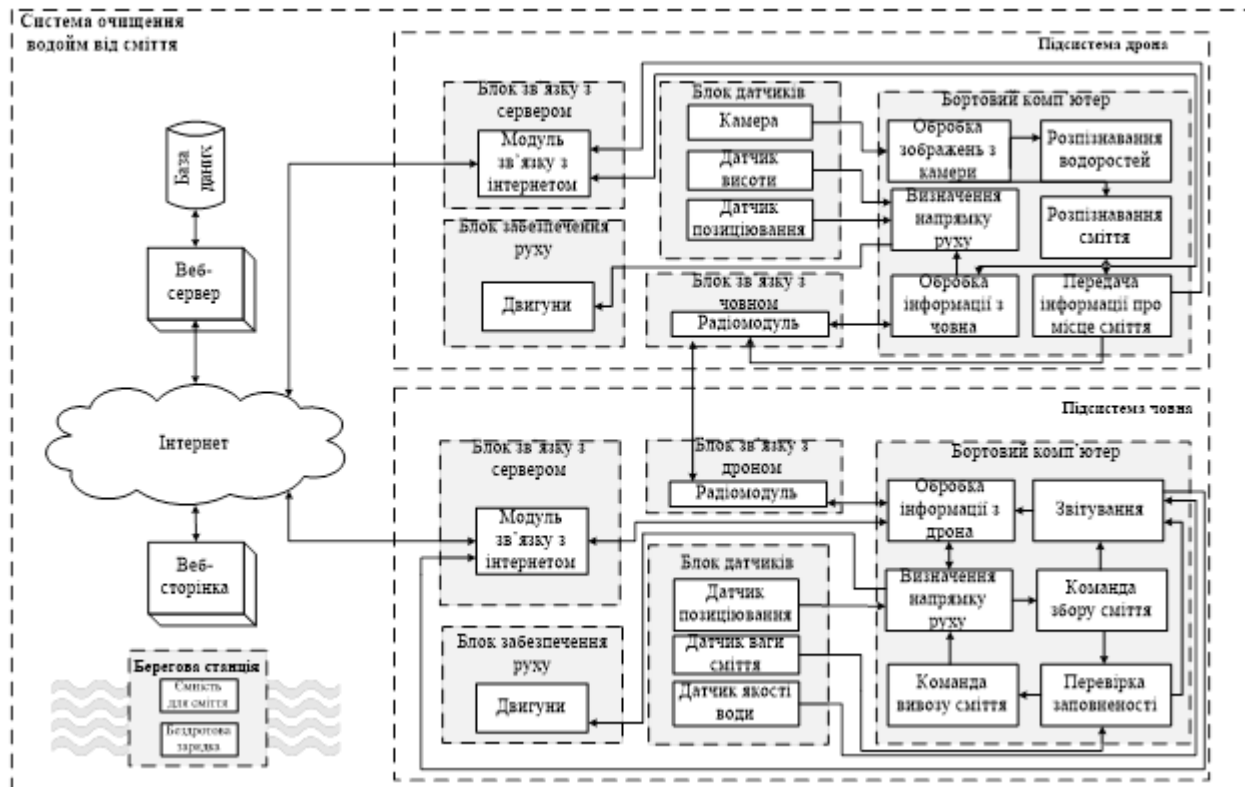


Рис. 1. Функціональна схема системи очищення водойм від сміття

Як видно з рисунка система складається з двох підсистем: дрона та човна.

Підсистема дрона складається з блоку бортового комп'ютера, блоку датчиків, блоку зв'язку з сервером, блоку забезпечення руху та блоку зв'язку з човном. Блок забезпечення руху складається з виконавчих пристроїв – двигунів, до яких надходить сигнал з бортового комп'ютера. Блок датчиків містить камеру, датчик висоти та датчик позиціонування. Зображення з камери передаються на блок бортового комп'ютера, де виконуються функції обробки зображень та розпізнавання на них сміття та водоростей. Датчик позиціонування надсилає сигнал до бортового комп'ютера для визначення напрямку руху дрона. Блок зв'язку з сервером складається з модуля зв'язку з Інтернетом, який у свою чергу підключається до мережі Інтернет, яка зображена на схемі хмарою за межами підсистеми.

Блок зв'язку з сервером через мережу Інтернет має вихід до веб-сервера, який в свою чергу має доступ до бази

даних, а також до веб-сторінки, через яку користувач зможе дистанційно відстежувати стан системи і водойми та керувати системою. Блок зв'язку з човном включає в себе радіомодуль, через який відбувається передача інформації між човном та дроном.

Підсистема човна складається з блоку бортового комп'ютера, блоку датчиків, блоку забезпечення руху, блоку зв'язку з сервером та блоку зв'язку з дроном. Блок забезпечення руху складається з виконавчих пристроїв – двигунів, до яких надходять сигнали керування з бортового комп'ютера.

Блок датчиків містить датчик позиціонування, датчик ваги сміття та датчик якості води. Інформація з датчика ваги сміття надходить до певного блоку бортового комп'ютера, щоб виконати перевірку заповненості для уникнення перевантаження ємності. Після фіксації датчиком повного заповнення ємності сміттям, блок бортового комп'ютера дає команду на вивіз сміття. Човен підпливає до берега та

заїжджає по похилій платформі, яку попередньо розташувала вантажівка з вивозу сміття. Після прибуття на місце, човен висипає у контейнер вантажівки зібране сміття та по похилій платформі повертається назад у водойму.

Датчик якості води відстежує якість води у водоймі та надсилає звіт до сервера через бортовий комп'ютер. Датчик позиціонування надсилає сигнал до бортового комп'ютера для визначення напрямку руху човна. Звітування на сервер про роботу датчиків та вивіз сміття відбувається за командою з блока бортового комп'ютера. Блок зв'язку з дроном включає в себе радіомодуль, через який відбувається передача інформації між човном та дроном. Блок зв'язку з сервером складається з модуля зв'язку з Інтернетом, який має вихід до мережі.

Підсистема дрона оснащена малопотужними акумулятором, тому на березі водойми має бути встановлена бездротова система зарядження. Дрон підлітає до бездротової зарядної станції, приземляється на неї та заряджає акумулятор.

Як відомо, останнім часом різко зросло використання машинного навчання. Це пов'язано з ростом обчислювальної потужності, доступної для досліджень і навчання. Глибоке навчання тепер допомагає вирішувати проблемні області, пов'язані з серйозними екологічними впливами. Однією з таких проблем є ідентифікація та класифікація сміття. А сучасні мікрокомп'ютери (наприклад Raspberry Pi) мають достатньо обчислювальної потужності для вирішення задач класифікації. Це дозволяє виконувати алгоритм розпізнавання плавучого сміття прямо на мікрокомп'ютері дрона.

У цих цілях пропонується використовувати алгоритм YOLO (You Only Look Once), який зазвичай використовує одну нейронну мережу для виявлення предметів і виводить їх точність розпізнавання за допомогою відсоткового значення ймовірності класу в одній оцінці [4].

Цей підхід розбиває зображення на шматки, передбачає обмежувальні рамки

та ймовірності для кожного окремого випадку. Обмежувальні рамки зважуються прогнозованими ймовірностями.

Для прогнозування потрібен лише один прямий прохід через нейронну мережу. Після проходження алгоритм виводить розпізнані об'єкти разом із обмежувальними рамками та ймовірностями.

Хорошої продуктивності в режимі реального часу можна досягти при високій якості зображення камери.

Одноступеневе виявлення було популяризовано в глибокому навчанні в основному двома архітектурами детекторів: Single Shot MultiBox Detector, YOLO. У цьому методі багато помилкових виявлень потрібно видалити, враховуючи об'єктивність або оцінку класифікації та збіги між виявленнями. Відповідно до різних предметів у середовищі, використовується різна обробка моделі, і алгоритм виявлення YOLO використовується для обробки вхідних даних. Структуровані дані з відкритим даними, зібрані з TACO – безкоштовний сет даних з фотографіями сміття на певній місцевості, і зв'язок моделі утворюють базу знань [6]. Ця база знань становить уніфіковану характеристику та зберігання інформації семантичного опису, інформації про атрибути та інформації про просторове розташування елементів у зображенні. Структуровані дані завершують вилучення атрибутів елемента та інформації про взаємозв'язки. Остаточний вигляд даних може однорідно представляти та зберігати семантичний опис, атрибути та пов'язану інформацію про елементи в зображенні. Під час виявлення та класифікації предметів у середовищі алгоритм виявлення YOLO виконуватиме виявлення в режимі реального часу, щоб отримати інформацію про його місцезнаходження та категорію, а також запитувати інформацію про сутність із високою семантичною схожістю з інформацією про категорію в графі бази знань на основі повернення атрибутів та пов'язаної інформації, щоб визначити, чи є об'єкт сміттям і який це тип сміття, а також прийняти подальші рішення [4].

Незважаючи на багато переваг, детектори об'єктів все ще вимагають величезних обсягів даних з належними анотаціями. Такі дані часто важко зібрати, особливо коли більшість доступних наборів даних не відповідають вимогам щодо анотацій обмежувальної рамки та достатньо насичених міток класифікації [4].

Оскільки, навчання нейронної мережі потребує великої кількості обчислювального ресурсу, то пропонується виконати навчання заздалегідь, а на мікрокомп'ютер дрона інсталювати вже навчену мережу.

Для написання скрипту розпізнавання використовують мову програмування Python, так як вона містить увесь потрібний інструментарій та бібліотеки.

Алгоритм навчання має входні параметри: кількість зображень, які будуть використовуватись для навчання, по скільки буде братись фото на одну ітерацію навчання, файл з даними навчання, шлях до файлу конфігурацій, ваги, папка для виводу отриманих результатів та як буде відбуватись навчання : з CPU чи GPU.

Навчання мережі відбуватиметься на центральному процесорі, так як запуск скрипту проходить через веб-інтерактивного середовища Google Colab.

Після успішного навчання нейронної мережі на рис. 2 отримали зображення з розпізнаним сміттям на водоймах.



Рис. 2. Виведені фотографії з розпізнаним сміттям

На зображенні видно розпізнане сміття, пластик, яке виведено разом із обмежувальними рамками та ймовірностями.

Для аналізу точності навчання мережі скрипт виводить графіки точності розпізнавання різних видів сміття. Ця

точність визначається метриками прецизійності (precision) та повноти (recall). Дані метрики використовуються для оцінки алгоритмів інформації. За допомогою кривої ROC (Receiver operating characteristic) можна виконати оцінку якості класифікації на двох класах. Інтерпретацією даної кривої дає значення AUC (англ. Area under ROC curve, площа під ROC-кривою) – параметр, який визначає площу під кривою помилок. На рис. 3 зображений графік залежності метрик прецизійності від метрик повноти за допомогою кривих ROC та AUC.

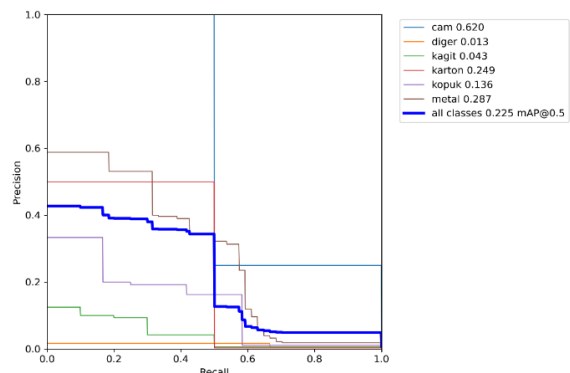


Рис. 3. Графік оцінки навчання мережі

На графіку зображені криві точності розпізнавання для різних видів сміття: картону, металу, пластикових пляшок та загальну криву для усіх класів розпізнавання. За результатами видно, що найбільшої точності розпізнавання мережа досягнула для металу.

### Висновки

Таким чином, запропоновано спосіб, який забезпечує покращення екології водних ресурсів: зменшення кількості плаваючого сміття на поверхні водойм. До складу запропонованої системи входить безпілотний літальний апарат – дрон, який розпізнає сміття на поверхні водойми і надсилає координати його розташування човну, та човен, який збирає сміття і вивозить його у відведене місце на березі. Програмне забезпечення, завантажене на бортовий комп'ютер дрона, забезпечує процес розпізнавання сміття на поверхні водойми. У майбутньому запропонована система може стати сучасним стартапом.

**Література**

1. Drone Clean-Zilla. [Electronic resource]. – Access point: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9702544>
2. Leah Kostamo. Planted: A Story of Creation, Calling, and Community Paperback. – 2013. – 172 p.
3. Michael Niaounakis. Management of Marine Plastic Debris. – 2017. – 422.
4. Garbage Detection and Classification Method. [Electronic resource]. – Access

point: <https://www.hindawi.com/journals/complexity/2021/1055604/>

5. 12 Systems for River Cleanup. [Electronic resource]. – Access point: <https://designedconscious.com/plastics-in-the-ocean/sustainability-news-stories/12-river-plastic-cleanup-projects/>

6. What is TACO?. [Electronic resource]. – Access point: <http://taco-dataset.org/>

**Нестеренко В.В., Бердник Ю.М.**

**СПОСІБ ОЧИЩЕННЯ ВОДОЙМ ВІД ПЛАВУЧОГО СМІТТЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ДРОНІВ**

*На теперішній час відомо, що дрони все ширше застосовуються у різних сферах: медіа, військова сфера, аграрна сфера, охоронна сфера та наукові дослідження. У той же час гостро постають проблеми екології, зокрема і водойм. У статті запропоновано спосіб очищення водойм від плавучого сміття за допомогою дронів та човна, розроблено функціональну схему системи очищення водойм. Дрон, літаючи над водоймою, робить знімки поверхні води та розпізнає плавуче сміття на них. Далі дрон надсилає координати розпізнаного сміття човну. Для розпізнавання плавучого сміття використовуються методи, основою яких є навчання нейронних мереж: застосовано алгоритм YOLO.*

**Ключові слова:** очищення водойми, дрон та човен, навчання нейронних мереж, алгоритм YOLO.

**Nesterenko V.V., Berdnyk Y.M.**

**METHOD OF CLEANING WATER FROM WASTE WITH THE HELP OF DRONES**

*Currently, it is known that drones are increasingly used in various fields: media, military, agricultural, security, and scientific research. At the same time, ecological problems, in particular water bodies, are acutely emerging. The article proposes a method of cleaning water bodies from floating waste with the help of drones and a boat, developed a functional diagram of the water body cleaning system. The drone, flying over the water, takes pictures of the water surface and recognizes the floating waste on them. Next, the drone sends the coordinates of the detected debris to the boat. Methods based on learning neural networks are used to recognize floating debris: the YOLO algorithm is applied.*

**Keywords:** cleaning water reservoir, drone and ship, neural networks, YOLO algorithm.