УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

03056, м. Київ, пр-т Перемоги, 37; тел. (+38 044) 204-82-82 тел./факс (+38 044) 204-97-88
http://www.kpi.ua e-mail: mail@kpi.ua ЄДРПОУ 02070921

_____ № _____
на № _____ від _____

ВІДГУК

офіційного опонента Збруцького Олександра Васильовича
на дисертаційну роботу Грудініної Ганни Сергіївни на тему:
«Удосконалення системи стабілізації швидкості руху автономного ненаселеного підводного апарата», що подається на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук за спеціальністю
05.13.03 – Системи та процеси керування

Актуальність теми дисертаційної роботи. Розвиток Індустрії 4.0 включає створення роботизованих безлюдних, або дистанційно керованих апаратів та систем, здатних виконувати важкі та небезпечні для людини місії. Для здійснення складних місій під водою розробляється широкий спектр підводних апаратів-роботів, які можуть функціонувати автономно, або прив'язаних до судна-носія. Для виконання багатьох завдань широко застосовуються автономні ненаселені підводні апарати (АНПА) малого класу вагою від 20 до 500 кг.
Складні умови експлуатації АНПА - гідрометеорологічні умови, стиснена підводна навігація, косі течії - зумовлюють підвищення вимог до точності керованого руху апарата по заданій криволінійній траєкторії, досягнення максимальної швидкодії при зміні режимів руху.

Тому прикладна наукова задача, яка вирішується в дисертаційній роботі – удосконалення системи стабілізації швидкості руху автономного ненаселеного підводного апарату шляхом розробки та використання уточненого значення упору рушійного пристрою в косому потоці води є актуальною.

Актуальність дисертації підтверджена впровадженням результатів у держбюджетній науково-дослідній роботі «Обґрунтування рекомендацій щодо оснащення Військово-Морських Сил Збройних Сил України морськими роботизованими системами (комплексами)».

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі. Сформульовані в роботі наукові положення, висновки та рекомендації базуються на детальному вивченні та критичному аналізі науково-технічної літератури числових експериментів, використанням законів класичної механіки та методів сучасних систем автоматичного керування

Достовірність результатів досліджень. Достовірність результатів досліджень забезпечується коректною постановкою задач та застосуванням сучасних методів математичного моделювання та прикладних пакетів числового моделювання..

В роботі застосовано методи числового інтегрування диференційних рівнянь руху підводного апарату з урахуванням гідродинамічних сил. Для дослідження гідродинамічних характеристик рушійно-кермових пристроїв (РКП) у косому потоці води застосовані сучасні методи комп'ютерного моделювання-засоби CFD (Computational Fluid Dynamics).

Для синтезу регулятора системи стабілізації швидкості руху автономного підводного апарату застосовано штучні нейронні мережі. Синтез контуру компенсації зовнішніх збурень проведено методом інверсного моделювання.

Наукова новизна дисертаційної роботи. В дисертації отримані наступні основні наукові результати:

- вперше на основі математичної моделі динаміки автономного ненаселеного підводного апарату розроблено оптимальну за швидкодією систему автоматичного керування, яка дає змогу «безінерційно» змінювати швидкість руху підводного апарата з будь-якої початкової на будь-яку кінцеву за мінімальний проміжок часу з компенсацією дії зовнішнього збурення;

- удосконалено оптимальну за швидкодією систему автоматичного керування швидкістю руху АНПА шляхом застосування штучної нейронної мережі у якості регулятора ступінчатою зміною швидкості апарата, що дає змогу відмовитись від застосування математичної моделі і підвищити швидкодію керування;

- вперше на основі розробленої математичної моделі АНПА отримано діаграми залежності упору гребного гвинта від швидкості та кута потоку води, які за характером впливу дії косого потоку на рушійно-кермовий пристрій повністю відповідають результатам, отриманим експериментальним шляхом у дослідних басейнах, що створює теоретичну основу для синтезу високоточної системи автоматичного керування рухом АНПА при криволінійному русі;

- вперше методом апроксимації експериментальних даних на базі штучної нейронної мережі синтезовано автоматичну систему стабілізації швидкості руху АНПА, підвищення точності роботи якої досягається за рахунок стабілізації загальної тяги рушійного пристрою під час функціонування рушія в косому потоці води.

Значимість отриманих результатів для практичного використання та науки. Застосування отриманих у дисертації наукових результатів, створює теоретичну основу для побудови та серійного виробництва автономних ненаселених підводних апаратів для пошукових, аварійно-рятувальних морських операцій.

Математичну модель динаміки автономного ненаселеного підводного апарата, рушійно-кермовий пристрій якого функціонує у скошеному потоці води, використано у курсовому та дипломному проектуванні магістрів за освітньо-професійною програмою «Морська робототехніка» спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Результати дисертації використані при виконанні держбюджетної науково-дослідної роботи «Обґрунтування рекомендацій щодо оснащення Військово-Морських Сил Збройних Сил України морськими роботизованими системами (комплексами)».

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях. Основні результати дисертації опубліковано в 22 працях, у тому числі у 7 статтях наукових видань України (1 одноосібно), з них 4 статті у фахових виданнях, 1 стаття у журналі, який включено до наукометричної бази Scopus, та в 15 тезах та доповідях на всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях.
Обсяг друкованих робіт та їх кількість відповідають вимогам МОН України щодо публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Оцінка змісту дисертаційної роботи. Дисертація складається із анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 122 найменування на 12 сторінках та 2 додатків на 7 сторінках. Загальний обсяг роботи складає 159 сторінок, із них 136 сторінок основного тексту, 14 таблиць та 67 рисунків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та напрями її досягнення, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, охарактеризовано особистий внесок здобувачки та апробацію роботи.

В першому розділі за результатами аналізу існуючих проектів, що розробляються відомими світовими виробниками автономних ненаселених підводних апаратів (роботів), проведено класифікацію і визначено сфери застосування АНПА. Досліджено типові режими керованого руху підводних апаратів. Визначено конфігурацію системи автоматичного керування швидкістю руху АНПА підвищеної точності з використанням регуляторів на базі штучної нейронної мережі. Представлено огляд нових підходів до вирішення задач керування підводними апаратами в умовах невизначеності параметрів АНПА та впливу навколишнього середовища.

Другий розділ дисертаційної роботи присвячено розробці математичної моделі системи автоматичного керування швидкістю руху АНПА зі стабілізацією упору рушійно-кермового пристрою, що працює в косому потоці води. Математичну модель просторового руху автономного ненаселеного підводного апарату, розроблену науковою школою «Підводна техніка» Національного університету кораблебудування, використано в роботі, як складову частину системи автоматичного керування.

У якості об’єктів керування розроблено моделі рушійно-кермових пристроїв типу: «гвинт – кермо», «гвинт в поворотній насадці» та «поворотна гвинтова колонка». Синтезовано Simulink-модель динаміки АНПА з РКП розроблених типів. Працездатність синтезованих моделей підтверджено шляхом верифікації гідродинамічних параметрів моделей рушійних пристроїв

(коефіцієнт упору та моменту РКП в косому потоці) з залежностями, отриманими експериментальним шляхом у дослідному басейні.

В третьому розділі розроблено структуру системи автоматичного керування, що містить оптимальний за швидкодією регулятор швидкості руху АНПА та регулятор компенсації упору РКП при плоскому криволінійному русі апарата. Для навчання нейронних мереж у складі регуляторів було використано бази даних, що отримані шляхом математичного моделювання руху АНПА в різних режимах роботи.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячено дослідженню працездатності синтезованої системи автоматичного керування стабілізованим рухом АНПА методом комп'ютерного експерименту.

Моделювання роботи рушійних комплексів засобами CFD-пакету підтвердило справедливість висновків, отриманих шляхом математичного моделювання криволінійного руху АНПА з РКП, що досліджувались. За результатами імітаційного моделювання уточнено залежність упору рушійних пристрої від кута та швидкості набігання потоку.

Розроблений регулятор дає змогу компенсувати відхилення упору рушія без відпрацювання помилки, що підвищує точність роботи системи автоматичного керування швидкості руху АНПА.

У додатках наведено акти, що підтверджують позитивні результати апробації та впровадження наукових положень та експериментальних розробок за темою дисертації. Окремо надано список публікацій здобувачки за темою дисертації.

Висновки за результатами дисертаційної роботи сформульовано лаконічно та чітко у відповідності до змісту. Список використаних джерел із 122 найменувань охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

Дисертація є завершеною роботою, яка містить нові наукові результати. Порушень академічної доброчесності в дисертаційній роботі та наукових працях, у яких висвітлено основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Зауваження та/або дискусійні питання стосовно положень кандидатської дисертації. В цілому робота написана грамотною технічною мовою у відповідності до прийнятої наукової термінології, викладена в логічній послідовності та в достатній мірі проілюстрована. Але разом з загальною позитивною оцінкою до роботи є зауваження.

1. В першому розділі бажано було б навести перелік та основні характеристики давачів інформації, сигнали з яких використовуються в синтезованій системі керування. Такі відомості утворили б апаратно-технічне підґрунтя для синтезу систем керування рухом АНПА. Аналіз літературних джерел не завершений чітким переліком розв'язаних питань та нерозв'язаних задач, які обгрунтовують постановку задач дослідження. Мета роботи сформульована більш вузько, ніж наведені в роботі результати.

2. У другому розділі:

- надмірно детально описані закони механіки та особливості їх застосування для отримання математичної моделі АНПА, а сама математична модель представлена не достатньо детально;

- виходячи з отриманої математичної моделі бажаним виглядає проведення аналітичного її дослідження, а не лише числового моделювання, або аргументоване обгрунтування неможливості його застосування для вирішення всіх поставлених задач;
- технічні характеристики рушійно-кермових пристроїв, що досліджуються методами математичного моделювання, вкрай коротко наведено у четвертому розділі, але бажано було б у другому розділі більш детально описати конструктивні особливості цих пристроїв та особливості керування ними.

3.У третьому розділі:
- автор пропонує низку науково обґрунтованих технічних рішень по синтезу систем керування АНПА у режимах стабілізації швидкості його руху при роботі в косому потоці води; очевидно, що отримані рішення передбачають складну технічну реалізацію, проте аналіз складності їх реалізації автор не наводить; не наведені структурні схеми синтезованих систем автоматичного керування, а лише їх блок-схеми;
- низка основних результатів теоретичного дослідження (залежності упорів досліджених рушійно-кермових пристроїв від швидкості потоку води, що набігає) представлена у вигляді 2D та 3D залежностей; автор не висвітлює питання можливої технічної реалізації цих залежностей, що було б корисним на етапі практичного створення синтезованих регуляторів;

4. У четвертому розділі:
- є робота оптимального регулятора швидкості зі стабілізацією упору (рис. 4.19) розглянута без урахування кінематики виконавчого механізму перекладки насадки та без пояснення припустимості такого спрощення;

5. В дисертації присутні термінологічні та стилістичні недоліки: «управління» замість «керування», інерційна система координат, точність траєкторії руху замість відхилення від заданої траєкторії, застосування не прийнятої в механіці класифікації сил, використання одинакових символів для позначення різних параметів та величин.

6. До зауважень по оформленню дисертації слід віднести неповний перелік використаних скорочень, описки в словах, неповнота оформлення графіків.

Вказані зауваження не відносяться до наукової суті дисертації та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Загальна оцінка дисертаційної роботи. Дисертаційна робота Грудініної Ганни Сергіївни «Удосконалення системи стабілізації швидкості руху автономного ненаселеного підводного апарата» є завершеною науковою роботою, в якій розв'язана актуальна наукова задача розробки та удосконалення системи автоматичної стабілізації швидкості руху автономного ненаселеного підводного апарата шляхом використання уточненої моделі упору рушія у косому потоці води та компенсації діючих збурень, що має важливе практичне значення. В дисертаційній роботі містяться раніше не захищені та самостійно отримані здобувачем наукові результати. Результати і наукові положення дисертації носять завершений характер, характеризуються єдністю змісту.

Дисертація відповідає вимогам МОН України щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (пп. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів

України від 24 липня 2013 року № 567) та паспорту спеціальності 05.13.03 – Системи та процеси керування.

Приймаючи до уваги актуальність, наукову новизну, практичну цінність і значимість отриманих результатів, здобувачка Грудініна Ганна Сергіївна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.03 – Системи та процеси керування.

Офіційний опонент
доктор технічних наук, професор,
Заслужений діяч науки і техніки України,
лауреат Державних премій в галузі науки і техніки,
професор кафедри систем керування літальними
апаратами Національного технічного
університету України «Київський
політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»
МОН України

Олександр ЗБРУЦЬКИЙ
«31 » 03.2023 р.

Підпис проф. О.В. Збруцького засвідчую.
Учений секретар
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Валерія ХОЛЯВКО
«31» 05 2023р.