

До спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01
Національного університету «Одеська морська
академія» МОН України,
65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8

ВІДГУК
офіційного опонента

на дисертаційну роботу Піпченка Олександра Дмитровича «Розвиток теорії та практики управління ризиками при вирішенні комплексних навігаційних задач», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

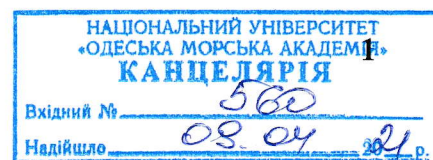
Згідно звітів ООН, майже 90 % вантажів у світі перевозиться водним транспортом. Важливо відмітити, що в останні десятиліття зберігаються тенденції росту, як обсягів перевезень, так і розмірів суден торговельного флоту. Але розміри підхідних каналів та фарватерів, у більшій мірі, залишаються незмінними.

Так, у останні роки відбулася ціла низка аварій з крупними контейнеровозами (довжиною від 350 м, вантажомісткістю більше 10000 TEU) таких, як зіткнення *Colombo Express* та *Maersk Tanjong*, посадка на мілину *СМА CGM Vasco Da Gama*, зіткнення *MSC Alexandra* та танкеру *Dream II*, посадка на мілину *CSCL Indian Ocean*, посадка на мілину та загублення вантажу *MSC Zoe*, та недавня посадка на мілину контейнеровозу *Ever Given*. Аварії з суднами такого розміру ведуть не тільки до збитків для судновласників, але й до збитків, пов'язаних з повним блокуванням каналів чи підхідних фарватерів.

Зважаючи на ці обставини, підвищення безпеки судноводіння, наряду із введенням жорстких економічних обмежень, виникає гостра необхідність у детальній, кількісній, оцінці ризиків у судноводінні. Зокрема – ризиків, пов'язаних з виконанням судном комплексних навігаційних задач, що є неможливим без застосування сучасних методів математичного моделювання руху судна. Саме це обумовлює актуальність роботи О. Д. Піпченка.

Дисертація відповідає тематиці найбільш актуальних досліджень, визначених Національною транспортною стратегією України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України № 430-р від 30.05.2018 р.) та положень Морської доктрини України на період до 2035 року (Постанова Верховної Ради України № 1307 від 07.10.2009 року, зі змінами від 18.12.2018 року, № 1108), відповідає основним напрямкам, визначеним у "Тематиці наукових досліджень і науково-технічних (експериментальних) розробок МОН України" (Наказ МОН України № 1466 від 28.12.2018 р.).

Здобувач є виконувачем окремих розділів планових наукових досліджень Херсонської державної морської академії (ХДМА), які відповідають тематиці дисертації: "Створення високоточних інтелектуальних систем управління



рухом морських суден військового і цивільного призначення" (ДР № 0117U002176, 2017-2018 роки), "Розробка програмних засобів для підвищення якості функціонування систем динамічного позиціонування морських суден" (ДР № 0119U100948, 2019-2020 роки).

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість і достовірність запропонованих наукових положень підтверджується: а) логічністю обраних для використання сучасних теоретичних методів та методик дослідження; б) показниками адекватності фізичним процесам отриманих математичних залежностей; в) задовільною відповідністю емпіричних та теоретичних результатів, у тому числі отриманих методами математичного (імітаційного) моделювання.

Обґрунтованість висновків та практичних рекомендацій, що сформовані і наведені у дисертаційній роботі О. Д. Піпченка, підтверджуються експериментами та отриманим комплексом наукових результатів. Одержані наукові результати добре узгоджуються з даними і результатами раніше проведених, добре відомих та апробованих досліджень, як здобувача, так і інших науковців.

3. Новизна наукових положень, висновків та рекомендацій

У дисертації наведені і науково доведені нові результати, де у рамках вирішення сформульованої науково-технічної проблеми проведено аналіз існуючого стану практики управління ризиками при вирішенні комплексних навігаційних задач і вперше визначені актуальні завдання розвитку теорії та практики управління ризиками, зокрема - при вирішенні комплексних навігаційних задач.

Уперше:

- сформульовано критерій оцінювання найкоротшої дистанції розходження суден, якій відрізняється урахуванням параметрів судна та куту перетину курсів, що дозволяє аргументовано оцінювати небезпеку зіткнення суден;

- запропоновано принцип розходження судна-цілі з кінцевим буєм сейсмічного кабелю, який відрізняється використанням методу зворотного розрахунку розходження суден та урахуванням дрейфу кабелю, що може використатися у навігаційних системах підтримки прийняття рішень;

- запропоновано категоризацію зон навігаційного ризику та метод визначення запасу під кілем, які відрізняються урахуванням точності наявної картографічної інформації, що дозволяє визначити критерії оцінки небезпечності запланованого маршруту судна;

- запропоновано метод визначення небезпечного зближення суден та маневру останнього моменту, залежно від маневрених характеристик судна та куту перетину курсів, який відрізняється тим, що визначення потенційного контакту суден виконується віддаленням цілі від розрахункової точки

зіткнення, що дозволяє зменшити кількість можливих небезпечних ситуацій, та у значній мірі уточнити і спростити розрахунки;

- запропоновано кількісну оцінку ризику навігаційного інциденту, яка заснована на концепції формальної оцінки безпеки та нечіткій логіці і відрізняється структурою використаної системи нечіткої логіки, методами нормування вхідних параметрів та обробки правил, що дозволяє отримати оцінки навігаційної ситуації для суден з різноманітними розмірами та маневровими характеристиками.

Удосконалено:

- алгоритм функціонування контролеру курсу судна, який відрізняється використанням запропонованого адаптивного принципу навчання нейронних мереж контролеру, що дозволяє отримати робастні властивості системи управління курсом судна;

- метод розрахунку динамічної остійності судна у реальному часі, який дозволяє розраховувати рух частково чи повністю занурюваного судна, що дозволяє розроблювати моделі шлюпок вільного падіння та інших подібних об'єктів для використання на навігаційних симуляторах;

- метод розрахунку безпечної глибини та визначення лімітуючих параметрів при плануванні навігаційного переходу судна, який відрізняється урахуванням комплексу параметрів безпеки, у тому числі радіусу повороту, границь безпечної зони та поправок на крен, диферент, щільність води, просідання, точність картографічної інформації та інших чинників, що дозволяє об'єктивно (і з більшою точністю) оцінювати запланований маршрут судна.

Отримали подальший розвиток:

- класифікація помилок судноводіїв за результатами небезпечних наближень, зіткнень та посадок суден на міліну, яка відрізняється розробленою структуризацією помилок, що дозволяє проводити декомпозицію причин морських інцидентів; методика верифікації математичної моделі плаского руху судна, яка відрізняється формою запису цільових функцій, що дозволяє уточнювати математичні моделі руху суден при застосуванні обмеженої вибірки даних морських випробувань;

- 6 *DoF* математична модель взаємодії системи «буксир-судно» пов'язаної тросом, яка відрізняється урахуванням остійності та плавучості суден, натягу тросу, функціонування гвинто-рульових колонок, що дозволяє створювати симулятори роботи суден з буксирами та оцінювати можливість втрати керованості і остійності буксиру у різних експлуатаційних умовах;

- математична модель сейсмічного судна з буксированою системою плавучих кабелів великої довжини, яка відрізняється урахуванням динаміки руху гнучкого кабелю, що дозволяє проводити симуляцію проходження небезпечних ділянок.

З більшістю отриманих наукових результатів слід погодитися і вони є безсумнівними, деякі результати носять науково-дискусійний характер і потребують пояснень чи додаткової аргументації.

4. Практична цінність дисертаційної роботи

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що вони можуть використовуватися у судових системах підтримки прийняття рішень (СППР), бути частиною загальної методології оцінки безпеки операцій, та, зокрема, рейсу, судна. Практичні результати можуть використовуватися під час навчання та підвищення кваліфікації спеціалістів водного транспорту, зокрема - з напрямку навігації та управління рухом.

Основні практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені у виробничу діяльність судноплавної компанії «*Mediterranean Shipping Company*» (MSC); у навчальному процесі (акт від 03.06.2020) Херсонської державної морської академії (акт від 03.06.2020 р.), зокрема, у комп'ютерній програмі "Towing System" (авторське свідоцтво №72915 від 18.07.2017); у навчальному процесі під час викладання спеціальних дисциплін на кафедрах НУ "ОМА" (акт від 04.06.2020 р.); у навчальному процесі ІПО «Одеський морський тренажерний центр» (акт від 10.06.2020); при спеціальній підготовці судноводіїв (Казахстанська морська академія, акт від 01.06.2020).

5. Оцінка змісту дисертаційної роботи

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, визначено мету та завдання досліджень, сформульовано наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів, наведено дані про публікації та апробацію основних положень дисертації.

Перший розділ присвячений загальному аналізу стану і існуючим проблемам судноплавства. Наведені і проаналізовані причини втрат внаслідок навігаційних інцидентів. На основі даних, отриманих при моделюванні небезпечних ситуацій на навігаційних тренажерах, сформовані статистичні вибірки про найпоширеніші помилки судноводіїв - для ситуацій посадки на мілину та зіткнення суден. Запропоновано структуру дерева помилок. Обґрунтовано основний напрям дослідження - необхідність підвищення ефективності та безпеки судноплавства при вирішенні комплексних навігаційних задач, який вирішується шляхом вдосконалення та впровадження теоретичних засад управління ризиками.

Методологічні основи і принципи наукового дослідження автор наводить у **другому розділі**. На основі аналізу визначеної проблеми, сформульовано мету та головну задачу дослідження, здійснено її декомпозицію на складові задачі. Приведена методика рішення складових задач, поставлених в роботі, описано основні етапи виконання дослідження.

У **третьому розділі** досліджено, запропоновано та удосконалено низку методів математичного моделювання руху судна у просторі. Запропоновано методику верифікації математичної моделі плаского руху судна, яка відрізняється формою запису цільових функцій. Саме такий підхід дозволив здобувачу уточнювати математичні моделі руху суден при застосуванні обмеженої вибірки даних морських випробувань.

У **четвертому розділі** наведено рішення допоміжних задач, пов'язаних з моделюванням руху судна. Удосконалено метод розрахунку динамічної остійності судна у реальному часі, який дозволяє розраховувати рух частково чи повністю занурюваного судна. Запропоновано метод розрахунку бортового нахилу судна під час маневрування, в залежності від його динамічного стану та параметрів остійності. Слід відзначити, що отримані залежності можуть бути додані у модель маневрування судна. Розглянуто, запропоновано і удосконалено існуючу систему управління судном на завданій траєкторії. Це завдання вирішено за допомогою контролеру курсу судна, побудованого на базі штучних нейронних мереж прямого поширення у комбінації з алгоритмом корегування відхилення від траєкторії (в залежності від бокового відхилення та завданої лінії видимості). Запропоновано новий метод утримання судна на завданому радіусі під час повороту.

У **п'ятому розділі** запропоновано математичну модель системи «буксир-судно» пов'язаної тросом. У якості буксира обрано судно з двома азимутальними рушіями. Модель судна побудована в чотирьох ступенях свободи з урахуванням поперечної остійності, впливу куту розвороту та обертів гвинту рушіїв на їх ефективність під час сумісної роботи.

Розроблено математичну модель системи «судно-гнучке тіло» на прикладі судна сейсмічної розвідки. Проведено аналіз процесу розходження суден сейсмічної розвідки з кабелем великої довжини з іншими суднами. Запропоновано алгоритм вирішення зворотної задачі розходження суден (на прикладі оцінки небезпеки перетину сейсмічної коси).

У **шостому розділі** проведено формалізацію визначення «маневр останнього моменту» та запропоновано метод розрахунку мінімальної дистанції до точки зіткнення з урахуванням маневрених характеристик судна. Проаналізовано маневрування судна у ситуації небезпечного зближення відносно до «Міжнародних правил запобігання зіткненню суден» (МППЗС-72). Запропоновано і науково доведено необхідність розподілу зони навколо судна на чотири сектори з різними критеріями оцінки мінімальної дистанції до точки зіткнення і різними маневрами останнього моменту в залежності від кута перетину курсів, сектора дії правил МППЗС і характеристик обраного маневру.

Визначено умови безпечного плавання у відношенні до навігаційних небезпек. Наведено методи розрахунку безпечної глибини та поперечного відхилення від завданого маршруту. Запропоновано визначення запасу глибини під кілем судна у залежності від точності картографічної інформації.

Сьомий розділ присвячено методам оцінки навігаційної безпеки на основі комбінації кількісних та якісних характеристик ризику навігаційного інциденту. Проаналізовано чинники, які впливають на ризик навігаційного інциденту. Наведені дані експертних опитувань та запропоновано метод обробки цих даних, що дозволило отримати функції приналежності для системи оцінки ризику (побудованої на основі методів теорії нечіткої логіки). Сформовано принципи визначення критеріїв безпеки навігаційної ситуації. Запропоновано методіку нормування та обробки вхідних даних для формування кількісного рівня ризику.

6. Повнота викладення здобувачем основних результатів

Основні результати і положення дисертаційної роботи у повній мірі відображені опублікованими 34 науковими працями (14 – одноосібні). Зокрема, 26 статей опубліковано у наукових фахових виданнях (5 – у міжнародних виданнях, що входять до міжнародних науково-метричних баз *Web of Science* та *Scopus*), 10 тез доповідей у збірках матеріалів наукових конференцій різного рівня впливовості.

В опублікованих працях викладені основні отримані наукові і практичні результати. Особистий внесок здобувача в сумісних публікаціях є підтвердженим. Рівень та кількість публікацій, рівень апробації дисертації відповідають вимогам, що ставляться МОН України до дисертацій.

7. Використання в докторській дисертації результатів наукових досліджень, на основі яких захищена кандидатська дисертація

Результати наукових досліджень, за якими здобувач захистив у 2010 році кандидатську дисертацію за темою "Оптимизация управления движением судна в штормовых условиях" за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом, не використовуються у матеріалах докторської дисертації здобувача і не виносяться на її захист.

8. Оцінка мови та оформлення дисертації та автореферату

Повний обсяг дисертації включає 286 сторінок машинописного тексту, у тому числі 243 сторінки основної частини. У роботі міститься 22 таблиці, 126 рисунків, 290 найменувань літературних джерел. Обсяг додатків - 16 сторінок.

Стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує їх добре сприйняття.

Оформлення дисертації проведено згідно вимог п. 10, п. 12, п. 14 "Порядку присудження наукових ступенів".

Автореферат обсягом у 47 сторінок оформлений добре, за своїм обсягом, структурою та змістом відповідає чинним вимогам п. 13 «Порядку присудження наукових ступенів».

Зміст автореферату повністю розкриває основні наукові положення і результати дисертаційної роботи.

Розсилка автореферату здійснена 19 березня 2021 року з розміщенням за адресою: onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy.

Запозичень у тексті дисертації чужих праць і ідей без посилань на першоджерела та невідповідностей змісту дисертації, автореферату і Паспорту спеціальності 05.22.13 не виявлено.

9. Зауваження до змісту дисертаційної роботи

1. У списку використаних літературних джерел присутні публікації, що мають непряме відношення до роботи (поз. 22, 26, 83, 257, ...). Крім того, зустрічаються досить ранні публікації (поз. 45, 264, 107, 148, 149, 225 ...).

2. На графіках, що наведені на рисунках 1.2 і 1.3, проаналізовано зростання кількісного та тоннажного складу світового флоту, але останні данні аналізу датовані 2014 роком. Вважаю, що останні шість років тенденція зростання світового флоту була не менш динамічною, тому цей період також варто урахувати.

3. У параграфі 1.1 міститься посилання на методiku з використанням трикутника Хайнріха, що зазвичай використовується при статистичному аналізі аварійних ситуацій та їх важкості. На мій погляд, автором невдало інтерпретовано термін «*near-miss*», як нещасний випадок. У контексті небезпеки зіткнення або втрати судна краще інтерпретувати цей термін як «небезпечна ситуація» або «потенційно небезпечна ситуація».

4. У параграфі 1.3.1 зазначено, що основними причинами 65,8 % морських інцидентів є неправильні дії персоналу, при цьому половина від загальної кількості аварій припадає на навігаційні інциденти. Тут незрозуміло, чи прирівнює автор терміни «інцидент» та «аварія». Якщо так, то це суперечить визначенням у параграфі 1.2.1. Якщо ні, то вираз «при цьому» недоречний і ці два твердження незалежні.

5. У параграфі 3.2.3 розглянуто уточнення моделі хідкості судна за результатами випробувань, яке виконується шляхом коригування коефіцієнтів k_{0-3} , що є складовими розрахунку коефіцієнту упору K_T . Наведені графічні та табличні (досить вдалі) результати уточнення (таблиця 3.2), де порівнює початкові коефіцієнти та відкориговані коефіцієнти. Але в роботі не показано, яким чином вибираються чи розраховуються початкові коефіцієнти моделі хідкості судна, чи можна застосовувати обраний метод Нелдера-Міда, якщо початкові коефіцієнти суттєво відрізняються від реальних.

6. У параграфі 3.2.4 запропоновано метод коригування моделі повороткості судна, отримано цільову функцію, що складається з динамічної, кінематичної складової та складової для маневру «зіг-заг». Для кожної з названих складових використані вагові коефіцієнти w_{1-2} , w_{3-4} та w_5 відповідно. Автором надано вектор вагових коефіцієнтів $w = [1; 180 \cdot 60/\pi; 2; 1; 0.2]$ для окремого випадку. Дуже важливо побачити і довести практичну користь методики розрахунку таких коефіцієнтів для різних типів маневрів, але в роботі це лише задекларовано.

7. У параграфі 4.3.1 стверджується, що досягнення необхідного рівня якості управління курсом і проходженням по траєкторії визначається не тільки принципами і законами, покладеними в основу синтезу математичних моделей і алгоритмів функціонування, а й способами реалізації отриманих алгоритмів. Водночас ряд способів реалізації може накладати обмеження, неприйнятні згідно вимог якості управління. Тут незрозуміло, яким чином одні й ті ж закони

й принципи управління, реалізовані різними способами (програмно або апаратно), можуть давати різну якість управління курсом та траєкторією. Можливо такі випадки і існують. Але, у такому разі, слід навести відповідні приклади. Крім того, потребує пояснення принципова відмінність між «принципом» та «законом» управління у даному контексті.

8. Незрозуміло, як в дисертаційному дослідженні (параграфи 4.1, 4.2), пов'язані два методи: розрахунок динамічної остійності судна і урахування крену судна в моделях плоского руху, так як перший метод по суті також надає можливість визначати крен судна.

9. У таблиці 4.2 наведені кількісні показники розглянутих алгоритмів управління курсом судна. Дисперсія кладок стерна під час маневру на траєкторії з використанням ПД закону управління майже вдвічі гірша цього ж показника при використанні нейромережного управління або управління з нечіткою логікою. Зазвичай, класичний та «правильно» налаштований ПД-регулятор дає вищу, ніж зазначена, якість процесів керування. Саме тому цей показник викликає сумніви.

10. Виразом 4.43 пропонується закон управління веденням судна за траєкторією, де одночасно забезпечується контроль курсу судна за традиційним ПД законом, у той же час для контролю точок маршруту використовується ПД закон. Викликає питання постійна присутність статичної помилки при контролі траєкторії. Не ясно, чому також не використати для цього ПД закон?

11. На рис. 5.7 наведено результати моделювання ситуації «гіртинг» зі значним нахрененням буксиру. На діаграмах параметрів буксиру (права частина рисунку) момент критичного нахренення, який призводить до перекидання буксиру, чітко видний. У той же час на схемі взаємодії судна та буксиру (ліва частина рисунку) цей момент відслідкувати досить важко. На мій погляд, на схемі бракує зображення діючих сил та моментів, а також напрямів руху судна та буксиру.

Вказані зауваження не є принциповими, тому не зменшують наукову та практичну цінність отриманих наукових результатів роботи, є дискусійними і потребують подальшого обговорення та розвитку у наступних перспективних дослідженнях.

10. Загальні висновки

Зміст дисертації узагальнює опубліковані дослідження здобувача, а виклад математичних доведень здійснюється сучасним аналітичним апаратом.

При загальній оцінці дисертаційної роботи, слід зазначити, що вона є завершеним і цілісним дослідженням з чіткою структурою і логічним викладом матеріалу.

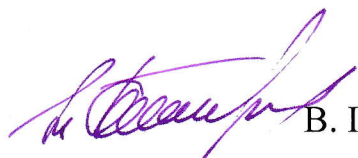
Робота відповідає паспорту спеціальності 05.22.13 – навігація та управління рухом, зокрема, за пунктами «дослідження закономірностей процесів навігації та управління рухом, розробка методів і засобів управління

рухом та орієнтації транспортних засобів і їх потоків» та «математичне моделювання поведінки та методи керування транспортним засобом в екстремальних умовах».

Актуальність теми, ступінь обґрунтованості, достовірність і новизна наукових положень, висновків та рекомендацій дають підстави стверджувати, що дисертаційне дослідження Піпченка О. Д. відповідає вимогам МОН України, які висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, а також вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (із змінами, внесеними згідно з постановами КМУ № 656 від 19.08.2015, № 1159 від 30.12.2015, № 567 від 27.07.2016) та паспорту спеціальності 05.22.13 – навігація та управління рухом.

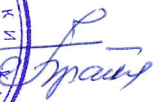
Вважаю, що Піпченко Олександр Дмитрович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом.

Офіційний опонент,
Заслужений винахідник України,
доктор технічних наук, професор,
професор кафедри технічних
систем та процесів управління в судноводінні
Державного університету інфраструктури
та технологій МОН України


В. І. Богом'я

Підпис професора Богом'ї В. І. засвідчую
в.о. ректора ДУІТ




Н.С. Брайковська