

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Куліка Анатолія Степановича на дисертаційну роботу Грудініної Ганни Сергіївни «Удосконалення системи стабілізації швидкості руху автономного ненаселеного підводного апарата», яка представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.03 — системи та процеси керування

### 1. Актуальність теми дослідження

Активізація морської діяльності в Азово-Чорноморському басейні обумовлена теперішніми обставинами, в яких знаходиться Україна, та відповідними Указами Президента і розпорядженнями Кабінету Міністрів України. Один з напрямків активізації пов'язаний з розробкою і виробництвом сучасних морських роботів для проведення як моніторингових місій, так і специфічних операцій з підводними та надводними об'єктами. Плідний розвиток цього напрямку значно залежить від якості наукових досліджень по вивченню умов функціонування підводних роботів, а також можливих технічних рішень автоматизації потрібних просторових рухів.

Дисертацію присвячено класу автономних ненаселених підводних апаратів (АНПА). Насущними практичними завданнями для АНПА є завдання забезпечення високої швидкодії та точності керування швидкістю руху в косому потоці води при криволінійному русі.

При науковому вирішенні завдань високоякісного керування АНПА у косому потоці води виникає ряд теоретичних обмежень, обумовлених як нелінійними властивостями процесів підводного руху, так і невизначеністю умов функціонування. Мета дисертаційних досліджень обумовлена необхідністю подолання цих обмежень для удосконалення швидкодії та точності руху АНПА з урахуванням умов функціонування рушійних пристроїв у косому потоці води.

Тема дисертаційної роботи відповідає державним цільовим програмам розробки технічних засобів морської робототехніки. Дослідження проводилися в рамках держбюджетної науково-дослідної теми «Обґрунтування рекомендацій щодо оснащення Військово-Морських Сил Збройних Сил України морськими роботизованими системами (комплексами)», № 2202 від 24.04.2019 року.

Такі обставини в практиці і теорії керування морськими роботами свідчать про актуальність теми досліджень.

### 2. Наукова новизна

Згідно з метою та завданнями досліджень авторкою отримано ряд наукових результатів:

1. Вперше розроблено комп'ютерну модель системи автоматичного керування АНПА, яка мінімізує швидкодію та вплив зовнішнього збурення на швидкість руху.

2. Вперше отримано діаграми залежності сили опору гребного гвинта від швидкості та кута підводної течії.

3. Удосконалено процеси керування моделлю АНПА шляхом використання штучної нейронної мережі.

Отримані в результаті досліджень наукові результати дають можливість проектувати системи керування, які дозволяють функціонувати АНПА з високими показниками якості при криволінійному русі у підводних течіях.

### **3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, їх достовірність**

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій дисертаційної роботи підтверджується і забезпечується коректним застосуванням відомих сучасних моделей, методів і засобів наукових досліджень, а саме: моделей ньютонівської динаміки у формі нелінійних диференціальних рівнянь, комп'ютерних засобів моделювання процесів руху.

Міра обґрунтованості висновків та рекомендацій, що базуються на отриманих результатах аналітичних та комп'ютерних досліджень, достатня для практичного застосування на етапах ескізного і робочого проектування систем високоякісного керування АНПА.

Достовірність отриманих наукових результатів, а також рекомендацій щодо їх подальшого використання підтверджується чисельними результатами комп'ютерного моделювання, участю у виконанні держбюджетної науково-дослідної роботи за тематикою дисертаційного дослідження, а також актами впровадження отриманих результатів.

### **4. Структура, зміст, стиль викладу, публікації та апробації**

Дисертаційна робота складається із анотації двома мовами, змісту, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 122 найменувань на 12 сторінках та 2 додатків на 7 сторінках. Загальний обсяг роботи складає 159 сторінок, із них 151 сторінка основного тексту, 67 рисунків та 14 таблиць. Оформлення дисертації виконано відповідно існуючих документів. В цілому дисертація має логічну структуру, пов'язану з рішенням наукових задач дослідження, її мова відповідає рівню профільних науково-технічних видань, термінологія, в цілому, використовується правильно, стиль викладання науковий, ясний для розуміння.

Основна частина дисертації складається зі вступу, чотирьох розділів і висновків.

У вступі обґрунтовується актуальність теми досліджень, описується зв'язок з науковими програмами та темами, визначено мету і задачі дослідження, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичне значення роботи.

У першому розділі дисертації наведено загальну характеристику і класифікацію АНПА, зазначено широке застосування нейронних мереж в умовах невизначеності підводного руху.

Виконаний огляд науково-технічної літератури свідчить, що невисвітленими залишаються умови якісного функціонування АНПА у косому потоці підводної течії.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячено вирішенню наступних задач:

1. Застосування математичної моделі динаміки АНПА як складової частини системи автоматичного керування швидкістю руху.
2. Доповнення моделі АНПА рівняннями рушійно-кермових пристроїв типу «гвинт-кермо», «гребний гвинт – поворотна насадка» та «поворотна гвинтова колонка».
3. Доведення працездатності синтезованої моделі АНПА з рушійно-кермовими пристроями.

Поставлені задачі вдало вирішено. Переконаливо представлено отримані результати.

Третій розділ роботи присвячено вирішенню задач синтезу регуляторів автоматичного керування швидкістю руху АНПА.

Результатом вирішення є Simulink-модель системи автоматичного керування, яка дозволяє на регулярній основі мінімізувати швидкодію та точність від дії збурюючого впливу, а також з використанням штучної нейронної мережі при ступінчастому задаючому впливі.

Проведено дослідження та отримано залежності сили опору рушійного пристрою від кута та швидкості підводної течії. Ці дані використовувались при навчанні нейронної мережі.

Результати дослідження наочно представлені конкретними графіками та таблицями.

В четвертому розділі дисертації представлено результати дослідження працездатності синтезованої системи автоматичного керування швидкістю руху АНПА методом комп'ютерного експерименту.

З представлених графіків очевидно, що розроблена система автоматичного керування ефективно компенсує відхилення опору рушійного пристрою.

Наведені порівняльні характеристики підтверджують ефективність регулятора швидкості руху АНПА.

Висновки дисертації узагальнюють сукупність вирішених завдань і проведених дисертаційних досліджень.

Зміст автореферату повною мірою відображає основні наукові положення дисертації та містить у собі визначення участі автора у спільно опублікованих роботах, що доводить самостійність її дослідницької праці.

Ознайомлення з дисертацією, авторефератом та низкою статей дозволяє зробити висновок щодо наявності необхідної повноти публікацій наукових результатів у регламентованих виданнях. Особистий внесок здобувача підтверджується відображенням основних розділів дисертації в статтях і виступах з доповідями, список яких складає 22 найменування, одна з яких опублікована у журналі, що входить до наукометричної бази Scopus.

Апробація основних наукових та практичних результатів відбулась на 14 Міжнародних та Всеукраїнських науково-технічних конференціях за тематикою дисертаційного дослідження.

## **5. Практичне значення отриманих результатів**

Отримані наукові результати дозволяють перейти до розробки конкретних технологій проектування і побудови високоякісних систем автоматичного керування різними класами АНПА.

Основні результати дисертаційної роботи впроваджено в діяльність Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова в навчальному процесі підготовки магістрів за освітньо-професійною програмою «Морська робототехніка» спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Подальше практичне використання результатів роботи доцільно у профільних організаціях, які займаються вирішенням моніторингових та транспортних завдань в Азово-Чорноморській акваторії.

## **6. Загальні недоліки та зауваження**

1) ускладнює розуміння особливостей використаних математичних моделей відсутність опису будови і принципу дії АНПА, а також фізичної моделі плоского руху з діючими силами і моментами у підводному потоці;

2) в дослідженні не представлено у явному вигляді об'єкт автоматичного керування як підсистему, що включає об'єкт керування, рушійно-кермовий пристрій та датчики;

3) в вербальних, графічних і математичних моделях АНПА відсутні конкретні дані динаміки підводного апарата, що використовується;

4) на стор. 83 наведена рекурентна форма рівнянь ( 2.8 – 2.11), які описують динаміку рушійного пристрою, але обґрунтування вибору рекурентної форми опису та вибору такту квантування в роботі відсутні;

5) замість терміну «функціональна схема» необґрунтовано використовується термін «структура» (рис. 1.5, рис. 1.8, рис. 1.9) та «структурна схема» (рис. 2.8, рис. 1.31);

6) невдалий вибір масштабу по осях системи координат (рис. 3.2), відсутність розмірності (табл. 3.1, рис. 3.9, рис. 3.10) не дозволяють оцінити отримані результати;

7) твердження на стор. 129, що «автономні ненаселені підводні апарати з позиції теорії керування прийнято розглядати як абсолютно тверде тіло...» є невдалим.

Наведені недоліки та зауваження, частина яких може бути віднесена до задач подальших досліджень, не впливають на позитивне враження про дисертаційне дослідження.

## 7. Загальні висновки

Дисертаційна робота Грудініної Ганни Сергіївни «Удосконалення системи стабілізації швидкості руху автономного ненаселеного підводного апарата» є завершеною науково-дослідною роботою, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що дозволили розв'язати актуальне прикладне наукове завдання стабілізації швидкості руху автономного ненаселеного підводного апарата за рахунок використання уточненого значення опору рушія, що функціонує у косому потоці підводної течії.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.13.03 — системи та процеси керування за такими пунктами:

- Моделі, методи й алгоритми керування авіаційними, космічними й іншими рухомими об'єктами.
- Інформаційно-алгоритмічне забезпечення систем керування в умовах невизначеності та неповноти інформації.

Вважаю, що за актуальністю теми, науковою новизною, ступенем обґрунтованості отриманих результатів, практичною цінністю, повнотою викладання результатів у працях здобувачки і за оформленням дисертаційна робота відповідає вимогам МОН України щодо дисертацій, зокрема пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 зі змінами, затвердженими від 19.08.2015 р. № 656, які висуваються до кваліфікаційних наукових робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а її авторка Грудініна Ганна Сергіївна заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук.

Доктор технічних наук,  
професор, лауреат Державної  
премії України

*А. Кулик*  
3.04.23

Анатолій КУЛІК

