

Голіков В.В., Сінюта К.О.

ГЛИБОКЕ НАВЧАННЯ У КОНТЕКСТІ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В МОРСЬКІЙ НАВІГАЦІЇ: ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

У статті детально проаналізовано перспективи застосування технологій глибокого навчання в галузі морської навігації. Показано, що глибоке навчання дозволяє автоматизувати та значно підвищити якість таких процесів: розпізнавання та класифікація суден за візуальними характеристиками, виявлення перешкод на шляху руху судна, моніторинг та аналіз даних з бортових сенсорів, прогнозування аварійних ситуацій, розробка систем доповненої реальності для поліпшення навігації, створення віртуальних тренажерів, точне прогнозування погодних умов, автоматизоване керування рухом судна.

Огляд літератури показує, що глибокі нейронні мережі дозволяють значно підвищити якість об'єднання зображень з різних датчиків для виявлення суден, проаналізувати великі масиви даних з бортових сенсорів, розробити ефективні системи доповненої реальності для навігації, створити реалістичні віртуальні тренажери, побудувати точні моделі прогнозу погоди, реалізувати автоматизоване керування рухом судна на основі глибокого навчання.

Автори наголошують, що для успішного впровадження технологій глибокого навчання в морській навігації необхідна подальша оптимізація алгоритмів під конкретні задачі, інтеграція даних з додаткових датчиків, розробка спеціалізованих архітектур глибоких нейромереж з урахуванням особливостей морського середовища, а також ретельне тестування систем в реальних умовах.

Особливу увагу слід приділяти питанням кібербезпеки та захисту систем керування від зламів. Також важливо розробляти методи ефективного навчання моделей на обмежених даних, типових для умов морської навігації.

Зроблено висновок, що інтеграція технологій глибокого навчання відкриває значні перспективи для автоматизації та підвищення ефективності і безпеки морського транспорту. Для успішного впровадження потрібні зусилля фахівців в галузі штучного інтелекту, обробки даних, морської інженерії та навігації.

Ключові слова: *глибоке навчання, штучний інтелект, морська навігація, автоматизація, безпека*

1. Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. У сучасному контексті розвитку морської навігації особлива увага приділяється інтеграції методів штучного інтелекту, включаючи машинне навчання та нейронні мережі, а також глибоке навчання для оптимізації процесів управління морськими суднами. Штучний інтелект, як дисципліна комп'ютерних наук, надає ефективні засоби аналізу даних та автоматизації прийняття рішень, що є критичним аспектом у контексті сучасних стандартів безпеки та ефективності морської навігації. Глибоке навчання, як компонент штучного інтелекту, що базується на багатопробних нейронних мережах, має видатну здатність отримувати складні закономірності з даних. Застосування глибокого навчання в судноплаванні спрямоване на створення інтелектуальних систем, здатних ефективно обробляти інформацію від різних джерел, таких як радари та GPS-трекери, та автоматизувати процеси аналізу та прийняття рішень. У цьому дослідженні ми фокусуємося на перспективах застосування методів штучного інтелекту, особливо глибокого навчання, у морській навігації. Через систематичний огляд літератури та аналіз існуючих досліджень, наша мета полягає у

виявленні конкретних областей застосування цих методів, підкреслюючи їхній потенціал для інновацій в управлінні морськими суднами та підвищення загальної ефективності навігаційних процесів.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки відзначається активний прогрес у галузі інтеграції методів глибокого навчання у секторі морської навігації та управління судами.

Серія наукових досліджень присвячена застосуванню глибоких нейронних мереж з метою підвищення ефективності процесу розпізнавання об'єктів, таких як інші судна [2]. Також досліджується їх використання для аналізу даних, що надходять із бортових датчиків у режимі реального часу [3].

Додатковим важливим напрямом досліджень є розробка систем доповненої реальності [4], віртуальних тренажерів [5] та розв'язання задач прогнозування з використанням глибокого навчання [6, 7].

Загалом наявні наукові дослідження демонструють значний потенціал для покращення характеристик та підвищення рівня безпеки морської навігації, заснованих на технологіях глибокого навчання.

3. Мета дослідження. Метою цього дослідження є критичний аналіз та систематизація існуючих досліджень у галузі застосування штучного інтелекту, включаючи глибоке навчання, для управління морськими судами. Основним завданням роботи є виявлення потенціалу, який надають методи штучного інтелекту в контексті судноводіння, а також визначення перспектив та можливостей для суттєвого покращення ефективності та безпеки морської навігації. Шляхом критичного огляду літератури та аналізу застосування зазначених технологій у реальних умовах ми прагнемо надати основний внесок у область дослідження, наголошуючи на важливості інтеграції штучного інтелекту в сучасні практики судноплавства.

4. Виклад основного матеріалу дослідження. Глибоке навчання (deep learning) є сегментом машинного навчання, що заснований на використанні багатопарових нейронних мереж, відомих як глибокі архітектури. У контексті судноводіння глибоке навчання надає перспективи реалізації вигідних додатків. Розглянуті напрямки включають:

Виявлення та класифікація об'єктів:

- **Розпізнавання суден:** Глибоке навчання може бути використане для автоматичного розпізнавання та класифікації суден за їх характеристиками та формою.

- **Виявлення перешкод:** Нейронні мережі можуть бути навчені знаходити та класифікувати перешкоди на маршруті судна, такі як інші судна, берегові лінії, крижини тощо.

Стаття [1] описує використання глибокого навчання для об'єднання інформації з видимих та інфрачервоних зображень для виявлення суден у морському середовищі. У статті представлено три архітектури об'єднання кількох модальностей зображень, які перевершують традиційні методи виявлення об'єктів. Автори статті провели експерименти на реальних наборах даних, які показали, що запропоновані архітектури забезпечують більш високу точність виявлення об'єктів та меншу кількість хибних спрацьовувань, ніж традиційні методи. В експериментах використовувалися глибокі нейронні мережі, такі як Multi-Scale CNN (MS-CNN), Densely Connected Convolutional Networks (DenseNet) та Deep Residual Learning (ResNet) для об'єднання інформації з видимих та інфрачервоних зображень.

Автори статті продемонстрували, що використання глибокого навчання для поєднання інформації з різних модальностей зображень може значно покращити точність виявлення суден у морському середовищі. Це може мати важливе значення для різних програм, таких як автономні судна, моніторинг морської безпеки та інші.

Розвиваючи тему перспектив використання глибокого навчання у сфері виявлення морських суден, можна назвати такі конкретні напрями:

1. Інтеграція додаткових датчиків: Розширення спектра використання глибокого навчання для інтеграції даних від додаткових датчиків, таких як радіохвильові, акустичні та інші. Це дозволить створити повнішу картину морської обстановки.

2. Оптимізація Роботи в Реальному Часі: Специфічні дослідження, спрямовані на оптимізацію алгоритмів глибокого навчання з метою забезпечення високої швидкості обробки даних та швидкого прийняття рішень у режимі реального часу.

3. Адаптація до ускладнених умов: Фокус на розробці моделей, здатних адаптуватися до складних умов морського середовища, таких як обмежена видимість, раптові зміни освітлення та наявність перешкод.

4. Інтеграція з Технологіями Штучного Інтелекту: Розгляд можливостей інтеграції глибокого навчання з іншими технологіями штучного інтелекту, такими як обробка природної мови та машинний зір, для створення більш комплексних систем виявлення та аналізу даних.

5. Застосування у Реальних Умовах: Проведення додаткових польових випробувань та експериментів у реальних умовах морської навігації для більш точної оцінки застосування та ефективності запропонованих методів.

6. Приділяти увагу Безпеці та Кіберзахисту: Дослідження аспектів кібербезпеки в контексті систем виявлення морських суден, включаючи захист від зломів та маніпуляцій із даними.

7. Розробка Спеціалізованих Рішень: Спеціалізований підхід до розробки глибоких архітектур, адаптованих до унікальних характеристик морської навігації, наприклад, з урахуванням специфіки форм та розмірів суден.

Такі конкретні дослідницькі напрями дозволять як поліпшити існуючі методи виявлення судів, а й створити ефективніші і надійні системи, здатні справлятися з різноманітними викликами морського середовища.

Обробка даних із суден:

- **Моніторинг та аналіз даних з бортових сенсорів:** Глибоке навчання може допомогти в обробці великих обсягів даних з різних сенсорів на борту судна, що може включати дані про стан судна, енергоспоживання, стан вантажу та інші параметри.

- **Діагностика та запобігання аваріям:** Аналіз даних з використанням глибокого навчання може допомогти виявляти потенційні проблеми в роботі судна та запобігати аваріям.

Метод глибокого навчання, що розглядається у статті [2] заснований на використанні нейронних мереж. У контексті автономних суден нейронні мережі можуть бути використані для аналізу поведінки суден і прийняття рішень в режимі реального часу. Для цього необхідно навчити нейронну мережу на великій кількості даних, які описують різні ситуації на морі, такі як рух інших суден, погодні умови тощо. Після навчання нейронної мережі вона може бути використана для аналізу поточної ситуації на морі і прийняття рішень на основі отриманих даних. Наприклад, якщо нейронна мережа виявляє, що рух іншого судна може призвести до зіткнення, вона може запропонувати змінити курс або швидкість судна, щоб уникнути зіткнення. Однією з головних переваг глибокого навчання є його здатність до навчання великих обсягах даних. Це дозволяє створювати моделі, які можуть опрацьовувати складні ситуації на морі та приймати рішення на основі цих даних. Автори статті описують використання згорткових нейронних мереж для класифікації зображень та визначення типу судна на основі його візуальних характеристик. Це може бути корисним для автономних суден, які повинні визначати типи судів навколо них і приймати відповідні рішення.

Також у статті наводиться приклад використання глибокого навчання для аналізу поведінки судів та визначення можливих ситуацій зіткнення. Автори описують використання рекурентних нейронних мереж для аналізу послідовності дій суден та визначення можливих наслідків цих дій. Крім того, автори статті описують використання глибокого навчання для створення моделей, які можуть навчатися на основі досвіду та покращувати свої рішення з часом. Це може бути корисно для автономних суден, які повинні адаптуватися до умов, що змінюються на морі і приймати відповідні рішення.

Аналіз статті [3] показує, що автори досліджували застосування методів машинного навчання для передбачення ймовірності виникнення аварій на контейнерних портах у Кореї. Вони виявили, що моделі випадкового лісу та градієнтного бустингу показали кращі результати у передбаченні аварій на порту, ніж інші моделі, такі як дерева рішень та метод опорних

векторів. Автори також обговорили обмеження використання методів машинного навчання для передбачення аварій на порту, такі як необхідність високоякісних даних та потенційний ризик спотворення результатів моделі через нерепрезентативність даних. Відповідь на питання, чи може глибоке навчання покращити результати, можна знайти у статті. Автори використали глибоке навчання у своїх дослідженнях і виявили, що модель глибокого нейронного мережевого навчання показала хороші результати у передбаченні аварій в порту. Однак вони також зазначили, що для досягнення високої точності та ефективності моделі глибокого навчання необхідно мати великий обсяг даних та високоякісні дані. Таким чином, глибоке навчання може покращити результати передбачення аварій в порту, але лише за умови достатнього обсягу та якості даних.

Виходячи з представленої статті, можна виділити кілька перспектив розвитку обробки даних з суден та діагностики запобігання аваріям з використанням нейромереж та штучного інтелекту:

1. Автоматичний аналіз поведінки суден:

- Нейронні мережі можуть відігравати ключову роль у розвитку систем, здатних аналізувати поведінку суден у режимі реального часу. Це дозволяє системам автоматично виявляти потенційно небезпечні ситуації та надавати рекомендації для запобігання зіткненням.

2. Класифікація судів та визначення типів:

- Застосування згорткових нейронних мереж для класифікації зображень суден може бути інтегровано до систем автономних суден. Це дозволяє суднам розпізнавати та коректно реагувати на різні типи суден у навколишньому середовищі.

3. Аналіз послідовності дій суден:

- Використання рекурентних нейронних мереж для аналізу послідовності дій суден надає можливість передбачати можливі наслідки цих дій. Це може бути корисним для запобігання аваріям, заснованим на неправильних маневрах або рішеннях екіпажу.

4. Адаптивні системи на основі досвіду:

- Застосування глибокого навчання для створення моделей, здатних навчатися на основі досвіду та покращувати свої рішення з часом, є перспективним напрямом. Це дозволяє системам адаптуватися до умов, що змінюються на морі і забезпечувати більш ефективне і безпечне управління.

5. Прогнозування аварій та безпека в портах:

- Використання методів машинного навчання, включаючи глибоке навчання, для прогнозування ймовірності виникнення аварій в портах може сприяти підвищенню безпеки. Важливо врахувати як поведінку суден, так і інші чинники, такі як погодні умови, течії і навіть людський фактор.

6. Робота з обмеженнями методів машинного навчання:

- Стаття наголошує на необхідності високоякісних даних для навчання моделей глибокого навчання. Робота в цьому напрямку включає розробку методів збору і обробки даних, щоб забезпечити надійність і точність алгоритмів.

7. Робота з обмеженнями даних:

- Розробка методів, які дають змогу ефективно використовувати обмежені дані, оскільки в морських умовах може бути обмежений доступ до високоякісних даних. Це включає методи поліпшення даних і усунення шуму.

Технології доповненої реальності (AR):

Системи AR для навігації: Глибоке навчання може використовуватися в системах доповненої реальності для покращення навігації, надаючи додаткову інформацію про маршрут, об'єкти та умови.

Конференційна стаття [4] визначає розробку системи доповненої реальності для капітанів парусних яхт. У статті описуються експерименти, проведені з досвідченими капітанами, та результати, отримані під час тестування прототипу системи. У системі використовувалося машинне навчання для обробки даних з датчиків і надання капітанам інформації про глибину, напрям і силу вітру. Зокрема, у статті згадується метод виявлення сміття на воді, що базується

на навчання з учителем. Для цього було використано алгоритм Adaboost ensemble classification, який автоматично вибирає ознаки, встановлює пороги та призначає ваги. У статті також згадується використання кольорових та текстурних орієнтованих ознак, об'єднаних на кількох масштабах у нелінійній манері.

Однак, важливо відзначити, що поточна система розроблена виключно для вітрильних яхт, і її застосування до інших типів суден залишається нез'ясованою. Для того, щоб розширити застосування системи на різних типах суден, можна запропонувати такі кроки:

1. Розширення набору даних:

- Збір та аналіз даних з різних типів суден для більш широкого навчання системи.

2. Адаптація алгоритмів:

- Модифікація алгоритмів машинного навчання для врахування особливостей та вимог різних класів суден.

3. Тестування на різних сценаріях:

- Проведення експериментів та тестування прототипу на різних типах суден для оцінки ефективності та коригування системи.

4. Облік специфіки кожного судна:

- Інтеграція функціональних елементів, які враховують унікальні характеристики кожного типу судна.

5. Масштабованість:

- Розробка системи з урахуванням можливості масштабування для застосування на різних судах.

Застосування глибокого навчання може суттєво покращити алгоритми обробки даних, збільшивши точність та здатність системи адаптуватися до різних умов. Це дозволить перейти від обмеженої застосування капітанам вітрильних яхт до більш універсальної та ефективної системи для різних типів суден.

Навчання та симуляція:

- **Віртуальні тренажери для навчання моряків:** Глибоке навчання може бути задіяне у розробці віртуальних тренажерів, які дозволяють морякам відпрацьовувати навички керування судном у різних умовах без ризику безпеки.

Симуляторне навчання є інтегральною частиною освіти і тренування морських фахівців. В останні роки морські симулятори віртуальної реальності (VR) зробили значний внесок у сучасні методи навчання. Тим не менш, існуючі обмеження в області морських VR-симуляторів включають недостатній педагогічний вплив і відсутність адекватних систем оцінки продуктивності для учнів. У дослідженні [5] представлено засіб оцінки продуктивності, що базується на штучних нейронних мережах (ANN), адаптований з галузі охорони здоров'я на основі огляду літератури. Цей метод може бути впроваджений у морське навчання з метою оцінки продуктивності моряків, що, у свою чергу, сприяє підвищенню педагогічної ефективності морських VR-симуляторів. Розглядаються також існуючі дослідницькі перспективи даної адаптації з урахуванням людських факторів та технічних аспектів морського навчання.

Подальший розвиток досліджень у цій галузі може включати такі аспекти:

- 1. Розширення сфери застосування:** Розробка та тестування систем машинного навчання для різних типів морських суден та спеціалізованих тренувальних сценаріїв.

- 2. Інтеграція з іншими технологіями:** Дослідження можливостей інтеграції машинного навчання з іншими технологіями, такими як доповнена реальність або віртуальна реальність для створення більш комплексних та ефективних тренажерів.

- 3. Удосконалення систем оцінки:** Розвиток більш точних та адаптивних систем оцінки продуктивності, заснованих на машинному навчанні, з урахуванням специфіки тренувальних завдань.

- 4. Навчання з учителем та без вчителя:** Дослідження застосування методів навчання з учителем та без вчителя у контексті тренажерної підготовки для досягнення більш високої гнучкості та ефективності.

5. Облік людського фактора: Дослідження впливу та взаємодії людини з системами машинного навчання у тренувальному середовищі, з урахуванням психологічних та фізіологічних аспектів.

Розвиток цих напрямів досліджень у майбутньому може зробити тренажерну підготовку моряків більш ефективною, а також покращити безпеку та якість навчання у морській індустрії.

Прогнозування та управління:

- **Прогнозування погоди та морських умов:** Глибоке навчання може бути застосоване для більш точного прогнозування погоди та морських умов, що дозволяє судам краще готуватися та вживати відповідних запобіжних заходів.

- **Автоматизоване керування судном:** Розробка систем автоматичного керування, заснованих на глибокому навчанні, може підвищити ефективність судноводіння та безпеку судноплавства.

Стаття [6] описує розробку ефективної моделі прогнозування погоди з урахуванням глибокого навчання. У роботі використовувалися дві різні моделі регресії – MIMO та MISO, а також архітектури LSTM та TCN для обробки тимчасових даних. Експерименти показали, що запропонована модель перевершує існуючі методи машинного навчання та статистичні підходи, динамічний ансамбль і модель WRF. Результати дослідження показали, що використання глибокого навчання може значно покращити точність прогнозування погоди.

В експерименті були використані дані про погоду, зібрані з метеостанцій протягом кількох років. Для навчання моделей використовувалися дані про погоду за попередні кілька годин, а також дані щодо поточних погодних умов. Проведено порівняння запропонованої моделі з декількома іншими методами прогнозування погоди, включаючи класичні методи машинного навчання, статистичні підходи та динамічний ансамбль. Також було проведено порівняння з моделлю WRF, яка є однією із найпоширеніших моделей прогнозування погоди. Результати експерименту показали, що запропонована модель перевершує всі методи прогнозування погоди, що порівнюються, включаючи модель WRF. Більше того, запропонована модель дозволяє досягти високої точності прогнозування погоди на триваліший період часу, до 12 годин вперед. Таким чином, дослідження показало, що використання глибокого навчання може значно покращити точність прогнозування погоди, що може бути корисним для багатьох додатків, включаючи сільське господарство, транспорт та енергетику.

Стаття [7] обговорює загальну концепцію підтримки навігації автономних суден, включаючи різні морські технології та прийняття рішень. У статті також розглядається використання глибокого навчання для створення фреймворку, який може забезпечити автономне керування судном. Однак стаття також обговорює виклики, пов'язані з реалізацією правил міжнародної конвенції щодо запобігання зіткненням суден (COLREGs) для автономних судів.

Система автономного судна складається з кількох модулів, включаючи модуль сприйняття, модуль прийняття рішень та модуль управління. Модуль сприйняття використовує різні технології, такі як системи дистанційного зондування Землі, системи глобального позиціонування (GPS) та системи виявлення перешкод для отримання даних про поточну ситуацію та навколишнє середовище.

Модуль прийняття рішень використовує згорткову нейронну мережу (CNN), яка була навчена на основі даних про поведінку штурмана та інші параметри, такі як швидкість та напрямок руху судна. Цей модуль може приймати рішення на основі даних про поточну ситуацію та поведінку інших суден, а також враховувати загальні правила та обмеження, такі як правила COLREGs.

Модуль керування використовує дані, отримані від модуля прийняття рішень, щоб керувати рухом судна. Цей модуль може керувати швидкістю та напрямком руху судна, а також виконувати інші дії, такі як зміна курсу та зупинка судна.

На основі статті, що описує використання машинного навчання в автономному управлінні судном, можна виділити конкретні напрямки розвитку:

1. Оптимізація алгоритмів глибокого навчання: Проведення додаткових досліджень з метою оптимізації алгоритмів глибокого навчання, що використовуються у модулі прийняття рішень. Це включає поліпшення точності прогнозів, зменшення часу навчання і підвищення загальної ефективності системи.

2. Інтеграція додаткових джерел даних: Розширення списку джерел даних для модуля сприйняття, включаючи сучасні технології, такі як радари, LIDAR та доповнену реальність для більш повного та надійного сприйняття навколишнього середовища судна.

3. Дотримання COLREGs з використанням машинного навчання: Активне дослідження та розробка методів, що дозволяють автономним судам дотримуватись міжнародних правил COLREGs. Це включає розробку інноваційних алгоритмів, здатних адаптуватися до різних ситуацій на морі, з урахуванням правил і обмежень.

4. Створення системи для моніторингу та навчання в реальному часі: Розробка системи, здатної безперервно моніторити роботу модуля прийняття рішень і, при необхідності, коригувати його дії в реальному часі на основі актуальних даних та умов, що змінюються.

5. Тестування та симуляція в різних умовах: Проведення широкомасштабних тестів та симуляцій для перевірки ефективності автономної системи управління у різних морських умовах, включаючи погану погоду, щільний морський рух та аварійні сценарії.

6. Розробка стандартів безпеки: Участь у розробці та впровадженні стандартів безпеки для автономних суден, що включає обов'язкові вимоги до систем управління, процесів навчання та тестування.

7. Навчання системи з урахуванням реального досвіду: Розробка механізмів навчання модуля прийняття рішень з урахуванням реального досвіду експлуатації автономних суден. Це дозволить системі адаптуватися до унікальних ситуацій та підвищувати свою ефективність з часом.

Конкретні кроки у цих напрямках сприятимуть ширшому та успішному впровадженню автономних систем управління судном у морській промисловості.

5. Висновки: Застосування глибокого навчання в контексті судноводіння вимальовує безліч перспектив, що помітно впливають на ефективність та безпеку морського руху. Автоматизоване розпізнавання суден, прогнозування погоди та розвиток систем автоматизованого управління судном, заснованих на глибокому навчанні, надають перспективи зниження ризиків і поліпшення загальної навігаційної безпеки.

Додаткові напрямки розвитку включають обробку даних з бортових сенсорів, де глибоке навчання може значно покращити моніторинг та аналіз даних, а також застосування технологій доповненої реальності для покращення візуального сприйняття та віртуальні тренажери для безпечного навчання моряків.

Необхідність спільної роботи морських інженерів, фахівців з обробки даних та дослідників у галузі штучного інтелекту стає ясною в контексті оптимального розвитку та успішного впровадження даних технологій для покращення ефективності та безпеки морської навігації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Farahnakian, Fahimeh, and Jukka Heikkonen. "Deep learning based multi-modal fusion architectures for maritime vessel detection." *Remote Sensing* 12.16 (2020): 2509.
2. Perera, Lokukaluge P. "Deep learning toward autonomous ship navigation and possible COLREGs failures." *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering* 142.3 (2020): 031102.
3. Kim, Jae Hun, et al. "Machine learning-based models for accident prediction at a Korean container port." *Sustainability* 13.16 (2021): 9137.
4. Wisernig, E., Sadhu, T., Zilinski, C., Wyvill, B., Albu, A. B., & Hoeberechts, M. (2015, October). Augmented reality visualization for sailboats (ARVS). In 2015 International Conference on Cyberworlds (CW) (pp. 61-68). IEEE.
5. Tusher, H. M., Nazir, S., Mallam, S., & Munim, Z. H. (2022, December). *Artificial Neural Network (ANN) for Performance Assessment in Virtual Reality (VR) Simulators: From Surgical to Maritime*

Training. In 2022 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) (pp. 0334-0338). IEEE.

6. Hewage, P., Trovati, M., Pereira, E., & Behera, A. (2021). *Deep learning-based effective fine-grained weather forecasting model. Pattern Analysis and Applications, 24(1), 343-366.*

7. Perera, L. P. (2018, June). *Autonomous ship navigation under deep learning and the challenges in COLREGs. In International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (Vol. 51333, p. V11BT12A005). American Society of Mechanical Engineers.*

Golikov V. V., Siniuta K.O.

DEEP LEARNING IN THE CONTEXT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MARINE NAVIGATION: DEVELOPMENT PROSPECTS

The article provides an in-depth analysis of the prospects for applying deep learning technologies in the maritime navigation field. It is shown that deep learning enables the automation and significant improvement of processes such as: ship recognition and classification based on visual characteristics, detection of obstacles in the vessel's path, monitoring and analysis of data from onboard sensors, forecasting emergency situations, development of augmented reality systems to enhance navigation, creation of virtual simulators, accurate weather forecasting, automated control of vessel movement.

The literature review demonstrates that deep neural networks can significantly improve the quality of combining images from different sensors for ship detection, analyze large amounts of data from onboard sensors, develop effective augmented reality systems for navigation, create realistic virtual simulators, build accurate weather forecast models, implement automated vessel motion control based on deep learning.

The authors emphasize that further optimization of algorithms for specific tasks, integration of data from additional sensors, development of specialized deep neural network architectures adapted to the maritime environment specifics, as well as thorough testing of systems under real-life conditions, are crucial for successful implementation of deep learning technologies in maritime navigation.

Particular attention should be paid to cybersecurity issues and protection of control systems against hacking. It is also important to develop methods for effective model training on the limited data typical for maritime navigation.

In conclusion, integration of deep learning technologies opens up significant prospects for automation and improving efficiency and safety of maritime transport. Successful implementation requires joint efforts of specialists in artificial intelligence, data processing, marine engineering, and navigation.

Keywords: *deep learning, artificial intelligence, maritime navigation, automation, security*