УДК 629.5.07:371.26(045) **DOI: 10.31653/2306-5761.38.2025.76-92**

DEVELOPMENT AND VERIFICATION OF PRACTICAL CRITERIA FOR EVALUATING SHIP HANDLING SKILLS

РОЗРОБКА ТА ВЕРИФІКАЦІЯ ПРАКТИЧНИХ КРИТЕРІЇВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ НАВИЧОК КЕРУВАННЯ СУДНОМ

O. Pipchenko, *D.Sc., associate professor,* **V. Konon**, *Ph.D.,*
N. Konon, *Ph.D., senior lecturer*
О. Д. Піпченко, *д.т.н., доцент*, **В. В. Конон,** *д-р філософії*,
Н. М. Конон, *д-р філософії, ст. викладач*
National university "Odesa maritime academy", Ukraine
Національний університет «Одеська морська академія», Україна

ABSTRACT

The article presents the results of the development and verification of a system of quantitatively measurable criteria for assessing practical ship-handling skills, aimed at increasing the objectivity of maritime training evaluation. The proposed approach bridges the gap between the qualitative requirements of the STCW Code and the actual performance parameters of maneuvers that determine navigational safety. Based on expert consultations, analysis of international standards (STCW, PIANC, EAU), and hydrodynamic studies, a set of ten training exercises was developed to cover typical maneuvering scenarios in confined waters. For each exercise, a system of performance criteria was defined, including speed limits, acceptable approach angles, and temporal and spatial trajectory deviations. The verification of the proposed criteria was carried out using simulation modeling, confirming the adequacy and applicability of the selected parameters. The developed indicators were integrated into a Learning Management System (LMS), providing automated performance assessment, data synchronization, and objective feedback throughout the training process. The methodology demonstrated practical efficiency and adaptability across various training formats — including full-mission, individual, and virtual-reality simulators. Its implementation promotes the standardization of assessment procedures, enhances transparency and reliability of training results, and establishes a foundation for developing automated certification systems in maritime education.

Keywords: ship handling, safety of navigation, simulators, maritime education and training, containerships, Learning Management System, e-learning, skill evaluation criteria.

АНОТАЦІЯ

У статті представлено результати розроблення та верифікації системи кількісно вимірюваних критеріїв оцінювання практичних навичок керування судном, спрямованої на підвищення об'єктивності контролю підготовки морських фахівців. Запропонований підхід усуває розрив між якісними вимогами Кодексу ПДНВ (STCW) та реальними параметрами виконання маневрів, що визначають рівень безпеки судноплавства. На основі експертних консультацій, аналізу міжнародних стандартів (STCW, PIANC, EAU) та гідродинамічних досліджень сформовано набір із десяти навчальних вправ, які охоплюють типові сценарії маневрування в обмеженій акваторії. Для кожної вправи визначено систему критеріїв ефективності, зокрема обмеження швидкості, допустимі кути підходу, часові та просторові відхилення траєкторії. Верифікацію запропонованих критеріїв проведено методом імітаційного моделювання, результати якого підтвердили адекватність обраних параметрів. Розроблені показники інтегровано у систему управління навчанням, що забезпечує автоматизоване

оцінювання результатів, синхронізацію даних і формування об'єктивного зворотного зв'язку у процесі навчання. Методика продемонструвала практичну ефективність та адаптивність для різних форматів підготовки — повномасштабних, індивідуальних і віртуальних тренажерів. Її впровадження сприяє стандартизації оцінювання, підвищенню прозорості та достовірності результатів, а також формує підґрунтя для створення автоматизованих систем сертифікації у морській освіті.

Ключові слова: керування судном, безпека судноплавства, симулятори, морська освіта та підготовка, контейнеровози, система управління навчанням, електронне навчання, критерії оцінювання навичок.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями

Сучасна система морської освіти значною мірою спирається на використання тренажерів у процесі професійної підготовки здобувачів освіти до виконання складних і динамічних операцій у реальних умовах судноводіння. Під тренажерним навчанням розуміють практичну підготовку на стаціонарних установках, зокрема на місткових і машинних тренажерах, що моделюють роботу суднових систем і типові морські сценарії.

Разом із тим, сучасні виклики — пандемії, геополітичні конфлікти, зміна логістичних маршрутів і підвищена волатильність ринку морських перевезень — впливають на сталі моделі навчання, обмежуючи доступ до традиційних форм тренажерної підготовки. Галузь вимушена шукати гнучкіші та технологічно інтегровані методи підготовки, що забезпечують безперервність і доступність навчального процесу.

Додатковим фактором є зростання географічної розосередженості морських фахівців, що підсилює потребу у дистанційних форматах навчання та оптимізації часу перебування здобувачів освіти у навчальних центрах. Це актуалізує низку ключових питань:

- чи має кожен слухач рівний доступ до повномасштабних тренажерів;
- чи достатньо часу виділяється для індивідуальної роботи під час практичних вправ;
- скільки годин активного тренажерного навчання необхідно для формування стабільних судноводійних навичок;
- яким чином можна забезпечити об'єктивне оцінювання цих навичок незалежно від формату навчання.

Вирішення зазначених проблем має важливе наукове та практичне значення, оскільки від рівня якості тренажерної підготовки безпосередньо залежить безпека судноплавства, а також здатність освітніх установ відповідати вимогам Кодексу ПДНВ та міжнародних стандартів морської підготовки. Саме тому необхідною є розробка уніфікованих критеріїв оцінювання практичних навичок, що можуть бути інтегровані у сучасні цифрові системи навчання та сертифікації морських фахівців.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і виділення невирішених раніше частини загальної проблеми

Розроблення критеріїв оцінювання практичних навичок керування судном доцільно розглядати в контексті загальних підходів до організації та ефективності тренажерної підготовки. Як показують сучасні дослідження у сфері морської освіти [1], [2], якість навчального процесу визначається не лише змістом програм, а й сукупністю факторів, що забезпечують досягнення навчальних результатів. В цьому контексті, успішність навчального процесу можна охарактеризувати через наступні ознаки:

- ефективність – навчання повинно призводити до досягнення запланованих навчальних цілей;

- доступність – обсяг індивідуального доступу (повторного, якщо необхідно) до всього навчального контенту та інструментів для кожного студента має бути максимальним;
- вартість – загальні капітальні та операційні витрати мають бути якомога нижчими;
- безпека – навчальне середовище має бути максимально безпечним;
- комфорт – навчальне середовище має бути виправдано комфортним.

Варто зазначити, що алгоритмічне ядро сучасних тренажерів у більшості випадків є уніфікованим для різних платформ і програмних рішень. Це означає, що розробники використовують подібні математичні моделі руху судна та логічні механізми керування, тоді як відмінності полягають переважно у способах візуалізації даних і характері інтерактивної взаємодії здобувача освіти із системою (рис. 1).

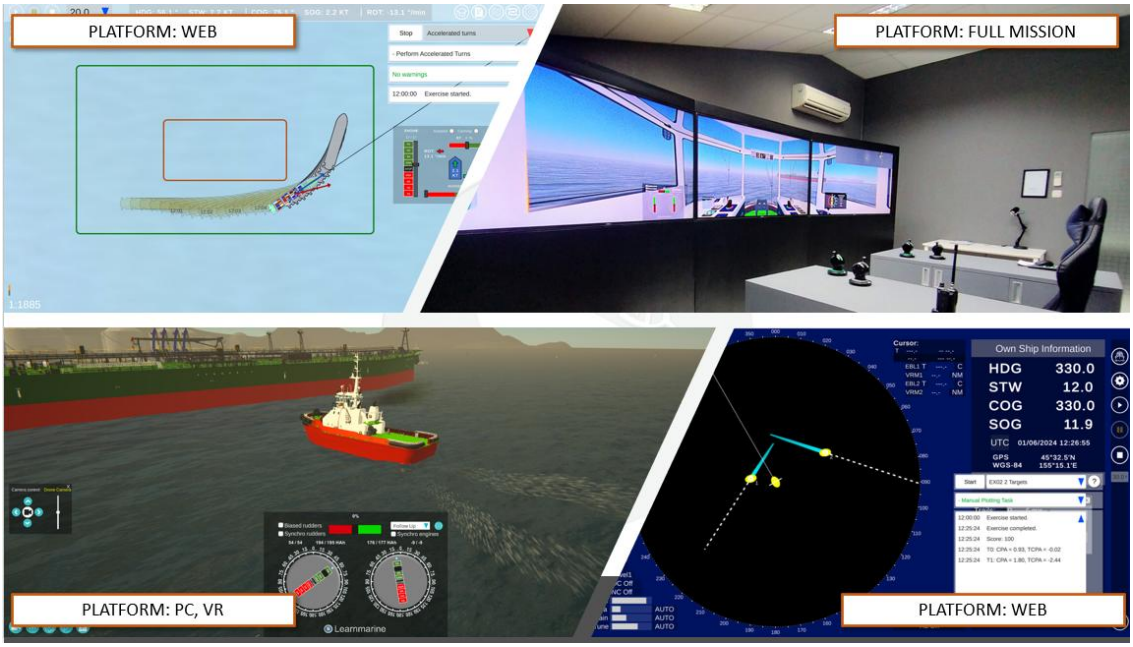

Рис. 1. Візуалізація різних платформ на прикладі тренажерів Learnmarine: веб, повномасштабний тренажер, версія для персонального комп'ютера з можливістю підключення шолому віртуальної реальності (PC/VR)
[Джерело: Автори]

У цьому аспекті варто порівняти основні переваги й недоліки різних тренажерних платформ і технічних засобів симуляції [1].

Повномасштабний тренажер:

- забезпечує реалістичне відтворення умов судноводіння;
- придатний для групових занять і відпрацювання взаємодії екіпажу;
- полегшує комунікацію між інструктором і здобувачами освіти;
- забезпечує високий рівень тактильного та просторового сприйняття;
- *водночас характеризується високою вартістю, значними вимогами до простору, обмеженим полем зору (через фіксовані екрани) та необхідністю фізичної присутності, що знижує його доступність.*

Тренажер із використанням технології віртуальної реальності:

- забезпечує повне панорамне поле зору (360°) та реалістичне просторове відчуття;
- має порівняно низьку вартість і потребує мінімум фізичного простору;
- добре підходить для індивідуальних тренувань;
- *проте ускладнює взаємодію під час групових занять, може спричиняти заколисування у частини користувачів та має обмежені можливості традиційного інтерфейсу (введення команд, фізичні елементи управління тощо).*

Персональний або веб-тренажер (що працює на пристрої здобувача освіти):

- забезпечує доступність навчання практично будь-де й будь-коли;
- є ефективним інструментом для самостійних занять і виконання домашніх завдань;
- необмежений у кількості повторних сесій;
- *проте залежить від якості інтернет-з'єднання, технічних характеристик кінцевого пристрою, має обмежені графічні можливості та може бути менш стабільним під час тривалих сеансів*.

З огляду на наведене, змішане навчання (blended learning) можна розглядати як найбільш ефективну методологію тренажерної підготовки. Основним елементом його реалізації є система управління навчанням (Learning Management System, LMS), яка забезпечує інтеграцію різних форматів навчання — повномасштабних, VR- та веб-тренажерів. LMS виконує функції збору, зберігання та оброблення навчальних даних із різних пристроїв і платформ (персональних комп'ютерів, VR-гарнітур, мобільних додатків), забезпечуючи узгоджене відстеження прогресу здобувачів освіти й автоматизований контроль їхніх результатів.

У сучасній системі післядипломної підготовки морських фахівців теоретичні модулі можуть успішно реалізовуватись у дистанційному форматі навчання. Хоча присутність викладача час від часу необхідна, щоб здобувачі освіти були зацікавлені та мали можливість ставити запитання, на практиці ефективність та якість засвоєння навчального матеріалу здебільшого залежить від його самостійного вивчення. Слід відзначити, що також важливо, щоб викладач ставив запитання здобувачам, аби отримати уявлення про їхнє розуміння навчальних матеріалів та можливі труднощі, з якими вони можуть зіткнутися.

З практичною частиною навчання ситуація схожа, за умови наявності відповідних інструментів. Наявність модулів електронного навчання, а також веб- та автономних версій, інтегрованих із LMS, забезпечує викладачам суттєву перевагу – можливість надавати здобувачам домашні завдання. Завдяки цьому, під час прибуття до навчального центру для виконання групових вправ на повнофункціональних тренажерах містка, здобувачі вже, як правило, володіють необхідними теоретичними знаннями та принаймні базовими практичними навичками, отриманими у контрольованих умовах. Крім того, їх активність і прогрес фіксуються у LMS, що надає цінну статистичну інформацію як викладачам, так і самим здобувачам. У цьому контексті особливої актуальності набуває питання розроблення критеріїв оцінювання виконання вправ на таких тренажерах. Такі критерії можуть використовуватися не лише як додатковий інструмент для викладачів, а й для автоматизованого оцінювання в межах систем управління навчанням.

Згідно до компетенції «Керування судном» ММО, що викладена в кількох правилах та інструкціях, всесвітньо затверджені мінімальні стандарти для цієї компетенції викладені в конвенції та кодексі ПДНВ [3]: Правило I/12 та Розділи A-I/12, B-I/12 визначають використання тренажерів у підготовці та оцінюванні з питань керування судном, роботи місткової команди та несення навігаційної вахти. Таблиця A-II/1: визначення мінімального стандарту компетентності для вахтових помічників капітана на суднах валовою місткістю 500 регістрових тонн і більше. Таблиця A-II/2: визначення мінімального стандарту компетентності для капітанів і старших помічників капітана на суднах валовою місткістю 500 регістрових тонн і більше. Компетентність за ПДНВ: маневрування та керування судном за будь-яких умов.

Деяку додаткову інформацію також можна знайти у модельних курсах та резолюціях ММО [4 -6], наприклад:

- IMO Model Course 1.22: Окреслює структурований підхід до навчання управлінню судном з використанням тренажерів.
- IMO Model Course 7.01 та Model Course 7.03: Ці курси включають елементи керування судном з інструкціями щодо використання тренажерів для практичного навчання.

- IMO Resolution A.960(23): Рекомендації щодо навчання, сертифікації та експлуатаційних процедур для морських лоцманів, крім лоцманів глибоководних суден.

Критерії оцінювання офіцерів рівня експлуатації практично обмежуються маневрами зміни курсу та невеликими коригуваннями швидкості (табл. 1).

Через характер обов'язків вахтових офіцерів (всіх рівнів, від третього помічника до капітана), брак досвіду керування судном може бути значною проблемою для морської галузі. Вахтові офіцери рідко маневрують судном у обмежених водах самостійно, а виконання таких маневрів капітаном судна, на практиці, зазвичай супроводжується командами лоцмана щодо керма та двигуна. Керування судном – це складне та вимогливе завдання, яке вимагає високого рівня майстерності та досвіду. Без належної підготовки та досвіду вахтові офіцери можуть мати труднощі з ефективним керуванням судна у складних обмежених умовах, що збільшує ризик інцидентів.

Таблиця 1. Компетентність: Маневрування судном [7]

Знання, розуміння та уміння	**Методи демонстрації компетентності**	**Критерії оцінювання компетентності**
1. Вплив дедвейту, осадки, диференту, швидкості та просвіту під кілем на циркуляційні кола та гальмівні відстані. 2. Вплив вітру та течії на керування судном. 3. Маневри та процедури з порятунку людини, яка опинилася за бортом. 4. Ефекти присадки, мілководдя та подібні явища. 5. Належні процедури швартування на якір та до причалу.	1. Затверджений досвід роботи на судні 2. Затверджений досвід підготовки на навчальному судні 3. Затверджене навчання на тренажері, за потреби 4. Затверджене навчання на керованій масштабній моделі судна, за потреби	Безпечні експлуатаційні межі роботи суднових рушійних, стернових і енергетичних установок не перевищуються під час виконання звичайних маневрів. Коригування курсу та швидкості судна здійснюється з метою підтримання безпеки судноплавства.

Водночас, існує величезний «стрибок» між вимогами до офіцерів експлуатаційного та управлінського рівнів, при цьому немає чітко визначених критеріїв оцінки практичних навичок (табл. 2).

Таблиця 2. Компетентність: Маневрування та керування судном за будь-яких умов [8]

Знання, розуміння та уміння	**Методи демонстрації компетентності**	**Критерії оцінювання ‘компетентності**
1. Маневри під час підходу до лоцманських станцій та посадки або висадки лоцманів з урахуванням погодних умов, приливів, інерційного пробігу та гальмівних відстаней. 2. Керування судном у річках, устях та обмежених водах з урахуванням впливу течії, вітру та обмеженої акваторії на реакцію стерна. 3. Застосування методів підтримання постійної швидкості повороту.	1. Затверджений досвід роботи на судні 2. Затверджене навчання на тренажері, за потреби 3. Затверджене навчання на керованій масштабній моделі судна, за потреби	Усі рішення щодо швартування та постановки на якір приймаються на основі належної оцінки маневрових та рушійних характеристик судна, а також сил, що можуть виникнути під час стоянки біля причалу або на якорі.

4. Маневрування на мілководді, включаючи зменшення просвіту під кілем через просідання, бортову та кільову хитавицю. 5. Взаємодія між суднами, що розходяться або проходять поблизу, та між власним судном і мілиною (ефект каналу). 6. Швартування та відшвартування за різних умов вітру, припливів і течії з використанням або без використання буксирів. 7. Взаємодія між судном і буксиром. 8. Використання рушійних і маневрових систем. 9. Вибір якорного місця; постановка на якір одним або двома якорями в обмежених якорних стоянках та фактори, що впливають на визначення довжини якорного ланцюга, яку слід використовувати. 10. Зрив з якоря; звільнення заплутаних якорів. 11. Постановка в док, як за наявності, так і за відсутності пошкоджень. 12. Керування та обслуговування суден у штормових умовах, включаючи надання допомоги судну або літаку, що зазнає лиха; буксирні операції; способи утримання некерованого судна поза гребенем хвиль, зменшення дрейфу. 13. Запобіжні заходи під час маневрування для спуску рятувальних човнів або шлюпок у несприятливих погодних умовах. 14. Методи підйому на борт осіб, врятованих рятувальними човнами або шлюпками. 15. Здатність визначати маневрові та рушійні характеристики поширених типів суден з особливим урахуванням гальмівних відстаней і циркуляційних кіл за різних осадок і швидкостей. 16. Важливість судноводіння на зменшеній швидкості з метою уникнення пошкоджень, спричинених носовою та кормовою хвилями власного судна. 17. Практичні заходи, яких слід вживати під час судноплавства в льодових умовах або поблизу льоду, а також за умов обмерзання судна. 18. Використання та маневрування в районах і поблизу районів розподілу руху суден, а також у зонах дії служб регулювання руху суден (VTS).		Під час руху здійснюється повна оцінка можливого впливу мілководдя та обмежених вод, льоду, берегових укосів, припливних умов, проходу поблизу інших суден, а також власних носових і кормових хвиль судна, щоб забезпечити безпечне маневрування за різних умов завантаження та погоди.

Таким чином, можна надійти висновку, що коли йдеться про критерії оцінки компетентності в управлінні суднами, Кодекс ПДНВ говорить про «рішення» та «оцінювання», але не про фактичну роботу, тобто не про їх реалізацію на практиці.

В останні роки здійснено низку досліджень, спрямованих на вдосконалення методів оцінювання результатів підготовки на морських тренажерах. Зокрема, у роботі [9] запропоновано структурований рубрикатор із дев'яти критеріїв для оцінювання якості виконання якорних операцій, що дозволило об'єктивно вимірювати рівень виконання цих маневрів і порівнювати ефективність різних підходів до навчання. Інше дослідження [10] зосереджене на багатокритеріальному оцінюванні компетентності в повномасштабному навігаційному тренажері (на прикладі лоцманських операцій): автори застосували ієрархічний метод аналізу (AHP) для врахування технічних навичок і командних (BRM) умінь у єдиній моделі. Такий підхід забезпечив високу узгодженість оцінок між різними інструкторами та їх відповідність еталонним показникам, перевершуючи за надійністю традиційні експертні методи оцінювання [10].

Комплексний огляд літератури [11] відзначає наявність широкого спектра суб'єктивних і об'єктивних методів оцінювання, які використовуються у тренажерній підготовці моряків, а також звертає увагу на труднощі вибору оптимального підходу для конкретного навчального контексту. В цьому огляді узагальнено переваги та недоліки основних сучасних методик і підкреслено, що інструкторам складно уніфікувати оцінювання через варіативність умов навчання [20]. Запропоновано орієнтувати оцінювальні практики на досягнення чітко визначених навчальних результатів і окреслено напрями подальшого вдосконалення, зокрема шляхом впровадження новітніх технологій оцінювання [11].

Серед таких технологій привертає увагу застосування систем відстеження погляду. Дослідження [12] продемонструвало, що eye-tracking під час роботи на навігаційному тренажері надає можливість фіксувати розподіл уваги курсантів і рівень їх ситуаційної обізнаності. За допомогою аналізу рухів очей вдалося виявити суттєві відмінності між діями новачків та досвідчених судноводіїв, що підтвердило цінність цієї технології для оцінювання навігаційних навичок [12]. Отримані метрики (наприклад, фокус уваги на критично важливих індикаторах) містять дані про когнітивні процеси, недоступні при звичайному спостереженні, тож інтеграція eye-tracking підвищує об'єктивність та інформативність оцінювання [12]. Інший перспективний напрям – використання алгоритмів комп'ютерного зору для автоматичного аналізу дій курсантів. У роботі [13] представлено систему на основі розпізнавання зображень (зокрема, із застосуванням штучних нейронних мереж), яка в реальному часі аналізує ключові аспекти виконання критичних маневрів, таких як розворот судна за схемою Вільямсона. Це дозволяє автоматично відстежувати траєкторію й параметри маневру та фіксувати відхилення від заданих критеріїв без прямої участі інструктора [13].

Крім того, набуває розвитку підхід Learning Analytics для автоматизованого оцінювання прогресу навчання. У дослідженні [14] виконано систематичний аналіз сучасних рішень щодо інформаційних панелей навчальної аналітики (Learning Analytics Dashboards) у сфері морської підготовки. Встановлено, що інтеграція даних, автоматично зібраних із журналів симулятора та сенсорів, із методами штучного інтелекту відкриває можливість формувати узагальнені показники успішності навчання на одній панелі для інструкторів і студентів [14]. Зокрема, продемонстровано приклад використання AutoML для опрацювання даних тренажерних сесій, який підтвердив перспективність такого підходу в оцінюванні навігаційних компетентностей: автоматизована система здатна своєчасно виявляти рівень виконання вправ і надавати об'єктивний зворотний зв'язок [14].

Отже, проведений аналіз показує, що хоча останні дослідження заклали основу для більш об'єктивного й технологічно підтриманого оцінювання навичок судноводіння, наразі відсутня уніфікована система критеріїв, яка б охоплювала різні маневри та повною мірою узгоджувалася з вимогами міжнародних стандартів. Це зумовлює потребу у розробці єдиного підходу до

оцінювання практичних навичок керування судном, який би поєднав науково обґрунтовані метрики успішності з практичною придатністю для впровадження у тренажерну підготовку.

Міжнародні стандарти підготовки моряків, зокрема Кодекс ПДНВ (STCW), визначають перелік компетентностей, необхідних для безпечного керування судном, однак більшість наведених у ньому критеріїв стосуються переважно «м'яких» навичок — таких, як оцінювання ризиків, прийняття рішень чи ефективна взаємодія в команді [3], [5]. Разом з тим, кількісні показники, що характеризують рівень розвитку практичних (технічних) навичок судноводіння, залишаються недостатньо визначеними, що ускладнює об'єктивне оцінювання результатів навчання на тренажерах.

Сучасні дослідження підтверджують наявність цієї проблеми. Так, Ernstsen і Nazir [10] довели, що відсутність кількісних параметрів призводить до значних розбіжностей у судженнях інструкторів навіть за однакових умов, а Tusher та співавт. [11] відзначили потребу стандартизації шкал оцінювання у тренажерній підготовці. Роботи Bhagat і Munim [13] та Munim і Kim [14] свідчать, що автоматизовані алгоритми аналізу дій здобувачів освіти на основі даних симулятора можуть підвищити об'єктивність і відтворюваність результатів. Таким чином, виникає необхідність у розробленні чітких практичних критеріїв оцінювання технічних навичок, які б могли бути інтегровані як у традиційні, так і в автоматизовані системи контролю прогресу.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Враховуючи вищевикладене, метою даної статті є розроблення та верифікація системи кількісних критеріїв оцінювання виконання типових маневрів суден у процесі тренажерної підготовки. Ці критерії мають забезпечити уніфіковану основу для аналізу вправ, сприяти підвищенню об'єктивності оцінювання та створити передумови для їх подальшої імплементації в автоматизовані навчальні системи.

Об'єктом дослідження є процес формування та перевірки навичок керування судном у слухачів курсів підвищення кваліфікації та курсантів морських навчальних закладів у рамках тренажерної підготовки.

Предметом дослідження є сукупність кількісних критеріїв та алгоритмів, що визначають рівень виконання маневрів і якість керування судном у симульованих умовах.

Виклад матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Для визначення кількісних критеріїв ефективного керування судном насамперед виділено базові принципи безпеки, яких має дотримуватись судноводій під час виконання будь-якого маневру:

- судно не повинно допустити зіткнення з іншими суднами або гідротехнічними спорудами;
- судно не повинно сідати на мілину;
- усі маневри мають бути виконані у межах допустимого часу, з дотриманням заданих параметрів траєкторії та швидкості.

Спираючись на метод експертних оцінок і результати досліджень, присвячених гідродинамічним характеристикам руху суден у безпосередній близькості до гідротехнічних споруд та оцінці навантажень на елементи причальних конструкцій [9], авторами було сформовано додаткові практичні критерії оцінювання успішності маневрування в обмеженій акваторії:

- **швидкість судна** в області виконання маневру повинна бути лімітована мінімальними і/або максимальними значеннями в залежності від умов завдання;

- **курс судна** в області виконання маневру не повинен виходити за межі встановленого сектору курсів, необхідного для виконання поставленого завдання;
- **простір для виконання маневру** може бути лімітований як навігаційними небезпеками, так і додатковими обмеженнями, що визначаються інструктором вправи (можуть бути представлені як NOGO AREAS, тощо).

Швидкість контакту з причалом є ключовим показником безпечності швартовних операцій, оскільки саме цей параметр визначає величину енергії удару корпусу судна об причальну споруду і, відповідно, рівень навантаження на систему кранців та конструкцію причалу. Надмірна швидкість контакту може призвести до деформацій або пошкодження причальних споруд, а також вказує на недостатній контроль судноводія над гальмуванням і маневровими засобами судна.

У дослідженні [15], максимально допустима бокова швидкість судна під час підходу до причалу залежить від низки змінних, зокрема від розмірів судна, його водотоннажності, коефіцієнта загальної повноти, кута підходу до причалу тощо. За результатами обробки даних 555 швартовних операцій, наведених у вказаному дослідженні, максимальне зафіксоване значення швидкості підходу становило 0,13 м/с, що відповідає приблизно 0,25 вузла. Водночас у роботі [16] зазначено, що для суден із водотоннажністю від 60 000 т та з використанням буксирів небажаними вважаються швидкості підходу, що становлять або перевищують 0,2 м/с. За відсутності буксирів критичним є перевищення значення 0,42 м/с (рис. 2 та 3), тоді як рекомендовані значення становлять близько 0,25 м/с.

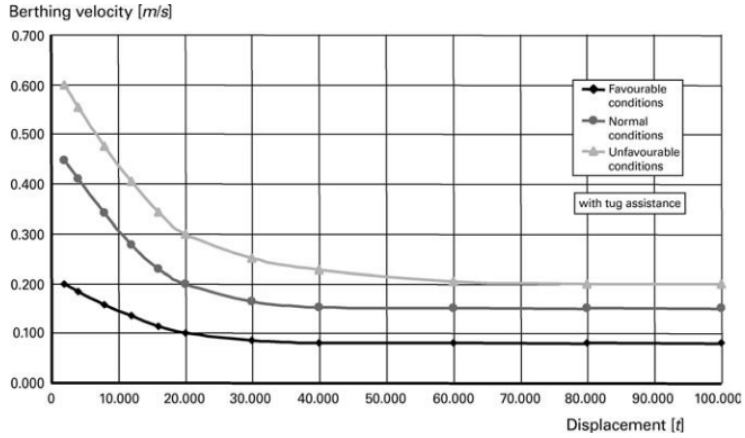

Рис. 2. Діаграма залежності швидкості підходу судна до причалу від його водотоннажності (при використанні буксирів) [16], с. 104]

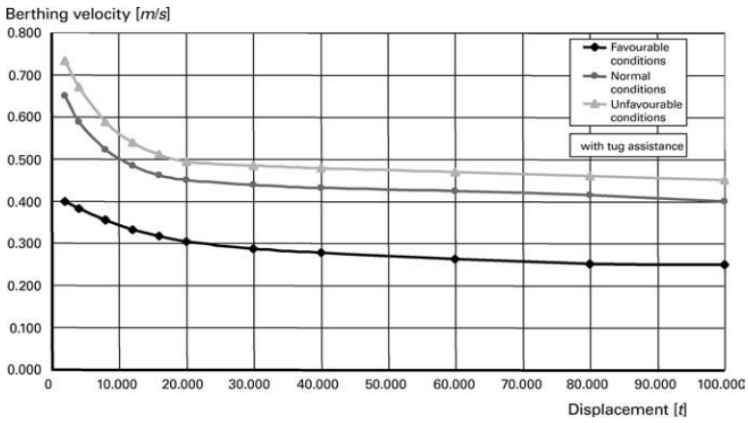

Рис. 3. Діаграма залежності швидкості підходу судна до причалу від його водотоннажності (без використання буксирів) [16], с. 104]

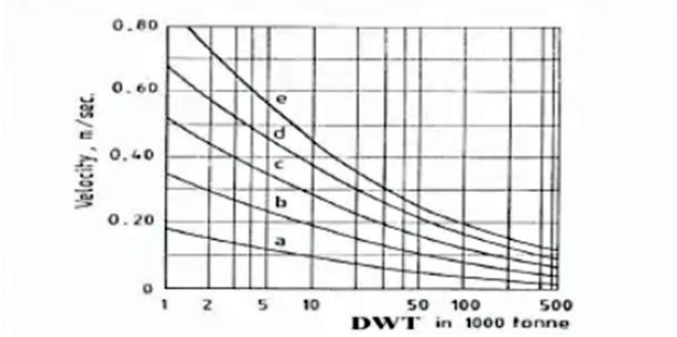

Рис. 4. Діаграма залежності швидкості підходу судна до причалу від його дедвейту [17]

У дослідженні [17] наведено залежності допустимої швидкості підходу судна до причалу для різних умов швартування (рис. 4): a – сприятливі умови швартування, захищений причал; b – складні умови швартування, захищений причал; c – легкі умови швартування, незахищений причал; d – сприятливі умови швартування, незахищений причал.

Під сприятливими, легкими або складними умовами швартування у роботі [17] маються на увазі гідрометеорологічні умови; достатність простору для маневру; конфігурація причалу; наявність трафіку у підхідному каналі. Захищеність причалу – чи захищений причал від впливу відкритого моря.

Значення кутів підходу до причалу, згідно до досліджень [16] - [17], можуть бути зведені до табл. 3.

Таблиця 3. Рекомендовані кути підходу до причалу [16] - [17]

Класифікація	**Розміри судна**	**Кути підходу (з буксиром)**	**Кути підходу (без буксирів)**
EAU	Без обмежень	Менше ніж 6°	10-15°
PIANC	Судна > 50,000 DWT	Менше ніж 6°	–
	Каботажні судна	–	9 ± 1°
	Баржі	–	15°

З метою уніфікації підходів до кількісного оцінювання результатів тренажерних вправ запропоновано систему загальних критеріїв якості маневрування (табл. 4). Ці критерії відображають основні параметри безпечного та ефективного управління судном, визначені в попередніх розділах, і можуть застосовуватися як у ручному, так і в автоматизованому режимі оцінювання через систему управління навчанням (LMS).

Кожен критерій має кількісно вимірювані параметри, що фіксуються симулятором у процесі виконання вправи. Оцінювання здійснюється за відсотковою шкалою, при цьому за кожне порушення передбачено зменшення результату на відповідний відсоток (штрафний бал). Такий підхід дозволяє об’єктивно порівнювати результати між різними учасниками, а також автоматично формувати звіти про прогрес у LMS.

Наукове обґрунтування вибору критеріїв базується на сучасних дослідженнях у галузі симуляторної підготовки: використанні структурованих рубрик оцінювання [9], багатокритеріальних моделей [10], стандартизованих практик тренажерного оцінювання [11], біометричних показників уваги [12], алгоритмів розпізнавання траєкторії [13] та автоматизованої навчальної аналітики [14]. Інтеграція таких критеріїв у систему навчання створює передумови для підвищення об’єктивності, відтворюваності й прозорості процесу підготовки судноводіїв.

Таблиця 4. Загальні критерії оцінювання якості маневрування

№	Критерій оцінювання	Параметри	Опис порушення	Штрафні бали
1	**Безпечність виконання маневру**	Відсутність зіткнення або посадки на мілину	Судно допустило зіткнення або вихід за межі безпечної зони	-100% (невиконано)
2	**Точність траєкторії**	Утримання судна у запланованій безпечній смузі	Вихід за заплановану безпечну смугу, перетинання Cross Track Distance (XTD)	-10% за кожний вихід
3	**Стабільність курсу**	Коливання курсу ≤ 15°; кількість корекцій керма ≤ 3	Курс нестабільний або часті корекції	-10% за кожну зайву корекцію
4	**Контроль швидкості**	Швидкість у межах діапазону, визначеного на відрізку маршруту	Перевищення / зниження більш ніж на 20 %	-20%
5	**Час виконання маневру**	Виконано у межах завданого часу	Перевищення максимального часу	-30%
6	**Уникнення визначених небезпек**	Судно не входить в заборонену акваторію NOGO AREAS	Вхід в заборонену акваторію	-100% (невиконано)
7	**Додаткові умови**	Додаткові умови можуть існувати для окремих операцій (постановка к причалу, на якір, та ін.)	Залежить від завдання	Залежить від завдання

Таким чином, було сформовано набір тренажерних вправ, що охоплюють типові ситуації маневрування в обмеженій акваторії, з чітко визначеними навчальними цілями та кількісними критеріями оцінювання. Деталі реалізації кожної вправи наведено у табл. 5 та на рис. 5–11.

Для верифікації розроблених вправ було використано математичну модель судна контейнеровозного типу S-175, побудовану за методологією MMG (Maneuvering Modeling Group) [18]. Застосування MMG-моделей дозволяє відтворювати маневрові характеристики суден з урахуванням впливу гідродинамічних сил, моментів та особливостей обмеженої акваторії, що забезпечує адекватність результатів і можливість їх масштабування. Особливості реалізації та приклади валідації подібних моделей детально розглянуті в роботах [19]-[23].

Розроблення вправ здійснювалося у співпраці з досвідченими капітанами та інструкторами Навчально-тренажерного центру Національного університету «Одеська морська академія». Такий підхід забезпечив практичну валідність створених сценаріїв, їх відповідність реальним навігаційним умовам портових акваторій і вимогам міжнародних стандартів морської підготовки (STCW, IMO Model Courses 1.22, 7.01, 7.03).

Геометричні межі областей виконання кожної вправи визначалися експериментальним шляхом з урахуванням маневрових характеристик судна, глибини, погодних умов та обмежень простору маневру. Це дозволило забезпечити відповідність параметрів моделювання реальним операційним умовам та уникнути спрощених припущень щодо динаміки руху судна.

Таблиця 5. Перелік навчальних вправ із відповідними критеріями автоматизованого оцінювання

Назва вправи	Завдання	Критерії	Навчальна ціль
Гальмування (рис. 5)	Судно рухається на повному передньому ходу на відстані не меншій, ніж гальмівний шлях (TRACK REACH) від моменту команди FULL AHEAD до повного заднього ходу (FULL ASTERN).	Маневр виконано в межах заданої акваторії (розміри: 2×1 довжина судна). Швидкість – менше 0.5 вузлів. Носовий підрулюючий пристрій не використовувався для коригування курсу.	Зупинити судно у встановлених межах.
Поворот на місці (рис. 6)	Судно повинно здійснити повний поворот навколо носа.	Маневр завершено з утриманням носа судна в межах заданої зони (коло діаметром 0.25 довжини судна).	Засвоїти навичку керування полюсом повороту судна на швидкості, близькій до нуля.
Бокове зміщення (рис. 7)	Судно повинно пройти крізь задану область боковим зміщенням.	Маневр завершено в межах заданої області. Відхилення курсу не перевищує 15°. Відхилення від горизонтальної вісі області не перевищує 0.25 довжини судна.	Засвоїти навичку виконання бокового зміщення.
Прискорені повороти (рис. 8)	Судно повинно виконати повне коло в установлених межах.	Маневр завершено в межах заданої області (5x2.5; 2x1 довжини судна). Носовий підрулюючий пристрій не використовувався для коригування курсу.	Опанувати поворот на малій швидкості з обмеженим радіусом циркуляції.
Зигзаг у вузькому каналі	Судно повинно пройти вузький канал, що має зигзагоподібну форму.	Маневр виконано в межах заданої акваторії (ширина – 2 ширини судна). Реверс не використовувався.	Опанувати керування полюсом повороту та інерцією судна.
Маневри Man-Over-Board (рис. 9а - 9б)	Виконати маневр Man-Over-Board.	Маневр виконано відповідно до заданого опису завдання. Маневр завершено в межах заданої зони	Відпрацювати виконання маневрів Man-Over-Board: поворота Андерсона, Шарнова і Віль’ямсона.

		(квадрат розміром 1 довжина судна + 20 %). Швидкість – нижче допустимої для спуску рятувального човна (< 5 вузлів). Курс скориговано для створення підвітряного борту для рятувального човна.	
Підхід до причалу (рис. 10)	Підійти до причалу.	Маневр завершено в межах заданої зони (розміри: 1.5 довжини × 2 ширини судна). Швидкість – згідно з рекомендаціями PIANC/EAU. Кут контакту – менше 15° (за EAU).	Виконати маневр підходу до причалу без використання буксирів.
Відхід від причалу (рис. 11)	Відійти від причалу.	Швидкість контакту з кранцями – згідно з рекомендаціями PIANC/EAU. Кут контакту — менше 15° (за EAU).	Виконати маневр відходу від причалу без використання буксирів.
Прибуття в задану точку	Судно повинно прибути до заданої точки й зупинитись.	Маневр завершено в межах заданої зони (ніс судна в межах кола діаметром ¼ ширини судна). Носовий підрулювач не використовується. Швидкість – менше 0.2 вузла. Курс – у межах допустимого відхилення (±15°).	Прибути в точно задану локацію.
Зближення «судно до судна»	Судно повинно наблизитися до іншого судна на ходу.	Маневр завершено в межах заданої області руху (1.5 довжини судна × 2 ширини судна). Носовий підрулюючий пристрій не використовується. Швидкість – у межах відхилення від цільової (±10 %). Курс – у межах допустимого відхилення (±15°).	Виконати маневр «судно до судна» на ходу.

Рис. 5. Гальмування

Рис. 6. Поворот на місці

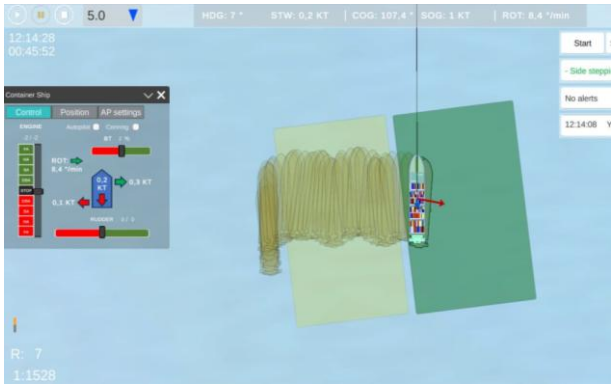

Рис. 7. Бокове зміщення

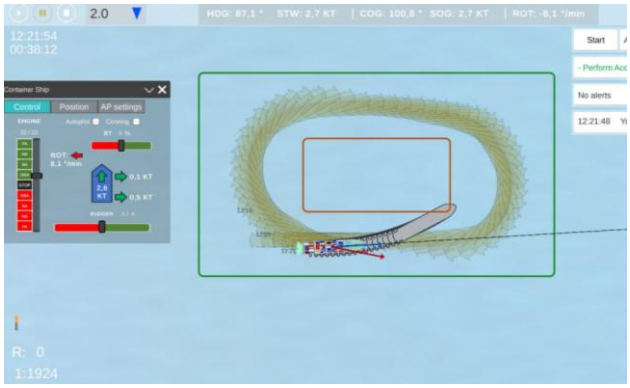

Рис. 8. Прискорені повороти

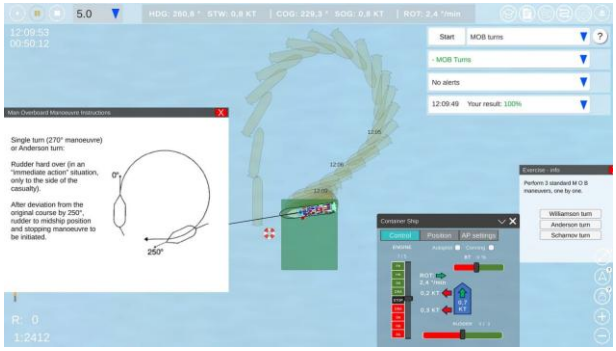

Рис. 9а. Поворот Андерсона

Рис. 9б. Поворот Шарнова

Рис. 10. Підхід до причалу

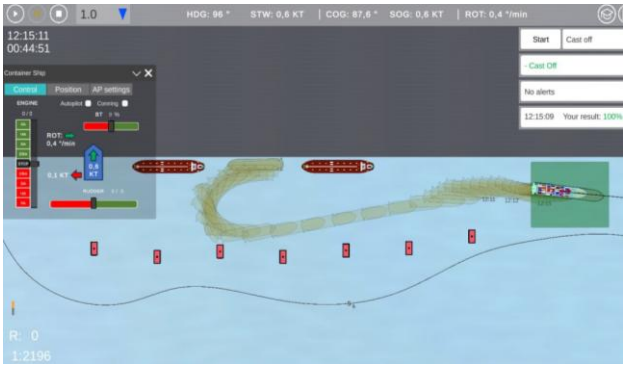

Рис. 11. Відхід від причалу

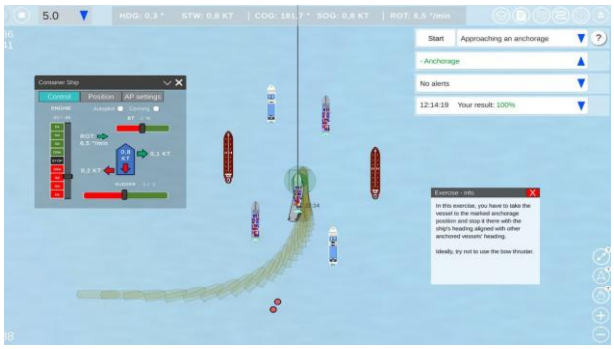

Рис. 12. Прибуття в задану точку

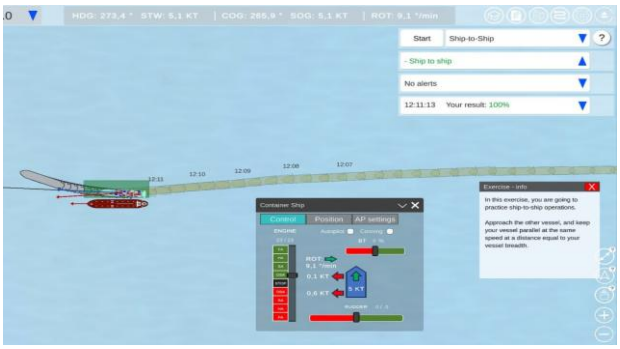

Рис. 13. Зближення «судно до судна»

Реалізація визначених критеріїв у цифровому середовищі дозволяє виконувати автоматизоване оцінювання прогресу здобувачів освіти та синхронізувати результати із сервером системи управління навчанням (LMS). Такий підхід забезпечує не лише можливість індивідуального темпу навчання, але й об'єктивний контроль якості виконання маневрів на основі зареєстрованих даних тренажера. Крім того, автоматичне формування звітів про результати навчання зменшує навантаження на викладачів і створює передумови для інтеграції елементів аналітики навчальних даних у процес підготовки судноводіїв, що відповідає сучасним тенденціям цифровізації освіти [14].

Висновки і перспектива подальшої роботи по даному напрямку

У результаті проведеного дослідження запропоновано систему кількісно вимірюваних критеріїв оцінювання практичних навичок керування судном, інтегровану у цифрове навчальне середовище. Визначені критерії базуються на принципах безпеки судноплавства, вимогах міжнародних стандартів (STCW, PIANC, EAU) та підтверджені експертними оцінками та імітаційним моделюванням.

Розроблена система дозволяє оцінювати ефективність виконання маневрів на основі об'єктивних показників — швидкості, курсу, часу, точності траєкторії та відхилення від меж безпечної акваторії. Інтеграція критеріїв у систему управління навчанням (LMS) забезпечує автоматизоване формування зворотного зв'язку, підвищує достовірність оцінювання та зменшує суб'єктивний вплив інструктора.

Наукова новизна роботи полягає у створенні уніфікованого набору критеріїв, який поєднує практичну придатність для тренажерної підготовки з потенціалом автоматизованої перевірки результатів. Розроблений підхід відповідає сучасним тенденціям цифровізації освіти, що активно впроваджується у провідних міжнародних морських центрах.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на:

- формалізацію геометричних обмежень для різних типів суден і сценаріїв маневрування;
- розширення системи критеріїв для спеціалізованих суден (ASD, DP, буксири, пасажирські судна);
- розроблення моделей адаптивного оцінювання, які враховуватимуть індивідуальні особливості судноводія та рівень складності вправи;
- інтеграцію біометричних показників та методів комп'ютерного зору для підвищення точності визначення рівня ситуаційної обізнаності та когнітивного навантаження здобувача освіти.

У перспективі результати дослідження можуть бути використані для створення міжнародної рубрики оцінювання маневрових навичок, придатної для впровадження у систему сертифікації морських фахівців. Такий підхід сприятиме підвищенню рівня безпеки судноплавства, ефективності тренажерної підготовки та уніфікації стандартів морської освіти.

REFERENCES

[1] O. Pipchenko and N. Konon, “Met Enhancement Using Modern Simulation Technologies: Xr, Web andFull Mission,” Journal of Maritime Research, Vol XXII. No. I (2025) pp 404–412. [Online]. Available: https://www.jmr.unican.es/jmr/article/view/962/1001. [Accessed Aug. 11, 2025].

[2] O. Pipchenko, N. Konon, V. Konon, O. Fomin and O. Kozyr, “Design and validation of practical criteria for assessing ship handling competence”, *in The 3rd SEA the Future 2025,* February 26-28, 2025, Pattaya, Thailand.

[3] International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW), including 2010 Manila Amendments, International Maritime Organization, London, UK, 2017.

[4] IMO Model Course 1.22: Ship Simulator and Bridge Teamwork, International Maritime Organization, London, UK, 2012.

[5] IMO Model Course 7.01: Master and Chief Mate and IMO Model Course 7.03: Officer in Charge of a Navigational Watch, International Maritime Organization, London, UK, 2014.

[6] IMO Resolution A.960(23): Recommendations on Training and Certification and Operational Procedures for Maritime Pilots Other than Deep-Sea Pilots, International Maritime Organization, London, UK, Dec. 2003.

[7] International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW), including the 2010 Manila Amendments, Table A-II/1, “Specification of minimum standard of competence for officers in charge of a navigational watch on ships of 500 gross tonnage or more,” International Maritime Organization, London, UK, 2017.

[8] International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW), including 2010 Manila Amendments, Table A-II/2, “Specification of minimum standard of competence for masters and chief mates on ships of 500 gross tonnage or more,” International Maritime Organization, London, UK, 2017.

[9] Y. Kunieda, K. Kumagai, H. Kashima and K. Murai, “An Effective Training and Evaluation Method for Anchoring Training in Maritime Education,” World Journal of Social Science Research, vol. 7, no. 2, pp. 12–23, May 2020, doi: 10.22158/wjssr.v7n2p12 .

[10] J. Ernstsen and S. Nazir, “Performance assessment in full-scale simulators – A case of maritime pilotage operations,” Safety Science, vol. 129, p. 104775, 2020, doi: 10.1016/j.ssci.2020.104775.

[11] H. M. Tusher, S. Nazir, S. Ghosh, and R. Rusli, “Seeking the Best Practices of Assessment in Maritime Simulator Training: A Systematic Review,” TransNav – Int. J. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, vol. 17, no. 1, pp. 105–114, 2023, doi: 10.12716/1001.17.01.10.

[12] O. Atik and O. Arslan, “Use of Eye Tracking for Assessment of Electronic Navigation Competency in Maritime Training,” Journal of Eye Movement Research, vol. 12, no. 3, p. 2, 2019, doi: 10.16910/jemr.12.3.2.

[13] S. Bhagat and Z. H. Munim, “Application of Image Recognition in Nautical Simulator Training Assessment,” in Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 1274, MIS4TEL 2024, pp. 61–70, Springer, Cham, 2025, doi: 10.1007/978-3-031-84170-5.

[14] Z. H. Munim and T.-E. Kim, “Towards Automated Performance Assessment for Maritime Navigation Training Using Simulator and Learning Analytics,” WMU Journal of Maritime Affairs, vol. 23, pp. 1–20, 2025, doi: 10.12716/1001.11.02.03.

[15] Roubos, Alfred & Groenewegen, Leon & Peters, Dirk Jan, “Berthing velocity of large seagoing vessels in the port of Rotterdam,” *Marine Structures,* 51, pp. 202-219, 2017, doi: 10.1016/j.marstruc.2016.10.011.

[16] Recommendations of the Committee for Waterfront Structures, Harbours and Waterways: EAU 2015, 9th English edition (translation of the 11th German edition), Hamburg/Essen: Hafenbautechnische Gesellschaft e. V. (HTG) and Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT), Ernst & Sohn/Wiley-VCH, 2015, 650 p.

[17] International Navigation Association (PIANC), “Guidelines for the Design of Fender Systems: 2002, Report of Working Group 33 of the Maritime Navigation Commission,” Brussels, Belgium: PIANC, 2002.

[18] Yasukawa, H., Yoshimura, Y., "Introduction of MMG Standard Method for Ship Maneuvering Predictions," *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 20, pp. 37–52, 2015, doi: 10.1007/s00773-014-0293-y.

[19] Y. Yoshimura and Y. Masumoto, “Hydrodynamic database and manoeuvring prediction method with medium high-speed merchant ships and fishing vessels,” in Proc. Int. Conf. Marine Simulation and Ship Manoeuvrability (MARSIM 2012), Singapore, Apr. 2012, pp. 494-503.

[20] Y. Yoshimura et al., “The Maneuvering Committee. Final Report and Recommendations to the 24th ITTC,” in Proc. 24th Int. Towing Tank Conf. (ITTC), Oct. 2005, Volume I, doi: 10.1632/074069505X82824.

[21] O. D. Pipchenko, M. Tsymbal, and V. Shevchenko, “Features of an Ultra-large Container Ship Mathematical Model Adjustment Based on the Results of Sea Trials,” TransNav, Int. J. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, vol. 14, no. 1, pp. 163–170, 2020, doi: 10.12716/1001.14.01.20.

[22] H.-Y. Lee and S.-S. Shin, “The prediction of ship’s manoeuvring performance in initial design stage,” in Practical Design of Ships and Mobile Units, Elsevier, 1998, pp. 633–639, doi: 10.1016/S0928-2009(98)80205-9.

[23] O. Pipchenko, N. Konon and Ye. Bogachenko. “Mathematical modelling of "ASD tug – marine vessel" interaction considering tug's maneuverability and stability limitations,” Journal of Maritime Research, vol. 20, no. 2, pp.117–124, August 2023, DOI: 10.5281/zenodo.8370780.