

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Закусила Сергія Анатолійовича "Розробка компонентів інформаційно-вимірювальних систем контролю обертових вузлів гідрогенераторів"**, яка подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 15 "Автоматизація та приладобудування" за спеціальністю 152 "Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка"

Актуальність дослідження.

Контроль технічного стану обертових вузлів гідрогенераторів є одним із ключових чинників забезпечення їх надійної та безпечної експлуатації. Важливим діагностичним параметром, що найбільш суттєво впливає на характеристики потужних гідрогенераторів, є повітряний проміжок між ротором і статором. Його величина та рівномірність розподілу по колу машини істотно визначають стабільність режимів роботи гідроагрегатів.

Відповідно до чинних нормативних документів, відхилення повітряного проміжку в діаметрально протилежних точках не повинні перевищувати встановлених допусків. Статичні вимірювання не забезпечують отримання повної та достовірної інформації про зміну цього параметра в умовах реальних експлуатаційних режимів. Можливість своєчасного виявлення нерівномірності повітряного проміжку та прихованих дефектів обертових вузлів у динаміці може бути забезпечена при застосуванні онлайн-контролю.

На сьогодні найбільшого поширення набули автоматизовані інформаційно-вимірювальні системи контролю, побудовані на основі емнісних сенсорів, вихідні сигнали яких залежать від величини повітряного проміжку. Однак складні електромагнітні завади, температурні впливи та зміна режимів роботи обмежують точність і завадостійкість таких вимірювань.

Забезпечення завадостійкості компонентів інформаційно-вимірювальних систем контролю обертових вузлів гідрогенераторів дозволяє підвищити ефективність систем технічної діагностики та обслуговування енергетичних об'єктів, достовірність оцінювання поточного технічного стану гідрогенераторів, зниження ризику аварійних відмов. Тому вважаю, що тема дисертаційної роботи Закусила С.А. є безумовно *важливою та актуальною*.

Актуальність роботи підтверджується використанням її результатів при виконанні в Інституті електродинаміки НАН України Держбюджетних НДР, затверджених Президією НАН України "Розширення функціональних можливостей та підвищення метрологічних характеристик засобів вимірювання в системах моніторингу і діагностування в електроенергетиці" (шифр "ПАРАМЕТР-Д", ДР № 0122U000136), "Створення спеціалізованих інформаційно-вимірювальних засобів для просторово-розподілених систем контролю в електроенергетиці" (шифр "ТОРЕЦЬ-2", ДР № 0122U000051), «Створення інформаційно-вимірювальних засобів моніторингу стану стрижнів обмотки статора в пазах осердя та впливу параметрів якості електроенергії на вібрацію валів потужних електричних машин» (шифр «СТРИЖЕНЬ», №ДР 0125U000044) та «Розроблення нових математичних моделей та методів дослідження електрофізичних процесів і полів в електротехнічному обладнанні для вирішення задач надійної експлуатації та діагностування» (шифр «Комплекс-5», №ДР 0121U107443)

В межах цих НДР автор виконав дослідження з удосконалення компонентів інформаційно-вимірювальних системи контролю обертових вузлів гідрогенераторів шляхом

комп'ютерного моделювання та фізичних випробувань, що дозволило отримати підвищені характеристики в порівнянні з існуючими аналогами.

Нові науково-обґрунтовані теоретичні та практичні результати проведених здобувачем досліджень полягають у наступному:

– вперше запропоновано структуру диференціального ємнісного сенсора повітряного проміжку, інваріантного до впливу робочого середовища генератора, завдяки застосуванню додаткового сенсора з електродами, геометрично подібними змінному конденсатору, що дозволило підвищити точність вимірювання повітряного проміжку;

– удосконалено структуру системи контролю обертових вузлів гідрогенераторів за рахунок застосування первинних вимірювальних перетворювачів, інваріантних до впливу робочого середовища генератора, та алгоритмів обробки їх інформативних сигналів, що дозволило забезпечити високий рівень інформаційної ефективності та стійкості до впливу параметрів внутрішнього середовища потужних гідрогенераторів

– розроблено програмно-алгоритмічне забезпечення для компонентів засобів отримання, обробки та відображення контрольно-діагностичної інформації в системах контролю обертових вузлів потужних гідрогенераторів;

– розроблено та виготовлено експериментальні компоненти (ємнісний сенсор та модуль збору і попередньої обробки даних) системи контролю обертових вузлів гідрогенераторів та проведено їх випробування.

Оцінка структури і змісту роботи, її завершеності та оформлення.

Дисертація Закусила С.А. є завершеною кваліфікаційною науковою працею. Вона складається із вступу, 4-х розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації, розкрито сутність і стан науково-технічної проблеми, що досліджується, обґрунтовано доцільність проведення досліджень, відображено зв'язок роботи з науковими програмами та планами НДР Інституту електродинаміки НАН України, сформульовано мету і завдання досліджень, наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача, наведено апробації роботи та публікації її результатів у наукових виданнях.

У *першому* розділі виконано огляд і узагальнено теоретичні і практичні аспекти контролю та діагностування обертових вузлів гідрогенераторів в процесі їх експлуатації. Визначено основні чинники, що впливають на формування контрольно-діагностичних сигналів, проаналізовано їх зв'язок із розвитком дефектів агрегату. Показано необхідність застосування спеціалізованих систем моніторингу, здатних працювати в реальному масштабі часу та забезпечувати інваріантність результатів до впливу внутрішнього середовища. Розглянуто сучасні технічні рішення та міжнародні нормативні вимоги до систем контролю гідроагрегатів. За результатами аналізу сформульовані напрями вдосконалення засобів вимірювання і діагностики, спрямованих на підвищення надійності експлуатації гідрогенераторів.

Другий розділ присвячений вдосконаленню структури і компонентів інформаційно-вимірювальної системи контролю обертових вузлів потужних гідрогенераторів, що передбачає

інтеграцію сенсорів, вимірювальних перетворювачів, засобів синхронізації, обробки та передавання даних. Розроблено інформаційно-вимірювальний канал повітряного проміжку, вдосконалено архітектуру засобів обміну інформацією між компонентами системи, наведено результати розробки інваріантних первинних вимірювальних перетворювачів до впливу параметрів внутрішнього середовища гідрогенераторів.

Третій розділ роботи присвячено розробці математичного апарату для опису та аналізу нестационарних сигналів сенсорів кінематичних характеристик обертових вузлів потужних гідрогенераторів, що формуються під впливом механічних, електромагнітних і гідродинамічних процесів. Запропоновано моделі сигналів ємнісних і магнітних сенсорів та методику реконструкції траєкторії центра ротора з побудовою годографів як інтегральних діагностичних ознак технічного стану.

У *четвертому* розділі представлено результати експериментальних досліджень реалізації та експериментальній перевірці компонентів інформаційно-вимірювальної системи контролю обертових вузлів потужних гідрогенераторів, які призначені для використання на капсульних гідрогенераторах типу SGK 538/160-70M.

Загалом дисертація оформлена належним чином у відповідності з Вимогами до оформлення дисертацій, затвердженими Наказом Міністерства освіти і науки України №759 від 31.05.2019 р.

Методи дослідження базуються на положеннях теоретичної електротехніки та теорії електричного поля, методах фізичного і математичного моделювання, теоретичних і експериментальних методах в області вимірювань фізичних величин..

Обґрунтованість та достовірність наукових положень дисертації підтверджується використанням загальноприйнятих методів досліджень, відсутністю протиріч між результатами розрахунків, кількістю і якістю експериментальних досліджень та натурних випробувань.

Публікації за темою дисертації. Основний зміст дисертаційної роботи Закусила С.А. та наукова новизна отриманих результатів досить повно висвітлені у 17 наукових працях, із них 4 індексуються наукометричною базою SCOPUS та 8 опубліковано в наукових фахових виданнях. В опублікованих працях здобувача повністю відображено сутність та зміст отриманих результатів дослідження та їхня наукова новизна. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

Основні положення і результати **дисертаційної роботи пройшли апробацію результатів** на восьми міжнародних науково-практичних конференціях. На конференціях результати дослідження отримали позитивну оцінку. З огляду на це апробація результатів дисертаційної роботи є достатньою.

Новизна технічних рішень підтверджується заявкою на патент України на винахід.

Відомості про дотримання академічної доброчесності. У дисертації та наукових публікаціях Закусила С.А. відсутні порушення академічної доброчесності. Елементів плагіату, фальсифікації чи фабрикації тексту в роботі не виявлено. Використані результати, ідеї і тексти інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

Зауваження до роботи:

1. В розділі 1 недостатньо детально описано, які саме параметри відомих систем діагностики не відповідають вимогам стандартів, і як саме треба розширити коло доступних діагностичних параметрів. Відсутня кількісна оцінка параметрів відомих систем і вимог до розроблюваної системи.
2. Невдале формулювання пункту 3 «висновків» до розділу 1, в ньому констатується очевидний факт:
«Показано, що вимірювання та оцінювання технічного стану гідроагрегатів мають здійснюватися з урахуванням міжнародних вимог до надійності й безпеки обладнання ГЕС і ГАЕС, визначених, зокрема, стандартом ISO 19283:2020, який регламентує принципи, методи та параметри моніторингу і діагностики гідроагрегатів у процесі експлуатації»
3. В п.2.4. розділу 2 недостатньо детально описано методику обробки результатів вимірювання змінної ємності сенсора для визначення повітряного проміжку між ротором і статором гідрогенератора.
4. Некоректні посилання на роботи [47] [115], [116].
5. Робота містить стилістичні та орфографічні помилки, а також одруківки в математичних виразах, зокрема, у виразі (2.8), стор.84.

Всі наведені недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації. Зауваження можуть бути предметом подальших досліджень автора.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим нормам. Дисертація Закусила С.А. є актуальною завершеною кваліфікаційною науковою працею, яка виконана здобувачем самостійно. Вона характеризується єдністю змісту, логічністю і лаконічністю викладення, має встановлену вимогами структуру і містить нові наукові положення, що мають значення задля підвищення достовірності оцінки поточного технічного і стану потужних гідрогенераторів і збільшення надійності експлуатації. Робота не містить плагіату, фальсифікації чи фабрикації тексту.

Вважаю, що дисертація Закусила С.А. відповідає науковій спеціальності «Автоматизація та приладобудування» за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка», вимогам 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, а її автор Закусило Сергій Анатольович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» з галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування».

Рецензент:
старший науковий співробітник
відділу електричних та магнітних вимірювань
Інституту електродинаміки
Національної академії наук України,
к.т.н., с.н.с.

*Гідлоє засвідчую
Вчений секретар
Інституту електродинаміки
НАН України
к.т.н., с.н.с.*



Павло БОРЦОВ

Марина ГУГОРОВА