МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ»

Пашенко Олена Леонідівна



УДК 656.61.052:004.93

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА МОНІТОРИНГУ НАДВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Спеціальність 05.22.13 – Навігація та управління рухом

РЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2026

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Одеська морська академія».

Науковий керівник: **ПІПЧЕНКО Олександр Дмитрович,** доктор технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – Навігація та управління рухом, доцент, професор кафедри безпеки морського судноплавства Інституту післядипломної освіти «Центр підготовки та атестації плавскладу» Національного університету «Одеська морська академія», м. Одеса

Офіційні опоненти: **БЕНЬ Андрій Павлович,** доктор технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – Навігація та управління рухом, професор, проректор з науково-педагогічної роботи Херсонської державної морської академії, м. Одеса;

НОСОВ Павло Сергійович, кандидат технічних наук за спеціальністю 05.13.23 – Системи і засоби штучного інтелекту, доцент, завідувач кафедри «Технічна кібернетика й інформаційні технології ім. професора Р. В. Меркта» Одеського національного морського університету, м. Одеса.

Захист відбудеться 10 листопада 2026 р. о 10:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в Національному університеті «Одеська морська академія» за адресою: 65052, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 1, зала засідань вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Одеська морська академія» за адресою: м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 2 та за електронною адресою: http://www.onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy

Автореферат розісланий 9 жовтня 2026 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д-р техн. наук, професор Віталій НІКОЛЬСЬКИЙ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Забезпечення безпеки судноводіння значною мірою залежить від своєчасного та достовірного оцінювання надводної навігаційної обстановки з використанням усіх доступних джерел інформації. Застосування бортового відеоспостереження й методів комп'ютерного зору дає змогу автоматизовано виявляти судна, оцінювати їхній ракурс і визначати пеленг (англ. Bearing, BRN), формуючи додатковий незалежний канал інформації для судноводія.

Радіолокаційна станція (РЛС) та автоматична ідентифікаційна система (АІС) забезпечують інструментальне спостереження за навігаційною обстановкою та взаємодоповнюють одна одну, однак кожне із цих джерел має функціональні обмеження. АІС залежить від наявності, справності та достовірності передавального обладнання судна-цілі й може бути вимкнена або скомпрометована. Порушення роботи АІС можуть бути пов'язані, зокрема, з навмисним відключенням, глушінням або підміною переданих даних унаслідок радіоелектронного чи кібернетичного впливу. За таких умов незалежний відеоканал може використовуватися як додаткове джерело інформації для перевірки просторової та ракурсної узгодженості АІС-даних і спостереження за фізичною ціллю за відсутності достовірного АІС-призначення. Робота РЛС залежить від роздільної здатності, умов поширення сигналу та завад від морської поверхні. Ці обмеження можуть бути частково компенсовані завдяки використанню додаткового незалежного візуального каналу, який не потребує передачі даних судном-ціллю та дає змогу здійснювати взаємну перевірку спостережень, уточнювати кутове положення фізичної цілі й визначати її ракурс як додаткову ознаку просторової орієнтації судна-цілі.

Аналіз наукових джерел показав, що більшість досліджень із застосуванням комп'ютерного зору зосереджена на виявленні суден або їх класифікації за комерційним типом. Визначення пеленгу судна відносно спостерігача та ефективність моделей за умов реального бортового відеоспостереження досліджені менше.

Викладене підтверджує актуальність науково-прикладного завдання підвищення інформаційної повноти та достовірності автоматизованого оцінювання надводної обстановки шляхом виявлення суден у відеоряді, класифікації їхнього ракурсу, визначення пеленгу та спільного використання відеоданих із даними РЛС і АІС для асоціації спостережень і перевірки узгодженості АІС-кандидата.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Актуальність дослідження підтверджується положеннями Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року та операційного плану заходів з її реалізації у 2025–2027 роках, схваленого постановою Кабінету Міністрів України від 27.12.2024 № 1550, а також Указом Президента України

від 30.09.2019 № 722/2019 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року». Виконане дослідження у межах держбюджетної науково-дослідної роботи Національного університету «Одеська морська академія» «Удосконалення систем морського радіозв'язку і навігації для забезпечення кібербезпеки водного транспорту» № ДР 0123U100010 (2022–2024 рр.), у якій здобувачка виконувала окремий розділ.

Мета дослідження – підвищення достовірності автоматизованого оцінювання навігаційної обстановки.

Гіпотеза дослідження полягає в тому, що бортова відеосистема зі спеціалізованою моделлю комп'ютерного зору здатна автоматизовано виявляти судна, класифікувати їхній ракурс і визначати відносний пеленг, а спільне використання відеотреків, відеопеленгу та ознаки ракурсу з даними РЛС і АІС дає змогу уточнювати кутове положення фізичних цілей і перевіряти узгодженість АІС-призначень.

Головне завдання наукового дослідження полягає в розробленні комплексу методів і алгоритмічних рішень для автоматизованого отримання та взаємної перевірки інформації про судна за даними бортового відеоспостереження, РЛС і АІС.

Для досягнення поставленої мети та розв'язання головного завдання сформульовано **п'ять допоміжних завдань**: обґрунтувати систему класів ракурсу, вимоги до формування й анотування відеоданих та до засобів бортового відеоспостереження; обґрунтувати вибір базової архітектури та донавчити на її основі модель комп'ютерного зору для виявлення суден і класифікації їхнього ракурсу; обґрунтувати структуру бортової відеосистеми, розробити алгоритм визначення пеленгу; розробити метод асоціації й взаємної перевірки даних відеосистеми, РЛС і АІС та оцінити його засобами імітаційного моделювання; оцінити за натурними відеоданими показники виявлення суден і класифікації їхнього ракурсу та визначити умови й обмеження застосування моделі.

Об'єкт дослідження – процес автоматизованого візуального спостереження та оцінювання надводної навігаційної обстановки з борту судна.

Предмет дослідження – методи й алгоритми автоматизованого виявлення суден, класифікації їхнього ракурсу та визначення пеленгу за даними бортового відеоспостереження, а також асоціації й взаємної перевірки даних відеосистеми, РЛС і АІС.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в такому:

– уперше розроблено метод асоціації та взаємної перевірки відеотреків, радіолокаційних трас і повідомлень АІС, який поєднує просторово-кінематичне зіставлення з незалежним відеопеленгом та оцінкою впевненості відеомоделі щодо очікуваного ракурсу судна, враховує невизначеність вимірювань і відмінності точок їхньої геометричної прив'язки та забезпечує взаємно однозначне призначення з можливістю залишити

фізичну ціль без установленого ідентифікатора морської рухомої служби (англ. Maritime Mobile Service Identity, MMSI) за недостатньої узгодженості даних, що збільшило частку правильного відхилення хибного AIC-кандидата до 93,19 % при зменшенні частки помилкових MMSI-призначень з 31,67 % до 3,84 %;

– удосконалено підхід до автоматизованого візуального оцінювання надводної обстановки шляхом доповнення виявлення судна визначенням його ракурсу за вісьмома класами та відносного пеленгу, що, на відміну від підходів, орієнтованих переважно на виявлення суден або визначення їхнього комерційного типу, дає змогу отримувати з відеозображення додаткові ознаки просторового положення й орієнтації судна-цілі для подальшого комплексного використання з даними РЛС і AIC;

– набув подальшого розвитку метод визначення відносного пеленгу на судно-ціль за даними бортового відеоспостереження шляхом використання положення локалізованого об'єкта у відеокадрі, що дозволяє автоматизовано визначати напрямок на судно-ціль відносно діаметральної площини судна-спостерігача та використовувати отриманий відеопеленг як незалежну ознаку під час асоціації з даними РЛС і AIC.

Наукове положення сформульовано так: застосування моделі комп'ютерного зору YOLOv8n, донавченої на сформованому й анотованому наборі зображень суден, до даних незалежного каналу бортового відеоспостереження дає змогу автоматизовано виявляти судна й класифікувати їхній ракурс за вісьмома класами, а використання відеопеленгу та ознаки ракурсу під час асоціації з даними РЛС і AIC – уточнювати кутове положення цілі та відхиляти неузгоджені AIC-кандидати в досліджених імітаційних сценаріях.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання запропонованих рішень для побудови бортової системи комп'ютерного зору, призначеної для автоматизованого виявлення суден, класифікації їхнього ракурсу та визначення пеленгу за даними незалежного відеоканалу з подальшою асоціацією відеоспостережень із даними РЛС і AIC.

Основні результати, що виносяться на захист, отримано здобувачкою особисто.

Особистий внесок здобувача полягає у: проведенні аналізу наукових і нормативних джерел та формулюванні завдання автоматизованого виявлення суден і визначення їхнього ракурсу за даними бортового відеоспостереження;

– обґрунтуванні поділу ракурсів судна-цілі на вісім класів, формуванні й анотуванні цільового набору зображень суден, аналізі його структури, балансуванні класів і застосуванні аугментації даних; донавчанні моделі YOLOv8n на сформованому цільовому наборі даних та оцінюванні показників виявлення суден і класифікації їхнього ракурсу; обґрунтуванні структури багатокамерної системи та вимог до засобів бортового відеоспостереження, розробленні алгоритму визначення відносного пеленгу і розрахункового

принципу визначення істинного пеленгу на виявлене судно; розробленні методу асоціації та взаємної перевірки відеотреків, радіолокаційних трас і повідомлень АІС та проведенні його імітаційного оцінювання для визначення впливу відеопеленга й ознаки ракурсу; розробленні методики, організації та проведенні натурних експериментальних досліджень за матеріалами бортового відеоспостереження, а також опрацюванні й інтерпретації їхніх результатів; оцінюванні показників виявлення суден і класифікації їхнього ракурсу за різних дальностей, часу доби, масштабів зображення та класів ракурсу, а також установленні зростання частки правильних класифікацій ракурсу зі збільшенням масштабу зображення судна в дослідженій вибірці.

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення та результати дисертаційного дослідження доповідалися й обговорювалися на таких наукових конференціях: V Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми сталого розвитку морської галузі» (PSDMI-2025), 03–04 грудня 2025 р., м. Одеса; Науково-теоретична конференція «Судноводіння, морські перевезення та технології» (NST-2025), 19–20 листопада 2025 р., м. Одеса; І Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні та операційні технології в судноплавстві» (IOTS-2026), 23–24 квітня 2026 р., м. Одеса; XVIII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (MINTT-2026), 26–28 травня 2026 р., м. Одеса.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 8 наукових праць, із них: 3 статті – у наукових фахових виданнях України категорії «Б»; 1 стаття – в іноземному виданні, що індексується у Scopus (Q3) та Web of Science Core Collection (Q4); 4 праці – у збірниках матеріалів міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференцій, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, переліку скорочень, вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 197 сторінок, список використаних джерел розміщено на 18 сторінках. Робота містить 35 рисунків, 20 таблиць і 3 додатки. Список використаних джерел налічує 134 найменування.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У вступі обґрунтована актуальність обраної теми, сформульовані мета та завдання наукового дослідження, визначені наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок автора в їх отримання, вказані апробація результатів дослідження та їх впровадження.

У першому розділі «Аналіз літературних джерел з проблеми підвищення точності ідентифікації та моніторингу надводних об'єктів» проаналізовано нормативні засади організації належного спостереження, сучасні технічні засоби контролю навігаційної обстановки та наукові підходи до автоматизованого опрацювання морських зображень. Огляд охопив методи виявлення і класифікації суден, підвищення стійкості моделей до змінних умов спостереження, а також підходи до визначення пеленгу та супроводження суден за відеоданими.

У другому розділі «Методологічне забезпечення дисертаційного дослідження» обґрунтовано вибір теми дослідження, сформульовано мету, гіпотезу, об'єкт, предмет і завдання дослідження. Встановлено, що задача виявлення та розпізнавання суден містить як добре структуровані компоненти, пов'язані з математичним описом архітектур нейронних мереж та оцінюванням якості їх роботи, так і слабкоструктуровані елементи, з9умовлені невизначеністю морського середовища та складністю формалізації всіх факторів, що впливають на якість виявлення об'єктів.

Методологічною основою дослідження обрано системний підхід. У роботі використано: аналіз, порівняння та узагальнення наукових і науково-технічних джерел – для визначення сучасного стану задачі та обґрунтування вимог до автоматизованого візуального спостереження; методи системного аналізу – для декомпозиції головного завдання дослідження та формування структури запропонованої відеосистеми; методи комп'ютерного зору і глибокого навчання – для донавчання й оцінювання моделі виявлення суден і класифікації їхнього ракурсу; методи цифрової обробки зображень та аугментації даних – для підготовки й розширення цільового набору та підвищення стійкості моделі до варіативності умов спостереження; методи аналітичної геометрії та тригонометрії – для розробки алгоритму визначення відносного пеленга й принципу переходу до істинного пеленга; імітаційне моделювання методом Монте-Карло та статистичний аналіз – для оцінювання впливу відеопеленга й ознаки ракурсу на результати асоціації та супроводження в різних модельних сценаріях; натурний експеримент та методи описової статистики – для кількісного оцінювання роботи донавченої моделі комп'ютерного зору залежно від дальності, часу доби, масштабу зображення і класу ракурсу; порівняльний аналіз опублікованих результатів – для обґрунтування вибору архітектури YOLOv8n (You Only Look Once, version 8, nano).

У третьому розділі «Методика формування набору даних та донавчання моделі комп'ютерного зору для визначення ракурсу судна» викладено методику формування навчального набору даних і донавчання моделі YOLOv8n. Для формалізації задачі класифікації ракурсу кутовий простір навколо судна-цілі поділено на вісім секторів шириною 45°. Кожному сектору відповідає один із восьми класів ракурсу: forward, port bow, port side, starboard bow, starboard quarter, starboard side, stern, port quarter. Кутові межі класів, їх відповідність традиційному позначенню ракурсу та основні візуальні ознаки наведено на рис. 1.

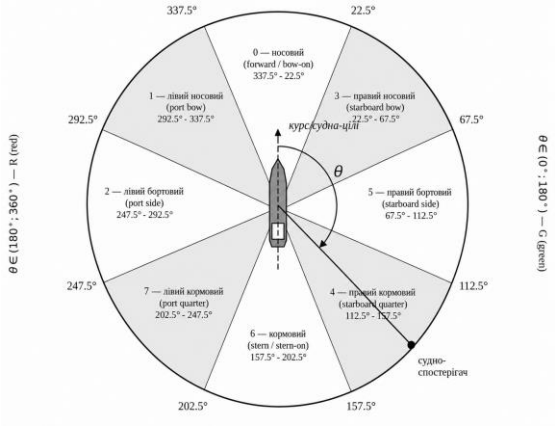


Рисунок 1 – Кутові межі восьми класів ракурсу судна-цілі

Початковий набір даних для донавчання складався з 925 зображень (1913 анотованих екземплярів), на яких кожному анотованому судну було присвоєно один із восьми класів ракурсу (рис. 1). Під час створення навчальної вибірки було відібрано зображення з урахуванням різного часу доби, ускладнених метеорологічних умов, масштабу, різноманіття суден та ракурсів зйомки. Для зображень без даних AIC референтна мітка класу визначалася експертно шляхом візуальної оцінки за формалізованою процедурою. Приблизний розподіл анотованих екземплярів: 70 % – тренувальна вибірка, 20 % – перевірочна вибірка, 10 % – дані для тестування.

Початковий етап донавчання моделі комп'ютерного зору відбувався у вісім проміжних етапів, чотири з яких були відсіяні. Після кожного етапу донавчання проводився аналіз отриманих результатів та приймалося рішення щодо доцільності подальшого використання отриманої моделі. На першому початковому етапі було виконано донавчання моделі протягом 100 епох, всі зображення було масштабовано до розміру за шириною 416 пікселів, що забезпечило уніфікацію вхідних даних. На наступних етапах розмір вхідного зображення було збільшено до 672 пікселів за шириною, що є оптимальним розміром вхідного зображення для моделі YOLOv8n.

З метою підвищення ефективності донавчання та розширення варіативності навчальних даних було використано техніку аугментації. Її використання дозволило розширити навчальний набір шляхом генерації нових варіацій на основі наявних зображень без необхідності збору додаткових даних. При виборі технік аугментації було враховано наявність горизонту, положення неба та моря. Було використано аугментації кольорового простору, геометричні трансформації та просторово-локальні перетворення.

Проміжний аналіз результатів донавчання на початковому наборі даних показав недостатню якість моделі: точність (precision) становила 0,3964, повнота (recall) – 0,4174; mAP@0,5 – 0,3714; mAP@0,5:0,95 – 0,304; втрати за межами рамки (box loss) – 0,0045; втрати класифікації (classification loss) – 0,6963 та втрати розподільчої фокусної функції (distribution focal loss) – 0,9371. Отримані показники свідчать про недостатній рівень якості моделі.

Окрім наведених показників, оцінку якості роботи моделі дає візуальний аналіз помилок. Було виявлено значний дисбаланс класів та схильність моделі до хибнопозитивних спрацювань (модель помилково вважає, що на зображенні присутній об’єкт певного класу) на елементах навколишнього середовища, а також хибнонегативних спрацювань (модель ігнорує об’єкти, які насправді розташовані на зображенні) для найменш представлених класів (port quarter, stern, forward).

Для усунення виявлених недоліків оновлений набір даних було розширено до 1742 зображень, що містили 3327 анотованих екземплярів суден, та доповнено 115 зображеннями без анотованих екземплярів суден.

Для компенсації дисбалансу класів застосовано вагові коефіцієнти (class weights), обернено пропорційні кількості прикладів кожного класу відносно найбільш представленого класу (port side):

$$w_i = \frac{N_{\max}}{N_i}, \tag{1}$$

де w_i – ваги для класу *i*; вагові коефіцієнти для класів forward, port bow, port side, starboard bow, starboard quarter, starboard side, stern, port quarter відповідно: 1,86; 1,70; 1,00; 1,73; 2,22; 1,11; 3,29 та 2,32.

$N_{\max}$ – максимальна кількість об’єктів серед усіх класів;

N_i – кількість об’єктів для класу *i*.

У результаті багатоступеневого донавчання моделі, що охопило 445 епох, розподілених на дев’ять відібраних етапів, отримано підсумкову модель з такими показниками якості: точність (precision) – 0,7034; повнота (recall) – 0,6098; середня точність mAP@0,5 – 0,6747; середня точність mAP@0,5:0,95 – 0,5404 (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати донавчання моделі комп’ютерного зору для розпізнавання ракурсу судна

Параметр	1 етап	2 етап	3 етап	4 етап	5 етап	6 етап	7 етап	8 етап	9 етап
Загальна кількість епох	100	20	20	25	60	60	60	50	50
Епоха з найкращими показниками	78	19	18	25	56	57	59	28	17
Втрати за межами рамки (Box loss)	0,6674	0,5973	0,0043	0,0045	0,0028	0,0030	0,0029	0,0027	0,0048
Втрати класифікації (Classification loss)	0,8893	0,6454	0,6759	0,6963	1,3078	1,3240	1,0118	0,8444	0,7362
Втрати розподільчої фокусної функції (Distribution focal loss)	0,9214	0,8846	0,9246	0,9371	0,7845	0,8135	0,8004	0,7672	0,6883
Точність (precision)	0,2888	0,3606	0,3642	0,3964	0,5979	0,6379	0,6585	0,6792	0,7034
Повнота (recall)	0,5167	0,4393	0,4253	0,4174	0,5667	0,5975	0,6397	0,6445	0,6098
Середня точність при порозі 0,5 (mAP@0,5)	0,3748	0,3649	0,3501	0,3714	0,5985	0,6420	0,6687	0,6728	0,6747
Середня точність у діапазоні 0,5–0,95 (mAP@0,5–0,95)	0,3007	0,2967	0,2851	0,3040	0,4775	0,5151	0,5428	0,5477	0,5404

Оскільки показники перевірочної вибірки використовувалися для порівняння етапів донавчання та вибору остаточної моделі, її підсумкове оцінювання було виконано окремо на тестовій вибірці. Для моделі 9-го етапу на тестовій вибірці отримано precision – 0,6531; recall – 0,6404; mAP@0,5 – 0,6955 та mAP@0,5:0,95 – 0,5580. Саме ця донавчена модель використана в подальших експериментальних дослідженнях.

У четвертому розділі «Обґрунтування вимог до засобів відеоспостереження та структури відеосистеми» сформовано вимоги до суднової відеосистеми кругового огляду для виявлення надводних об’єктів, визначення їхнього ракурсу і пеленга та спільного використання з даними РЛС і АІС. Визначено допустимі сліпі сектори, умови розміщення камер і принцип розподілу секторів відповідальності.

За відсутності нормативної бази ІМО щодо розміщення засобів спостереження на борту судна було прийнято як еталон стандарти для радіолокаційних станцій. У загальній зоні огляду вперед від траверза кутова ширина кожного окремого сліпого сектора, спричиненого конструктивними елементами судна або вантажем, не повинна перевищувати 10°. Сумарна кутова протяжність усіх сліпих секторів у цій зоні не повинна перевищувати 20°. Між суміжними сліпими секторами повинні забезпечуватися прозорі сектори огляду шириною не менше 5°.

За прийнятою моделлю оптичного горизонту встановлення камери на висоті 8,4 м над рівнем моря забезпечує геометричну видимість поверхні моря до горизонту на відстані близько 6 морських миль. Це значення використано як проєктний орієнтир.

На основі критеріїв Джонсона та особливостей роботи сучасних моделей сімейства YOLO значення 32 × 32 пікселі прийнято як проєктний орієнтир мінімального розміру зображення цілі, необхідного для її виявлення. Визначено, що для забезпечення необхідної деталізації ширококутними об’єктивами без оптичного чи цифрового наближення навіть при горизонтальному полі зору (англ. Horizontal Field of View, HFOV) 60° на відстані 6 морських миль потрібна роздільна здатність камери від 262 мегапікселів, що може призвести до надмірного обчислювального навантаження, викривлення зображення на краях кадру та зниження точності класифікації.

Як технічне рішення в роботі запропоновано застосування камер типу Pan-Tilt-Zoom (PTZ), які поєднують ширококутний режим спостереження зі значним оптичним чи цифровим зумом. Запропоновано підхід, в межах якого кожна з камер забезпечує спостереження в межах визначеного горизонтального кутового діапазону, формуючи основний сектор покриття з додатковим суміжним перекриттям з обох боків. На рис. 2 зображено приклад схеми розміщення засобів відеоспостереження, де кожна камера пронумерована від 1 до $N = 6$ за годинниковою стрілкою. Номінальний сектор першої камери позначений чорною стрілкою та прирівняний до HFOV. Основний сектор покриття кожної з камер, тобто область основного огляду, позначений помаранчевою стрілкою. Оптична вісь у ширококутному режимі в стані спокою, без фокусування та оптичного наближення, позначена синьою пунктирною лінією. Оптична вісь першої камери чітко спрямована на ніс судна. Відстань між оптичними осями в ширококутному режимі фіксована та позначена синьою стрілкою.

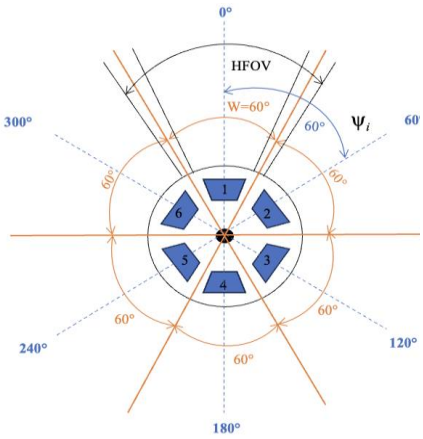


Рисунок 2 – Загальний вигляд розміщення засобів відеоспостереження в горизонтальній площині

У роботі сформовано такий метод визначення відносного пеленга: у разі потрапляння обмежувальної рамки виявленого об’єкта в зону відповідальності

однієї з камер, тобто в межі її горизонтального кутового діапазону, система обчислює значення відносного пеленга на основі координат центра обмежувальної рамки в межах даного діапазону. Координати обмежувальної рамки визначаються наступними параметрами $x_{\min}$, $y_{\min}$, $x_{\max}$, $y_{\max}$, тоді координати центральної точки цієї рамки можна визначити за формулою:

$$x_{\text{center}} = \frac{x_{\min} + x_{\max}}{2}, \quad y_{\text{center}} = \frac{y_{\min} + y_{\max}}{2}. \tag{2}$$

Отримані координати центра обмежувальної рамки x_{center} та y_{center} приймаються за координати виявленої цілі у площині зображення та використовуються для визначення напрямку на неї.

Кутове відхилення центра виявленого об'єкта відносно оптичної осі камери визначається з урахуванням перспективної проєкції зображення за формулою:

$$\delta = \operatorname{arctg}\left[(2\frac{x_{\text{center}}}{X} - 1)\operatorname{tg}\frac{HFOV}{2} \right], \tag{3}$$

де x_{center} – горизонтальна координата центра обмежувальної рамки виявленого об'єкта;

X – ширина кадру в пікселях;

$HFOV$ – горизонтальне поле зору камери в поточному режимі.

Відносний пеленг R на виявлений об'єкт визначається з урахуванням положення оптичної осі відповідної камери:

$$R = \left[\psi_i + \delta \right] \bmod 360^\circ, \tag{4}$$

де ψ_i – відносний пеленг оптичної осі i-ї камери;

δ – кутове відхилення об'єкта від оптичної осі.

Сформовано розрахунковий принцип визначення істинного пеленгу шляхом інтеграції відносного пеленгу з даними про істинний курс судна, отриманими від суднового джерела курсу за стандартом NMEA 0183 Національної асоціації морської електроніки. Істинний пеленг T на об'єкт у запропонованій архітектурі може бути визначений за формулою (5), що враховує відносний пеленг R, визначений PTZ-камерою, та істинний курс судна H:

$$T(t) = \operatorname{mod}\left[H(t) + R(t), 360^\circ \right]. \tag{5}$$

Дані про істинний курс надходять від суднового джерела курсу, наприклад гірокомпаса, і передаються передавальним пристроєм курсу (англ. Transmitting Heading Device, THD). Повідомлення NMEA 0183 Heading True (HDT) і True Heading and Status (THS) містять дані про істинний курс, а повідомлення Rate of Turn (ROT) – про кутову швидкість повороту. Для зменшення похибки під час повороту судна відеокадри та навігаційні

повідомлення запропоновано приводити до спільної шкали часу за часовими мітками обчислювальної платформи, синхронізованої за сигналом Pulse Per Second (PPS) приймача глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС) або протоколом Network Time Protocol (NTP).

Загальну структуру системи та організацію взаємодії між засобами відеоспостереження, навігаційними засобами та обчислювальною платформою наведено на рис. 3.

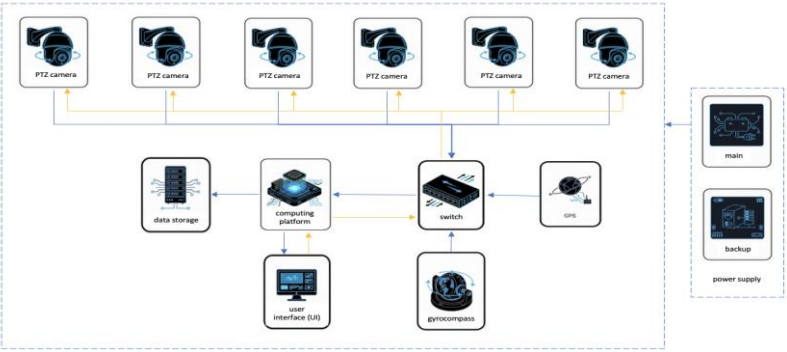


Рисунок 3 – Структурна схема системи визначення ракурсу та пеленгу судна-цілі

На рис. 4 представлено варіант аналізу відеопотоку з одночасним виявленням кількох суден камерою № 6. Судно рухається істинним курсом 040° (у межах від 0 до 360°). Виявлені об’єкти позначаються зеленою рамкою, у верхньому рядку лівого верхнього кута білим кольором наведено істинний пеленг у форматі T-BRN: XXX.XX (градуси та соті частки градуса), а в нижньому рядку – визначений клас ракурсу судна та впевненість моделі.



Рисунок 4 – Оброблений обчислювальною платформою відеопотік від камери № 6

Запропоновано концепцію керування PTZ-камерами, яка передбачає автоматичний огляд простору навколо судна у ширококутному режимі

та можливість переходу до ручного керування з оптичним збільшенням зображення обраної цілі.

Розроблено метод асоціації та взаємної перевірки відеотреків, радіолокаційних трас і повідомлень АІС із використанням просторово-кінематичних характеристик, відеопеленга та ознаки ракурсу. АІС надає MMSI, координати й параметри руху, РЛС незалежно виявляє фізичну ціль і вимірює дистанцію та відносний пеленг, а відеосистема надає додатковий пеленг і ракурс. Якщо надійну відповідність з АІС-кандидатом не встановлено, радіолокаційно-візуальна траса продовжує супроводжуватися без MMSI.

Для імітаційного оцінювання використано три конфігурації: М0 – РЛС і АІС без відеоканалу; М1 – М0 із додаванням відеопеленга; М2 – М1 із додаванням ознаки ракурсу. Перемикання між конфігураціями М0, М1 та М2 дає змогу послідовно оцінити внесок відеопеленга та ознаки ракурсу. Схему послідовного введення інформаційних ознак у конфігураціях М0–М2 наведено на рис. 5.



Рисунок 5 – Схема послідовного введення інформаційних ознак у конфігураціях М0–М2

Для кількісного оцінювання якості асоціації обчислено показники:

$$Precision_{assoc} = \frac{TP}{TP + FP},$$

$$Recall_{assoc} = \frac{TP}{TP + FN},$$

$$F1_{assoc} = \frac{2Precision_{assoc} Recall_{assoc}}{Precision_{assoc} + Recall_{assoc}}, \quad (6)$$

де TP – кількість правильних відповідностей між фізичними цілями та АІС-кандидатами;

FP – кількість помилкових призначень цілі чужого MMSI;

FN – кількість пропущених допустимих відповідностей;

$Precision_{assoc}$ – частка правильних призначень серед усіх виконаних АІС-призначень;

$Recall_{assoc}$ – частка встановлених правильних відповідностей серед усіх еталонних допустимих відповідностей;

$F1_{assoc}$ – гармонічне середнє між $Precision_{assoc}$ і $Recall_{assoc}$.

Точність моніторингу кутового положення цілі було оцінено за циклічною середньоквадратичною похибкою істинного пеленга:

$$RMSE_T = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} d_{\angle}(\hat{T}_n, T_n^{ref})^2}, \quad (7)$$

де N – кількість оцінюваних пеленгів;

$\hat{T}_n$ та T_n^{ref} – відповідно оцінене та еталонне значення істинного пеленга;

$d_{\angle}(\cdot)$ – циклічна різниця кутів.

Відносне зменшення середньоквадратичної похибки конфігурації M_a порівняно з базовою конфігурацією M0 було визначено за формулою:

$$G_{RMSE}^{M_a} = 100\left(1 - \frac{RMSE_T^{M_a}}{RMSE_T^{M_0}}\right), \quad (8)$$

де M_a – оцінювана конфігурація M1 або M2.

Частку помилкових AIC-призначень було визначено як:

$$R_{FA} = \frac{N_{ID}^{wrong}}{N_{ID}^{assigned}}, \quad (9)$$

де N_{ID}^{wrong} – кількість випадків призначення цілі MMSI, що не відповідає її еталонній ідентичності;

$N_{ID}^{assigned}$ – загальна кількість виконаних AIC-призначень.

Для цілей, щодо яких дані AIC відсутні, окремо визначається частка випадків, у яких система коректно не призначила MMSI:

$$R_{NA} = \frac{N_{noAIS}^{correct_unassigned}}{N_{noAIS}^{ref}}, \quad (10)$$

де $N_{noAIS}^{correct_unassigned}$ – кількість випадків, коли цілі без AIC не було призначено чужого MMSI;

N_{noAIS}^{ref} – загальна кількість еталонних випадків спостереження цілей без AIC.

Стабільність установленої відповідності оцінювалася за нормованою частотою перемикань MMSI:

$$r_{IDSW} = \frac{N_{IDSW}}{\sum_n L_n}, \quad (11)$$

де N_{IDSW} – кількість переходів між різними MMSI, призначеними одній трасі;

$\sum_n L_n$ – сумарна тривалість еталонних трас у циклах опрацювання.

Базове імітаційне оцінювання охоплює шість сценаріїв: розріджену обстановку, малі кутові відстані між цілями, перетин траєкторій, затримані AIC-повідомлення, ціль без AIC і погіршення видимості. Додатково в сцені з близькими цілями перевірено припинення AIC-повідомлень однієї цілі

та появу суперечливого підміненого AIC-кандидата. Числові параметри сенсорів, алгоритму та сценаріїв зафіксовано в програмі й протоколі до початку моделювання та не змінено після отримання результатів. В імітаційній моделі стандартне відхилення похибки пеленга РЛС прийнято рівним 1,02°, відеопеленга – 0,43°, а модельну ймовірність правильного визначення ракурсу – 0,78.

Для кожного сценарію виконано по 1000 парних реалізацій для кожної конфігурації. За прийнятих параметрів імітаційної моделі додавання відеопеленга зменшило середньоквадратичну похибку істинного пеленга на 8,34–46,50 % порівняно з M0, однак величина виграшу потребує натурного підтвердження характеристик похибок каналів (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати імітаційного порівняння конфігурацій M0–M2

Сценарій	$RMSE_T$: M0 → M1, °	G_{RMSE}, %	$F1$ (0–1): M0 → M1 → M2	*Recall* (0–1): M0 → M1 → M2	$\Delta F1$ M2− M0, в.п.; 95 % довірчого інтервалу (ДІ)	R_{FA}: M0 → M1 → M2, %
Розріджена	1,045 → 0,571	45,35	0,9636 → 0,9612 → 0,9323	0,9300 → 0,9256 → 0,8737	-3,131 [-3,219; -3,046]	0,00 → 0,00 → 0,00
Малі кути	1,046 → 0,560	46,50	0,9626 → 0,9622 → 0,9328	0,9282 → 0,9274 → 0,8746	-2,976 [-3,061; -2,892]	0,00 → 0,00 → 0,00
Перетин	1,050 → 0,615	41,39	0,9626 → 0,9554 → 0,9154	0,9282 → 0,9149 → 0,8447	-4,715 [-4,825; -4,605]	0,00 → 0,00 → 0,00
Затримка AIC	1,050 → 0,588	44,03	0,9549 → 0,9506 → 0,9163	0,9141 → 0,9062 → 0,8462	-3,865 [-3,965; -3,765]	0,00 → 0,00 → 0,00
Без AIC	1,048 → 0,700	33,25	0,9550 → 0,9369 → 0,9092	0,9227 → 0,8903 → 0,8413	-4,582 [-4,719; -4,445]	0,99 → 1,07 → 0,98
Погана видимість	1,048 → 0,961	8,34	0,9633 → 0,9600 → 0,9600	0,9294 → 0,9234 → 0,9234	-0,325 [-0,368; -0,283]	0,00 → 0,00 → 0,00

У базових сценаріях конфігурація M2 мала нижчу повноту асоціації порівняно з M0, тому перевагу повної конфігурації за узагальненим критерієм не підтверджено. У п’яти базових сценаріях помилкових призначень MMSI не зафіксовано; у сценарії з ціллю без AIC їх частка становила 0,98–1,07 %, а частка правильних призначень ($Precision_{assoc}$) серед виконаних AIC-призначень становила 98,93–100 %. Після припинення AIC-повідомлень фізична ціль продовжувала супроводжуватися за радіолокаційною трасою в усіх конфігураціях. Додаткова функція відеоканалу полягала в уточненні пеленга та наданні інформації про ракурс судна.

У змодельованому сценарії просторово й ракурсно суперечливої підміни частка правильного відхилення хибного AIC-кандидата становила 13,78 % для M0, 33,52 % для M1 і 93,19 % для M2. Порівняно з M0 конфігурація M2, що використовує відеопеленг і ознаку ракурсу, зменшила

частку помилкових призначень MMSI з 31,67 % до 3,84 %, підвищила $F1$ на 6,43 відсоткового пункту та зменшила частоту перемикань MMSI з 0,64 % до 0,06 %. Таким чином, у межах дослідженого сценарію підміни AIC-даних, який може розглядатися як один із можливих наслідків цілеспрямованого кібервпливу на інформаційний канал AIC, використання незалежного відеопеленга та ознаки ракурсу підвищило здатність системи відхиляти просторово й ракурсно суперечливий AIC-кандидат. Водночас запропонований метод не є засобом автентифікації AIC-повідомлень і не забезпечує виявлення всіх можливих видів кібератак.

У п'ятому розділі «Експериментальне оцінювання роботи моделі комп'ютерного зору для визначення ракурсу суден» наведено результати експериментального оцінювання донавченої моделі за реальних умов спостереження з борту судна.

Експериментальна база першого дослідження містила 81 відеофрагмент тривалістю до 7 с, знятий у проміжку з 06:00 до 19:30 на дистанціях до 1,9 морської милі. Одиницею оцінювання вважалося окреме судно в окремому відеофрагменті; загалом оцінено 236 суден.

Під час аналізу роботи моделі розглядалися такі можливі варіанти результатів:

– правильне виявлення об'єкта (True Positive Correct, TP_c) – ситуація, за якої модель коректно визначає положення об'єкта на відео у вигляді обмежувальної рамки та правильно класифікує його відповідно до заданого класу (рис. 6);

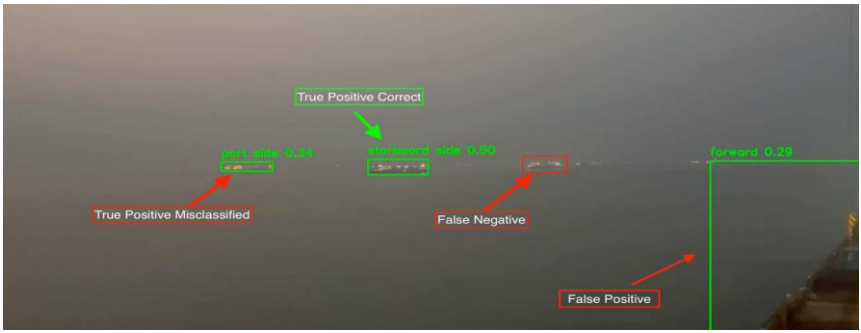


Рисунок 6 – Можливі варіанти результатів роботи моделі

– помилка класифікації (True Positive Misclassified, TP_m) – ситуація, коли судно локалізоване, проте віднесене до неправильного класу ракурсу (рис. 6). Такий випадок не є правильним комплексним результатом, однак локалізація залишається джерелом інформації для визначення пеленгу;

– хибнопозитивне спрацювання (False Positive, *FP*) – випадок, коли модель визначає наявність об'єкта у кадрі, хоча фактично об'єкт ідентифікації відсутній (рис. 6);

– пропуск об'єкта (False Negative, *FN*) – ситуація, за якої об'єкт присутній у кадрі, однак модель його не виявляє (на рис. 6 вручну промаркований червоним кольором).

Для кількісного оцінювання ефективності роботи моделі використано показник середньої впевненості моделі для правильних виявлень (mean confidence of correct detections), який характеризує рівень впевненості моделі у випадках коректного визначення об'єктів:

$$\overline{C_{TP}} = \frac{1}{N}\sum_{i-1}^{N} C_i , \tag{12}$$

де C_i – значення впевненості моделі для i-го правильного виявлення;

N – загальна кількість істинно-позитивних виявлень.

Показник точності (*Precision*) характеризує частку правильно локалізованих і правильно класифікованих суден серед усіх позитивних результатів роботи моделі та визначається за формулою:

$$Precision = \frac{TP_c}{TP_c + TP_m + FP} . \tag{13}$$

Показник повноти (*Recall*) характеризує частку фактично присутніх у вибірці суден, які були одночасно правильно локалізовані та правильно класифіковані за ракурсом:

$$Recall = \frac{TP_c}{TP_c + TP_m + FN} . \tag{14}$$

Оскільки для подальшого визначення пеленга важливим є також сам факт локалізації судна незалежно від результату класифікації його ракурсу, окремо оцінено характеристики локалізації:

$$Precision_{loc} = \frac{TP_c + TP_m}{TP_c + TP_m + FP} , \tag{15}$$

$$Recall_{loc} = \frac{TP_c + TP_m}{TP_c + TP_m + FN} . \tag{16}$$

На відстанях до 1 морської милі середня впевненість моделі для правильних виявлень становила близько 0,53, а максимальне групове значення сягало 0,77. На дистанціях від 1 до 1,9 морської милі цей показник загалом знижувався, однак залежність не була монотонною через одночасний вплив кількості суден у кадрі, ракурсів, освітлення та погодних умов.

Аналіз роботи моделі протягом світлового дня показав, що з 6:00 до 18:00 за місцевим часом показник середньої впевненості моделі для правильних виявлень подекуди досягає 0,85 за умов хорошої видимості. За достатнього природного освітлення зафіксовано правильні виявлення суден на відстанях до 1,9 морської милі. У вечірні години, після 18:00, значення показника середньої впевненості моделі для правильних виявлень суттєво

зменшуються, а для частини дистанцій наближаються до нульових значень. За недостатнього освітлення підвищення чутливості сенсора супроводжується зростанням шуму та зменшенням контрасту, що ускладнює локалізацію й класифікацію. Найпомітніше погіршення спостерігалося у вечірній період та на більших дистанціях.

На рис. 7 та рис. 8 наведено результати роботи моделі залежно від відстані до об’єкта спостереження та часу доби. Із 236 фактично присутніх суден модель локалізувала 152: для 105 суден ракурс визначено правильно, а для 47 – помилково. Зафіксовано 84 пропуски об’єктів і 9 хибнопозитивних спрацювань. Вісім із дев’яти хибнопозитивних спрацювань були пов’язані з помилковим розпізнаванням конструктивних елементів власного судна-спостерігача.

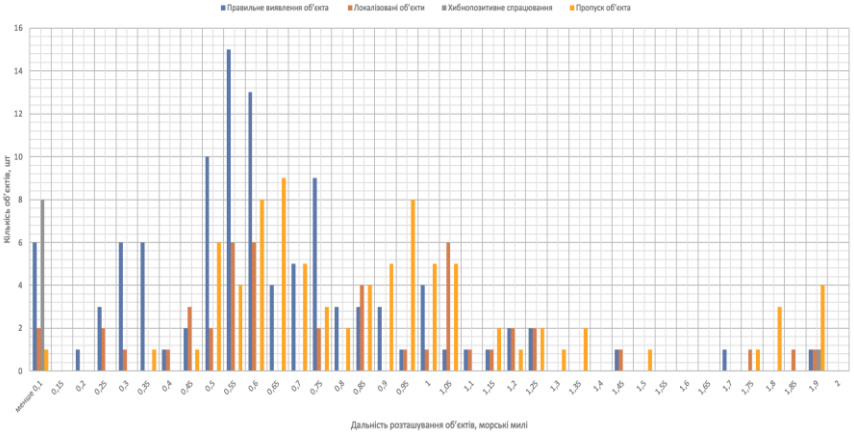


Рисунок 7 – Діаграма залежності результатів роботи моделі від дальності розташування об’єктів

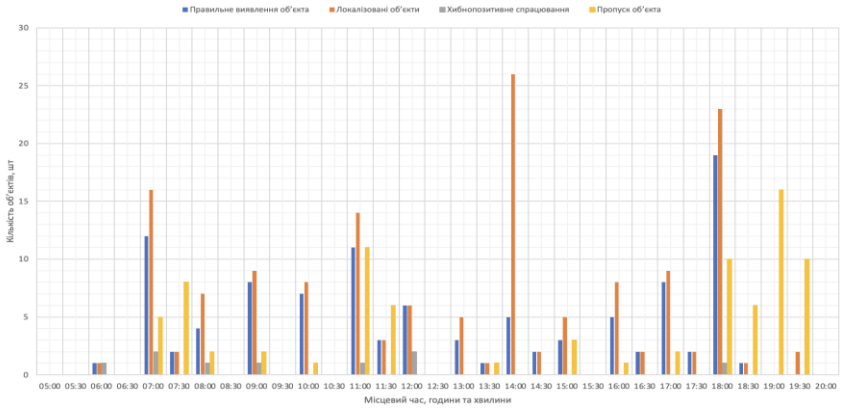


Рисунок 8 – Діаграма залежності результатів роботи моделі від часу доби

Частка правильно класифікованих ракурсів серед локалізованих суден становить 69,1 %. З урахуванням пропущених суден частка об'єктів з правильно визначеним ракурсом від загальної кількості фактично присутніх суден становить 44,5 %. За всією вибіркою отримано *Precision* = 0,65; *Recall* = 0,44; $Precision_{loc}$ = 0,94; $Recall_{loc}$ = 0,64.

Узагальнені результати другого експериментального дослідження наведено в табл. 3. Проаналізовано 53 судна за п'ятьма рівнями масштабу від 1x до 5x, що становило 265 повторних спостережень.

Таблиця 3 – Показники ефективності роботи моделі залежно від рівня цифрового масштабування

Рівень масштабування	Частка правильно локалізованих та класифікованих цільових суден, %	Частка локалізованих цільових суден, %	Середня впевненість для $TP_c + TP_m$	Середня впевненість для TP_c	Середня кількість суден у кадрі
1x	50,9	98,1	0,350	0,687	5,58
2x	73,6	100,0	0,591	0,803	4,62
3x	73,6	100,0	0,604	0,821	4,10
4x	86,8	100,0	0,699	0,806	3,77
5x	92,5	98,1	0,724	0,764	3,56

У дослідженій вибірці частка правильних класифікацій зросла з 50,9 % за масштабу 1x до 92,5 % за масштабу 5x, тоді як частка локалізованих суден залишалася в межах 98,1–100 %. У підгрупі з 23 суден на відстанях від 0,85 до 3,49 морської милі частка правильних класифікацій зросла з 43,5 % до 91,3 %, а частка локалізації – залишалася в межах 95,7–100 %. Отримані результати підтверджують позитивний зв'язок між відносним розміром цілі у вхідному зображенні та часткою правильних класифікацій у дослідженій вибірці.

Найвищі частки правильних класифікацій отримано для port side – 84,8 %, starboard side – 82,2 % і starboard quarter – 80,0 %; для port bow – 60,0 %, starboard bow – 55,0 %, forward – 40,0 % і port quarter – 35,0 %. Клас stern у вибірці був відсутній. Для узагальнення характеру помилок класифікації за 265 повторними спостереженнями встановлено, що у 200 випадках (75,5 %) отримано правильну локалізацію та класифікацію ракурсу, у 45 випадках (17,0 %) спостерігалася нестабільна класифікація, у 18 випадках (6,8 %) судно було стабільно віднесено до неправильного класу, а у 2 випадках (0,75 %) ціль не було локалізовано.

ВИСНОВКИ

1. За результатами аналізу літературних джерел, нормативних вимог і сучасних технічних засобів спостереження за надводною обстановкою встановлено, що ефективність візуального спостереження значною мірою залежить від людського фактору, а РЛС та АІС мають функціональні обмеження. АІС залежить від наявності і коректної роботи передавального обладнання на судні-цілі та може бути скомпрометована, тоді як робота РЛС залежить від роздільної здатності, умов поширення сигналу та завад від морської поверхні. Встановлено, що у більшості досліджень із застосуванням комп'ютерного зору основну увагу приділено виявленню суден або їх класифікації за типом, тоді як визначення ракурсу судна відносно спостерігача досліджено недостатньо. Ракурс є важливою додатковою ознакою для оцінювання взаємного положення суден і розвитку ситуації зближення. За результатами порівняльного аналізу для подальшого дослідження обрано одноступеневу архітектуру YOLOv8n, яка характеризується відносно невисокою обчислювальною складністю та має потенціал для застосування в системах обробки відео в реальному часі.

2. Обґрунтовано методологію дослідження задачі автоматизованого виявлення суден, класифікації їх ракурсу та алгоритмічного визначення пеленгу. Як методологічну основу обрано системний підхід. У дослідженні застосовано методи системного аналізу, комп'ютерного зору, глибокого навчання, цифрової обробки зображень, імітаційного моделювання, описової статистики та натурного експерименту. Для підготовки даних, донавчання й оцінювання моделі використано Make Sense AI, Python, OpenCV, PyTorch, Ultralytics YOLOv8 і хмарне середовище Google Colaboratory. Обчислювальну частину стенда реалізовано мовою JavaScript.

3. Обґрунтовано систему восьми класів ракурсу судна-цілі та сформовано методичні вимоги до підготовки й анотування цільового набору даних. Донавчено модель YOLOv8n для виявлення суден і класифікації їхнього ракурсу. Сформовано й анотовано набір даних, який у початковій версії містив 925 зображень, а в процесі дослідження був розширений до 1742 зображень і доповнений 115 негативними зображеннями без цільових об'єктів. Для підвищення стійкості моделі до зовнішніх умов та урізноманітнення даних застосовано колірні, геометричні та просторово-локальні аугментації, а для зменшення впливу дисбалансу класів – вагові коефіцієнти класів. За критерієм, що надавав пріоритет зменшенню кількості хибнопозитивних спрацювань за збереження близького до найкращого значення mAP@0,5:0,95, для подальших експериментів обрано модель дев'ятого етапу донавчання. Підсумкове оцінювання на тестовій вибірці дало значення precision – 0,6531; recall – 0,6404; mAP@0,5 – 0,6955; mAP@0,5:0,95 – 0,5580.

4. Сформовано розрахункові вимоги до засобів відеоспостереження та параметрів їхнього розміщення в системі кругового огляду. За прийнятих

геометричних припущень визначено, що висота встановлення камери 8,4 м над рівнем моря забезпечує геометричну пряму видимість поверхні моря до горизонту на відстані близько 6 морських миль. Це значення використано як проєктний орієнтир для геометричних та оптичних розрахунків і не трактується як експериментально підтверджена дальність роботи моделі комп'ютерного зору. Натурне оцінювання моделі виконано на дистанціях до 1,9 морської милі в основному експерименті та до 3,49 морської милі в експерименті з масштабуванням. Значення 32×32 пікселі прийнято як проєктний орієнтир мінімального розміру об'єкта для його виявлення; його достатність для класифікації ракурсу потребує окремої експериментальної перевірки. Обґрунтовано доцільність використання PTZ-камер, які поєднують ширококутне спостереження з можливістю масштабування, та визначено взаємозв'язок між горизонтальним полем зору камер і їхньою необхідною кількістю.

5. Розроблено розрахункову та архітектурну модель визначення істинного пеленга судна-цілі за даними відеопотоку й поточної навігаційної інформації власного судна. Запропоновано поділ простору навколо судна на сектори відповідальності камер, метод визначення відносного пеленгу за координатами центра обмежувальної рамки виявленого об'єкта та математичні співвідношення для переходу до істинного пеленга з урахуванням істинного курсу судна. Запропоновано архітектуру обробки навігаційних повідомлень стандарту NMEA 0183. Розглянуто вплив часової розсинхронізації відеопотоку й даних про курс на похибку істинного пеленга під час повороту судна та запропоновано принцип оцінювання цієї похибки через кутову швидкість повороту і сумарну затримку обробки даних. Для синхронізації запропоновано використовувати сигнал PPS приймача ГНСС або протокол NTP. Кількісне визначення допустимого рівня розсинхронізації потребує подальшої експериментальної перевірки.

6. Для керування засобами відеоспостереження сформовано концептуальний підхід до динамічного позиціонування PTZ-камер. Він передбачає поєднання автоматичного ширококутного сканування простору навколо судна з можливістю ручного керування оператором для детальнішого спостереження за окремими цілями. Практична реалізація та оцінювання ефективності такого режиму керування не входили до натурного експерименту й залишаються напрямом подальших досліджень.

7. Розроблено метод асоціації відеотреків, радіолокаційних трас і повідомлень AIC із використанням просторово-кінематичних характеристик, відеопеленга та ознаки ракурсу судна. Імітаційне моделювання показало, що додавання відеопеленга зменшує похибку моніторингу кутового положення, а використання ракурсу найбільш ефективне серед досліджених сценаріїв у разі просторово й ракурсно суперечливої підміни AIC.

8. Для оцінювання роботи моделі на натурних відеоданих проаналізовано 236 суден у 81 відеофрагменті. Модель локалізувала 152

судна, з яких для 105 правильно визначено ракурс, а для 47 ракурс класифіковано помилково. Зафіксовано 84 пропуски суден і 9 хибнопозитивних спрацювань. За комплексним критерієм, що враховує результати локалізації та класифікації ракурсу, отримано *Precision* = 0,65 та *Recall* = 0,44. Показники локалізації незалежно від результату класифікації ракурсу становили $Precision_{loc}$ = 0,94 та $Recall_{loc}$ = 0,64. Частка правильно визначених ракурсів становила 69,1 % серед локалізованих суден і 44,5 % серед усіх суден, наявних у вибірці. Групування результатів за дистанцією та часом доби вказало на погіршення роботи моделі за складніших умов спостереження, зокрема на більших дистанціях і у вечірній період.

9. Досліджено вплив цифрового масштабування на результати визначення ракурсу. На вибірці з 53 суден, кожне з яких оцінювалося за п’ятьма рівнями масштабування від 1x до 5x, виконано 265 повторних спостережень. Частка правильних класифікацій зросла з 50,9 % за масштабу 1x до 92,5 % за масштабу 5x, тоді як незалежно від частки правильних класифікацій ракурсу було вірно локалізовано 98,1–100 % суден-цілей. У підгрупі з 23 суден на відстані понад 0,85 морської милі частка правильних класифікацій зросла з 43,5 % при масштабі 1x до 91,3 % при масштабі 5x. Результати підтверджують позитивний зв’язок між відносним розміром цілі у вхідному зображенні та правильністю класифікації в дослідженій вибірці, однак не встановлюють межу надійної дальності без наперед визначеного критерію надійності та перевірки на незалежній вибірці.

10. За результатами 265 повторних оцінювань найвищі частки правильних класифікацій отримано для ракурсів port side – 84,8 % та starboard side – 82,2 %. Для starboard quarter отримано 80,0 %; port bow – 60,0 %; starboard bow – 55,0 %; forward – 40,0 %; port quarter – 35,0 %; ракурс stern у вибірці був відсутній. Через нерівномірну кількість суден різних ракурсів, повторне оцінювання тих самих об’єктів за п’ятьма рівнями масштабування та малу кількість спостережень окремих ракурсів ці результати мають описовий характер і не дають підстав однозначно пояснювати відмінності представленістю класів у цільовому наборі або рівнем масштабування.

11. Отримані результати підтверджують складові гіпотези в межах виконаного натурного, розрахункового та імітаційного оцінювання. За натурними відеоданими підтверджено можливість автоматизованого виявлення суден і класифікації їхнього ракурсу. Визначення відносного пеленга та перехід до істинного пеленга обґрунтовано розрахунково. Імітаційне моделювання показало, що залучення відеопеленга підвищує точність моніторингу кутового положення фізичних цілей, а використання ознаки ракурсу посилює перевірку узгодженості АІС-призначень, зокрема підвищує ефективність відхилення просторово й ракурсно суперечливого АІС-кандидата у змодельованому сценарії підміни.

12. Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання запропонованих рішень для побудови бортової системи

комп’ютерного зору, призначеної для автоматизованого виявлення суден, класифікації їхнього ракурсу та визначення пеленгу за даними незалежного відеоканалу з подальшою асоціацією відеоспостережень із даними РЛС і АІС. Виявлення суден і класифікація їх ракурсу не залежать від наявності та справності передавального обладнання на судні-цілі, однак визначення істинного пеленга додатково потребує даних про курс власного судна.

13. Результати дослідження враховано у проєктній документації компанії Minerva Marine Inc. для запланованого переобладнання судна «Minerva Alexandra», зокрема щодо використання моделі YOLOv8n для локалізації суден і принципу визначення істинного пеленга на локалізований об’єкт. Окремі результати дослідження використано під час встановлення системи відеоспостереження компанією Peter Döhle Schiffahrts-KG на судні «Edgar». Матеріали дослідження також упроваджено в освітній процес Інституту післядипломної освіти «Центр підготовки та атестації плавскладу» Національного університету «Одеська морська академія» для ознайомлення слухачів із принципами роботи систем розпізнавання на основі штучного інтелекту.

Перспективними напрямами подальших досліджень є:

– дослідження впливу типу радіолокаційної обробки, зокрема застосування когерентних і некогерентних РЛС, на точність визначення параметрів цілі та ефективність асоціації радіолокаційних, АІС- і відеоспостережень;

– дослідження можливості використання відеопеленга та ракурсу судна для автоматизованого оцінювання ситуацій зближення відповідно до Правил 11–18 МПЗЗС-72;

– кількісне оцінювання похибки визначення істинного пеленга, експериментальне визначення допустимого рівня часової розсинхронізації відеопотоку й навігаційних даних та програмна реалізація запропонованої архітектури в реальному часі;

– підвищення точності класифікації ракурсів суден, зокрема для малопредставлених класів;

– натурна перевірка розробленого методу асоціації даних АІС, РЛС і відеоспостереження та налаштування параметрів використання відеопеленга і ракурсної ознаки;

– дослідження тепловізійного каналу для роботи за недостатнього освітлення і в темний час доби;

– розробка та експериментальне оцінювання алгоритму динамічного позиціонування PTZ-камер, який поєднує автоматичне ширококутне сканування, наведення на вибрані цілі, ручне керування оператором та автоматичне керування оптичним або цифровим масштабуванням залежно від параметрів зображення цілі й дистанції до неї;

– розширення й балансування навчального та незалежного тестового наборів даних, зокрема за рахунок малопредставлених ракурсів, різних типів

суден, складних навігаційних сцен і спостережень на більших дистанціях, а також експериментальна перевірка роботи моделі поблизу проєктного орієнтира 6 морських миль і достатності розміру зображення цілі 32 × 32 пікселі для класифікації її ракурсу.

– донавчання та експериментальне оцінювання моделі комп'ютерного зору для автоматизованого розпізнавання навігаційних вогнів суден у темний час доби;

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Список основних публікацій за темою дисертації

1. Пашенко О. Л., Піпченко О. Д. Розробка моделі штучного зору на базі алгоритму YOLO для визначення ракурсу судна // *Судноводіння (Shipping & Navigation)*. 2025. Вип. 38. С. 10–21. DOI: 10.31653/2306-5761.38.2025.10-21. **Кат. Б**

2. Пашенко О. Л. Використання аугментації для покращення якості навчання моделі штучного зору для визначення ракурсу судна // *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2025. № 2 (31). С. 52–63. DOI: 10.33815/2313-4763.2025.2.31.052-063. **Кат. Б**

3. Пашенко О. Л. Дослідження ефективності використання моделі комп'ютерного зору для визначення ракурсу суден в реальних умовах // *Судноводіння (Shipping & Navigation)*. 2026. Вип. 39. С. 53–64. DOI: 10.31653/2306-5761.39.2026.53-64. **Кат. Б**

4. Pashenko O., Pipchenko O. D., Shevchenko V. Designing a YOLOv8n-based Video Surveillance System for Ship Aspect Recognition // *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2026. Vol. 20, No. 2. P. 375–385. DOI: 10.12716/1001.20.02.12. **Scopus, WoS**

Праці, які засвідчують апробацію результатів дисертації

5. Пашенко О. Л. Аналіз впливу технік аугментації на продуктивність моделі штучного зору при визначенні ракурсу судна // *Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми сталого розвитку морської галузі / Problems of Sustainable Development of the Maritime Industry (PSDMI-2025):* збірник матеріалів конференції (03–04 грудня 2025 р., м. Одеса). Одеса : Херсонська державна морська академія, 2025. С. 309–312.

6. Пашенко О. Л. Використання алгоритму YOLO для покращення навігаційної безпеки мореплавства // *Судноводіння, морські перевезення та технології (NST-2025): матеріали науково-практичної конференції*. 2025.

7. Пашенко О. Л. Вплив природного освітлення на точність розпізнавання ракурсу суден тренованою моделлю комп'ютерного зору YOLOv8n // *Інформаційні та операційні технології в судноплавстві (IOTS-2026): збірник матеріалів І Міжнародної науково-практичної конференції (23–24 квітня 2026 р., м. Одеса)*. Одеса : Одеський національний морський університет, 2026. С. 247–251. DOI: 10.5281/zenodo.19830666.

8. Пашенко О. Л. Вплив дальності розташування суден-цілей на здатність моделі YOLOv8n розрізняти їх ракурси // *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2026): збірник матеріалів XVIII Міжнародної науково-практичної конференції (26–28 травня 2026 р., м. Одеса)*. Одеса : Херсонська державна морська академія, 2026. С. 57–60.

Підп. до друку 07.10.2026.
Формат 60×84/16. Папір офсет.
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,39.
Тираж 100 пр. Зам. № И26-10-10

Національний університет «Одеська морська академія»
65029, м. Одеса, Дідріхсона, 8.
Тел./факс (0482) 34-14-12
publish-r@onma.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 1292 від 20.03.2003