**ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

**Рассовського Вадима Леонідовича**

"Засоби контролю повітряного проміжку між ротором та статором в капсульних гідрогенераторах на базі ємнісних вимірювачів",

яка подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 17 "Електроніка, автоматизація та електронні комунікації" за спеціальністю 175 "Інформаційно-вимірювальні технології".

**Ступінь актуальності обраної теми**

В сучасних умовах функціонування електроенергетичної системи України гідроелектростанції приймають участь в автоматичному та ручному регулюванні частоти та активної потужності, регулюванні напруги та реактивної потужності. Обладнання працює в наднормованих динамічних режимах, що сприяє більш інтенсивному виникненню дефектів та пошкоджень. Забезпечення безперебійної та надійної роботи гідрогенераторів потребує своєчасного виявлення дефектів, що можуть виникати в процесі експлуатації. Модернізація гідроагрегатів в цих умовах може сприяти як подовження терміну, так і надійності експлуатації. Капсульними гідроагрегатами оснащені Київська та Канівська ГЕС в кількості 44 одиниць, для яких одним із найважливіших конструктивних параметрів , що підлягають контролю, є повітряний проміжок між ротором та статором. Із-за інтенсивних динамічних режимів роботи його значення може змінюватись в межах 20 –30% проектної величини, що слугуватиме причиною підвищеного рівня вібрацій, дисбалансу та прояву інших ознак виникнення дефектів в роботі, зокрема, спотворення конструктивних форм ротора і статора; гідравлічний дисбаланс робочого колеса турбіни; перекіс і спотворенням лінії вала всього гідроагрегату. Тому особливої актуальності набуває вдосконалення методів і засобів вимірювання повітряного проміжку стосовно забезпечення більшої точності, надійності і оперативності контролю, а також адаптацію до змінних умов експлуатації. Так як для вимірювання повітряного проміжку в капсульних гідроагрегатах найбільш прийнятне рішення полягає у застосуванні ємнісних сенсорів, то дисертаційне дослідження спрямоване на підвищення їх точності, роздільної здатності і завадостійкості є актуальним.

Дисертаційна робота виконана у відповідності до тематики наукових досліджень Інституту електродинаміки Національної академії наук України, зокрема, НДР "Створення спеціалізованих інформаційно-вимірювальних засобів для просторово-розподілених систем контролю в електроенергетиці" (2022-2024 рр., ДР No 0122U000051); НДР "Розширення функціональних

можливостей та підвищення метрологічних характеристик засобів вимірювання в системах моніторингу і діагностування в електроенергетиці"( 2022 –2026 рр., No ДР 0122U000136).

Актуальність теми дисертаційної роботи опосередковано засвідчують також публікації результатів досліджень в періодичних наукових виданнях, індексованих в наукометричній базі Скопус.

**Структура роботи**

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

*Вступ* до дисертаційної роботи висвітлює актуальність дослідження, визначає зв'язок роботи з науково-дослідними темами інституту електродинаміки Національної академії наук України, де виконувалася дисертація, формулює її мету та завдання, визначає об'єкт, предмет та методи дослідження, а також описує наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Крім того у вступі наведено інформацію про практичне використання результатів роботи, визначається особистий внесок здобувача, містяться дані про апробацію результатів дослідження та їх висвітлення у наукових публікаціях.

*У першому розділі* наведено аналітичний огляд науково-технічних джерел та патентної інформації щодо існуючих методів та засобів вимірювання повітряного проміжку між статором та ротором в потужних гідрогенераторах. Показано, що ємнісний метод є найбільш перспективним для таких вимірювань. Визначено необхідність удосконалення ємнісного методу в умовах чинних динамічних режимів експлуатації, окреслено коло задач підвищення точності, роздільної здатності та завадостійкості ємнісних сенсорів.

*У другому розділі* представлені принципи побудови нових ємнісних сенсорів зі стрічковими компланарними електродами, результати досліджень їх функцій перетворення, оцінка метрологічних характеристик та визначення розширення функціональних можливостей.

*Третій розділ* роботи присвячено визначенню основних технологічних похибок монтажу нових ємнісних сенсорів на осерді статора гідрогенератора. Наведені рекомендації з конструктивних рішень сенсорів, які дають можливість уникнути або значно зменшити вплив зазначених похибок.

*Четвертий розділ* дисертації присвячено висвітленню результатів проведених експериментальних досліджень макетів ємнісних сенсорів повітряного проміжку з системою стрічкових компланарних електродів в лабораторних умовах, а також результати їх натурних випробувань на капсульному гідрогенераторі СГК 538/160-70М Київської ГЕС.

*Висновки* по роботі узагальнюють основні результати дисертаційного дослідження. Дисертація в цілому є структурно та змістовно збалансованою роботою. Послідовність викладення її положень логічна і відповідає методологічним основам наукових досліджень в техніці.

**Оцінка структури і змісту роботи, її завершеності та оформлення**

Дисертація Рассовського В.Л. є завершеною кваліфікаційною науковою працею, яка викладена на 161 сторінці машинописного тексту. Дисертація складається з анотації, вступу, 4-х розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 134 сторінки друкованого тексту. Робота ілюстрована 4 таблицями та 78 рисунками. Список використаних джерел містить 81 найменування , з них 37 кирилицею та 44 латиницею.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- набув подальшого розвитку метод розрахунку технічних характеристик ємнісних сенсорів повітряного проміжку в потужних гідрогенераторах шляхом врахування геометрії вузла контролю, що дозволило забезпечити підвищення точності вимірювання повітряного проміжку в капсульній конструкції генератора з малим радіусом розточки осердя статора;
- розроблено принцип побудови ємнісного сенсора повітряного проміжку із системою стрічкових компланарних електродів, перпендикулярних твірній поверхні полюса ротора, що дозволяє зменшити похибку вимірювання завдяки усуненню впливу кривизни полюса ротора;
- розроблено принцип побудови ємнісного сенсора повітряного проміжку інваріантного до зміни зовнішнього магнітного поля шляхом застосування спеціальної геометрії електродів, що дозволило підвищити точність вимірювання в навантажувальних режимах роботи гідрогенератора;
- розроблено новий метод вимірювання повітряного проміжку капсульного гідрогенератора шляхом застосування двох геометрично подібних ємнісних сенсорів, що дозволяє зменшити похибку вимірювання за зміни вологості та температури навколишнього середовища.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень, наведених в роботі, отримані особисто або за безпосередньою участю автора. Новизна одержаних технічних рішень захищена патентом України на винахід UA 128750 від 09.10.2024 р. «Ємнісний сенсор для вимірювання повітряного зазору в гідрогенераторах» та поданою заявкою на винахід a202404557 від 20.09.2024 «Ємнісний сенсор для вимірювання повітряного зазору в гідрогенераторах».

Отримані нові результати сприяють вирішенню актуальної науково технічної задачі покращення метрологічних характеристик та розширення функціональних можливостей ємнісних сенсорів вимірювання повітряного проміжку між статором та ротором потужних гідрогенераторів в динамічних режимах роботи.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій та їх достовірність**

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих в дисертаційній роботі Рассовського В.Л. забезпечується аргументованою постановкою мети і задач дослідження, використанням сучасних методів дослідження, експериментальним підтвердженням теоретичних результатів на реальному обладнанні в процесі експлуатації.

Представлена дисертаційна робота є цілісною, логічно побудованою науковою працею, викладеною лаконічно і коректно з використанням сучасної наукової і інженерно-технічної термінології. Викладені в дисертаційній роботі наукові положення та висновки переконливі та обґрунтовані як з наукової, так і технічної точок зору. Назва дисертації відповідає її змісту.

**Повнота викладу результатів дослідження в наукових публікаціях.**

Основний зміст дисертації Рассовського В. Л. достатньо представлено у 15 наукових працях, з яких 5 опубліковано в наукових фахових виданнях та індексуються наукометричною базою SCOPUS.

Основні положення та наукові результати дисертаційної роботи висвітлювались на: Міжнародних науково-практичних конференціях «Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті» (Київ, Україна 2022, 2023); XIII International Scientific and Practical Conference. (Edmonton, Canada2023); 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES) (Kremenchuk, Ukraine 2023); International conference KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek-2023) (Kharkiv, Ukraine 2024); міжнародній науково-практичній конференції «Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІІРТК-2024)» (Київ, Україна, 2024).

Апробація результатів дисертаційної роботи є достатньою.

**Академічна доброчесність**

Очевидних ознак порушення автором академічної доброчесності, зокрема випадків оприлюднення, частково або повністю, наукових результатів, отриманих іншими особами, як результатів власного дослідження та/або

відтворення опублікованих текстів інших авторів без зазначення їх авторства, не виявлено.

**Зауваження щодо змісту та оформлення дисертаційної роботи**

1. У формулюванні мети роботи та потім у тексті дисертації використовується невдалий термін "методи реалізації" сенсорів, який асоціюється в переважній більшості випадків з процесами використання їх при серійному виробництві гідрогенераторів, технічному обслуговуванні, проведенні експериментальних досліджень, збуту продукції, тощо. В дисертаційному дослідженні розробляються принципи побудови нових сенсорів, удосконалення їх конструкції з урахуванням реальних умов експлуатації задля забезпечення підвищення точності вимірювання повітряного проміжку в капсульних гідрогенераторах.

2. В розділах наукової новизни, практичного значення, розділу 2 та висновках до нього зазначається, що розроблено ємнісний сенсор, який забезпечує підвищення точності вимірювання в 10 разів. Проте, згідно термінів та визначення понять в метрології (ДСТУ 2681-94. Метрологія. Терміни та визначення) точність вимірювання не має числового вираження, а є суто якісною характеристикою. Кількісною оцінкою точності вимірювання є похибка вимірювання та невизначеність вимірювання. Так як невизначеність вимірювання не аналізувалась, то в даному випадку можна наголошувати лише про похибку.

3. В розділі 3 для визначення впливу різних конструктивних факторів генератора на результати вимірювань повітряного проміжку сенсором використовується побудова скінченно-елементної математичної моделі вузла генератора з кількістю елементів близько 6 млн. Розв'язок матмоделі потребує рішення системи алгебраїчних рівнянь з порядком близько 5 млн. з сильно змінними коефіцієнтами із-за різниці значень діелектричної проникності металу та повітря. За цих умов результати моделювання будуть містити обчислювальну похибку, яка спотворюватиме кількісний вплив конструктивних факторів.

4. В четвертому розділі присутнє застосування термінів макетний та експериментальний зразок як еквівалентних понять. Доцільність визначення похибок вимірювань макетів сенсорів є дискусійною, так як вони позбавлені, зазвичай, функціональності представленого об'єкта.

5. Доцільність висвітлення отриманих кількісних показників в пункті наукової новизни дисертаційного дослідження є сумнівною. Також дискусійним є застосування терміну запропоновано, так як пропозиція не відображає процес наукового пізнання (дослідження, розроблення,

обгрунтування). Точка зору опонента стосовно формулювання наукової новизни отриманих результатів висвітлена у відповідному розділі даного відгуку.

6. Зауваження до оформлення роботи: викладення матеріалу загалом чітке та стилістично виважене, окрім зазначеного вище.

*Зазначені зауваження мають дискусійний, або рекомендаційний характер. Вони не є визначальними, не зменшують загальну наукову новизну і практичну значимість результатів, та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи в цілому.*

**Висновок**

Дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Рассовського Вадима Леонідовича на тему «Засоби контролю повітряного проміжку між ротором та статором в капсульних гідрогенераторах на базі ємнісних вимірювачів» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для метрології, інформаційно-вимірювальної техніки та гідроенергетики. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Рассовський Вадим Леонідович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації» за спеціальністю 175 «Інформаційно-вимірювальні технології».

Офіційний опонент,
завідувач відділу гідроенергетики
Інституту відновлюваної енергетики НАН України,
доктор технічних наук, професор Петро ВАСЬКО

Підпис професора Васька П.Ф. засвідчую.

Вчений секретар Інституту
відновлюваної енергетики НАН України,
доктор технічних наук, с.н.с. Таміла СУРЖИК

Інститут відновлюваної енергетики
Ідентифікаційний код 26476029