

### Відгук

доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри суднових енергетичних установок Національного університету «Одеська морська академія» Міністерства освіти і науки України Сагіна Сергія Вікторовича на дисертаційну роботу Фуклева Олега Івановича «Знання-орієнтовані методи підтримки маневрування судна у стиснених водах», що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 – морський та внутрішній водний транспорт (галузь знань 27 – транспорт).

Дисертацію виконано в Державному університеті інфраструктури та технологій (м. Київ) Міністерства освіти і науки України.

Дисертаційне дослідження спрямоване на розв'язання науково-прикладного завдання – розробки ефективних знання-орієнтованих методів підтримки маневрування суден у стиснених водах.

Морський та внутрішній водний транспорт відіграє визначальну роль у світовій транспортній системі, забезпечуючи ефективне та економічно вигідне перевезення вантажів. Безпека судноплавства є найважливішим аспектом забезпечення ефективної роботи світової транспортної системи. Однією з найважливіших проблем у судноплавстві є забезпечення безпечного руху суден, що залежить від попередження та зниження ризику зіткнень суден морського транспорту під час їх знаходження як у відкритому морі, також і стиснених прибережних або портових водах.

Забезпечення безпеки судноплавства у стиснених водах є одним з основних завдань у сучасній морській логістиці та морських транспортних системах. Стрімке зростання обсягів міжнародної торгівлі та підвищення інтенсивності руху суден вимагають нових підходів до розробки ефективних знання-орієнтованих методів підтримки маневрування суден, зокрема в умовах обмежених акваторій із високою щільністю трафіку та стиснених водах. Це завдання стає особливо актуальним під час знаходження суден в акваторіях портів із вузькими фарватерами, поблизу та безпосередньо на мілководді, у разі раптового та швидкого виникнення зміни гідрометеорологічних умов – тобто у випадках, в яких навіть незначна навігаційна помилка, або затримка в прийнятті рішення може призвести до аварій, економічних втрат або екологічних катастроф.

Маневрування суден у таких умовах також може ускладнюватися через технічні особливості великотоннажних суден (наприклад, контейнеровозів Panamax та балкерів Capesize), що мають обмежені маневрові можливості, або навпаки – через мали інерційні характеристики суден з невеликою осадкою під час їх експлуатації в умовах підвищеного хвилювання моря та сили повітря. Одночасно з цим, людський фактор залишається однією з головних причин помилок під час виконання складних маневрів, що підкреслює необхідність розробки та використання новітніх ефективних



знання-орієнтованих методів та технологій підтримки маневрування суден у стиснених водах.

Вище вказане підтверджує **актуальність** головного завдання дослідження, яким є підвищення обґрунтованості та оперативності прийняття рішення судноводієм на маневрування у стиснених водах за рахунок впровадження знання-орієнтованих систем підтримки прийняття рішень.

Розв'язання головного завдання запропоновано та досягнуто шляхом синтезу результатів вирішення наступних часткових завдань:

- аналіз методів управління режимами руху судна під час маневрування;
- аналіз знання-орієнтованих моделей та методів систем підтримки прийняття рішення судноводіння в умовах маневрування судна в стиснених водах;
- розроблення моделі маневреності судна під час його знаходження у стиснених водах та на мілководді;
- ідентифікація моделі та розробка методу адаптивного управління маневруванням судна у стиснених водах;
- оцінка ефективності розроблених методів та розробка рекомендацій щодо їх впровадження.

До наукової новизни результатів дисертаційного дослідження слід віднести **вперше** розроблений метод маневрування суден морського та внутрішнього водного транспорту у стиснених водах, що враховує знання-орієнтовані системи підтримки прийняття рішень за таких обставин; **удосконалену** динамічну модель гребної дизель-електричної установки з уніполярними машинами (яка, на відміну від існуючих, враховує наявність трьох керуючих контурів, що формують магнітні потоки генератора, гребного електродвигуна, швидкість обертання дизеля та одну вихідну змінну, якою є швидкість обертання гвинта), **удосконалену** модель маневрування судна на мілководді та у стиснених водах, яка, на відміну від відомих, враховує реологію мулу та генерацію внутрішніх хвиль в розділі поверхні «вода-мул», що дозволяє підвищити описові можливості маневрування судна для його застосування у підтримки прийняття рішення судноводіння; **удосконалений** адаптивний метод управління маневруванням судном на мілководді, який, на відміну від відомих, ґрунтується на застосуванні динамічної системи управління рухом та дозволяє підвищити точність настроюваних коефіцієнтів управління судном у стиснених водах і на мілководді для систем автоматичного управління та підтримки прийняття рішень; а також таку, що **одержала подальший розвиток** модель розходження суден у стиснених водах, яка, на відміну від відомих, враховує гідродинамічну взаємодію між суднами, є елементом системи підтримки прийняття рішень судноводіння та дозволяє підвищити безпеку судноводіння.



**Обґрунтованість** отриманих наукових результатів підтверджено:

- якісно виконаним аналізом методів управління режимами руху судна під час маневрування, методів планування траєкторії та рухів суден в стиснених водах, а також критичним оглядом знання-орієнтованих знання моделей та методів систем підтримки прийняття рішення судноводіння під час навігаційного забезпечення маневрування суден;
- визначеним та доведеним взаємозв'язком між структурними характеристиками ґрунто-водяної суміші та маневровими характеристиками суден морського та внутрішнього водного транспорту;
- коректно розробленої математичної моделі процесу маневрування суден на мілководді та у стиснених водах, а також моделі розходження суден під час їх знаходження у стиснених водах;
- коректним використанням теоретичних та емпіричних методів дослідження, а саме методів системного аналізу, математичного моделювання, теорії ймовірності, побудови моделей штучного інтелекту, теорії побудови систем підтримки прийняття рішення на етапах моделювання та аналізу результатів досліджень;
- задовільним збігом якісних та кількісних результатів, одержаних в під час дослідження, з відомими теоретичними положеннями у досліджуваній галузі знань, а також апробацією отриманих результатів на наукових конференціях та їх публікацією у визнаних наукових виданнях.
- актами впровадження результатів дисертаційного дослідження у виробничу діяльність товариства з обмеженою відповідальністю Навчально-тренажерний центр «Флагман» та у навчальний процес Державного університету інфраструктури і технологій.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає у можливості використання розроблених та запропонованих автором знання-орієнтованих моделей і методів системи підтримки прийняття рішення під час здійснення маневру суден морського та внутрішнього водного транспорту в у стиснених водах. Це, разом зі зменшенням часу потрібного на маневрування, збільшує ефективність та безпеку процесу маневрування у стиснених водах

**Достовірність** результатів дисертаційного дослідження забезпечуються:

- збігом результатів, що отримані під час моделювання процесу маневрування судна у стиснених водах та на мілководді та результатів, що отримані з використанням розроблених автором штучних нейронних мереж прогнозування динаміки руху судна під час його маневрування у стиснених водах;
- підтвердженою ефективністю удосконаленого адаптивного методу управління маневруванням судна у стиснених водах;
- шістьма науковими публікаціями (чотири з яких в наукових фахових виданнях України, що входять до категорії Б переліку наукових фахових видань України)
- участю у двох міжнародних науково-практичних конференціях.



### **Повнота викладення основних результатів в наукових виданнях**

Результати дисертаційного дослідження повністю викладені в шості наукових працях:

- чотири – у наукових фахових виданнях України, що входять до переліку наукових фахових видань України (категорії Б) та рекомендовані МОН України для публікації результатів дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії;
- дві у збірках доповідей міжнародних науково-практичних конференцій що проводились в Україні.

Публікації охоплюють період з 2022 по 2025 рр., що свідчить про послідовність та взаємопов'язаність виконаних досліджень.

### **Структура та обсяг дисертації. Відповідність дисертації та її змісту встановленим вимогам**

Дисертація складається з анотації (українською та англійською мовами), списку прийнятих скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку.

Вступ присвячено визначенню актуальності теми дисертаційного дослідження; формулюванню мети, головного та часткових завдань, а також методів дослідження; визначенню основних ознак дисертаційного дослідження – наукової новизни, наукової значимості, наукових результатів, практичної цінності.

Перший розділ присвячено аналізу процесів маневрування суден морського та внутрішнього водного транспорту. При цьому надано критичний огляд методів управління режимами руху судна під час маневрування, методів планування траєкторії суден за умовою їх руху в стиснених водах, а також виконано аналіз знання-орієнтованих моделей та методів систем підтримки прийняття рішення судноводіння. Визначені при цьому об'єктивно існуючі невідповідності між складністю процесів маневрування у стиснених водах, пов'язаних зі збільшення інтенсивності судноплавства, з одного боку, та відсутністю достатньо ефективних методів врахування факторів, які впливають на рух суден, з іншого; а також між стрімким розвитком знання-орієнтованих технологій та технологій штучного інтелекту з одного боку, та відсутністю методів підтримки маневрування судна у стиснених водах, з іншого, дозволили сформулювати основне завдання дисертаційного дослідження.

У другому розділі розроблені моделі маневреності судна у стиснених водах та на мілководді стосовно основних навігаційних ситуацій, що виникають під час судноводіння за цих умов: маневрування на мілководді, маневрування у стиснених водах, розходження у стиснених водах, взаємодія з пришвартованими суднами, поповнення запасів на суднах у стиснених водах, взаємодія буксира з судном.



Третій розділ присвячено ідентифікації моделі та методу адаптивного управління маневруванням судна у стиснених водах. При цьому виконано ідентифікація моделі управління маневруванням судна у стиснених водах, ідентифікація моделі управління маневруванням судна на мілководді, оцінювання методу ідентифікації моделей руху судна у стиснених водах, розроблено адаптивний метод управління маневруванням судна у стиснених водах за критерієм узагальненої роботи.

Четвертий розділ охоплює питання, що пов'язані з завданням розроблення штучних нейронних мереж прогнозування динаміки руху судна під час маневрування у стиснених водах. Розв'язання цього завдання забезпечено формуванням набору навчальних даних для прогнозування динаміки руху судна за умовою його маневрування у стиснених водах, тестуванням нейромережових систем для прогнозування динаміки руху судна під час маневрування у стиснених водах, дослідженням надійності системи підтримки прийняття рішення, побудованої на основі знання-орієнтованих технологій.

Висновки містять основні результати, що досягнуті під час розв'язання головного та часткових завдань дисертаційного дослідження.

Загальний обсяг дисертаційного дослідження становить 170 сторінок. Основний зміст роботи викладено на 152 сторінках. До загально обсягу входить анотація українською та англійською мовами на 12 сторінках, 23 таблиці, 54 рисунка, 11 сторінок переліку використаних джерел із 108 найменувань, 3 додатки на 7 сторінках.

Дисертаційна роботи є завершеним та цілісним дослідженням з чіткою структурою, логічним та послідовним викладанням матеріалу та результатів. Зміст дисертації узагальнює дослідження здобувача. Дисертацію написано сучасною науково-технічною мовою. Стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність її сприйняття. Оформлення дисертації відповідає вимогам пп. 6, 7 «Порядку присудження ступеня доктора філософії...», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

### **Зауваження до дисертації**

1. У п. 1.1. «Аналіз методів управління режимами руху судна при маневруванні» автором наведені результати моделювання руху судна (за яке був обраний контейнеровоз) на циркуляції з перекладкою керма  $35^\circ$  (рис. 1.5). При цьому не наведені параметри судна (осадка, дедвейт та інерційні характеристики якого у зв'язку з обраним типом можуть принципово відрізнятися) та часу, за який здійснюється перекладка керма (що може відповідати чи не відповідати вимогам SOLAS). Крім того, значення швидкості наведені в розмірності м/с, що не є характерним для оцінці навігаційних характеристик морських суден, стосовно яких в цих випадках використовується розмірність морські вузли.



2. У п. 2.4 «Розроблення моделі маневрування судна на мілководді та у стиснутих водах» розглядається вплив шару мулу на маневреність суден, однак не аналізується, як змінюються ці характеристики залежно від складу мулу, його щільності та глибини. Більш доцільно було розширити аналіз, представивши більш детальний розгляд залежності маневрених характеристик судна від варіацій у властивостях осадових порід та їхнього розподілу в різних навігаційних умовах.

3. У п. 2.5 «Розроблення моделі розходження суден у стиснутих водах» представлено узагальнену модель маневрування на мілководді, однак не зазначено, для яких класів суден вона є найбільш ефективною. Також не вказано, як враховуються конструктивні особливості суден із різними типами корпусів (наприклад, танкерів, контейнеровозів, суден з малою осадкою, суден-катамаранів, суден днопоглиблювального флоту, що мають велику кількість забортного обладнання). Тому доцільно було доповнити аналіз результатами моделювання для різних типів суден, щоб визначити діапазон застосування запропонованої методики.

4. У п. 3.2 «Структурна ідентифікація моделі управління маневруванням судна у стиснутих водах та на мілководді» запропоновано декілька математичних моделей (лінійні, нелінійні, регресійні), проте відсутній детальний аналіз їхніх переваг та обмежень у різних умовах експлуатації. При цьому не розглянута можливість комбінованого підходу, наприклад, гібридної моделі, що адаптується залежно від маневру та характеристик навігаційної ситуації. Саме така модель може виявити найбільшу адекватність з реальними процесами маневрування суден у стиснутих водах та на мілководді.

5. У п. 3.5 «Адаптивний метод управління маневруванням судна на мілководді за критерієм узагальненої роботи» наведено структурну та параметричну ідентифікацію динамічної системи управління судном. Водночас недостатньо деталізовано процедури валідації запропонованої моделі. Наприклад не вказано, як проводилися порівняльні випробування або натурні експерименти для перевірки її точності. Використання виключно симуляційного підходу потребує обґрунтування його адекватності для реальних умов маневрування суден.

6. У п. 4.3 «Дослідження надійності системи підтримки ухвалення рішень у судоводінні, побудованої на основі знання-орієнтованих технологій» зазначається, що використання штучної нейронної мережі покращує точність прогнозування, однак не містить аналізу продуктивності алгоритму з точки зору обчислювальних ресурсів. Більш ефективним є оцінка можливості його реалізація в режимі реального часу на судових системах, а також визначення сучасних програмних засобів, що здатні забезпечити ефективну імплементацію цього підходу.



7. У п. 4.4 «Оцінка ефективності удосконаленого методу» проведено порівняння штучної нейронної мережі із системою розподілених паралельних обчислень, проте аналіз базується переважно на тестових сценаріях. Водночас не розглянуто, чи здійснювалося порівняння з іншими підходами до прогнозування, зокрема методами адаптивного управління. Доцільно уточнити, наскільки штучна нейронна мережа є ефективнішою за традиційні методи з точки зору точності прогнозування та обчислювальної складності.

Зазначені зауваження мають переважно уточнюючий та дискусійний характер, тому не знижують високого рівня виконаного наукового дослідження.


### Загальний висновок

Дисертація та наукові публікації мають достатній **науковий рівень**, забезпечують якісне розв'язання поставленого наукового завдання та свідчать, що здобувач володіє методологією наукової діяльності та здатна до самостійної наукової діяльності.

Дисертаційна робота Фуклева Олега Івановича «Знання-орієнтовані методи підтримки маневрування судна у стиснених водах» відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р., а також змінами та доповненнями, що внесені в цей «Порядок...» згідно з Постановою кабінету міністрів України № 507 від 03.05.2024 р.

Вважаю, що Фуклев Олег Іванович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 – морський та внутрішній водний транспорт.

Офіційний опонент,  
доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри суднових енергетичних  
установок Національного університету  
«Одеська морська академія»  
Міністерства освіти і науки України

 Сергій САГІН  
24.06.25

