

Голові спеціалізованої вченої ради Д 26.110.01  
Державного університету інфраструктури та технологій,  
04071, м. Київ, вул. Кирилівська, 9

## **ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

**Фоміна Олексія Вікторовича**

на дисертаційну роботу **Волянської Яни Богданівни**

**«Методологія підвищення ефективності експлуатації електрорушійних комплексів багатоцільових автономних плавальних апаратів»**, що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю **05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту**

### **Актуальність теми дисертаційної роботи**

Різноманітні комерційні, дослідницькі і спеціальні операції у внутрішніх територіальних водах України потребують використання спеціальних засобів водного транспорту, а саме – малогабаритних, з невеликим радіусом дії, безпілотних, добре керованих і енергоефективних. Слід відзначити, що морські безпілотні плавальні засоби затребувані, також, і Міністерством оборони України. Ці загальні потреби вимагають суттєвого збільшення різновидів і типів малогабаритних безпілотних морських рухомих об'єктів, що є вартісним і довготривалим у часі рішенням. Альтернативне рішення – створення та використання вироблених в Україні безпілотних автономних плавальних апаратів багатоцільового призначення.

В дисертації вирішується актуальна наукова проблема з підвищення ефективності процесів експлуатації електрорушійних комплексів багатоцільових автономних плавальних апаратів, як основних структурних елементів морських багатоцільових безпілотників.

Пропонується вирішення зазначеної проблеми на основі синтезу і практичного використання авторських методів енергоефективного керування експлуатації електрорушійних комплексів, оптимізації процесів обрання основних їх елементів і підтримки прийняття рішень у процедурах технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р), що здійснюється на основі розгляду

багатоцільових автономних плавальних з позицій теорії складних технічних систем.

Разом з тим, є актуальними для вирішення і питання гарантованого виконання основного технологічного завдання автономних плавальних апаратів такого типу, яке ускладнено необхідністю одночасного забезпечення універсальності застосування, конструктивної спрощеності, мінімальної собівартості та швидкості налагодження виробництва. До того ж актуальною є наведена у роботі сукупність теоретико-методологічних, проектних і прикладних методів синтезу систем керування і стабілізації режимів експлуатації електрорушійних комплексів автономних плавальних апаратів, заснованих на попередньому науковому обґрунтуванні й визначенні необхідних основних тактико-технічних характеристик (ТТХ), удосконаленні концепції їх проектування і синтезу конструкцій.

Таким чином, дисертаційна робота «Методологія підвищення ефективності експлуатації електрорушійних комплексів багатоцільових автономних плавальних апаратів» є науково важливою та практично значущою, а її актуальність для розвитку України є безсумнівною.

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

Дослідження спрямоване на реалізацію завдань та положень: Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року, Морської доктрини України на період до 2035 року, відповідає «Тематиці наукових досліджень і науково-технічних (експериментальних) розробок МОН України». Зокрема, дисертаційна робота виконувалась у рамках:

– НДР наукового семінару «Оптимальне управління та експлуатація електроприводів спеціальних установок» Вченої Ради Інституту електродинаміки Національної академії наук України з проблеми «Наукові основи електроенергетики» у Військовій академії (м. Одеса);

– фінансованої на конкурсній основі НДР: «Енергетична установка, пропульсивний комплекс і система управління автономного плавального автономних плавальних апаратів подвійного призначення»

(ДР № 0120U102577);

– НДР Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова «Теоретичні основи створення й ефективного використання підводних роботизованих комплексів для дослідження та освоєння Азово-Чорноморського басейну» (ДР № 0105U001765) і «Розробка теоретичних основ групового керування автономними підводними автономних плавальних апаратів» (ДР № 0113U000243).

З перерахованих позицій впливає достатньо високий рівень зв'язку роботи з актуальними для України науковими програмами, планами і темами.

### **Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій**

Наукові положення, висновки і рекомендації, що сформульовані у представленій дисертаційній роботі, обґрунтовані достатньо переконливо та повно.

Достовірність та обґрунтованість одержаних у дисертації наукових положень і результатів підтверджуються коректною постановкою наукової проблеми і застосуванням: методів загальної теорії систем, методів проектування інформаційно-керуючих систем, теорії автоматичного управління, методів імітаційного та фізичного моделювання, загальноприйнятими науковими принципами методології наукових досліджень, добрим співпаданням результатів теоретичних досліджень з експериментальними.

Впровадження результатів дисертаційної роботи (методів розрахунку і проектування електрорушійних комплексів, створення окремих вузлів електрорушіїв сучасних багатоцільових автономних плавальних апаратів, автоматизованих систем керування тощо) у ПАТ СК «Укррічфлот» філії «Херсонський суднобудівний-судноремонтний завод ім. Комінтерну», у ТОВ «СМАРТ-МЕРІТАЙМ ГРУП» - Миколаївська верф, у Науковому центрі Військової академії (м. Одеса), у спеціалізованому ТОВ «Онікс» і у Центрі підготовки та атестації плавскладу НУ «ОМА», підтверджує обґрунтованість

наукових положень, висновків і рекомендацій, які теоретично доведені у дисертації.

Слід відзначити, що у роботі застосовано системний підхід до досліджень, який забезпечив всебічне і ґрунтовне вивчення та аналіз процесів, що відбуваються при автоматизованому енергоефективному керуванні електрорушійними багатоцільових автономних плавальних апаратів.

Враховуючи вище сказане, обґрунтованість та достовірність викладених в роботі положень не викликає сумнівів.

### **Повнота викладення основних результатів дисертації в наукових публікаціях**

За темою дослідження опубліковано 42 праці (4 одноосібні), в тому числі: 26 статей у фахових наукових виданнях України та інших держав (9 статей проіндексовані у науково-метричних базах даних *Scopus* та *Web of Science*), 1 патент України на корисну модель, 15 апробаційних праць (одна доповідь на міжнародній конференції, що проіндексована у науково-метричній базі даних *Scopus*), одна стаття і 11 тез доповідей у збірниках матеріалів всеукраїнських і міжнародних наукових конференцій, а, також, два навчально-наукових посібника, присвячених моделюванню електромеханічних систем і загальній методології наукових досліджень.

Аналіз публікацій Волянської Я. Б. дозволяє зробити висновок про те, що основні результати дисертаційної роботи знайшли повне відображення в опублікованих працях.

Дисертаційна робота пройшла необхідну апробацію на міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях, відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України до кількості публікацій у переліку фахових видань України та виданнях інших держав, включених до науково-метричних баз даних.

Запозичень сторонніх праць та ідей без відповідних посилань, а також невідповідності змісту дисертації/автореферату і Паспорту спеціальності

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту, у тексті дисертації не виявлено.

Автореферат має обсяг 44 друкованих сторінки. Оформлення, за своїм обсягом, структурою та змістом, відповідає чинним вимогам п. 13 «Порядку присудження наукових ступенів».

Зміст автореферату повністю розкриває основні наукові положення дисертаційної роботи, містить всю необхідну попередню інформацію для загального оцінювання роботи, всі основні результати та висновки.

### **Використання у докторській дисертації положень та результатів кандидатської дисертації**

Здобувачка не виносить на захист докторської дисертації наукові положення та результати, які були захищені нею у 2006 році у дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата наук на тему "Удосконалення систем енергозбережного керування асинхронним електроприводом" за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси і системи.

### **Структура та обсяг дисертації**

Дисертаційна робота Волянської Я. Б. містить анотацію, список прийнятих скорочень, вступ, сім розділів, висновки, список використаних джерел та додатки. Оформлення дисертації проведено згідно вимог п. 10, п. 12, п. 14 «Порядку присудження наукових ступенів». Повний обсяг дисертації становить 370 сторінок, включаючи зміст та 51 сторінку списку використаних джерел (263 найменування), 26 таблиць, 88 рисунків, 40 сторінок додатків, що містять акти впровадження результатів роботи.

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено мету та основні проблемні завдання досліджень, сформульовано наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів, наведено дані про публікації та апробацію основних положень дисертації.

**Перший розділ** присвячено аналізу сфер використання, сучасного стану і типів конструкцій автономних плавальних апаратів, у тому числі –

багатоцільових та їх автоматизованих систем керування електрорушійними комплексами. Уточнено поняття «ефективна експлуатація» морського судна багатоцільового призначення при обґрунтуванні конструкції та призначення всіх систем автономних плавальних апаратів в умовах обмежень фінансів, часу, технологій, нормативно-правових та соціально-політичних чинників, прогнозу його внеску у наявний потенціал флотів, у ціну реалізації проектів, у ключові потенційні характеристики тощо.

Визначені відмінності у концептуальному підході до принципів конструювання багатоцільових автономних плавальних апаратів та їх окремих систем і загальноприйнятих при проектуванні цивільних суден, запропоновані концептуальні конструктивні рішення, які здатні використовуватися у сучасних багатофункціональних морських безпілотних транспортних засобах України.

Визначені наукові проблеми розвитку систем керування та задачі автоматизації багатоцільових автономних плавальних апаратів. Показано, що така складна, протирічна і актуальна проблема з підвищення ефективності експлуатації електрорушійних автономних плавальних апаратів вирішується тільки на основі системного підходу. Проаналізовано стан розвитку систем підтримки прийняття рішень (СППР) у галузі проектного синтезу та дослідження складних технічних систем багатоцільового і спеціального призначення, наведені обмеження у використаних теоретичних методах.

Обґрунтування тематики дисертаційного дослідження і його рамки, розробку технологічної карти дослідження наведені у **другому розділі**. У цьому розділі визначені особливості процесів моделювання руху морських транспортних засобів у типових системах координат. Запропоновано при синтезі електрорушійних комплексів автономних плавальних апаратів використовувати оптимізацію локальних систем на основі принципів підпорядкованого налаштування координат: "технічний оптимум" і "симетричний оптимум".

У **третьому розділі** проведені дослідження маршових двигунів для систем електроруху багатоцільових автономних плавальних апаратів. Визначені енергоефективні режими роботи електрорушійних та перспективні напрями

підвищення енергетичної ефективності експлуатації електрорушійних комплексів, зокрема, такий, як конструкційне перепроєктування для використання у експлуатації електрорушійних комплексів перетворювачів частоти. Запропонована енергетична оптимізація експлуатації електрорушійних комплексів.

Комплексний аналіз розглянутих і запропонованих способів енергозбереження експлуатації електрорушійних комплексів здійснений за допомогою авторських дослідних стендів науково-дослідних лабораторій «Енергозбереження в електроприводі» та «Технічні засоби автоматизації систем контролю і керування транспортних засобів».

**Четвертий розділ** присвячений розробці та дослідженню безконтактного вентильного електропривода з мінімальною надмірністю для електрорушійного багатоцільового автономного плавального апарату. Синтезовано математичну модель електрорушійного автономних плавальних апаратів; розроблено електрорушійний із мінімальною надмірністю. Доведена ефективність запропонованих рішень.

**У п'ятому розділі** запропонована послідовність синтезу автоматизованої системи стабілізації курсу (АССК) автономних плавальних апаратів, де попередньо синтезовані математичні моделі системи електрорушійного автономних плавальних апаратів і її маршового двигуна, як об'єктів керування. Удосконалено метод ідентифікації параметрів математичної моделі автономних плавальних апаратів, що входить до складу системи стабілізації курсу.

Верифікацію результатів ідентифікації параметрів запропонованої системи проведено на основі порівняння результатів експерименту «зігзаг 10-10» (проведеного за допомогою *DMI*-моделі багатоцільового судна) і відповідних результатів математичного моделювання у середовищі *Matlab*. Доведена ефективність запропонованих рішень.

**Шостий розділ** дисертаційної роботи присвячений особливостям відбору організацій для технічного обслуговування і ремонту багатоцільових автономних плавальних апаратів, у тому числі спеціального призначення, принципам оптимізації обрання основних конструктивних елементів

електрорушійних комплексів. У результаті запропоновані методи підтримки прийняття рішень: перший – при відборі організацій забезпечення технічного обслуговування і ремонту багатоцільових автономних плавальних апаратів, другий – при синтезі конструкцій електрорушіїв. При синтезі конструкцій електрорушійних комплексів автономних плавальних апаратів, з оглядом на те, що електрорушій – складна технічна система, використані методи рішення задач багатокритеріальної оптимізації. Запропоновано методологічний підхід до багатокритеріальної оптимізації, характерний для лінійних і нелінійних систем електроруху, а також систем енергоресурсозбереження морських транспортних засобів різного призначення. На цій основі розроблено метод підтримки прийняття «компромісних рішень», який можливо використати при синтезі складних технічних систем різного призначення.

**У сьомому розділі,** на основі розробленого спеціалізованого моделюючого комплексу (СМК) для експериментальних досліджень електрорушіїв багатоцільових автономних плавальних апаратів, наведені приклади синтезу АСК рухом автономних плавальних апаратів і їх експериментальні випробування. Ці дослідження показали, що похибки визначення упорів рушіїв, наприклад у типових швартових режимах, між імітаційної моделлю і роботою автономних плавальних апаратів в реальних умовах менші 7 %, а похибки у визначенні параметрів вертикального руху не більше 5 %. Таким чином, доведено, що розроблена модель просторового руху автономних плавальних апаратів із запропонованими електрорушійними комплексами адекватна фізичним процесам. Це дає можливість використовувати її для дослідження ефективності різних типів регуляторів у системі керування рухом автономним плавальним апаратом і синтезу необхідних характеристик електрорушійних комплексів .

Проведено експериментальні дослідження різних типів регуляторів у системі керування частотою обертання електрушієм постійного струму за допомогою СМК.

Для порівняння, обрані різні режими регулювання частоти обертання гвинта: із застосуванням нечіткого і цифрового ПІД регуляторів. При запуску

системи з ПДД-регулятором на малу швидкість гвинтів, перерегулювання становить 9 %, а час заспокоєння – 0,35 с.

Застосування НР дозволило звести перерегулювання майже до нуля і знизити час перехідного процесу до 0,2 с.

Досліджено систему енергозберігаючого керування вертикальним рухом автономних плавальних апаратів за допомогою СМК. Проведені дослідження показали, що застосування нечітких регуляторів в системі керування вертикальним рухом автономних плавальних апаратів дозволяє (малі переміщення, порівняння з ПДД-регулятором): а) при ступінчастому заданому сигналі: скоротити у 1,5 разів час перехідного процесу; звести до мінімуму переколювання; зменшити на 19 % спожиту за перехідний період енергію; б) при синусоїдальному сигналі скоротити у два рази відставання від задаючого сигналу та зменшити на 13 % спожиту за перехідний період енергію.

Розроблено та досліджено АСК електрорушійми при горизонтальному прямолінійному русі автономних плавальних апаратів з різними типами регуляторів. АСК електрорушієм при горизонтальному прямолінійному русі автономних плавальних апаратів з ПДД-регуляторами і нечіткими регуляторами виконали програму переміщення автономних плавальних апаратів за заданим алгоритмом.

При цьому у перехідних режимах (розгін, гальмування автономних плавальних апаратів) автоматизована система керування з нечіткими регуляторами показала більшу швидкість відпрацювання сигналу. Додатково проведені дослідження АСК на її робастність, які також підтверджують високу якість синтезованих процесів керування автономних плавальних апаратів при його горизонтальному русі.

Проведені дослідження функціонування розроблених і синтезованих АСК електрорушійми при горизонтальному прямолінійному русі автономних плавальних апаратів з адаптивними ПДД-регуляторами і НР. Доведена універсальність розробленого програмно-автономних плавальних апаратів забезпечення СМК, що дозволяє на одній лабораторній базі синтезувати системи керування електрорушійми, а також проводити їх експериментальні

дослідження.

Дисертацію написано сучасною українською науково-технічною мовою, стиль викладання матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує достатню доступність її сприйняття. Робота оформлена із додержанням необхідних вимог, прийнятих правил та норм.

### **Зауваження до дисертації**

1. Структурний розподіл роботи виконаний не вдало. Наприклад, перший і другий розділ дисертації доцільно об'єднати та суттєво скоротити, а більшість другорядних і експериментальних даних перенести у додатки.

2. Деякі рисунки є проміжними і за суттю є інструментарієм дослідження. Саме тому, у науковій праці, такі рисунки недоречні (наприклад, рис. 7.16 на стор. 268, рис. 7.13-14 на стор. 266 і інші).

3. У публікаціях автора використовуються праці, яким близько 15 років. Не зрозуміло, чому наведені в них результати не оновлені та не розвинуті.

4. Використовується дублювання на англійській мові назв деяких параметрів (наприклад, *Myring hull profile*). Але у тексті дисертації далі вони ніде не використовуються, тому вважаю такі вирази недоцільними для вживання.

5. Під час аналізу літературних джерел, наприклад, стор. 77, стверджується, що і відома, і пропонована система нелінійних диференціальних рівнянь опису руху підводного плавального апарата у інерціальній системі координат дуже складні та мають велику кількість невідомих коефіцієнтів. Але зовсім не розкриті критерії оцінки цієї складності, не наведені можливості отримання цих коефіцієнтів. З'являється враження, що це особисте, суб'єктивне судження здобувача, на якому ґрунтується таке твердження і подальші математичні викладення.

6. Спрощені моделі плаского руху морського судна добре відомі (Nomoto K., Taguchi T., Honda K., Hirano S. On steering qualities of ships. JSP, 1957, № 35, р.р. 56-64.). Не ясно, чому не використовувати сучасні математичні моделі для

синтезу систем управління електрорушіями, наприклад, моделі у просторі стану?

7. Математичний опис вирішення поставленої проблеми підвищення ефективності експлуатації електрорушійних комплексів багатоцільових автономних плавальних апаратів оснований на формалізованій логічній схемі алгоритму (ЛСА), що наведена на стор. 114.

Вважаю, що цей алгоритм дуже узагальнений і універсальний. У даному випадку він не враховує можливість корекції (завдання - методи - проміжні цілі тощо) на кожному кроці дослідження, наприклад, врахуванням можливих допущень та ризиків сучасності, у методології побудови експлуатації електрорушійних комплексів чи виборі типу двигунів і інших елементів автономних плавальних апаратів.

8. На стор. 151 і 152 є опис заміни сталі, що використовується при виробництві електродвигунів експлуатації електрорушійних комплексів. Але визначене результуюче підвищення ККД експлуатації електрорушійних комплексів дуже незначне. Слід зауважити, що технологія виготовлення, насамперед – штамповка, зміниться кардинально, бо процес штамповки холоднокатаної сталі та гарячекатаної суттєво відрізняються (навіть штамповка однієї марки сталі, але різних виробників несе за собою зміну режимів і супутніх технологій). Також треба зазначити, що для такого класу двигунів в Україні сталь не виробляють.

9. З наведеного аналізу стану сучасних досліджень, підходів та використання існуючої методології вирішення проблеми підвищення ефективності функціонування автономних плавальних апаратів різного призначення, становиться ясно, що з упевненістю заявляти про вирішення проблем зі: зниження строків розробки, підвищення ефективності, експлуатаційних характеристик, універсальності застосування, принципів побудови енергетичної установки, обрання складових елементів, зниження собівартості і габаритів для багатоцільових автономних плавальних апаратів малої водотоннажності неможливо. Але здобувач стверджує, що існують

напрями вирішення цієї проблеми і ілюструє це за допомогою рис. 2.6 - 2.10. Це потребує додаткової аргументації.

10. На стор 101 наведено попередній розрахунок параметрів автономних плавальних апаратів (дедвейтом, приблизно, 120 кг), але на сторінці 38 (актуальність) вказано - 500 кг. Треба додати аргументацію щодо можливості використання запропонованих математичних моделей і експлуатації електрорушійних комплексів у всьому діапазоні дедвейту автономних плавальних апаратів – від мінімального (не вказано який мінімум), і до 500 кг.

11. У роботі (стор. 120) стверджується, що у першому наближенні момент опору руху автономних плавальних апаратів пропорційний другому ступеню частоти обертання  $\omega$  гвинта. Не ясно, чи це є справедливим у режимах, коли гвинти автономних плавальних апаратів лише частково занурені? Чи є можливість використання інших математичних виразів, що враховують, наприклад, крок гвинта, його діаметр та інші особливості конструкції пропульсивного комплексу автономних плавальних апаратів?

Незважаючи на вказані зауваження дисертація має високі науковий рівень та практичне значення, й демонструє відповідну наукову кваліфікацію Волянської Яни Богданівни.

### **Загальні висновки**

Тема та зміст дисертації Волянської Яни Богданівни відповідають паспорту спеціальності 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту.

Дисертаційна робота є завершеною кваліфікаційною науковою працею і містить нові обґрунтовані результати і положення, що є суттєвим внеском у галузь експлуатації морських рухомих об'єктів, та у забезпечення ефективності проведення процесів керування, синтезу конструкцій та експлуатації електрорушійних комплексів багатоцільових автономних плавальних апаратів.

Отримані наукові результати мають важливе значення для розв'язання практичних задач державного рівня.

Актуальність, високий науковий рівень, практична цінність та впровадження результатів виконаних дисертанткою досліджень свідчать про те, що представлена до захисту дисертація: «Методологія підвищення ефективності експлуатації електрорушійних комплексів багатоцільових автономних плавальних апаратів» відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами) до докторських дисертацій, а її авторка Валянська Яна Богданівна заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту.

**Офіційний опонент:**

професор кафедри вагонів та вагонного господарства Державного університету інфраструктури та технологій, доктор технічних наук, професор

О.В. Фомін

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
Підпис: *О.В. Фомін*  
Засвідчує: *ст. інст. ВК*

*Н.О. Консвєв*