

На правах рукопису

Савченко Євген Миколайович

**РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ
ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ
ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ АЕС**

Спеціальність 05.04.13 - Гідралічні машини та
гідропневмоагрегати

Автореферат дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Суми 1995



00778330 (S)

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі загальної механіки та динаміки машин Сумського державного університету

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор
Марцинковський Володимир Альбінович

Науковий консультант - кандидат технічних наук, доцент
Нагорний В'ячеслав Михайлович

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор
Анілович Веніамін Якович

- кандидат технічних наук
Петров Володимир Вікторович.

Провідна організація - Орендне підприємство ВНДІАЕН,
м. Суми

Захист відбудеться " 21 " вересня 1995 р. о 14⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої ради К22.01.02 у Сумському державному університеті (244007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Сумського державного університету (м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2).

Автореферат розісланий " 15 " серпня 1995 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.Г.Неня

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

Загальна характеристика роботи, актуальність та ступінь дослідженості теми

Атомні електростанції займають особливе місце в промисловому комплексі країни. До їх обладнання, значний процент якого припадає на насоси різних типів, висуваються особливо жорсткі вимоги по надійності. Діюча система планово-попереджувальних ремонтів (ППР) передбачає ремонтне обслуговування у відповідності до наперед визначеного графіку, що призводить, з одного боку, до недовикористання ресурсу насосних агрегатів при проведенні ще непотрібних за їх технічним станом ремонтів, а з іншого, не дає гарантії їх безаварійної роботи в міжремонтний період. Один з дійових напрямків вирішення цієї проблеми полягає в широкому застосуванні методів та засобів технічної діагностики, що дозволить перейти на якісно новий рівень промислової експлуатації обладнання, який дає значну економію матеріальних та людських ресурсів, а саме - за його фактичним технічним станом.

Таким чином, створення ефективних систем діагностики та впровадження їх у промисловість - досить актуальна і злободенна задача. На її вирішення і була спрямована дана робота, яка виконувалась у рамках державної науково-технічної програми "Проблеми екологічної безпеки України", затвердженої в 1992 р. ДКНТ України на період до 1995 року. Сумський держуніверситет є співвиконавцем даної програми по розділу "Безпека і підвищення ресурсу обладнання АЕС", виконуючи роботи по проекту "Розробка універсальної методології та відповідних технічних засобів, що забезпечують ефективне діагностування технічного стану широкої номенклатури насосного обладнання АЕС, з метою підвищення його надійності і ресурсу". Пошукувач є відповідальним виконавцем даного проекту.

В основу даної роботи покладено узагальнений досвід обслуговуючого персоналу, накопичений в процесі багаторічної експлуатації різних за конструкцією та призначенням насосних агрегатів на атомних і теплових електростанціях України та бувшого СРСР, а також знання та досвід, здобуті в процесі вібраційних обстежень та доводки різних насосних агрегатів спеціалістами ВНДІАЕН та Сумського держуніверситету.

Мета роботи:

Розробка універсальної методології, що забезпечує спільний підхід до діагностування різних за конструкцією відцентрових насосів АЕС, та створення технічних засобів для її реалізації.

Для досягнення мети в роботі розв'язано такі задачі:

- досліджено характер вібрації та визначено її спектральні характеристики для ряду типових конструкцій відцентрових насосів при наявності та відсутності в них різних дефектів;

- істотно підвищено інформативність відомих діагностичних ознак завдяки врахуванню динаміки їх розвитку, за допомогою введених для їх опису універсальних параметрів;

- формалізовано процедуру прийняття рішення за рахунок використання класифікуючої функції, що дозволяє давати кількісну оцінку технічному стану насоса;

- проведено класифікацію технічних станів насоса, що розглядаються при діагностуванні як еталонні;

- запропоновано методологію діагностування та прогнозування розвитку в часі як технічного стану насоса в цілому, так і його окремих дефектів, розроблено алгоритм її реалізації;

- розроблено та випробувано експериментальний зразок системи, в якій з використанням принципів побудови експертних систем реалізовано запропоновану методологію діагностування;

- розроблено і виготовлено експериментальний зразок портативного діагностичного приладу, що реалізує запропонований алгоритм і забезпечує оперативну діагностику технічного стану відцентрових насосів.

Теоретична та практична цінність результатів роботи.

1. У вигляді універсальної методології розроблено спільний підхід до діагностування різних за конструкцією та функціональним призначенням відцентрових насосів АЕС, що дозволяє підвищувати їх надійність та ресурс завдяки своєчасному виявленню несправностей та прогнозуванню їх подальшого розвитку.

2. Запропоновано методологію діагностування, придатну для широкого застосування в практиці експлуатації насосного обладнання в умовах АЕС, оскільки вона оперує досить простими і зрозумілими для обслуговуючого персоналу діагностичними ознаками і максимально формалізує процес прийняття рішення при постановці діагнозу, ризикуючи тим самим людину-оператора.

3. Розроблено і виготовлено експериментальний зразок портативного діагностичного приладу, що дозволяє здійснювати ефективно оперативну діагностику технічного стану значного парку відцентрових насосів без створення стаціонарних систем діагностування, використання яких виправдане лише при обслуговуванні особливо відповідальних машин.

Наукова новизна роботи

1. Запропоновано шлях підвищення інформативності відомих діагностичних ознак за рахунок використання для їх опису параметрів, що дозволяють враховувати динаміку їх розвитку.

2. Розроблено універсальну методологію поетапного багаторівневого діагностування різноманітних за конструкцією та функціональним призначенням відцентрових насосних агрегатів, яку можна застосовувати для діагностування будь-яких роторних машин.

3. Розроблено на базі ПЕОМ автоматизовану систему, яка, використовуючи принципи побудови експертних систем, реалізує запропоновану методологію діагностування і дозволяє звести до мінімуму участь людини-оператора в процесі збору і аналізу діагностичної інформації, а також в прийнятті рішення при постановці діагнозу і при прогнозуванні розвитку в часі технічного стану діагностованого насоса.

4. Створено експериментальний зразок такого, що не має аналогів портативного аналого-цифрового діагностичного приладу, який забезпечує оперативну діагностику технічного стану відцентрових насосів на основі запропонованої методології.

Рівень реалізації та впровадження результатів роботи.

1. На Ігналінській АЕС у 1989 р. в процесі виконання договору "Розробка апаратно-програмних засобів для експериментально-діагностичної системи обладнання".

2. У ВНДІАЕН у 1990-1991 р. в процесі виконання договору "Розробка експериментальної системи вібраційної діагностики спеціального насосного обладнання АЕС".

3. На Запорізькій АЕС в 1990-1994 р. у вигляді програмного забезпечення, яке знаходиться в дослідній експлуатації в складі системи діагностування головних циркуляційних насосів.

Апробація та публікації результатів роботи.

Основні результати роботи автор доповідав:

- на VIII науково-технічній конференції "Створення компресорних машин і установок, що забезпечують інтенсивний розвиток галузей паливно-енергетичного комплексу", м.Суми, 1989р.;

- на VI науково-технічній конференції "Ущільнення і вібраційна надійність відцентрових машин, м.Суми, 1991 р.;

- на VII науково-технічній конференції "Герметичність і віброннадійність насосів і компресорів", м.Суми, 1993 р.;

- на 2-му Міжнародному симпозіумі українських інженерів-механіків, м. Львів, 1995 р.

Основні результати роботи відображені в 19 публікаціях, з яких: 2 - статті в науково-технічних журналах, 3 - авторські свідчення на винаходи, 14 - доповіді та тези доповідей у збірниках матеріалів різних науково-технічних конференцій.

Декларація особистого внеску дисертанта

в розробку наукових результатів, що виносяться на захист

1. Підготовка та проведення експериментальних досліджень вібраційного стану різних за конструкцією та призначенням насосних агрегатів на стендах в лабораторії СумДУ, на стендах ВНДІАЕН і в умовах експлуатації на АЕС.

2. Обробка, аналіз та узагальнення результатів досліджень.

3. Створення вимірювальної системи на основі ПЕОМ для проведення досліджень насосних агрегатів на стенді в лабораторії.

4. Розробка основних положень універсальної методології діагностування і прогнозування подальшого розвитку технічного стану відцентрових насосів.

5. Розробка програмного забезпечення ПЕОМ для аналізу вібраційного стану насосних агрегатів і реалізації запропонованої методології їх діагностування.

6. Створення експериментального зразка портативного діагностичного приладу, що містить в своєму складі вбудовану мікро-ЕОМ і дозволяє реалізувати запропоновану методологію діагностування (в частині розробки конструкції, структурної схеми, принципу дії, а також окремих елементів принципової схеми приладу).

Структура та обсяг дисертації.

Робота складається з вступу, чотирьох глав, закінчення, списку літератури з 88 найменувань, 2 додатки, викладена на 177 сторінках, містить 28 малюнків і 15 таблиць.

Зміст роботи

У вступі обґрунтовується актуальність теми та сформульовані основні положення, що захищаються в дисертаційній роботі.

У першій главі зазначається, що саме вібродіагностика є найбільш прийнятною і ефективною для оцінки технічного стану роторних машин, якими є відцентрові насоси. Виконано огляд методологічних підходів, що використовуються при побудові систем вібродіагностики. Відмічається, що від вибору діагностичних ознак

залежить ефективність діагностики в цілому, і йому повинна приділятися основна увага.

Розглянуто існуючі методи розпізнавання поточного стану об'єкта діагностування і зазначено, що сама процедура розпізнавання істотно полегшується використанням класифікуючих функцій, які спрощують прийняття рішення, його формалізацію та переклад на мову ЕОМ.

Огляд літератури показав, що відомі системи діагностики видають тільки вихідну для постановки діагнозу інформацію, залишаючи функцію прийняття рішення за людиною. Пропозиції ж по вдосконаленню таких систем найчастіше спрямовані на використання надміру ускладнених діагностичних ознак, що утруднює їх широке застосування. Перспективи в діагностиці пов'язуються з використанням експертних систем.

В главі також розглядається питання прогнозування залишкового ресурсу машини, оскільки діагностування повинно закінчуватися прогнозом зміни у часі технічного стану машини до моменту виходу її в критичний стан.

Д р у г а г л а в а присвячена розробці універсальної методології діагностування різноманітних за конструкцією та функціональним призначенням відцентрових насосних агрегатів.

Відмічається, що на практиці у більшості випадків достатньо знати загальну оцінку технічного стану агрегату та основні тенденції його змін, щоб мати можливість прогнозувати подальший розвиток ситуації і планувати зупинку агрегату на ремонт. Більш детальна інформація про дефект, тобто локальна діагностика, необхідна для найбільш відповідальних машин, а тим більше при експлуатації їх у шкідливих для людини умовах, пов'язаних, наприклад, з наявністю радіації, коли виникає необхідність виконання ремонтно-відновлювальних робіт у мінімальні строки.

Автором пропонується метод поетапного діагностування, який дозволяє зміною її глибини переходити від загальної діагностики до локальної, що забезпечує інваріантність методу по відношенню до типу насоса, особливостей його експлуатації і відповідальності виконуваних з його допомогою технологічних операцій.

Розглянуто відцентровий насос як об'єкт діагностування і побудовано його діагностичну модель. Зроблено огляд існуючого насосного обладнання АЕС і його класифікація. Виконано також аналіз особливостей вібраційного стану різних за конструкцією та призначенням відцентрових насосів і приведено результати

досліджень їх вібраційних характеристик.

Відмічається, що задачу розробки достатньо простої, але в той же час ефективної методології діагностування, можна розв'язати шляхом підвищення інформативності вже відомих діагностичних ознак. З цією метою для їх опису вводяться параметри, що дозволяють враховувати поведінку діагностичних ознак в часі. Для досягнення універсальності параметрів і розповсюдження їх застосовуваності для діагностування інших зразків і навіть типів машин всі вони є відносними, тобто приведені до безрозмірного вигляду. Одночасно передбачається більш повне врахування фізичної природи самих ознак, для підвищення їх чутливості (наприклад, врахування не тільки амплітуди, але і фази гармонік).

Перший додатковий параметр - відносна величина параметра a діагностичної ознаки, що характеризує ступінь його критичності відносно граничного (критичного) значення $A_{кр}$, яке задається в нормативній документації чи встановлюється на основі наявного досвіду експлуатації:

$$A = \frac{a}{A_{кр}}. \quad (1)$$

Другий - відносний ступінь зміни параметра a діагностичної ознаки, що характеризує ступінь його відмінності від значення A_0 , зафіксованого при початковому (вихідному), завідома справному стані машини:

$$B = \frac{a - A_0}{A_0}. \quad (2)$$

Третій - відносна швидкість зміни параметра діагностичної ознаки, що характеризує швидкість його зміни з плином часу в порівнянні з опорною, тобто такою швидкістю, при якій параметр досяг би свого критичного значення на заданий моменту часу, наприклад, на початок ППР:

$$C = \frac{B / (T - T_0)}{B_{кр} / (T_{нпр} - T_0)}. \quad (3)$$

де T і T_0 - час наробітку на момент проведення відповідно поточного та початкового діагностування, $T_{нпр}$ - час до ППР, $B_{кр} = (A_{кр} - A_0) / A_0$ - відносна зміна параметра, яка відповідає досягненню ним критичної величини.

Використовуючи ці параметри стосовно загального рівня вібрації і враховуючи його нормативні значення, можна робити висновок про ступінь критичності технічного стану насоса в цілому,

з точки зору офіційної нормативно-технічної документації.

Використання таких параметрів стосовно інформаційних гармонік дозволяє в динаміці оцінювати ступінь та швидкість зміни відповідного дефекту, а застосування їх до інших діагностичних ознак, які можуть бути засновані не тільки на вібраційних, але і на будь-яких інших фізичних параметрах (тиск, температура та ін.), можна збільшувати глибину діагностування несправностей і розширювати їх перелік.

Допустимі границі зміни параметрів (норми), їх якісні характеристики та відповідні класи технічних станів машини приведені в таблиці.

Параметр	Класи технічних станів			
	Справний	Працездатний	Потребує огляду	Потребує ремонту
А	0 ... 0.2	0.2 ... 0.5	0.5 ... 1.0	> 1.0
	Добре	Задовільно	Потрібне поліпшення	Неприпустимо
В	0 ... 0.2	0.2 ... 0.5	0.5 ... 1.0	> 1.0
	Змін нема	Зміни незначні	Зміни помірні	Зміни значні
С	0 ... 1.0	1.0 ... 1.2	1.2 ... 1.5	> 1.5
	Швидкість змін повільна	Швидкість змін помірна	Швидкість змін значна	Швидкість змін велика

Вони являють собою так звану "шкалу бажаності", яка встановлює відповідність між параметрами фізичними та психологічними, якими звично оперувати людині. Дані норми є орієнтовними і можуть уточнюватись в процесі адаптації системи до того чи іншого типу машини та конкретних умов її експлуатації.

Відносно вибору критичних рівнів, то на думку ряду авторів, про істотні зміни, що сталися в технічному стані об'єкта, і які характеризуються яким-небудь параметром, свідчить дворазове перевищення даним параметром свого початкового значення. Дана величина й приймається як вихідна з наступним її уточненням.

Процедура розпізнавання поточного технічного стану машини, тобто віднесення його до одного з чотирьох класів: справний, працездатний, частково непрацездатний (потребує огляду) і непрацездатний (потребує ремонту), в роботі формалізована за рахунок використання класифікуючої функції типу

$$F = \sum_{i=1}^n (a_i A_i + b_i B_i + c_i C_i). \quad (4)$$

Параметри A_i , B_i і C_i відповідних діагностичних ознак ($i = 1, 2, \dots, n$) є її аргументами і входять до неї в вигляді доданків з відповідними ваговими коефіцієнтами a_i , b_i , c_i , які є спільними для однотипних машин і уточнюються при адаптації (навчанні) системи до другого типу машини.

Прогнозування, як невід'ємна і заключна частина діагностування, здійснюється за допомогою виконуваної методом найменших квадратів апроксимації значень діагностичних параметрів, визначених при вихідному (початковому), поточному та попередньому актах діагностування. Як апроксимуюча крива використовується степенева функція, показник якої постійно уточнюється в процесі діагностування і може змінюватися в межах від 1 до 2. Екстраполяція апроксимуючої кривої до рівня, що відповідає критичному значенню параметра даної діагностичної ознаки, дає точку перетину, абсциса якої відповідає наробітку насоса на момент досягнення відповідним дефектом гранично допустимого значення. Аналогічно прогнозуються зміни класифікуючої функції, що дозволяє оцінювати подальші зміни технічного стану насоса в цілому.

Зазначається, що запропонований метод оцінки технічного стану машини наслідуює принцип, використовуваний в експертних системах: завдяки оперуванню якісними поняттями і використанню якісних характеристик для опису процесів, що відбуваються в машині, моделюється логіка міркувань спеціалістів-експертів в процесі прийняття ними рішень в подібних ситуаціях. Універсальність такого принципу дозволяє гнучко підходити до глибини діагностування різних машин, змінюючи її в конкретних умовах експлуатації.

У третій главі розглядаються практичні аспекти побудови системи діагностики, яка реалізує запропоновану методологію, а також результати випробувань експериментального зразка такої системи.

Алгоритм функціонування системи діагностування складається з п'яти основних частин: вимірювальної, аналізуючої, розрахункової, логічної, резюмуючої.

Спочатку робиться запит про наробіток насоса та про нормативні параметри. Ці дані вводяться оператором з клавіатури. Отримання параметрів його вібраційного стану та інформації про режим забезпечується у вимірювальній та аналізуючій частинах.

Вимірювальна частина реалізується за допомогою відповідних засобів збору та обробки первинної інформації, яка в автоматизованій системі потім вводиться безпосередньо в пам'ять ПЕОМ через відповідні засоби спряження, включаючи АЦП.

Отримана таким чином інформація обробляється в аналізуючій частині, яка являє собою або програму цифрової обробки сигналів, або спеціалізований віброаналізатор. В результаті знаходяться амплітуди та фази інформаційних гармонік а також загальний рівень вібрації. Можливе ручне введення таких даних з клавіатури ПЕОМ, якщо вони одержані під час періодичного контролю та замірів вібрації за допомогою спеціалізованих засобів, що є у розпорядженні у обслуговуючого персоналу.

У вимірювальній частині системи може використовуватись декілька первинних перетворювачів вібросигналу, розміщених в різних точках агрегату. Діагностування провадиться по кожному з них, а потім виконується сумісний аналіз із виділенням даних із найбільш інформативної точки (визначається при попередніх дослідженнях), а також з точки, що дає найгірший діагноз.

У розрахунковій частині визначаються величини параметрів діагностичних ознак, а також розраховується залишковий ресурс.

У логічній частині, моделюючи процес прийняття рішення, який використовує людина-експерт, співставляються фактичні величини параметрів діагностичних ознак з їх нормованими значеннями, а також здійснюється взаємне порівняння цих параметрів. Це дозволяє слідкувати за ступенем та швидкістю їх змін в часі та прогнозувати момент виходу їх на критичний рівень, оперативно сповіщати про різкі зміни та про перевищення контрольованими параметрами встановлених для них критичних рівнів, визначати дефект, домінуючий в технічному стані на

поточний момент часу, а також дефект, який отримав найбільшого розвитку з моменту попереднього діагностування.

У резюмуючій частині відбувається розпізнавання поточного технічного стану агрегату і ставиться заключний діагноз.

Запропонований метод діагностування відтворено на базі ПЕОМ типу IBM у вигляді експериментальної системи, програмне забезпечення якої реалізує розроблений алгоритм.

При розробці програмного забезпечення використані принципи побудови експертних систем. Це дозволяє в процесі експлуатації системи доповнювати її базу знань, де містяться типові відомості про реакцію насоса на появу того чи іншого дефекту, знаннями персоналу про особливості поведінки в передаварійний та аварійний періоди будь-якого конкретного зразка насоса.

Навчання, випробування та доводка експериментального зразка системи вібродіагностики було проведено на встановленому на стенді в лабораторії СумДУ конденсатному насосі типу КсВ 125-55.

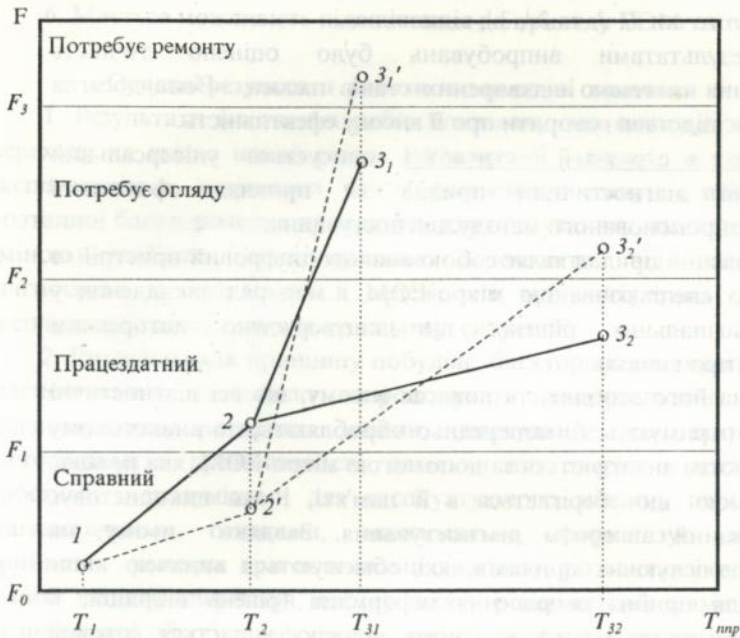
Метою випробувань була апробація запропонованого методу діагностування шляхом встановлення вірогідності визначення системою введених в насос несправностей та їх комбінацій і перевірка істинності виданого нею висновку про ступінь критичності зафіксованих при цьому змін його технічного стану.

У процесі випробувань відтворювались типові несправності насосів шляхом варіювання величини дисбалансу, розцентровки, зносу підшипників та ущільнень у різному їх поєднанні. Час наробітку насоса задавався умовно, що дозволяло імітувати різну швидкість зміни параметрів технічного стану.

Робота насоса підтримувалась у трьох основних режимах: номінальному, а також нижче та вище номінального. При цьому було відмічено, що врахування режиму дуже ускладнює систематизацію та аналіз діагностичної інформації, а тому рекомендовано проводити діагностування будь-якого агрегату тільки після забезпечення номінального чи найбільш характерного для нього режиму роботи.

Результати випробувань підтвердили, що врахування параметрів, які характеризують не тільки ступінь, але й швидкість зміни технічного стану агрегату, значно розширює можливості системи діагностування. Як приклад, на малюнку наведено результати, що ілюструють вплив на оцінку технічного стану насоса, яка дається за допомогою класифікуючої функції F , лише одного, типового на практиці дефекту, дисбалансу.

Оцінка технічного стану насоса за допомогою
класифікуючої функції F .



F_0, F_1, F_2, F_3 - граничні значення функції, отримані на етапі навчання системи

Точка 1 при цьому відповідає початковому стану агрегату, точки 2 і 2' - стану, зафіксованому при попередньому діагностуванні, але при різній величині введеного дисбалансу (0.1 Н м та 0.05 Н м, відповідно), а точки 3₁, 3₁', 3₂ та 3₂' одержані для поточного стану при однаковому дисбалансі величиною 0.15 Н м, але при заданні різного часу наробітку (($T_{31} - T_1$) та ($T_{32} - T_1$), відповідно). Ступінь критичності того чи іншого стану на малюнку можна візуально оцінити як по абсолютному значенню функції F , так і по куту нахилу відповідних відрізків, які відображають перехід об'єкта з одного стану в інший. Кут нахилу характеризує швидкість змін, що відбуваються.

Видно, що при однакових по величині дефектах, але які з'явилися через відмінності в швидкостях їх розвитку за різний час, оцінка ступеня критичності технічного стану насоса, яка видавалася

системою, також була різною. При цьому вона помітно жорсткішала, якщо за результатами попереднього діагностування (точки 2 чи 2') виявлялося, що в технічному стані насоса в останній час почалися швидкі зміни. На малюнку це можна бачити, порівнюючи точки 3₁, 3₂ та 3₁', 3₂', відповідно.

За результатами випробувань було оцінено точність розпізнавання системою відтворених станів насоса. Вона досягла 90%, що дає підстави говорити про її високу ефективність.

У четв'яртій главі описується універсальний портативний діагностичний прилад як приклад ефективної реалізації запропонованого методу діагностування.

Розроблений прилад являє собою аналого-цифровий пристрій з вбудованою спеціалізованою мікро-ЕОМ і має ряд закладених у нього оригінальних рішень, що підтверджено авторським свідоцтвом про винахід.

Головна його особливість полягає в тому, що всі діагностичні параметри отримуються і попередньо обробляються в аналоговому вигляді, а потім аналізуються за допомогою мікро-ЕОМ, яка працює за програмою, що зберігається в її пам'яті, і яка використовує запропонований алгоритм діагностування. Завдяки цьому, на відміну від існуючих приладів, які обмежуються видачею лише вихідної для прийняття рішення інформації (рівень вібрацій, її спектральний склад і т.п.), в даному випадку видається готовий діагноз технічного стану машини і прогноз його подальших змін. Крім того, в міру накопичення досвіду експлуатації приладу та вдосконалення алгоритму діагностування, можна відповідним чином змінювати програму, розширюючи тим самим функціональні можливості приладу без змін його конструкції.

Основні технічні характеристики приладу:

1. В енергонезалежній пам'яті може накопичуватися діагностична інформація по 20 машинам.

2. Робота приладу базується на аналізі вібраційного стану діагностованої машини з виділенням загального рівня вібрації та основних складових спектра вібросигналу з частотами, кратними обертовій (інформаційних гармонік).

3. Результати діагностування виводяться на лінійні індикатори, які наочно дають якісну оцінку поточного технічного стану машини та ступеня розвитку окремих несправностей.

4. На цифровому індикаторі видається інформація про прогнозований вихід контрольованих параметрів на граничний рівень.

5. Передбачена можливість підключення до приладу дисплея для перегляду діагностичної інформації в розгорнутому вигляді та принтера для друку результатів діагностування у вигляді протоколу з метою їх документування та накопичення.

6. Мається можливість підключення до приладу ЕОМ типу IBM.

Основні результати роботи та заключні висновки

1. Результати виконаних робіт показали, що одним із шляхів переходу на якісно новий рівень експлуатації машин, а саме - експлуатацію в залежності від їх фактичного стану, є побудова поетапної багаторівневої процедури діагностування, яка дозволяє зміною глибини діагностування переходити від загальної діагностики до локальної в залежності від конкретних умов експлуатації та виникаючих при цьому ситуацій.

2. Використання принципу побудви багаторівневої процедури діагностування дозволило запропонувати універсальний метод діагностування роторних машин, доступний для широкого застосування в промисловості, оскільки він оперує з достатньо простими і зрозумілими для експлуатуючого машину персоналу діагностичними ознаками, максимально формалізує процес прийняття рішення при постановці діагнозу, розвантажуючи тим самим людину-оператора, поєднується з різними системами збору та первинної обробки інформації, легко адаптується до конкретних умов експлуатації обладнання, дозволяючи також використовувати крім вібраційних і інші за фізичною природою параметри.

3. Використання відомих діагностичних ознак, інформативність яких істотно підвищена завдяки врахуванню динаміки їх розвитку за допомогою спеціально введених для їх опису універсальних параметрів, надання цим параметрам безрозмірного вигляду, переведення їх кількісних значень в якісні поняття та категорії, класифікація та еталонування основних технічних станів насосних агрегатів безвідносно до їх конкретного типу, формалізація процедури прийняття рішення за рахунок використання класифікуючої функції надали запропонованому методу універсальності: він може бути застосованим як для діагностування різноманітних за конструкцією та функціональним призначенням відцентрових насосних агрегатів, так і роторних машин взагалі.

4. Система діагностики, побудована на основі запропонованого методу, може обслуговувати певну групу насосів і включаться в роботу або через визначені інтервали часу, або за запитом

оператора. В останньому випадку можливе як автоматизоване введення інформації, так і ручне - з клавіатури.

5. Результати випробувань експериментального зразка розробленої системи діагностики засвідчили, що вона з достатнім ступенем точності розпізнає внесені в насос тестові несправності, з врахуванням заданого часу наробітку видає оцінку технічного стану, вказуючи за рахунок якого чинника він в основному змінився і прогнозує його подальший розвиток, розраховуючи як залишковий ресурс роботи насоса в цілому, так і час можливого досягнення окремими дефектами своїх граничних величин.

6. Програмне забезпечення, що реалізує запропоновану методологію, знаходиться в дослідній експлуатації на Запорізькій АЕС у складі системи діагностування головних циркуляційних насосів. Отримувані при цьому результати свідчать, що інформація, яку видає система, відповідає фактичному технічному стану насосних агрегатів.

7. Використання запропонованого методу дозволило створити універсальний портативний діагностичний прилад, який здатний забезпечити оперативну діагностику технічного стану значного парку відцентрових насосов без створення стаціонарних систем діагностування, застосування яких виправдане лише при обслуговуванні особливо відповідальних машин.

Список опублікованих наукових праць

1. Кибец Ю.А., Кулешов С.А., Савченко Е.Н. Исследование уплотнений с деформируемыми плавающими кольцами. // Динамика и прочность машин, 1987, вып.45.

2. Савченко Е.Н. Алгоритм диагностирования технического состояния центробежных насосов и его практическая реализация. // Атомная энергия, 1991, т.71, вып.5.

3. А.с. N 1242668. Стенд для динамических испытаний плавающих уплотнений. / Марцинковский В.А., Савченко Е.Н. и др. 1986.

4. А.с. N 1439470. Способ диагностики технического состояния торцового уплотнения с импульсным уравниванием. / Савченко Е.Н., Марцинковский В.А. и др. 1988.

5. А.с. N 1763717. Устройство для автоматической диагностики технического состояния гидромашин. / Савченко Е.Н., Кравчук В.А., Нагорный В.М. 1992.

6. Савченко Е.Н. Оценка параметров плавающих уплотнений роторных машин по амплитудным и фазовым частотным

характеристикам. // Тезисы докладов IV Всесоюзного НТС по уплотнительной технике. - Сумы, 1985.

7. Гулый А.Н., Кушнир Г.М., Савченко Е.Н. Автоматизированный экспериментальный стенд для исследования системы "ротор-уплотнение". // Тезисы докладов IV Всесоюзного НТС по уплотнительной технике. - Сумы, 1985.

8. Кулешов С.А., Кибец Ю.А., Савченко Е.Н. Теоретические и экспериментальные исследования упругодинамических свойств плавающих уплотнений турбокомпрессоров. // Повышение технического уровня компрессоров и компрессорных установок: Тезисы докладов VII Всесоюзной конференции. - Казань, 1985.

9. Савченко Е.Н., Кибец Ю.А. Исследования уплотнений с деформируемыми плавающими кольцами и оптимизация их конструкции. // Повышение технического уровня компрессоров и компрессорных установок: Тезисы докладов VII Всесоюзной конференции. - Казань, 1985.

10. Савченко Е.Н., Мельник А.А. Разработка и расчет деформируемых щелевых уплотнений роторов турбонасосных агрегатов. // Тезисы докладов Всесоюзного совещания по проблемам прочности и колебаний двигателей. - Москва, 1986.

11. Бережной И.С., Савченко Е.Н., Кравчук В.А. Способ диагностирования технического состояния импульсных торцовых уплотнений. // Тезисы докладов V Всесоюзного НТС по уплотнительной технике. - Сумы, 1988.

12. Савченко Е.Н., Нагорный В.М., Кравчук В.А. Вибродиагностика центробежных насосов. / Создание компрессорных машин и установок, обеспечивающих интенсивное развитие отраслей топливно-энергетического комплекса: Тезисы докладов VIII НТК. - Сумы, 1989.

13. Савченко Е.Н., Нагорный В.М. Метод вибродиагностики центробежных машин. / Математическое моделирование и вычислительный эксперимент для совершенствования энергетических и транспортных турбоустановок в процессе исследования, проектирования, диагностирования и безопасного функционирования: Тезисы докладов республиканской НТК. - Харьков, 1991.

14. Савченко Е.Н., Нагорный В.М., Попов В.А. Метод вибрационной диагностики технического состояния центробежных насосов и его практическая реализация. // Уплотнения и вибрационная надежность центробежных машин: Труды VI научно-технической конференции. - Сумы, 1991, с.170-174.

15. Нагорный В.М., Савченко Е.Н. Метод вибродиагностики роторных машин и механизмов. // Вибрация и вибродиагностика: Тезисы докладов III Всесоюзной НТК. - Нижний Новгород, 1991.

16. Савченко Е.Н., Нагорный В.М. Марцинковский В.А. Метод вибродиагностики роторных машин и его практическая реализация. // Герметичность и виброненадежность насосов и компрессоров: Труды VII научно-технической конференции. - Сумы, 1993, с.121-131.

17. Savchenko E., Nagorny V., Martsinkovsky V. The Technical Condition Vibrotest System of Rotary Machines and Mechanisms. // 4th International DAAAM Symposium "Automation and Metrology: Man, Technology, Environment". - Brno (Czechia), 1993.

18. Савченко Е.Н., Марцинковский В.А., Нагорный В.М. Система вибродиагностики технического состояния роторных машин и механизмов. // Труды международной конференции ТРАНСГИДРО - 94. Вроцлав (Польша), 1994, с.143-151.

19. Савченко, В.Нагорный. Експертна система вібродіагностики технічного стану роторних машин. //Тези доповідей II Міжнародного симпозиуму українських інженерів-механіків. - Львів, 1995.

Аннотация

Савченко Е.Н. Разработка методов и средств диагностики технического состояния центробежных насосов АЭС.

Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.13. - "Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты", Сумский государственный университет, Сумы, 1995.

Защищается предложенный в виде универсальной методологии общий подход к диагностированию разных по конструкции центробежных насосов АЭС. Показано, что одним из путей перехода на качественно новый уровень эксплуатации машин, а именно эксплуатации в зависимости от их фактического состояния, является построение поэтапной многоуровневой процедуры диагностирования. Придание же параметрам диагностических признаков безразмерного вида, перевод их количественных значений в качественные понятия и категории, а также использование для распознавания текущего технического состояния машины классифицирующей функции придало предложенному методу универсальность. Проведены испытания экспериментального образца системы диагностики насосного оборудования. Осуществлено внедрение основных результатов работы.

Summary

Savchenko E.N. Working out method and equipment for diagnose technical condition of centrifugal pumps of nuclear power stations.

Dissertation allows on seeking a scientific grade of candidate of technical science on speciality 05.04.13 - hydromachinery and hydropneumounits, Sumy State University, Sumy, 1995.

Defenses the common method of diagnostics of different designe centrifugal pumps of nuclear power stations. Shows that one of the best way to use such equipment is the using depending from real technical condition. This method is general for any kind of pumps equipments because operates only dimenssionless diagnostics parameters. The creating of special function allows to operate only the common for whole rotor machinery marks. Carry out the tests of experimental systems of diagnosing pump equipments. The basic results of dissertation uses in industry.

Ключові слова: відцентрові насоси, технічний стан, метод діагностики, засоби діагностики, система діагностики.



Підписано до друку 01.08.1995р. Формат 60 x 84 1/16
Обсяг 1.0 друк.арк. Тираж 100 екз.

Надруковано в Сумському державному університеті
м. Суми, вул.Римського-Корсакова, 2

1153983

