

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Ареф'євої Марії Олександрівни

на тему «Методи підвищення вібростійкості та надійності гідрогенераторів
через вдосконалення конструкції елементів ротора та хрестовини за критерієм
власних частот»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 13 Механічна інженерія

за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка

Актуальність теми дисертації.

Одним із ключових факторів, що забезпечують надійність та довговічність експлуатації гідрогенераторів, є їхня вібростійкість, яка безпосередньо залежить від динамічної надійності опорної системи ротора, центральним елементом якої є опорно-напрямна хрестовина.

Для розглянутого агрегату великої потужності з хрестовиною мостового типу наявна проблема близькості значення першої власної частоти валопроводу з робочою частотою обертання. Це призводить до виникнення резонансних явищ, різкого зростання амплітуд коливань, погіршення умов роботи підшипників та прискореного розвитку пошкоджень у зварних і з'єднувальних зонах хрестовини. Проблема ускладнюється тим, що фактична жорсткість опори визначається не тільки геометрією елементів хрестовини, а й комплексом факторів: податливістю підшипникових вузлів і упорних домкратів, а також особливостями складання опорних вузлів й технологічними зазорами.

Саме тому виникає гостра науково-практична потреба в розробленні вдосконалених методів підвищення вібростійкості та надійності гідрогенераторів. Такі методи мають поєднувати попередню аналітичну оцінку жорсткості елементів та детальне тривимірне моделювання валопроводу для подальшого обґрунтованого вдосконалення конструкції хрестовини.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

У дисертаційній роботі вирішується важлива науково-технічна проблема, що полягає у розробці методів дослідження напружено-деформованого стану опорно-напрямною хрестовини гідрогенератора у тривимірній постановці та розробці підходів до підвищення її жорсткості, з метою уникнення резонансних явищ під час експлуатації.

Вирішення поставлених у дисертаційній роботі задач здійснювалось з використанням загальних положень теорії пружності, механіки суцільних середовищ та динаміки машин. В роботі застосовано методи дискретизації

розв'язувальних співвідношень на основі методу скінчених елементів та числові дослідження тривимірних моделей у програмному комплексі SolidWorks Simulation.

Узгодження отриманих результатів підтверджує адекватність запропонованих методів та результатів досліджень, що були отримані аналітичним шляхом та засобами твердотілого моделювання. Достовірність прийнятої дискретизації розрахункової моделі оцінена HSS-методом (Hot Spot Stress) у постановці лінійної поверхневої екстраполяції та методом дослідження збіжності розрахункової сітки.

Результати дисертаційної роботи використано на ТОВ «Харківський електро-машинобудівний завод» при проєктуванні нових та реконструкції існуючих двигунів та генераторів великої потужності. Окрім цього, результати роботи впроваджено у науково-методичний процес кафедри аерогідродинаміки Національного аерокосмічного університету "Харківський авіаційний інститут". Для вказаних вище фактів, наявні відповідні акти впровадження.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше створено новий метод розрахунку напружено-деформованого стану хрестовини гідрогенератора, що, на відміну від існуючих, дає змогу врахувати сили від дії короткого замикання, нерівномірність масової складової гідрогенератора з покроковим уточненням силових факторів, що відповідають критичним режимам навантажень.

2. Удосконалено існуючі інженерні методи розрахунку власних частот роторів гідрогенераторів у частині точного задання геометрії елементів конструкції та врахування еквівалентної податливості опор і упорних домкратів в тривимірній постановці з заданням теплових граничних умов I роду; отримано просторові картини вигинів конструкції у трьох площинах

3. Набув подальшого розвитку метод розрахунку податливості опорних та упорних вузлів гідрогенератора, що, на відміну від існуючих, дає змогу в тривимірній постановці оцінити внесок технологічної, геометричної та оливноплівкової складових.

Практичне значення отриманих результатів полягає в такому:

1. Запропоновано варіант модернізації хрестовини, що відрізняється від існуючої додатковими силовими поясами, які забезпечують необхідну жорсткість конструкції для гідрогенераторів великої потужності, необхідний запас міцності та вібростійкості згідно існуючих нормативних документів.

2. Розроблені методи дозволяють проєктувати хрестовини з оптимальними масо-габаритними показниками та заданою жорсткістю, зокрема із

застосуванням розпірних елементів (домкратів) для зменшення впливу моментів короткого замикання.

Наукові дослідження були виконані здобувачкою в Національному аерокосмічному університеті "Харківський авіаційний інститут" під керівництвом завідувача кафедри аерогідродинаміки, доктора технічних наук, доцента Третяка Олексія Володимировича. Робота проводилася відповідно до "Енергетичної стратегії України на період до 2035 р.", що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України № 605-р. від 18.08.2017 р., та "Енергетичної стратегії України на період до 2050 р.", що схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України № 373-р від 21 квітня 2023 р.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання щодо розробки методів дослідження напружено-деформованого стану опорно-напрямних вузлів гідрогенераторів виконано повністю, здобувачка повною мірою оволоділа методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувачка Арефьєвої Марії Олександрівни відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Авіаційна та ракетно-космічна техніка», про що свідчить висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Арефьєвої М. О., наданий кафедрою аерогідродинаміки Національного аерокосмічного університету "Харківський авіаційний інститут".

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувачки у науковий напрям оцінки вібраційної надійності та вдосконалення конструкцій опорних вузлів енергетичних машин.

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено. Використання в тексті результатів інших вчених супроводжується відповідними посиланнями, посилання на літературні джерела коректні. Усі результати, які винесено авторкою на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, що опубліковані у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою, логічно структурована та доступно викладена. Основний текст підготовлено якісною технічною

мовою, з використанням професійної термінології. Наукова робота достатньо забезпечена рисунками та таблицями.

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків та додатків. Список використаної літератури наводиться після вступу та кожного розділу.

У вступі дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми запропонованого дослідження, сформульовано мету та основні задачі, підкреслено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, вказано особистий внесок здобувачки та наведено апробацію результатів.

У першому розділі авторкою проведено системний огляд конструкцій хрестовин гідрогенераторів (мостового та променевого типів), проаналізовано їхні переваги та недоліки, а також спектр експлуатаційних навантажень (осьових, радіальних, тангенціальних). Сформульовано критерії нерезонансної роботи та проаналізовано сучасні підходи до оцінки вібраційного стану. За результатами огляду визначено ключові проблемні питання, зокрема відсутність уніфікованих процедур тривимірної оцінки жорсткості та неповну інтеграцію податливості підшипників у числові моделі.

Другий розділ присвячено розробленню аналітичної методики для визначення жорсткісних характеристик елементів хрестовини, враховуючи податливість підшипників і упорних домкратів. На прикладі діючого гідрогенератора-двигуна, з урахуванням результатів вібраційних випробувань проведених "Projektów Energetycznych Energoprojekt-Warszawa", аналітично підтверджено недостатню жорсткість існуючої мостової хрестовини, що призводить до зниження критичної частоти до рівня, близького до номінальної швидкості.

Третій розділ представляє результати тривимірного числового моделювання. Виконано розрахунок вібраційних характеристик існуючої конструкції, який підтвердив, що перша критична частота (9 Гц) практично збігається з робочою частотою (600 об/хв), що пояснює зафіксовані резонансні амплітуди. Далі, змодельовано варіант модернізації з переходом до променевої хрестовини та встановленням упорних домкратів. Розрахунок модернізованої конструкції підтвердив підвищення першої критичної частоти до 26 Гц, що забезпечує необхідний динамічний запас та усуває ризики резонансних явищ.

У четвертому розділі проведено верифікацію отриманих результатів числового моделювання. Для дослідження напружено-деформованого стану модернізованої хрестовини застосовано метод Hot Spot Stress (HSS) у постановці лінійної поверхневої екстраполяції. Проведено дослідження збіжності на послідовності розрахункових сіток. За результатами верифікації встановлено, що номінальні напруження у характерних сталевих елементах

модернізованої конструкції (полиці, ребра, опорний диск) не перевищують 30 МПа, що є допустимим.

Загальні висновки висвітлюють основні отримані наукові результати, а також містять рекомендації щодо їх практичного застосування.

У *додатках* наведено перелік наукових публікацій здобувачки за темою дисертації, акт впровадження результатів на ТОВ "Харківський електромашинобудівний завод", а також акт впровадження результатів роботи в науково-методичний процес кафедри аерогідродинаміки Національного аерокосмічного університету "Харківський авіаційний інститут".

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 10 наукових публікаціях здобувачки, серед яких: 7 статей у виданнях, що реферуються в базі даних Scopus, 1 тези доповіді на міжнародній конференції, 1 монографія та 1 патент на корисну модель.

Публікації Арефьєвої Марії Олександрівни мають високий науковий рівень, проходили рецензування та перевірку на унікальність згідно з умовами видавництва. Особистий внесок здобувачки до поданих наукових публікацій є вагомим. Публікації охоплюють усі основні результати дисертаційного дослідження.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувачки.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У Розділі 1 доцільно було б оглянути більшу кількість сучасних наукових публікацій, присвячених безпосередньо методам динамічного аналізу, оцінки НДС та підходам до розрахунку критичних частот опорних вузлів, що є ключовим фокусом теми дисертації.

2. З тексту дисертації незрозумілим є джерело походження даних що представлені на рис. 2.3, 2.4, 2.6.

3. При дослідженні модернізованої верхньої хрестовини гідрогенератора в розділі 3.2 не враховано наявності розгінного двигуна. Ця обставина потребує додаткового обґрунтування.

4. На рис. 3.8, 3.28 вказано, що підшипник в області турбіни є абсолютно жорстким. Цей факт потребує додаткового роз'яснення.

5. В розділі 3.1 відсутні результати розрахунку НДС базової конструкції хрестовини, які було б доцільно порівняти з аналогічними наявними даними для модернізованої конструкції.

6. В методах дослідження сказано, що «достовірність отриманих результатів підтверджена за рахунок співвіднесення значень напружень в критичних точках хрестовини методом Hot Spot Stress (HSS)». Метод HSS, як він представлений у розділі 4, насамперед є інструментом підтвердження адекватності розрахункової сітки. Достовірність результатів слід оцінювати порівнянням з експериментальними даними, або результатами інших авторів.

Важливо відмітити, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувачки ступеня доктора філософії Ареф'євої Марії Олександрівни на тему «Методи підвищення вібростійкості та надійності гідрогенераторів через вдосконалення конструкції елементів ротора та хрестовини за критерієм власних частот» 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 галузі знань 13 Механічна інженерія. 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.

Здобувачка Ареф'єва Марія Олександрівна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

Офіційний опонент:

в. о. зав. кафедри теплової та
альтернативної енергетики
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
кандидат техн. наук, доцент

Віталій ПЕШКО