

## **ВІДГУК**

***офіційного опонента на дисертаційну роботу Плотнікова Владислава Ігоровича на тему: «Підвищення функціональної стійкості навігаційного комплексу морських суден методами математичного моделювання», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії, в галузі знань 27 – «Транспорт» за спеціальністю 275 – «Транспортні технології».***

### **Актуальність теми дослідження.**

У сучасному морському транспорті спостерігається стрімкий розвиток цифрових технологій, що докорінно змінюють підходи до технічної експлуатації флоту. Водночас зростають вимоги до ефективності, безпеки та економічності функціонування суднових систем, зокрема у частині інформаційного забезпечення. Враховуючи швидке зростання обсягів телеметричних даних та ускладнення об'єктів технічної експлуатації, традиційні підходи до обробки інформації вже не забезпечують потрібного рівня якості прийняття рішень.

Дисертація Плотнікова В.І. присвячена надзвичайно актуальній проблемі – розробці моделей підвищення ефективності інформаційного забезпечення в системі технічної експлуатації флоту. Робота спрямована на створення інструментів, які здатні адаптуватися до умов функціонування складних технічних об'єктів, забезпечити безперервність контролю, передбачення відмов, виявлення критичних ситуацій. Актуальність роботи обумовлена також наявними викликами, пов'язаними з кібербезпекою суден, переходом до автоматизованого/автономного управління, необхідністю підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційне дослідження Плотнікова В.І. виконувалося згідно з прийнятою національною транспортною стратегією України на період до 2030 року (№ 430 –р від 30 травня 2018 р.) та Планом дій ІМО щодо зменшення викидів та цифрової трансформації судноплавства. А також у рамках науково-дослідної роботи (НДР) «Моделі та методи прогнозування довговічності обладнання засобів річкового та морського транспорту в умовах експлуатації за технічним станом» № ДР (РК) 0120U104335.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.**

Зважаючи на актуальні проблеми, щодо створення моделей, методів та засобів діагностики для виявлення несправностей та помилкового функціонування, а також прогнозування стану навігаційного комплексу, Плотніковим В.І. вдало підібрано

напрямок дисертаційного дослідження, методологічно правильно поставлено мету та відповідні задачі для досягнення мети досліджень. Структура дисертаційної роботи логічна, матеріали кожного розділу відповідають завданням дисертаційного дослідження. Обґрунтованість та достовірність одержаних у дисертації результатів та зроблених висновків забезпечені грамотною постановкою наукового завдання дослідження, правильним використанням методів теорії масового обслуговування, дублювання та байєсівського підходу, математичного моделювання, теорії ймовірностей і математичного аналізу, їх апробації на наукових семінарах і конференціях та публікацією у рекомендованих наукових виданнях.

Сформовані у дисертаційній роботі Плотнікова В.І. наукові положення та висновки ґрунтуються на напрацюваннях які відображені у роботах закордонних та вітчизняних науковців які присвячені питанням підвищення функціональної стійкості навігаційного комплексу морських суден методами математичного моделювання: Paś J., Rosiński A., Вагущенко Л.Л., Pietrzykowski Z., Wołjsza P., Nozdrzykowski Ł., Borkowski P., Banaś P., Magaj J., Chomski J., Mąka M., Mielniczuk S., Pańka A., Hałas-Sowińska P., Kulbiej E., Nozdrzykowska M., Simanenkova A., Doshchenko H., Chymshyr V., Kononenko A., Terz H., Smyrnova I., Zinchenko S. M., Nosov P. S., Mateichuk V. M., Mamenko P. P., Grosheva O. O.. Високий рівень обґрунтованості наукових положень та висновків представлених здобувачем у роботі забезпечується опрацюванням значної кількості літературних джерел, перелічених у списку використаних джерел. Висвітлені положення дисертації апробовані, про це свідчить наявність 5 опублікованих статей та участь з доповідями у 5 конференціях, з яких 5 міжнародні.

Всі розділи дисертаційної роботи логічно взаємопов'язані, змістовно підпорядковані сформульованій меті дослідження.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності і новизни.**

Зі спектру положень заявленої і обґрунтованої автором наукової новизни отриманих результатів виділені ті, що отримані вперше, удосконалено та набули подальшого розвитку. А саме:

*Вперше:*

1) розроблено математичну модель надійності навігаційного комплексу як системи масового обслуговування, завдяки якій встановлено співвідношення між складністю умов плавання та можливостями системи, що дозволяє проводити розрахунки ймовірності обслуговування отриманого запиту;

2) на основі розробленої моделі оцінювання надійності судового навігаційного комплексу при підвищеній навігаційній складності, яка включає апроксимаційні рівняння другого порядку, що пов'язують ймовірність робочого стану навігаційної системи з відповідними інтенсивностями потоків відмов та обслуговування,

побудовано чотирьохфакторну лінійну регресію, яка була візуалізована в номограмі і є придатною для вирішення низки практичних задач.

*Удосконалено:*

1) підхід щодо визначення стійкості технічних систем, який включає проведення оцінки різних схем дублювання елементів системи і їх математичне моделювання, а також приклад помірно глибокого дублювання найменш надійних елементів системи, що значно (більше ніж удвічі) підвищує надійність системи в цілому, що відрізняється від існуючих урахуванням впливу дисперсії значень імовірності безвідмовної роботи елементів системи на значення відносної помилки.

*Набув подальшого розвитку:*

1) метод, заснований на байєсівському підході щодо оцінки апостеріорних ймовірностей різних гіпотез щодо надійності елементів технічної системи, який відрізняється від існуючих візуалізацією розрахунків при порівнянні апостеріорних ймовірностей з апіорними, які відображають низку закономірностей, що дозволяє використовувати апостеріорні ймовірності гіпотез для розрахунків ймовірностей майбутніх подій, таких як відмови навігаційного обладнання, на основі наявної інформації про його надійність.

**Практична значимість отриманих наукових результатів** полягає в визначенні необхідності і ступінь дублювання для найбільш вразливих елементів навігаційних систем, що забезпечує підвищення функціональної стійкості навігаційного комплексу.

Дослідну перевірку та впровадження методів математичного моделювання функціональної стійкості навігаційного комплексу морських суден проведено за спільної участі з товариством з обмеженою відповідальністю «Херсонський морський спеціалізований тренажерний центр». Впровадження зазначених методів підвищило ефективність оцінки функціональної стійкості навігаційного комплексу, оптимізувавши процедури прийняття рішень в умовах навігаційної діяльності, аварійних ситуацій на 10% та вдосконалило систему підготовки фахівців морської галузі, а саме продукт «Tropical storm and heavy weather navigation» (DS-101-35-KMSTC). Додатково матеріали дисертації впроваджено в навчальному процесі Херсонської державної морської академії для здобувачів освітнього ступеня «Магістр», факультету «Судноводіння» при викладанні освітньої компоненти «Математична статистика та теоретичні засади судноводіння», кафедра «Судноводіння».

**Повнота викладу в опублікованих працях наукових положень, висновків, рекомендацій.**

Наукові результати дисертації висвітлені за темою дисертаційного дослідження було опубліковано 5 наукових статтях у наукових виданнях, включених до переліку

наукових фахових видань України; 5 – у збірках за матеріалами конференцій, з яких 5 – у міжнародних.

### **Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Плотнікова В.І. відповідає напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Транспортні технології». Детально ознайомившись із текстом дисертаційної роботи та основних наукових публікацій можна зробити висновок про унікальність виконаних досліджень, які не містять плагіату. З аналізу змісту та тексту дисертації вбачається дотримання дисертантом вимог академічно доброчесності, а згадані ідеї та результати інших авторів мають відповідні літературні посилання. Тому варто відзначити, що дисертаційна робота Плотнікова В.І. «Підвищення функціональної стійкості навігаційного комплексу морських суден методами математичного моделювання», відповідає вимогам статті 42 Закону України «Про освіту».

### **Структура і зміст дисертації.**

Кваліфікаційна наукова робота Плотнікова В.І., написана українською мовою складається із розширеної анотації, переліку прийнятих скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 111 найменування на 16 сторінках і трьох додатків на 4 сторінках. Повний обсяг роботи становить 153 сторінки тексту, у тому числі 123 сторінки основного тексту, 6 таблиць та 29 рисунків.

*Анотація* наведена українською та англійською мовами і відображає основні положення дисертаційного дослідження, не містить жодних положень чи ідей, які не представлено в основному тексті дисертації.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, завдання, об'єкт, предмет та методи досліджень, викладено наукову новизну і практичну цінність роботи, а також наведено інші необхідні відомості щодо загальної характеристики дисертації.

У *розділі 1* автором розглянуті основні вимоги до функціональної стійкості навігаційного комплексу морського судна. Описана структура навігаційного комплексу морського судна. Визначено основні поняття про функціональну стійкість навігаційного комплексу морського судна (надійність, імовірність відмови, напрацювання до відмови, імовірність безвідмовної роботи за даний час, тощо). Визначено основні задачі і принципи побудови навігаційного комплексу морського судна. Описані математичні моделі функціонування навігаційного комплексу морського судна.

У *розділі 2* автором розглянуті моделі процесів і систем навігаційного комплексу морського судна. Надано загальну характеристику і класифікацію моделей функціонування навігаційного комплексу. Проведено аналітичне дослідження моделей

масового обслуговування. Виконано імітаційне моделювання навігаційних систем. Визначено основи побудови моделей навігаційних систем за даними експериментів (кореляційно-регресійний аналіз, побудова регресійних моделей, номограм, тощо).

У розділі 3 автором розглянуті питання експериментального дослідження функціонування навігаційних систем морського судна. Розглянута проблема пошуку помилкового функціонування, діагностики. Визначено частоту відмов елементів обладнання і ступінь їх тривалості – часу, необхідного для відновлення працездатності. Проведено визначення надійності і працездатності елементів навігаційних систем морського судна. Проведено визначення необхідності і ступеня дублювання для найбільш вразливих елементів навігаційних систем.

У розділі 4 автором розглянуті питання дослідження навігаційного комплексу як системи масового обслуговування (СМО). Надано теоретичні основи математичного моделювання навігаційного комплексу на основі теорії СМО. Проведено визначення числових характеристик для систем навігаційного комплексу судна як систем СМО (інтенсивності потоків заявок, обслуговування, тощо). Проведено визначення відповідних характеристик ефективності СМО (абсолютна і відносна пропускна здатність, імовірність відмови, довжина черги, час обслуговування, тощо). Виконано порівняння теоретичних розрахунків з експериментальними даними і коригування, модернізація моделей. Виконана розробка відповідних рекомендацій щодо підвищення функціональної стійкості навігаційного комплексу.

У висновках автором наведено основні здобутки дисертаційного дослідження, вони відповідають меті та вирішенню поставлених задач і є логічним завершенням роботи. Загалом, мета дисертаційної роботи розкрита в повному обсязі.

Однак, не зважаючи на загальне позитивне враження від дисертації вона містить деякі зауваження.

### **Зауваження по дисертаційній роботі.**

1. Розділ 1, с. 38-44 (підрозділ 1.2). Визначення функціональної стійкості дається через перелік параметрів без чіткого математичного формулювання. Надійність, ймовірність відмови, напрацювання до відмови розглядаються ізольовано. На с. 40-42 математичні формули MTBF, MTTR подаються без врахування специфіки морських навігаційних систем. Не розглядається динамічний аспект функціональної стійкості в умовах змінюваних навігаційних умов
2. Розділ 1, с. 51-55 (підрозділ 1.4). Математичні моделі функціонування представлені фрагментарно. Моделі надійності, масового обслуговування, фільтра Калмана подаються без зв'язку між собою. Не показано, як ці моделі інтегруються в єдину систему оцінки функціональної стійкості.
3. Розділ 2, с. 57-77 (Підрозділ 2.1). Імітаційне моделювання навігаційних систем описано поверхово. На с. 57-60 згадуються проекти MAIB, SMART-Navigation,

- але не показано їх конкретне застосування до розв'язання поставленої задачі. Табл. 2.1 (с. 65) містить рейтинг RCO, але методика його розрахунку не розкрита детально. Відсутні алгоритми моделювання конкретних навігаційних сценаріїв
4. Розділ 2, с. 61-68 (Система масового обслуговування): Формули (2.1)-(2.9) для системи М/М/1 подаються стандартно, без адаптації до специфіки навігаційних задач. На с. 66-67 не враховується нестационарність навігаційних процесів. Інтенсивності потоків  $\lambda$ ,  $\mu$ ,  $\mu'$  приймаються константами, що не відповідає реальним умовам експлуатації.
  5. Розділ 2. (с. 68-77). Формули (2.10)-(2.15): Регресійні моделі мають високі коефіцієнти детермінації ( $R^2 = 0,98-0,99$ ), що може свідчити про перенавчання моделей.
  6. Розділ 3 (с. 86-119), с. 93-102: Баєсовський підхід (формули 3.1-3.8) застосовано некоректно - відсутня валідація апріорних ймовірностей, с. 102-117: Аналіз дублювання компонентів проведено лише теоретично, без врахування реальних експлуатаційних умов
  7. Розділ 3 (с. 102-119). Таблиці 3.1-3.2: Опитування експертів проведено на малій вибірці (22 особи), що знижує статистичну значущість результатів.
  8. Розділ 3 (с. 102-106): Відсутня методологія валідації експертних оцінок
  9. Розділ 4 (с. 121-125): Числові характеристики для систем масового обслуговування представлені формально, без прив'язки до специфіки навігаційних систем.

#### **Несуттєві зауваження, формальні недоліки оформлення:**

1. с. 14-15: Список скорочень містить помилки в англійських абревіатурах.
2. Нумерація формул місцями порушена.
3. Переважають англомовні джерела, недостатньо українських публікацій. Деякі посилання на веб-ресурси не мають дати звернення. Це не впливає суттєво на зміст, але трохи знижує академічну презентабельність.

Однак, наявність перелічених зауважень носять лише дискусійний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

#### **Загальні висновки та оцінка дисертації.**

Дисертаційна робота Плотнікова Владислава Ігоровича на тему «Підвищення функціональної стійкості навігаційного комплексу морських суден методами математичного моделювання» є самостійною, завершеною науковою роботою. Представлені в роботі, отримані автором результати, забезпечують розв'язання актуальної проблеми в галузі знань 27 – «Транспорт», такої як створення моделей,

методів та засобів діагностики для виявлення несправностей та помилкового функціонування, а також прогнозування стану навігаційного комплексу.

### **Відповідність дисертації встановленим вимогам.**

За своєю актуальністю, науковою новизною, обсягом проведеного дослідження, обґрунтованістю, достовірністю, глибиною узагальнень, висновків і практичних рекомендацій дисертаційна робота Плотнікова В.І. за темою «Підвищення функціональної стійкості навігаційного комплексу морських суден методами математичного моделювання» відповідає спеціальності 275 «Транспортні технології» та Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року №261. Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44. наказу МОП України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», а автор дисертації, здобувач Плотніков Владислав Ігорович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії (PhD) за спеціальністю 275 «Транспортні технології».

К.т.н., доцент, завідувач кафедри  
«Навігація і керування судном»,  
Одеського національного  
морського університету,  
капітан далекого плавання



Євгеній КАЛІНІЧЕНКО

