

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування Національного університету «Чернігівська політехніка»

ГРИЦУКА Ігоря Валерійовича

на дисертаційну роботу Волянського Сергія Михайловича «Підвищення ефективності експлуатації автономних морських транспортних засобів в умовах невизначеності», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – «Експлуатація та ремонт засобів транспорту»

1. Актуальність теми дисертації

Сучасний етап розвитку морської галузі характеризується переходом до цифрових та безекіпажних технологій судноплавства. Стрімке зростання інтересу до морських автономних систем зумовлене потребою мінімізації негативного впливу людського чинника, оптимізації питомих експлуатаційних витрат та гарантування безпеки судноводіння. Водночас експлуатація автономних морських транспортних засобів (АМТЗ) відбувається під впливом нестаціонарного, динамічного та стохастичного гідрометеорологічного середовища, просторових перешкод, нелінійних навантажень та жорстких лімітів бортових джерел енергії.

Наявний науково-методичний апарат переважно сфокусований на вирішенні локальних інженерних задач: стабілізації курсу, траєкторного маневрування чи точкового вібродіагностування механізмів. При цьому комплексна оцінка експлуатаційної придатності та ефективності цільових місій залишається фрагментарною. Відсутність цілісних теоретико-методологічних концепцій, які б поєднували технічний стан, адаптивне керування, інформаційну підтримку через цифрові двійники та фактор алгоритмічної невизначеності штучного інтелекту, утворює суттєву науково-прикладну проблему.

Тематика дисертації безпосередньо пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки України, положеннями Національної

транспортної стратегії України на період до 2030 року, Морської доктрини України на період до 2035 року, а також виконувалася в межах низки цільових держбюджетних НДР Міністерства освіти і науки України. Отже, спрямованість роботи на створення наукових основ та аналітичного інструментарію управління ефективністю технічної експлуатації АМТЗ є своєчасною, актуальною та має важливе народногосподарське значення.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, теоретичні висновки та розрахункові моделі здобувача мають ґрунтовну аналітичну базу. Робота спирається на системний аналіз процесів технічної експлуатації, сучасний математичний апарат теорії керування, марковські випадкові процеси, апарат теорії нечітких множин, багатокритеріальну оптимізацію (метод аналізу ієрархій Saaty, модифікований DEMATEL), моделювання динаміки руху твердого тіла у водному середовищі (3-DOF) та теорію ризиків.

Обґрунтованість положень підтверджується коректною постановкою наукових завдань, розв'язанням спектральних задач для валідації експертних суджень, системним використанням методів Монте-Карло для стохастичного оцінювання невизначеності, а також проведенням чисельного та імітаційного моделювання в пакетах MATLAB Simulink та Python.

Теоретичні висновки розділів логічно впливають із результатів аналітичних викладок, мають взаємну структурованість та узгоджуються з експериментальними залежностями.

3. Достовірність і новизна наукових результатів

Достовірність отриманих авторкою/автором результатів забезпечується коректним застосуванням фундаментальних фізико-математичних залежностей, збіжністю аналітичних розрахунків з результатами багатоітераційних імітаційних експериментів, а також позитивним досвідом впровадження наукових розробок у практику морських організацій і навчальний процес.

Наукова новизна результатів дослідження полягає в наступному:

Вперше:

- Запропоновано методологію підвищення ефективності технічної експлуатації АМТЗ, що базується на місійно-орієнтованому підході з інтеграцією багатофакторної невизначеності середовища, динаміки сценарних режимів функціонування та взаємодії підсистем платформи в замкненому контурі;

- Розроблено багаторівневу модель управління ефективністю експлуатації АМТЗ, яка об'єднує адаптивні регулятори, цифрові двійники вузлів, сценарне моделювання деградації та модулі підтримки прийняття рішень (DSS);

- Введено та формалізовано концепцію «алгоритмічної невизначеності» як окремої категорії експлуатаційного ризику, що враховує динамічний дрейф моделей, внутрішні похибки адаптивних алгоритмів керування та неповноту сенсорних даних.

Удосконалено:

- Метод інтегрального оцінювання ефективності експлуатації за рахунок сегментації експлуатаційного профілю на квазістаціонарні інтервали, застосування системи адаптивних динамічних ваг та урахування деградації функціональних елементів;

- Метод адаптивного керування рухом АМТЗ шляхом поєднання апарату нечіткої логіки, модельно-прогностичного керування (MPC) та ризик-орієнтованого перерозподілу бортових енергоресурсів при виникненні стохастичних збурень.

Дістали подальшого розвитку:

- Ієрархічна класифікація експлуатаційних, навігаційних, гідрометеорологічних, енергетичних, інформаційних та ергатичних факторів впливу на цільову готовність безекіпажних суден;

- Структурно-сценарний підхід до імітаційного моделювання поведінки АМТЗ у стохастичному хвильовому середовищі на базі поєднання dynamic scenario-based DEMATEL та федеративних цифрових двійників (Federated Digital Twins).

4. Практичне значення результатів дослідження

Практична цінність роботи полягає у створенні прикладних аналітичних моделей, функціональних алгоритмів та програмних засобів, які дозволяють перейти від жорсткого регламентного технічного обслуговування суден до прогресивних стратегій технічного обслуговування за фактичним станом (Condition-Based Maintenance) та прогностичного сервісу (Predictive Maintenance).

Розроблені алгоритмічні модулі для СППР та цифрових двійників дозволяють прогнозувати залишкові ресурси суднових приводів, оптимізувати витрату енергії батарейних комплексів та автоматично обирати безпечні траєкторії в умовах складного хвилювання.

Результати досліджень впроваджено у виробничу та експлуатаційну діяльність Казенного підприємства «Морська пошуково-рятувальна служба», ТОВ «Lema Cargo Service», ТОВ «ЄВРО ГРАСКОР», компанії «МарінТехСервіс», ПП «БОТС», а також використано в освітньому процесі при викладанні спеціальних дисциплін інженерного напрямку в Одеському національному морському університеті, що підтверджено відповідними актами та довідками.

5. Ступінь повноти викладення результатів в опублікованих працях та академічна доброчесність

Основні наукові положення, теоретичні залежності та результати дисертації повно і вичерпно висвітлено у 54 друкованих працях. Серед них: 1 колективна наукова монографія, 33 статті у фахових періодичних виданнях України та закордонних наукових виданнях (зокрема 10 праць опубліковано у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, у тому числі у журналах першого (Q1) та другого (Q2) квартилів), а також матеріали та тези 21 науково-практичної конференції. Кількість та якість публікацій повністю відповідають чинним нормативним вимогам МОН України щодо докторських дисертацій.

Дисертація виконана здобувачем самостійно. Усі результати досліджень, запозичені з праць інших авторів, мають належні бібліографічні посилання. Автором дотримано принципи академічної доброчесності.

Здобувач коректно декларує використання допоміжних цифрових інструментів під час підготовки рукопису. Текстових запозичень без посилань чи ознак академічного плагіату не виявлено.

6. Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації

Оцінюючи позитивно науковий рівень та практичну значущість виконаного дослідження, до змісту дисертаційної роботи необхідно висловити такі зауваження:

1. Недостатнє обґрунтування вибору обмежень простору станів у 3-DOF динамічній моделі: У підрозділах 1.4 та 6.1 під час моделювання хвильових збурень і динаміки руху АМТЗ автор використовує тривимірну динамічну модель (3-DOF: yaw, surge, sway). Проте для малих швидкісних морських автономних платформ в умовах відкритого моря значну небезпеку становлять кильова (pitch) та бортова (roll) хитавиці, що призводять до виходу гребного гвинта з води або кавітаційних зривів упору, що не знайшло належного відбиття в системі диференціальних рівнянь руху.

2. Апріорний характер та статичність матриць експертних ваг у методі АНР: У підрозділі 1.2, табл. 1.4 та формулі (1.4) наведено вагові коефіцієнти для груп факторів (w_{gi}) та підфакторів (w_{rij}), визначені на основі експертного опитування. Проте у реальних аварійних сценаріях пріоритетність факторів кардинально змінюється (наприклад, критична відмова сенсорного каналу чи пошкодження корпусу нівелюють значимість оптимізації витрати палива), тоді як у роботі бракує математичного механізму онлайн-перерахунку самої матриці парних порівнянь під час місії.

3. Спрощена процедура нормалізації компонентів вектора успішності місії: У формулі (1.2) підрозділу 1.1 показники надійності $R(t)$, енергоефективності $E(t)$, стабільності навігації $N(t)$ та коефіцієнта виконання завдань $C(t)$ нормуються до діапазону $[0; 1]$. Водночас автор не наводить аналітичного виразу для функції згортки при нелінійній деградації хоча б одного з параметрів нижче критичного порогу (відмова редуктора чи критичний розряд акумулятора), що за класичного лінійного інтегрування може маскуватися високими значеннями інших складових.

4. Обмеженість симуляційних сценаріїв роботи федеративної мережі цифрових двійників (FDT): У підрозділі 1.6 та Додатку Б для валідації кооперативного навчання DIAL наведено модель лише для двох апаратів (AMT3 1 та AMT3 2) у вигнутому каналі. Представляється недостатньо обґрунтованим масштабування такого результату на багатоагентні групи з 5–10 платформ, де зростає мережева затримка (latency) і різко ускладнюється розв'язання конфліктів цілей при обміні предиктивними траєкторіями в реальному часі.

5. Невизначеність граничних умов виникнення та ідентифікації «алгоритмічної невизначеності»: Вводячи нове поняття «алгоритмічної невизначеності» як категорії експлуатаційного ризику (підрозділи 1.1, 1.5), дисертант не окреслює чітких кількісних меж відокремлення її впливу від звичайної апаратної похибки сенсорів (Sensor Noise). Відсутня методика прямого апаратного або аналітичного вимірювання внеску похибки градієнтного спуску алгоритму адаптації в загальний ризик $R^*(t)$.

6. Ідеалізація стохастичних характеристик каналу передачі даних: У моделюванні зв'язку між агентами рою (підрозділ 1.6) прийнято модель адитивного гаусового білого шуму $N(0, \sigma^2)$. Проте реальні підводні гідроакустичні канали та поверхневі канали зв'язку в діапазоні високих морських хвиль характеризуються пакетами втрат даних (пакетна ентропія), багатопроменевим поширенням сигналу і змінною часовою затримкою, що не було повною мірою враховано під час симуляції проходження фарватеру.

7. Формальний опис процесів температурної деградації хімічних джерел струму: У підрозділі 1.4 на рис. 1.10 досліджується виграш ефективності за температур від -5°C до $+45^\circ\text{C}$. Однак авторкою/автором використовується узагальнена регресійна модель без урахування специфічних електрохімічних явищ при екстремальних мінусових температурах (кристалізація електроліту, падіння віддачі ємності при пікових пускових струмах маневрування), що для морських дронів арктичного призначення має вирішальне значення.

8. Відсутність валідації запропонованих алгоритмів на повнорозмірних фізичних зразках суден: Більшість аналітичних викладок,

методів адаптивного керування та моделей сценарного ризик-аналізу (DEMATEL) перевірено шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання або лабораторних макетних установок. У роботі бракує даних натурних ходових випробувань повнорозмірного автономного судна в реальних штормових морських умовах із фізичною реєстрацією перевантажень та відхилень траєкторії.

9. Термінологічна неоднорідність, редакційні огріхи в рукописі та стилістичні неточності в графічних матеріалах і змісті: У тексті роботи трапляються поодинокі технічні помилки верстки. Зокрема, у змісті дисертації (с. 23) найменування підрозділів 3.2 та 3.3 продубльовано дослівно («Аналіз сучасних методів та архітектура багаторівневої адаптивної системи управління морськими автономними платформами»). На деяких структурних схемах (зокрема рис. 1.3, рис. 1.5, рис. 1.6) має місце невиправдане змішування україномовних та англійських написів блоків. Також у тексті дисертації трапляються випадки синонімічного паралелізму без попередньої специфікації: позначення об'єкта дослідження варіюється між «АМТЗ», «МАП», «МБМС» та «USV». Крім того, у розділі 1 містяться окремі пунктуаційні неточності, повтори окремих текстових формулювань у вступній частині підрозділів, а деякі складні ієрархічні схеми (зокрема, рис. 1.18, 1.19) перевантажені дрібними графічними елементами, що ускладнює їх візуальний аналіз.

Висловлені зауваження мають дискусійний та аналітичний характер, стосуються здебільшого перспектив подальшого розгортання теоретичного апарату автора, не знижують загального високого наукового рівня виконаної роботи і не ставлять під сумнів достовірність отриманих авторкою / автором положень та практичних результатів.

7. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота Волянського Сергія Михайловича «Підвищення ефективності експлуатації автономних морських транспортних засобів в умовах невизначеності» за своїм науковим змістом, обсягом проведених досліджень, рівнем новизни та практичним значенням є завершеною, самостійно виконаною науковою працею.

У роботі отримано нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують важливу науково-технічну проблему формування методологічних і прикладних основ ефективної технічної експлуатації автономних морських транспортних засобів в умовах стохастичної невизначеності та змінних сценарних режимів функціонування.

Робота за структурою, рівнем наукової новизни, достовірністю, кількістю наукових праць у фахових виданнях і виданнях, що індексуються у базах даних Scopus та Web of Science, повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, зокрема вимогам Порядку присудження наукового ступеня доктора наук, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197 (зі змінами, внесеними згідно з постановою КМУ від 23 серпня 2024 р. № 928), та вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим наказом МОН України.

Здобувач **Волянський Сергій Михайлович** безумовно заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю **05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту**.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук (05.22.20),
професор, професор кафедри
автомобільного транспорту та галузевого
машинобудування Національного
університету «Чернігівська політехніка»
«___» _____ 20__ р.



Ігор ГРИЦУК



Григорук І
Сергій Михайлович
Волянський
20__ р.