

ВІДГУК

офіційного опонента к.т.н., доцента кафедри електромеханіки факультету електроенерготехніки та автоматики Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" Цивінського Сергія Станіславовича на дисертаційну роботу Березниченко Вікторії Олександрівни за темою: «Ємнісні вимірювачі радіального биття циліндричних поверхонь валів потужних гідрогенераторів», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

1. Обґрунтування вибору теми дослідження.

Своєчасне виявлення дефектів у енергетичному обладнанні дозволяє значно підвищити надійність його роботи, знизити час простоїв і зменшити витрати, пов'язані з ремонтом. За високої ефективності контролю стає можливим перехід від ремонтів за розкладом до ремонтів згідно з фактичним станом генератора.

Основним способом визначення робочого стану потужного генеруючого обладнання є застосування систем контролю і діагностування, які дозволяють виявляти можливі несправності на ранніх стадіях їхнього виникнення, прогнозувати поведінку обладнання на певний час, вести архів стану обладнання в часі, видавати рекомендації щодо необхідних заходів (в тому числі ремонтних) для попередження позапланових та аварійних зупинок. Технічні вимоги до системи технічного діагностування з переліком вузлів, що контролюються, деталей чи елементів обладнання повинні включати перелік контрольованих параметрів. Потрібно враховувати, що задача вибору оптимального комплексу параметрів для контролю стану машини під час роботи досить складна. З одного боку, необхідно виявити якомога більшу кількість імовірних дефектів, а з іншого боку – вибрати найбільш ефективні методи контролю з багатьох, що застосовуються, керуючись економічно доцільними витратами.

Особливо гостро проблема контролю стану стоїть для генеруючого обладнання електростанцій України, для яких зношеність основного обладнання досить значна. Так, на сьогоднішня переважна більшість

обладнання електричних станцій виробила свій ресурс, в тому числі обладнання ГЕС і ГАЕС.

Основними відмінностями потужних гідрогенераторів від інших типів електричних машин, які визначають їхню надійність в процесі експлуатації і суттєво впливають на методику оцінки їхнього стану є: великий діаметр машини; малий зазор між статором та ротором і відповідно великі зусилля магнітного тяжіння; механічна нестійкість осердя статора.

Особливе місце в системах контролю та діагностування потужних гідрогенераторів займає вимірювання параметрів биття циліндричних поверхонь валів, що дає змогу визначити стан машини як механічної системи. Інформація з параметрів биття з використанням системи діагностування дозволяє розпізнати значну кількість дефектів машини та спрогнозувати їх розвиток. Так в вертикальному гідроагрегаті визначають наступні дефекти: механічний дисбаланс ротора гідрогенератора і робочого колеса турбіни; спотворення форм ротора і статора; гідравлічний дисбаланс робочого колеса турбіни; перекис і спотворенням лінії вала всього гідроагрегату тощо. Застосування в системах діагностування вимірювачів биття з більш високими метрологічними характеристиками та функціональними можливостями дозволяє покращити якість цих систем.

Для вимірювання параметрів радіального биття циліндричних поверхонь валів в сучасних системах контролю та діагностування гідрогенераторів використовують безконтактні вимірювачі переміщень, серед яких на сьогодні найбільш розповсюдженими є вимірювачі на базі струмовихрового методу, які забезпечують вимірювання з хорошими метрологічними характеристиками. Але їм притаманний недолік – залежність функції перетворення від характеристик матеріалу валу та його намагніченості, що викликає необхідність тарування. Ємнісні вимірювачі биття, які поки що використовуються в менших масштабах, не мають таких недоліків. Окрім того ємнісним сенсорам притаманна висока точність та розрізнявальна здатність, нечутливість до електромагнітних полів. Первинні перетворювачі вимірювачів можуть бути легко пристосовані до різноманітних типів гідрогенераторів. Але існуючим ємнісним вимірювачам биття притаманні незадовільна точність під час вимірювання великих амплітуд биття та складність вторинних вимірювальних перетворювачів.

З огляду на вищезазначене вважаю, що дана дисертаційна робота, яка присвячена вирішенню наукового завдання, а саме: створенню ємнісних вимірювачів радіального биття циліндричних поверхонь валів потужних

гідрогенераторів з підвищеними метрологічними характеристиками та покращеними функціональними можливостями, є важливою та актуальною.

2. Короткий аналіз основного змісту дисертації.

У вступі показана актуальність теми дисертації, обґрунтовано доцільність виконання даної роботи. Сформульовані мета, об'єкт, предмет та методи досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами. Визначені наукова новизна, практична значимість отриманих результатів, а також внесок автора та результати апробації роботи.

У першому розділі зроблено якісний аналітичний огляд приладів та систем, що застосовуються на даний час в світовій практиці для вимірювання биття валів потужних гідрогенераторів. Продемонстровано можливість визначення значної кількості дефектів, що виникають в електричних машинах за допомогою вимірювання биття поверхонь валів. На підставі вивчення недоліків та переваг різних методів безконтактного вимірювання параметрів биття валів показано перспективність ємнісного методу.

У другому розділі використовуючи комп'ютерне моделювання проведено дослідження ємнісних вимірювачів биття. Досліджено три типи ємнісних сенсорів з різними геометричними формами електродів, а саме сенсор з плоскопаралельними круглими електродами, сенсор з охоронним кільцевим електродом Кельвіна та сенсор з концентричними компланарними електродами. Для перелічених типів сенсорів створено математичні моделі, за допомогою яких визначено функції перетворення сенсорів. У якості інструменту моделювання автор обрав програмний пакет Comsol Multiphysics, що використовує метод кінцевих елементів.

У третьому розділі проведено дослідження вторинних вимірювальних перетворювачів ємнісних сенсорів биття. Продемонстровано, що забезпечення високої точності вимірювань та швидкодії можливе завдяки компенсаційно-мостовим вторинним вимірювальним перетворювачам з використанням аналогового або дискретного виходів. Показано, що для спрощення вимірювачів доцільно застосовувати інтегральні перетворювачі з високою роздільною здатністю.

У четвертому розділі проведено та описано результати експериментальних досліджень ємнісних сенсорів та вторинних вимірювальних перетворювачів. Наведено результати лабораторних випробувань макетних зразків запропонованих ємнісних сенсорів.

Проведено порівняння результатів, що отримані з математичних моделей ємнісних сенсорів, з даними експериментальних та лабораторних досліджень. Проаналізовано вплив температури та магнітного поля на вторинний вимірювальний перетворювач.

Висновки повністю висвітлюють отримані у роботі наукові та практичні результати.

У додатках до дисертації представлено акти впровадження результатів дисертаційної роботи та апробація результатів досліджень.

Вважаю, що результати, отримані у роботі є коректними і достатньо обґрунтованими, а достовірність отриманих результатів підтверджується їх узгодженням із теоретичними висновками, експериментами та чисельними розрахунками.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.

Аналіз поданої до захисту дисертації та публікацій дисертанта дозволяє зазначити, що рівень обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, є достатнім та підтверджується проведенням комплексних досліджень із застосуванням відомих теоретичних та експериментальних методів, узгодженням теоретичних розробок з результатами комп'ютерного моделювання та експериментальних досліджень, професійним вирішенням поставлених наукових завдань, що сприяло розкриттю теми та реалізації мети дослідження; логічно побудованою структурою дослідження; використанням широкого масиву теоретичних та аналітичних даних. Усі методи, що запропоновані в дисертаційній роботі, обґрунтовані і підтверджуються результатами комп'ютерного моделювання та експериментів. Результати досліджень, наукові положення і висновки дисертації пройшли ґрунтовну апробацію при обговоренні на науково-технічних конференціях і семінарах.

4. Наукова новизна отриманих результатів.

Виконана робота своїми результатами вносить вклад в розвиток ємнісного методу вимірювання відстаней до заземлених поверхонь. Уперше запропоновано новий ємнісний сенсор вимірювання радіального биття циліндричних поверхонь валів потужних гідрогенераторів з кільцевими компланарними концентричними електродами, який при застосуванні на гідрогенераторі є більш стабільним під час роботи в динамічному режимі за

рахунок того, що струм інформаційного електричного сигналу не проходить через підшипники і корпус машини, що в результаті підвищує точність і роздільну здатність вимірювання. Уперше з використанням програмного пакету Comsol розроблено комп'ютерні моделі трьох типів ємнісних сенсорів биття валів гідрогенераторів, застосування яких дає змогу оцінити вплив крайових ефектів на функції перетворення цих сенсорів і в результаті виробити рекомендації з оптимізації їхніх конструкцій. Уперше розроблено комп'ютерні моделі для визначення впливу технологічних похибок виготовлення трьох типів ємнісних сенсорів биття методом друкованих плат та їхнього монтажу на машині, що дає змогу оптимізувати технологію виготовлення і в результаті підвищити точність вимірювання.

5. Практичні результати роботи.

Практичне значення отриманих результатів полягає у створенні засобів вимірювання радіального биття циліндричних поверхонь валів потужних гідрогенераторів. Розроблено структурні схеми, виготовлено та експериментально перевірено макетні зразки ємнісних вимірювачів радіального биття.

Подальше використання теоретичних і практичних результатів дисертаційної роботи передбачено шляхом виготовлення експериментальних зразків вимірювачів радіального биття валів з різними типами ємнісних сенсорів для їх випробувань та впровадження на АТ "Українські енергетичні машини" (м. Харків) та ПрАТ «Укргідроенерго».

6. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових положень та результатів в опублікованих працях.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею, яка присвячена вирішенню важливого наукового завдання створення ємнісних вимірювачів радіального биття циліндричних поверхонь валів потужних гідрогенераторів з підвищеними метрологічними характеристиками та функціональними можливостями. Робота складається із вступу, 4 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 96 найменувань та 2 додатків. Зміст роботи викладено на 183 сторінках, з яких 157 містять основний текст, 91 рисунок та 37 таблиць.

Дисертацію оформлено відповідно до вимог, визначених Міністерством освіти і науки України. Дисертаційна робота має логічну

структуру. Стиль викладу матеріалів відповідає загально прийнятному і має високий науково-професійний рівень.

Основні висновки і рекомендації сформульовані із результатів, які наведено у розділах роботи, що свідчить про те, що ці результати отримані автором особисто.

Під час вивчення та аналізу дисертаційної роботи *випадків порушення академічної доброчесності виявлено не було.*

Наукові результати дисертації відображені в 11 наукових працях, з яких 3 опубліковано в наукових фахових виданнях, що індексуються наукометричною базою SCOPUS, а 8 – у фахових виданнях України.

Основні наукові положення, наукові результати та практичні розробки викладені в дисертації доповідались та обговорювались на науково-практичних конференціях різного рівня та наукових семінарах.

Вимоги щодо якості і кількості публікацій виконано.

7. Зауваження до дисертаційної роботи.

1. Одним із завдань роботи є покращення метрологічних характеристик приладів під час вимірювання великих амплітуд биття циліндричних поверхонь валів, тобто під час вимірювання вібрації відносно фундаменту машини (абсолютної вібрації). В той же час в роботі створено та досліджено ємнісні сенсори з діапазоном вимірювання до 2, 3 мм, тобто для вимірювання відносної вібрації. Створення та дослідження макетів ємнісних вимірювачів абсолютної вібрації (биття) на наш погляд було б доцільним.

2. В роботі не наведено практичні результати створення та дослідження макетів ємнісних вимірювачів з об'єднаними в один корпус сенсорами та вторинними перетворювачами на базі CDC (capacitance-to-digital converter). Такі прилади наряду з швидкодією дають змогу забезпечити дистанційність вимірювання.

3. Конструктивні елементи електричних машин, які працюють у вологій атмосфері і періодично зупиняються на тривалий час (особливо в холодну пору року) схильні до небезпеки конденсації вологи (Ламеко О.Л., Левицький А.С., Жук А.П та ін. Вимірювач точки роси повітряного охолоджувального середовища генератора-двигуна СВО 1225/255-40 УХЛ 4. Праці ІЕД НАНУ. Збірник наук. праць. Вип. № 40. 2015. С. 119–126.). Волога може в такому випадку попадати в проміжок між поверхнею валу і поверхнею ємнісного сенсора биття. Як в такому випадку буде забезпечуватись функціонування приладу.

4. У тексті дисертаційної роботи зустрічаються стилістичні та граматичні помилки.

Вказані зауваження не знижують загального позитивного враження від дисертаційного дослідження Березниченко Вікторії Олександрівни, яке має наукову і практичну значимість для впровадження нових методів і засобів вимірювання контрольних-діагностичних параметрів в системах діагностування потужних гідрогенераторів.

Загальний висновок про відповідність роботи встановленим вимогам.

Дисертаційна робота Березниченко В. О. на тему "Ємнісні вимірювачі радіального биття циліндричних поверхонь валів потужних гідрогенераторів", є завершеним, самостійним науковим дослідженням, яке має наукову новизну, теоретичне, наукове та практичне значення. За актуальністю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація повністю відповідає вимогам 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 № 44 від 12 січня 2022 року, а її авторка – **Березниченко Вікторія Олександрівна** – заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 "Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка" з галузі знань 15 "Автоматизація та приладобудування".

Офіційний опонент
доцент кафедри електромеханіки
КПІ ім. Ігоря Сікорського
к.т.н., доцент

Сергій ЦИВІНСЬКИЙ

підпис Цивінського С.С. засвідчую

Вчений секретар
КПІ ім. Ігоря Сікорського
к.т.н., доцент



Валерія ХОЛЯВКО