

## ВІДГУК

на дисертаційну роботу

Цзен Сіньюя (Zeng Xinyu), аспіранта кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Національного університету «Львівська політехніка», за темою «Апаратно-програмне та метрологічне забезпечення дронів» (Hardware-software and metrological support of drones), яка подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 - Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

### 1. Актуальність теми дисертації.

Дисертаційна робота Цзен Сіньюя «Апаратно-програмне та метрологічне забезпечення дронів» присвячена важливій та сучасній проблематиці вдосконалення апаратно-програмного та метрологічного забезпечення дронів, які здатні функціонувати у різних середовищах, в тому числі на воді та під водою. Залежно від галузі, в якій їх застосовують, надводні та підводні дрони відіграють дедалі важливішу роль у сучасному світі. В умовах стрімкого розвитку технологій, такі безпілотні апарати набувають нових можливостей, що робить їх незамінними у багатьох сферах. У теперішній час розвиток морських технологій неможливий без використання дронів, які використовуються для моніторингу рибних запасів, прокладання та дослідження стану підводних кабелів, дослідження дна, пошуку підводних об'єктів, підводної геологічної розвідки та багатьох інших завдань. Також надводні та підводні дрони мають надзвичайно велике значення в умовах сучасної війни. Надводні та підводні дрони використовуються для розвідки, патрулювання територій і виконання бойових місій. Вони здатні проводити операції в умовах, які можуть бути небезпечними для людей, зменшуючи ризики для військових. Технологічний розвиток дронів також веде до покращення їхньої автономності та можливостей зв'язку. Сучасні моделі оснащені передовими сенсорами, які дозволяють здійснювати складні вимірювання, та системами штучного інтелекту, що надають можливість дронам самостійно приймати рішення в реальному часі. З огляду на це, актуальність розвитку апаратно-програмного та метрологічного забезпечення надводних і підводних дронів є очевидною. Сфера їх застосування постійно розширюється, відкриваючи нові можливості для науки, безпеки і економічного розвитку. Інвестування в дослідження та розробку цих технологій матиме далекосяжний вплив на майбутнє, сприяючи більш ефективному використанню природних ресурсів і забезпеченню безпеки.

### 2. Зміст дисертаційної роботи

Дисертаційна робота підготована англійською мовою, за структурою відповідає встановленим вимогам, містить анотацію, вступ, чотири розділи, висновки, список використаної літератури, додатки. У роботі обґрунтовано тему



дисертаційного дослідження, наведено інформацію про перелік наукових публікацій автора за темою дисертації, актуальність, об'єкт дослідження, методи дослідження, наукову новизну, персональний внесок автора, апробацію та впровадження результатів досліджень, зв'язок дисертаційної роботи з планами, темами, науковими програмами.

**У першому розділі** розглядаються планово-конструкторські завдання, сенсори, засоби діагностики, метрологічне забезпечення та вимоги безпеки, які використовуються при проектуванні, виробництві та експлуатації дронів. Продемонстровано, як апаратні та програмні засоби, розглянуті в наступних розділах, поєднуються, щоб забезпечити керування роботами-амфібіями в реальному часі з метою плавного переходу між водно-поверхневими та підводними операціями, приділяючи особливу увагу метрологічним проблемам, пов'язаним із проектуванням системи, яка працює у двох різних фізичних середовищах. Показано, що сучасні технології об'єднання сенсорів в систему гарантують ефективне функціонування як у надводних, так і підводних середовищах, задовольняючи різноманітні вимоги сучасної водної робототехніки. Цей інтегрований підхід закладає основу для подальшого розвитку автономних, адаптивних і стійких роботизованих систем, здатних вирішувати складні проблеми у водному середовищі. Також у цьому розділі розглянуто фактори навколишнього середовища, які впливають на точність вимірювань і їхнє значення в процесі проектування.

**У другому розділі** розроблено парадигму тестової платформи для вимірювання динамічних параметрів дронів під водою, яка долає обмеження існуючих методів і може покращити точність, стабільність і повторюваність результатів вимірювань шляхом використання сучасних засобів контролю та методів компенсації. Запропонована парадигма пропонує перспективний підхід до вимірювання параметрів підводного динамічного руху, забезпечуючи вищу точність та надійність. Розглядаються метрологічні умови, необхідні для забезпечення точних вимірювань, враховуючи такі фактори, як калібрування сенсора, вплив навколишнього середовища та повторюваність вимірювань. Оцінюючи продуктивність дрона, цей розділ дає уявлення про зв'язок між споживанням енергії та ефективністю двигуна, закладаючи основу для подальшого вдосконалення.

**У третьому розділі** розглядаються проблеми з керуванням, пов'язані з підводним середовищем дрона. Акцентується увага на оптимізації його стабільності та позиції за допомогою вдосконалених алгоритмів фільтрації. Інтеграція додаткових фільтрів і фільтрів Калмана допомагає покращити контроль орієнтації дрона, дозволяючи йому підтримувати стабільність і швидко відновлюватися після перешкод. Встановлено, що якість обробки даних суттєво залежить від застосовуваних методів фільтрації. Наявність додаткового фільтру забезпечує високу ефективність відновлення після збурень, що підтвердило його



ефективність для підвищенні точності та надійності оцінки позиції в динамічних і непередбачуваних умовах. Також наявність додаткового фільтру забезпечує отримання інформації про позицію під час запуску, динамічно адаптуючись до зміни орієнтації. Ця адаптивність забезпечує більш надійну реакцію на нерегулярні зміни в робочому середовищі, надаючи стабільні інформативні сигнали позиції зі значно зниженим шумом. Запропоновані методи фільтрації забезпечують мінімізацію помилок і підвищення надійності.

У четвертому розділі розглянуто керовану даними гідродинамічну модель, розроблену з використанням даних, отриманих у реальному часі від сенсорів сили, встановлених на дроні. Ця модель забезпечує адаптацію дрона до різноманітних підводних умов шляхом прогнозування гідродинамічних сил та відповідного коригування його поведінки. Використання методів машинного навчання сприяє оптимізації рухів дрона та підвищенню його ефективності. Підкреслюється важливість метрологічної підтримки для забезпечення точності отриманих даних та їх відповідності реальним умовам. Результати, представлені в цьому розділі, демонструють значне поліпшення продуктивності дрона, зокрема, в аспектах точності та енергоефективності.

У висновках сформульовано основні результати дисертаційної роботи.

Список використаних джерел охоплює сучасні публікації вітчизняних та іноземних авторів за тематикою дисертації.

У додатках наведено фрагменти лістингів програмного забезпечення для конфігурування дронів, отримання вимірювальних даних від сенсорів, контролю позиції дрона.

### 3. Зауваження та рекомендації до дисертаційної роботи

1. Чи враховувався у дисертаційному дослідженні ймовірний вплив підводних перешкод на метрологічні характеристики систем безпілотного апарату?

2. Чи проводився під час досліджень аналіз зовнішніх факторів, які впливають на невизначеність вимірювання параметрів руху та поточної позиції безпілотного апарату.

3. В дисертації відсутній повний аналіз джерел невизначеності вимірювання параметрів руху та поточної позиції безпілотного апарату, що можна вважати недоліком.

4. В тексті дисертації наводяться фотографії стандартних компонентів (наприклад рис. 1.2, рис. 2.1, рис. 3.5), які ілюструють виключно їх зовнішній вигляд та не мають відношення до наукових досліджень. Окрім того, рис. 3.1, рис. 3.2 та рис. 3.3 ілюструють базові, загальновідомі принципи роботи акселерометра, гіроскопа та магнітометра. На мою думку, таку інформацію не доцільно наводити у дисертації.



5. На мою думку, доволі велика частина дисертації має характер опису технологій та технічних характеристик складових елементів дронів, що можна вважати недоліком.

#### 4. Висновок.

Представлена дисертація Цзен Сіньюя «Апаратно-програмне та метрологічне забезпечення дронів» є завершеною науковою роботою, яка містить обґрунтовані наукові результати. Отримані наукові положення і практичні результати є значущими для галузі метрології та інформаційно-виміральної техніки. Тема, зміст дисертації та отримані наукові результати відповідають предметній області спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка.

Таким чином, враховуючи актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх наукову новизну та практичну цінність, відповідність предметній області спеціальності, повноту викладу у наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація повністю відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішень разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44, а її автор Цзен СІНЬЮЙ, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка.

Опонент,  
д.т.н., професор

Павло КУЛАКОВ

