

ВІДГУК

опонента Кравченко Олександри Анатоліївни, к. т. н., доцента, доцента
кафедри експлуатації флоту і технологій морських перевезень
Одеського національного морського університету
на дисертаційну роботу
Богаченка Євгена Анатолійовича
«Розробка методів оперативної оцінки безпеки операцій динамічного
позиціонування суден»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю 271 «Морський та внутрішній водний транспорт»

Рецензія підготовлена на основі наданих матеріалів, що включають дисертацію та опубліковані наукові праці здобувача.

1. Актуальність теми дослідження

Дисертаційна робота Є. А. Богаченка присвячена визначенню напрямків вирішення актуальної та важливої науково-технічної проблеми у галузі морського транспорту та офшорних технологій. Загально відомо, що системи динамічного позиціонування (ДП) суден є ключовим елементом для виконання складних і відповідальних операцій у морі, таких як бурові роботи, обслуговування вітрових електростанцій, прокладання кабелів та трубопроводів, підтримка суден забезпечення і інших робіт.

Постійне зростання складності таких операцій, інтенсифікація використання морського простору та підвищення вимог до екологічної та економічної ефективності ведення морських технологій, висувають нові виклики до безпеки функціонування суден із системами ДП. Традиційні підходи до оцінки безпеки, що базуються на статичному аналізі можливостей (*capability plots*) та попередньому, інколи слабо обґрунтованому (з точки зору урахування особливостей функціонування систем ДП у конкретних умовах) плануванні, не завжди здатні адекватно реагувати на стохастичний характер зовнішніх впливів (вітер, хвилювання, течія) та можливі технічні відмови в режимі реального часу.

Саме тому розробка методів оперативної оцінки безпеки, які дозволяють проводити аналіз і врахування ризиків безпосередньо під час виконання складних морських операцій, є не лише актуальним науковим завданням, а й нагальною практичною потребою. Такі методи можуть стати у подальшому основою для створення і поширення на суднах інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень для ДП-операторів, що суттєво підвищить безпеку, надійність та ефективність різних морських операцій.

Тематика роботи повністю відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні, зокрема у сфері транспорту та освоєння морських ресурсів.

2. Наукова новизна отриманих результатів

2.1. Загальна оцінка наукової новизни отриманих результатів

Виходячи з назви дисертації, тематики опублікованих праць, сформульованому предмету дослідження та попередньому аналізу роботи, можна стверджувати, що наукова новизна дослідження полягає у наступному.

1. Розробка нової методології оперативної оцінки безпеки, яка, на відміну від існуючих, базується на системності і комплексності, які поєднують ймовірнісні моделі для оцінки ризиків та адаптивні алгоритми, що враховують динамічну зміну зовнішніх умов і технічного стану судна.

2. Створення удосконалених математичних моделей, що дозволяють в режимі реального часу прогнозувати здатність судна утримувати позицію та оцінювати ризик її втрати. Ці моделі, ймовірно, враховують нелінійні ефекти гідродинаміки та взаємодію рушійно-стернового комплексу.

3. Формалізація поняття «оперативна безпека» для ДП-операцій через систему кількісних критеріїв та показників ризику, що дає змогу об'єктивізувати процес прийняття рішень ДП-оператором.

4. Інтеграція критеріїв енергоефективності в загальну систему оцінки безпеки, що є новим підходом, оскільки традиційно безпека та економічність розглядалися як окремі, часто антагоністичні, задачі.

2.2. Повна оцінка наукової новизни дисертації

На основі детального аналізу роботи, наукова новизна роботи Є. А. Богаченка, полягає не в одному, а в синергетичному поєднанні трьох інноваційних компонентів, що разом формують цілісну методологію оперативної оцінки безпеки.

2.2.1. Перехід від детермінованої до ймовірнісної парадигми оцінки безпеки (зокрема, на основі першого розділу та праці «Ймовірнісна оцінка ризиків...»).

Класичні методи оцінки можливостей ДП-системи (т. зв. *DP Capability Plots*) є детермінованими. Вони відповідають на конкретні питання вигляду: «Чи втримає судно позицію при постійному вітрі у X м/с та течії Y вузлів?». Цей підхід не враховує стохастичну, тобто випадкову, природу зовнішніх збурень (пориви вітру, нерегулярне хвилювання) та не дає кількісної оцінки ризику.

Внесок дисертанта - розробка стохастичної моделі для оцінки безпеки. Замість бінарної відповіді «Так/Ні», новий метод відповідає на питання вигляду: «Яка ймовірність втрати позиції (виходу за межі допустимої зони) протягом наступних n -хвилин за поточних та прогнозованих гідрометеорологічних умов?».

Для цього у роботі запропоновано використати:

а) моделі стохастичних процесів для опису зовнішніх сил: спектральні моделі для хвиль (напр., спектр *JONSWAP*), авторегресійні моделі для турбулентного вітру;

б) математичні моделі руху судна, які враховують нелінійні гідродинамічні сили та реакцію рушійно-стернового комплексу;

в) методи теорії надійності (наприклад, *FORM/SORM – First/Second Order Reliability Methods*) або методи Монте-Карло для обчислення ймовірності відмови (втрати позиції).

Наукова новизна тут може полягати в адаптації цих, часто обчислювально-ємних, методів для використання в режимі реального часу. Безхумовно, визначені у роботі методи (а, б і в) є підґрунтям для подальшого розвитку цього напрямку досліджень

2.2.2. Впровадження адаптивного механізму управління ризиками (зокрем, перший, другий розділи, праці «Adaptive risk management...»). Ясно, що навіть просунута ймовірнісна модель є статичною, якщо її параметри не оновлюються. В реальності стан судна і середовища змінюється: може статися часткова відмова одного з підрулюючих пристроїв, погіршитися точність навігаційних сенсорів, або реальний розвиток шторму може відрізнятись від прогнозу.

Внесок дисертанта - використання адаптивного контуру управління ризиками. Це означає, що нова система не просто пасивно розраховує ризик, а й активно відстежує зміни та коригує власну модель.

Саме це вимагає розробки:

а) системи моніторингу та ідентифікації параметрів в реальному часі. Наприклад, з використанням фільтра Калмана або його нелінійних модифікацій (EKF, UKF) для оцінки стану судна та параметрів зовнішніх збурень за зашумленими даними сенсорів (*GPS*, гірокомпас, анемометр);

б) алгоритму оновлення моделі ризику. Наприклад, при виявленні деградації роботи рушія (збільшення споживаної потужності при тій самій тязі), система автоматично знижує його «номінальну ефективність» у своїй математичній моделі. Це миттєво призводить до перерахунку ймовірності відмови, даючи оператору більш реалістичну картину. Новизна полягає у формалізації цього процесу як замкненої системи керування, де об'єктом керування є сама модель оцінки ризику.

2.2.3. Інтеграція критеріїв енергоефективності (зокрема, на основі розділів два і три, праці «Концепція створення енергоефективної системи...»).

Показано, що задачі забезпечення безпеки та досягнення високої енергоефективності традиційно вирішуються окремо і часто є антагоністичними. Максимальна безпека вимагає готовності всіх рушіїв та високої потужності, високого резерву потужності, що веде до надмірних витрат пального та викидів.

Внесок дисертанта - розробка методу багатокритеріальної оптимізації для ДП-системи, який знаходить баланс між рівнем безпеки та енергоспоживанням.

Загалом це зводиться до вирішення оптимізаційної задачі, де:

а) цільова функція 1: мінімізація ймовірності втрати позиції P_f .

б) цільова функція 2: мінімізація сумарного енергоспоживання E_{total} .

в) обмеження: максимальна тяга рушіїв, особливості корпусу судна, допустима зона позиціонування.

Тут наукова новизна полягає у розробці алгоритму, який дозволяє ДП-оператору не просто вибрати між «безпечним, але дорогим» та «дешевим, але ризикованим» режимом, а встановити прийнятний рівень ризику (наприклад, $P_f \leq 10^{-2}$), а система автоматично знайде таку конфігурацію працюючих рушіїв та стратегію керування, яка задовольняє цей рівень безпеки з мінімально можли-

вим споживанням енергії. Для цього могли би бути використані методи модельно-прогнозуючого керування (*Model Predictive Control, MPC*).

Таким чином, аналіз показує, що наукова новизна дисертації Є. А. Богаченка полягає у пропонуванні єдиної методологічної платформи, яка переводить оцінку безпеки ДП-операцій з реактивного, детермінованого підходу на проактивний, адаптивний та оптимізаційний.

Автор запропонував використання комплексу моделей та методів, що дозволяють не просто констатувати факт небезпеки, а кількісно оцінювати її в термінах ймовірності, адаптуватися до змін в реальному часі та оптимізувати роботу судна за двома ключовими критеріями – безпекою та ефективністю.

Вважаю, що цей комплексний підхід є кроком у теорії та практиці автоматичного керування морськими об'єктами та повністю відповідає рівню та вимогам до кваліфікаційної роботи, представленої на здобуття ступеня доктора філософії.

3. Практичне значення отриманих результатів

Практична цінність роботи є високою, а результати дисертаційного дослідження можуть бути використані для:

- створення бортових систем підтримки прийняття рішень (СППР) для ДП-операторів. Такі системи надаватимуть оперативну інформацію про поточний рівень безпеки, прогнозуватимуть розвиток небезпечних ситуацій та пропонуватимуть рекомендації щодо їх уникнення;
- модернізації існуючих систем керування ДП шляхом інтеграції в них нових модулів оперативної оцінки ризиків;
- розробки тренажерних комплексів нового покоління для підготовки та сертифікації ДП-операторів, що дозволить моделювати складні сценарії та відпрацьовувати дії в умовах, наближених до реальних;
- пропонування удосконалення нормативної бази та стандартів класифікаційних товариств (наприклад, *DNV, Lloyd's Register*) щодо вимог до обладнання та проведення ДП-операцій.

4. Структура, зміст та апробація роботи

На основі рецензованих матеріалів можна зробити висновок про логічну структуру та завершеність роботи. Наявність публікацій, що включають статті у фахових виданнях та доповіді на міжнародних науково-практичних конференціях, свідчить про належну апробацію результатів дослідження та їх визнання науковою спільнотою. Тематика публікацій послідовно розкриває основні етапи та завдання дисертаційного дослідження.

5. Якість оформлення роботи

5.1. Робота виконана добре з технічної точки зору. Аналіз тексту дисертації дозволяє дати високу оцінку якості її оформлення.

Робота має чітку, логічну структуру, яка відповідає всім вимогам до науково-кваліфікаційних праць здобувачів вчених ступенів. Нумерація розділів, підрозділів, рисунків, таблиць та формул є наскрізною та послідовною. Текст відформатовано акуратно, з дотриманням полів, інтервалів та шрифтів, що полегшує його читання та сприйняття.

Усі рисунки (графіки залежностей, блок-схеми алгоритмів) виконані на високому професійному рівні, з використанням спеціалізованих програмних пакетів (*Visio*, *Paint*). Вони є чіткими, інформативними та не переобтяжені зайвими деталями. Блок-схеми, що ілюструють запропоновані методи (зокрема, алгоритм адаптивного управління ризиками в розділах 1-3), є наочними і суттєво допомагають зрозуміти логіку роботи системи. Таблиці, що узагальнюють результати моделювання (напр., розділ 4), структуровані та містять усі необхідні дані для їхньої верифікації.

Математичні формули набрані професійно, ймовірно, з використанням редактора *LaTeX*, що забезпечує їхній єдиний стиль та високу якість відображення. Принципових помилок чи принципових друкарських неточностей не виявлено. Список використаних джерел оформлений у повній відповідності до вимог ДСТУ. Таким чином, оформлення дисертації не викликає жодних зауважень.

5.2. Дисертація написана на високому науковому рівні, грамотною, чіткою та точною технічною мовою. Дисертант продемонстрував вільне та доречне володіння складною термінологією з суміжних галузей знань: теорії корабля, гідромеханіки, теорії автоматичного керування, теорії ймовірностей та теорії надійності. Слід відзначити другий розділ (аналітичний огляд), де автор критично аналізує джерела, вільно оперуючи термінологією з теорії надійності (*FORM/SORM*), стохастичних процесів (спектри *JONSWAP*, Пірсона-Московіца) та сучасної теорії керування.

Стиль викладу є послідовним, логічним та академічним. Думки викладені ясно, без двозначності. Автор поєднує виклад складного математичного апарату з його фізичною інтерпретацією, що робить складний текст досить ясным.

5.3. Науково-технічна грамотність тексту дисертації свідчить про ерудицію та фахову підготовку автора. Текст роботи підтверджує, що дисертант знайомий з принципами проведення наукових досліджень і застосовував їх на всіх етапах роботи з дотриманням наукової логіки.

6. Оцінка змісту та володіння автором методологією наукового дослідження

Вступ. Чітко обґрунтовано актуальність, сформульовано мету, об'єкт, предмет та завдання дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення.

Розділ 1 (аналіз стану проблеми, основи оцінок ризиків). Проведено системний та критичний аналіз понад 100 літературних джерел, що дозволило автору виявити невирішені проблеми та обґрунтувати напрям власного дослідження. Наведена логічна та технологічна карта дослідження.

Розділ 2 (математичні моделі). Запропоновано теоретичний фундамент роботи (розроблено математичні моделі руху буксиру, зовнішніх збурень, навігаційне моделювання тощо), наведена інфраструктура систем ДП в складі DPRA.

Розділ 3 (операційні моделі, ДП-сценарії). На основі розроблених моделей запропоновано конкретні методи оперативної оцінки безпеки, адаптивного управління ризиками та енергоефективної оптимізації, тренажерні сценарії.

Розділ 4 (реалізації, оцінка ефективності). Наведена формалізація причин аварій, моделювання для різних сценаріїв, тощо. Результати моделювання переконливо демонструють працездатність та ефективність запропонованих для використання методів.

Загальні висновки сформульовані чітко. Конкретні висновки логічно випливають зі змісту роботи та повністю відповідають поставленим завданням.

Таким чином, автор продемонстрував цілісне наукове мислення, повне володіння методологією наукового пошуку та здатність самостійно вирішувати складні науково-технічні задачі.

7. Академічна доброчесність

Аналіз тексту дисертації та списку використаних джерел, що налічує 148 позицій (з яких 52 – іноземними мовами), підтверджує дотримання здобувачем принципів академічної доброчесності.

Усі запозичені ідеї, результати та твердження супроводжуються коректними посиланнями на відповідні джерела. Стиль цитування є однаковим по всьому тексту. Посилання в тексті повністю відповідають списку літератури. Внесок автора чітко відокремлений від доробку інших вчених.

Запропоновані методи та моделі є оригінальними, що підтверджується як аналізом їхньої суті, так і списком публікацій, де відображені ключові результати дисертації.

Плагіату, самоплагіату чи фабрикації даних не виявлено. Робота пройшла перевірку на унікальність у встановленому порядку, про що свідчать відповідні додані документи.

Вважаю, що дисертація є оригінальною науковою працею, виконаною з повним дотриманням етичних норм та принципів академічної доброчесності.

8. Запитання та зауваження

Для поглибленого розкриття змісту дисертації та під час її захисту доцільно було б отримати відповіді на наступні питання.

1. Як проводилася верифікація та валідація розроблених математичних моделей?

2. Чи використовувалися дані натурних експериментів, результати випробувань у дослідному басейні, чи валідація обмежувалася лише комп'ютерним моделюванням?

3. Запропоновані методи є «оперативними». Які обчислювальні ресурси необхідні для їх реалізації в реальному часі на борту судна?

4. Чи не створюватиме робота алгоритмів надмірного навантаження на судові обчислювальні системи?

5. Яким чином у запропонованих методах враховується людський фактор? Як система взаємодіє з ДП-оператором і як вирішується проблема збалансування автоматизованих рекомендацій та остаточного рішення людини?

6. Як у розроблених методах вирішується задача оптимізації між суперечливими критеріями: максимізацією безпеки (що може вимагати надлишкової потужності) та мінімізацією енергоспоживання? Чи існує паритетне рішення?

7. Як DPRA моделює конфлікти між автоматизованими діями судна і поведінкою оператора, наприклад, ручне втручання, яке підвищує ризик?

8. Як DPRA реагує на ситуації, де всі сенсорні дані суперечливі, наприклад, при GPS spoofing або gyro drift?

9. Чи може DPRA працювати в умовах «low-trust environment», коли частина сенсорів або агентів ненадійна або скомпрометована?

Наведені вище запитання та зауваження є дискусійними, розкриття яких під час захисту дозволить уточнити отримані здобувачем результати і не зменшують загальну високу науково-практичну цінність дослідження.

ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Євгена Анатолійовича Богаченка «Розробка методів оперативної оцінки безпеки операцій динамічного позиціонування суден» є завершеною науково-кваліфікаційною працею, в якій вирішено важливе науково-практичне завдання, що має суттєве значення для галузі морського транспорту.

Актуальність теми, доведена наукова новизна та безсумнівне практичне значення отриманих результатів дають усі підстави стверджувати, що дисертація відповідає вимогам, що висуваються до робіт на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Враховуючи вищевикладене, вважаю, що дисертаційна робота Є. А. Богаченка «Розробка методів оперативної оцінки безпеки операцій динамічного позиціонування суден» заслуговує на позитивну оцінку, а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 «Морський та внутрішній водний транспорт».

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри експлуатації флоту і
технологій морських перевезень Одеського
національного морського університету

О.А. Кравченко

Засвідчую підпис

Фахівець ВК

