

У спеціалізовану вчену раду
К 55.051.03 при
Сумському державному
університеті

ВІДГУК

офіційного опонента кандидата технічних наук **Гадяки Володимира Григоровича** на дисертаційну роботу **Яценка Андрія Сергійовича** «Підвищення вібронадійності відцентрових насосів АЕС на основі створення достовірних математичних моделей динамічної системи ротор-корпус», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.09 - динаміка та міцність машин

Актуальність теми та її відповідність планам наукових досліджень

Відцентрові насосні агрегати (ВНА) широко використовуються в багатьох галузях промисловості та на АЕС. Відлаштування вже на стадії проектування власних та критичних частот коливань ВНА від резонансних режимів є одним із основних чинників їх подальшої надійної і безаварійної роботи в умовах експлуатації.

Як правило, при проектуванні ВНА основну увагу приділяють визначенню критичних частот згинних коливань, розрахунку вимушених коливань та меж стійкості їх роторів з урахуванням впливу динамічних коефіцієнтів опорних підшипників та шпаринних ущільнень. Також розглядаються вільні коливання окремих елементів ВНА (корпусів підшипників, ліхтаря, рами)

Розгляд спільних коливань системи «ротор-корпус» з моделюванням гідродинамічних та пружних зв'язків між ними дозволяє визначати частоти та форми коливань з мінімальною похибкою і уникнути можливих резонансних режимів роботи.

Отже, у дисертації розв'язується актуальне з наукової і технічної точок зору завдання зменшення вібрацій та підвищення вібраційної надійності відцентрових насосів АЕС відлаштуванням їх власних частот коливань від резонансних режимів роботи.

Робота відповідає планам науково-дослідних робіт АТ «ВНДІАЕН» «Розробка методики розрахунку власних частот крутильних та згинно-крутильних коливань валопроводів електронасосних агрегатів, в т.ч. і високооберткових», договір № 5964, держреєстрація № 0112U003121, та договір № 6174, «Дослідження динамічних характеристик насосних агрегатів».

Оцінка структури, обсягу та змісту роботи

Дисертаційна робота Ященка А.С. містить 152 сторінки друкованого тексту і складається з анотації, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел, що включає 123 найменування на 13 сторінках, містить 65 рисунків, 16 таблиць та 3 додатки на 7 сторінках. Обсяг основного тексту – 131 сторінка, що відповідає вимогам до кандидатських робіт.

У **вступі** розкрита актуальність теми дисертаційної роботи, показано суть і сучасний стан проблеми, що розглядається, дано обґрунтування роботи, наукової новизни і практичного значення роботи, сформульовано мету дослідження, вказано апробацію результатів досліджень, особистий внесок Ященка А.С. у роботі зі співавторами.

У **першому розділі** проведено огляд літератури з особливостей конструкції ВНА. Розглянуто основні джерела збуджень вібрації та динамічні сили, що викликають різні просторові коливання валопроводу і корпусу відцентрового насоса. Описані відомі заходи по зниженню величини збуджуючих сил або їх усуненню. Проведено детальний аналіз методів розрахунку динамічних коефіцієнтів шпаринних ущільнень, опорних підшипників ковзання і кочення. Вибрана методика обчислення коефіцієнтів жорсткості і демпфування для короткої шпарини. Обґрунтована актуальність досліджень, сформульовані мета та задачі досліджень. Обрані теоретичні, експериментальні і комп'ютерні методи досліджень. Визначені основні етапи реалізації поставленої науково-практичної задачі.

В **другому розділі** представлені основні методи розрахунку динамічних характеристик (ДХ) підсистем та системи ВНА в цілому. Для врахування податливості корпусів підшипників використовуються 3D моделі в програмному комплексі (ПК) «Ansys Workbench». Згинно-крутильні коливання валопровода досліджуються за допомогою розробленої автором спеціалізованої програми, що реалізує метод початкових параметрів. Представлена розрахункова модель ротора горизонтального насоса. Для аналізу ДХ ротора визначені коефіцієнти жорсткості та демпфування підшипників ковзання та шпаринних ущільнень, отримана еквівалентна жорсткість корпусу підшипника. Проаналізовано вплив податливості корпусів підшипникових опор на значення перших трьох власних частот коливань ротора.

В **третьому розділі** для двохкорпусного живильного ВНА виконані розрахунки власних частот динамічної неконсервативної системи «Живильний ВНА – віброплатформа». Проведено розрахунки окремих

підсистем конструкції горизонтального ВНА. Виконаний аналіз стійкості ротора насоса на основі аналізу логарифмічного декременту коливань для перших трьох власних частот при середніх зазорах в шпаринних ущільненнях. Представлено порівняльний аналіз відмінності частот як системи в цілому, з частотами коливань окремих підсистем. Представлені значення власних частот ВНА, що отримані експериментально за допомогою імпульсного збудження, а також виконано їх порівняльний аналіз з результатами, одержаними розрахунковим шляхом. Описаний узагальнений алгоритм побудови розрахункової моделі ВНА в «Ansys Workbench».

У **четвертому розділі** з використанням алгоритму, представленого в третьому розділі, проведений аналіз ДХ вертикальних ВНА. Встановлена залежність нижчих власних частот коливань ротора насоса від кількості ступенів його проточної частини, жорсткості внутрішнього корпусу та податливості кріплення насоса до фундаменту.

У **п'ятому розділі** наведені конструктивні та технологічні методи відлаштування власних частот коливань різних типів ВНА від резонансних режимів. Приведені приклади істотного зниження вібрації насосних агрегатів в умовах експлуатації за рахунок зміни жорсткості рам, корпусів та ліхтаря вертикального насоса.

Висновки по роботі підсумовують результати дослідження. Вони у логічному порядку показують реалізацію поставлених задач.

В цілому, по роботі слід відмітити всебічність і різноплановість проведених досліджень. Обрані автором методи досліджень виконують свою необхідну функцію при розв'язанні поставлених задач.

В **додатках** представлені акти впровадження результатів дисертаційної роботи, список публікацій за темою дисертації, основні технічні характеристики віброаналізатора.

Наукова новизна результатів, отриманих в дисертаційній роботі

- для динамічних розрахунків відцентрових насосів розроблено методику поєднання програм різного рівня деталізації (3D та балочні моделі), що дають можливість отримання достовірних даних розрахунку вільних і вимушених коливань насосних агрегатів в цілому, та їх підсистеми «ротор – корпус підшипника»;
- вперше отримано залежність впливу податливості корпусів підшипників на динамічні характеристики ротора живильного насоса;
- вперше визначено залежність власних частот живильного насоса від податливості рами та фундаменту на основі розробленої методики побудови математичної моделі горизонтального насосного агрегата;

– вперше отримано залежність впливу податливості кріплення на динамічні характеристики вертикального насосного агрегату, в тому числі при зміні ступінчастості ротора.

Практичне значення результатів роботи

Найбільший інтерес для виробництва представляють:

- аналіз динамічних характеристик конструкцій горизонтального та вертикального насосних агрегатів з урахуванням податливості корпусу, рами і фундаменту;
- методика побудови математичних моделей горизонтальних і вертикальних насосних агрегатів у програмному комплексі «Ansys Workbench»;
- методи зниження вібрації насосів шляхом зміни жорсткості окремих його елементів.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій

Обґрунтованість і достовірність результатів роботи забезпечені: коректністю поставлених задач і прийнятих припущень при розробці математичних моделей; використанням методів початкових параметрів та скінченних елементів, використанням ліцензованого програмного комплексу «Ansys Workbench». Результати розрахунків на ПК підтверджуються експериментальними даними, що отримані методом імпульсного збудження коливань конструкцій ВНА в умовах експлуатації.

Повнота викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях

Основні наукові положення та результати дисертаційної роботи опубліковані в 13 друкованих роботах, з них: 7 – в фахових виданнях України, з них 1 входить до міжнародної науково-метричної бази SCOPUS, 1 – в іноземному виданні, що входить до міжнародної науково-метричної бази SCOPUS, 1 стаття в складі збірника, 1 стаття в складі монографії, 3 тези доповідей на науково-технічних конференціях.

Зауваження щодо змісту дисертаційної роботи:

1. Відомі залежності для одномасової моделі ротора відцентрового насоса доцільніше було привести в першому розділі дисертації.

2. Не зрозуміло, в яких випадках при розрахунку крутильних коливань валопроводів насосних агрегатів використовуються залежності 2.17 для врахування шарніру відносно осі обертання.
3. В роботі доцільно було виконати порівняльний аналіз впливу на значення критичних частот ротора не тільки корпусу і рами, а й вплив динамічних коефіцієнтів в шпаринних ущільненнях при різних зазорах в ущільненні (номінальні, подвоєні, і т.і.).
4. Еквівалентну жорсткість системи «корпус підшипника – мастильна плівка» (залежність 2.25) точніше моделювати динамічною жорсткістю, як пружно-масову опору.
5. З дисертації та автореферату незрозуміло, яким чином експериментально визначена належність частот, представлених в таблиці 3.2 (таблиця 3 автореферату) до окремих підсистем насосного агрегату.
6. Вислів «конструкція внутрішнього корпусу насоса теж жорстка» є невдалим, при аналізі розташування його власних частот коливань відносно робочих частот обертання.
7. Сторінка 110, п. 4.6.6. Недостатньо чітко сформульовано, за рахунок яких факторів «зміна ступінчастості насоса має вплив на першу власну частоту».

Зауваження до оформлення автореферату:

1. В тексті автореферату не наведено значення частоти обертання ротора вертикального насоса, що ускладнює аналіз результатів розрахунку власних частот, приведених в таблиці 4.
2. З тексту автореферату незрозуміле поняття «сухі» власні частоти коливань.
3. Не зрозуміла методика визначення діапазонів «Резонанс 1, Резонанс 2, Резонанс 3», представлених на рис.4 автореферату.
4. Невдалий вислів на сторінці 5 «...такі агрегати не завжди можна вважати жорсткими конструкціями, позаяк частота обертання її роторів може сягати до 90, 150 і вище Гц».

Зауваження, зроблені до дисертації та автореферату свідчать про багатогранність теми дисертації, мають здебільшого рекомендаційний характер і не зменшують наукової новизни, практичного значення, достовірності і обґрунтованості результатів, що виносяться дисертантом на захист.

Таким чином дисертаційна робота заслуговує позитивної оцінки.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Яценка Андрія Сергійовича «Підвищення вібронадійності відцентрових насосів АЕС на основі створення достовірних математичних моделей динамічної системи ротор-корпус» є закінченою роботою, в якій вирішене актуальне науково-практичне завдання по забезпеченню вібраційної надійності насосного обладнання АЕС, завдяки створенню достовірних математичних моделей динамічних систем різних конструкцій ВНА.

Дисертаційний рукопис характеризується логічною внутрішньою структурою від постановки задач до заключних висновків, викладений зрозумілою технічною мовою. Достовірність та обґрунтованість висновків і рекомендацій, наукова та практична цінність дослідження свідчать про достатню кваліфікацію автора.

Зміст автореферату повністю відповідає змісту роботи та є ідентичним основним її положенням. Тексти дисертації та автореферату викладені на належному науковому рівні, їх оформлення здійснено згідно відповідних вимог. Загальні висновки дисертаційної роботи повністю відповідають меті проведеного в ній дослідження.

Дисертаційна робота відповідає вимогам п. 11 «Порядку присудження наукових ступенів...» МОН України що стосується кандидатських дисертацій, а також паспорту спеціальності 05.02.09 – «Динаміка та міцність машин». На основі вищенаведеного вважаю, що автор дисертаційної роботи Яценко А.С. є кваліфікованим фахівцем і заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.09 – «Динаміка та міцність машин».

Офіційний опонент:

Технічний директор
ТОВ «Екогазінжиніринг»,
кандидат технічних наук

В.Г. Гадзяка

Підпис к.т.н., технічного директора Гадзяки В.Г. засвідчую:

Директор ТОВ «Екогазінжиніринг»



 О.М. Шевченко