

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА
ЕЛЕКТРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Войцехівський Дмитро Андрійович

УДК 64.011.5

Розробка та дослідження системи бортового контролера з функціями
оперативного моніторингу механічних коливань

151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Автореферат
дипломної роботи магістра

Тернопіль 2019

Роботу виконано на кафедрі комп'ютерно-інтегрованих технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

Керівник роботи: Доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій
Добротвор Ігор Григорович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Рецензент: Доктор технічних наук, професор кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв
Марущак Павло Орестович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 24 грудня 2019 р. о 12³⁰ годині на засіданні екзаменаційної комісії №45 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, навчальний корпус №1, ауд. 401

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми роботи: В дипломному проекті розроблено систему бортового контролера з функціями оперативного моніторингу механічних коливань за допомогою переносних портативних аналізаторів.

Вона дозволяє проведення аналізу спектрів вібрації і її часових реалізацій на місці експлуатації об'єкта контролю, проводити відразу оцінку технічного стану підшипників, агрегатів і визначати їхні дефекти.

Аналізатор дає можливість переглядати й аналізувати спектри вібрації за допомогою основних і бічних курсорів, порівнювати спектри вібрації між собою і виявляти їхньої відмінності. Несправності машин визначаються користувачем по діагностичних словниках.

Для рішення задач діагностики необхідний контроль фази коливань, тому аналізатор містить датчик оборотів валу. Двоканальний аналізатор дозволяє для діагностики використовувати кореляційний аналіз коливань, взаємні спектри і функцію когерентності. Діагностика здійснюється по діагностичних словниках. Система не вимагає підготовки кваліфікованого персоналу і часу на визначення причин підвищеної вібрації.

Мета роботи: Метою роботи є розробка та дослідження системи бортового контролера з функціями оперативного моніторингу механічних коливань.

Методи досліджень базуються на використанні технологій, теорії штучного інтелекту і технологій проектування експертних систем.

Об'єкт, методи та джерела дослідження. Об'єктом дослідження вибрано систему бортового контролера, які дозволяють керувати вібраціями.

Отримані результати:

- На основі досліджень економічних показників, прийнято рішення про економічну доцільність розробки комплексу, прораховано його собівартість, час розробки і економічний ефект від його використання.
- Було пророблено різні варіанти зістикування програмної і апаратної частини і розроблено дві програми, використовуючи сучасні засоби об'єктного програмування.

Практичне значення отриманих результатів.

Результатами роботи є дослідження системи бортового контролера з функціями оперативного моніторингу механічних коливань.

Можливими напрямками подальших досліджень є продовження робіт по удосконаленню способів збору знань експертів та їх автоматизованої обробки з метою швидкого формування бази знань.

Апробація. Окремі результати роботи доповідались на VIII Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» – Тернопіль 27-28 листопада 2019.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 8 частин, висновків, переліку посилань та додатків. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 145 арк. формату А4, графічна частина – 10 аркушів формату А1

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** проведено огляд етапів розробки сучасних бортових контролерів, важливою задачею є організація взаємодії з експертами, та охарактеризовано основні завдання, які необхідно вирішити .

В **аналітичній частині** було проведено аналіз всіх відомих рішень, які були прийняті в дослідженні вібрацій. Проведено аналіз різних рішень.

В **технологічній частині** проведено технічний аналіз бортових контролерів, їх оснащення, можливість передачі даних, а також зберігання отриманих результатів на сервер.

В **конструкторській частині** було розроблено пристрій для бортового контролера при використанні датчиків які зберігають інформацію і реагують на них.

В **науково-дослідній частині** було проведено досліджено розробленої системи на можливі критичні ситуації, їх усунення, а також вчасне реагування на них.

В **спеціальній частині** представлено програмне забезпечення контролера для реагування, а також короткий опис певних функцій системи.

В **частині «Обґрунтування економічної ефективності»** проводиться розрахунок економічного ефекту при розробці і впровадженні даної системи.

В **частині «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»** розглянуто питання охорони праці для забезпечення безпечних та здорових умов праці, аналіз потенційних шкідливих та небезпечних факторів, правові основи забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях, інженерно – технічне забезпечення заходів цивільної оборони.

В **частині «Екологія»** проаналізовано сучасний екологічний стан України, розглянуто питання забруднення довкілля, що виникає внаслідок реалізації технологічного процесу, а також запропоновано заходи зі зменшення забруднення довкілля.

У **загальних висновках щодо дипломної роботи** описано прийняті в роботі технічні рішення і організаційно-технічні заходи, які забезпечують виконання завдання; оригінальні технічні рішення, прийняті автором в процесі роботи; технічні рішення роботи, які можуть бути впроваджені у виробництво; техніко-економічні показники та їх порівняння з базовими.

В **графічній частині** приведено креслення математичної моделі, алгоритмів організації дослідження, основні результати проведених досліджень.

ВИСНОВКИ

Оперативна система моніторингу механічних коливань може бути реалізована за допомогою переносних портативних аналізаторів. Вона дозволяє проведення аналізу спектрів вібрації і її часових реалізацій на місці експлуатації об'єкта контролю, проводити відразу оцінку технічного стану підшипників, агрегатів і визначати їхні дефекти. Аналізатор повинний мати можливість переглядати й аналізувати спектри вібрації за допомогою основних і бічних курсорів, порівнювати

спектри вібрації між собою і виявляти їхньої відмінності. Несправності машин визначаються користувачем по діагностичних словниках.

Для рішення задач діагностики необхідний контроль фази коливань, тому аналізатор повинний мати датчик оборотів вала. Двоканальний аналізатор дозволяє для діагностики використовувати кореляційний аналіз коливань, взаємні спектри і функцію когерентності. Діагностика здійснюється по діагностичних словниках. Система не вимагає підготовки кваліфікованого персоналу і часу на визначення причин підвищеної вібрації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ISO 17359:2003. Condition monitoring and diagnostics of machines. General guidelines.
2. ISO 13380:2002. Condition monitoring and diagnostics of machines. General guidelines on using performance parameters.
3. Гриб В.В., Соколова А.Г., Еранов А.П., Давыдов В.М., Жуков Р.В. Анализ современных методов диагностирования компрессорного оборудования нефтегазохимических производств // «Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт». 2002. №10. С.57-65.
4. ISO 13379:2003. Condition monitoring and diagnostics of machines. General guidelines on data interpretation and diagnostics techniques.
5. А.С. Гольдин. К вопросу о нормах и принципах нормирования вибрации вращающихся машин // Контроль. Диагностика. 2000. №4. - С.3-10.
6. ISO 10816. Mechanical vibration. Evolution of machine vibration by measurements on non- rotating parts. Part 1-5.
7. ISO 7919. Mechanical vibration of non-reciprocating machines. Measurements on rotating shafts and evolution criteria. Part 1-5.
8. ISO 10816-6:1995. Mechanical vibration. Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts. Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW.
9. ISO 13373-1:2002. Condition monitoring and diagnostics of machines. Vibration condition monitoring. Part 1: General procedures.
10. ISO/DIS 13373-2. Condition monitoring and diagnostics of machines. Vibration condition monitoring. Part 1: Processing, presentation and analysis of vibration data.
11. ISO/DIS 15242-1. Rolling bearings. Measuring methods for vibration. Part 1: Fundamentals.
12. ISO 13374-1:2003. Condition monitoring and diagnostics of machines. Data processing, communication and presentation. Part 1: General guidelines.
13. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин: - 2-е изд. исправл. -
14. М.:Машиностроение, 2000 - 344 с.: ил.
15. Акимов В.М. Основы надежности газотурбинных двигателей.-
16. М.:Машиностроение, 1981. - 207с.
17. Барков А.В. Диагностика и прогнозирование технического состояния подшипников качения по их виброакустическим характеристикам.
18. //Судостроение.- 1985.-№ 3.-с.21-23.

19. Белоусов А.И., Баргер И.А. Прочностная надежность деталей турбомашин.- Куйбышев: КУИИ, 1983.-75с.
20. Бейзельман Р.Д., Цыпкин Б.В. Подшипники качения. Справочник.-
21. М.:Машиностроение, 1975.-362с.
22. Бендат Д., Пирсол А. Применение корреляционного и спектрального анализа.- М.: Мир, 1982.-362с.
23. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний:- М.: Высшая школа, 1980.408с.
24. Биргер И.А. Техническая диагностика.- М.: Машиностроение, 1978.-239с.
25. Биргер И.А., Шорр Б.Ф. Динамика авиационных газотурбинных двигателей.-
26. М.: Машиностроение, 1981.-232с.
27. Болотин В.В. Прогнозирование ресурсов машин и конструкций.- М.:
28. Машиностроение, 1984.-312с.
29. Браун, Датнер. Анализ вибраций роликовых и шариковых подшипников: Пер. с англ.- Конструирование и технология машиностроения.- М.: Мир, 1979.-т. 101, №1.-с.65-82.
30. Васильев Ю.Н., Христензен В.Л., Игуменцев Е.А. Причины поломок осевого компрессора газотурбинного ГПА//РИ ВНИИЭгазпром. Транспорт и хранение газа.- 1982.- №1.-с.21-26.
31. Вибрации в технике: Справочник.- т. 31/ Под ред. Ф.М.Дименейберга и
32. К.С.Колесникова.- М.: Машиностроение, 1980.-544с.
33. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов /Ф.Я.Балийкий,
34. М.А.Иванова, А.Г.Соколова, Е.И.Хомяков.- М.: Наука, 1984.-120с.
35. Вибрация и вибродиагностика судового энергетического оборудования
- i. /А.А.Александров, А.В.Барков, Н.А.Баркова, В.А.Шаффинский. - Л.:
36. Судостроение.- 1986.-276с.
37. Вибрация энергетических машин. Справочное пособие./Под ред.
38. Н.В.Григорьева.- Л.: Машиностроение, 1974.-464с.
39. Вильнер Л.Д. Виброскорость как критерий вибрационной напряженности упругих систем.- Проблемы прочности.- 1970.-№9.-с.42-45.
40. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов.- М.: Машиностроение, 1987.-288с.
41. Горелик А.Л., Скрипкин В.А. Методы распознавания.- М.: Высшая школа, 1977.-22с.
42. Дайерд, Стюарт Р. Обнаружение повреждений подшипников качения путем статистического анализа вибраций: Пер. с англ. Конструирование и технология машиностроения.- М.: Мир, 1978.-т. 100, №2.-с.23-31.
43. Дорошко С.М. Контроль и диагностирование технического состояния газотурбинных двигателей по вибрационным параметрам.- М.: Транспорт, 1984.-128с.
44. Зарицкий С.П. Диагностика газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом.-:Недра, 1979.-272с.
45. Зарицкий С.П., Чарный Ю.С., Шульман М.Х. Диагностирование

надежностей узлов газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом //ОИ ВНИИЭгазпром. Транспорт и хранение газа.- 1984.- №6.-53с.

46. Кануников И.П. Методика диагностирования вращающегося срыва в компрессорах ГТД на основе спектрального анализа виброакустических приборов //Вибрационная прочность и надежность двигателей и систем летательных аппаратов.- Куйбышев: КУАИ 1984.-с.155-158.

47. Карасев В.А., Максимов В.П., Сидоренко М.К. Вибрационная диагностика газотурбинных двигателей.- М.: Машиностроение, 1978.-132с.

48. Карасев В.А.,Ройтман А.Б. Доводка эксплуатируемых машин. Вибродиагностические методы.- М.: Машиностроение, 1986.-192с.

49. КельзонА.С., Циманский Ю.П., Яковлев В.И. Динамика роторов в упругих опорах.- М.: Наука, 1982.-280с.

50. Коллакот Р.А. Диагностирование механического оборудования: Пер. с англ.-

51. Л.: Судостроение.- 1980.-296с.

52. Коллинз Дж. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказание, предотвращение: Пер. с англ.- М.: Мир, 1984.-624с.

53. Комардинкин В.П.,Радчик И.И. , Ровинский В.Д., Смирнов В.А. Вибрационная надежность газоперекачивающих агрегатов с газо-турбинным приводом //ОИ ВНИИЭгазпром. Транспорт и хранение газа.- 1982.- №3.-47с.

54. Костин В.И., Радчик И.И., Смирнов В.А. Нормирование вибрации ГПА //Газовая промышленность.- 1985.-№11.-с.31-33.

55. Костин В.И. Сравнительная оценка интенсивности вибрации с переменной во времени амплитудой эквивалентным значениям виброскорости гармонических колебаний //Проблемы прочности.-1974.-№9.-с.103-109.

56. Крейн А.З., Ровинский В.Д., Смирнов В.А. Вибрационная диагностика газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-6,3 //ОИ ВНИИЭгазпром. Транспорт и хранение газа.- 1984.-65с.

57. Крейн А.З., Ровинский В.Д., Смирнов В.А. Применение среднестатистических спектров вибраций для оценки технического состояния ГПА-Ц-6,3 //ОИ ВНИИЭгазпром. Транспорт и хранение газа.- 1981.-№10.-с.1-10.

58. Крючков Ю.С. Влияние зазора на вибрацию и шум подшипников качения //Вестник машиностроения.-1959.-№8.-с.30-39.

59. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: Пер. с фран.- М. Мир, 1983.-т. 1.-312с.

60. Мэтью Д., Альфредсон Р. Применение вибрационного анализа для контроля технического состояния подшипников качения:Пер. с англ.- Конструирование и технология машиностроения.- М.: Мир, 1984.-т. 106, №3.-с.100-108.

61. Основы балансировочной техники/под ред. В.А.Щепетильникова.- М.:

62. Машиностроение, 1975.-т.1.-528с.

63. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов.- М.: Машиностроение, 1971.-223с.

64. Приборы и системы для измерения вибрации шума и удара: справочник/

Под ред. В.Б.Клюева.- М.: Машиностроение, 1978.-т.1.-448с.: т.2.-500с.

65. Прогрессивные методы и приборы, обеспечивающие снижение расходов по техническому обслуживанию машин: Препринт фирмы Карл Шенк, 1986.-

66. 82с.

67. Рендол Р.Б. Новый метод моделирования зубчатых колес: Пер. с англ.-

68. Конструирование и технология машиностроения.- М.: Мир, 1982.-т. 104, №2.-с.1-11.

69. Рогачев В.М. Вибродиагностика подшипников скольжения//Изв. вузов.- М.: Машиностроение, 1980, №6.-с.23-26.

70. Рябыкин С.А., Кваснин В.В. Применение кепстрального анализа для вибродиагностики зубчатых передач//Приборостроение (Киев).-1985.вып.37.-с.93-95.

71. Самойлович Г.С. Возбуждение колебаний лопаток турбомашин.- М.:

72. Машиностроение, 1975.-288с.

73. Сидоренко М.К. Виброметрия газотурбинных двигателей.- М.: Машиностроение, 1973.-224с.

74. Сиохита К., Фудзисава Т., Саго К. Метод определения местоположения дисбалансов в роторных машинах: Пер. с англ.- Конструирование и технология машиностроения.- М.: Мир, 1982.-т. 104, №21.-с.26-31.

75. Сиротин Н.И. Коровкин Ю.М. Техническая диагностика авиационных газотурбинных двигателей.- М.: Машиностроение, 1979.-277с.

76. Смирнов В.А., Крейн А.З. Моделирование вибрационных процессов газоперекачивающих агрегатов

77. Смирнов В.А. Определение технического состояния агрегатов ГПА-Ц-6,3 по параметрам вибрации//РИ ВНИИЭГазпром. Транспорт и хранение газа.- 1982.- №12.-с.34-45.

78. Стандарт СЭВ 1368-78. Механические вибрации крупных роторных машин с рабочей частотой вращения от 10 до 200 с-1. Оценка интенсивности вибрации в рабочих условиях.-М. Изд-во стандартов, 1978.-18с.

79. Тейлор Д.И. Идентификация дефектов подшипников с помощью спектрального анализа: Пер. с англ.- Конструирование и технология машиностроения.- М.: Мир, 1986.-т. 102, №2.-с.1-8.

80. Христензен В.Л. Вибрационное диагностирование ГПА по изменению спектра роторных гармоник.- Автореферат дисс. ...канд. техн.наук. 05.04.07.М.,1985.-21с.

81. Явленский К.Н., Явленский А.К. Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем.-Л.: Машиностроение, 1983.-239с.

82. М., Мингазпром. НОРМЫ ВИБРАЦИИ.Оценка интенсивности вибрации газоперекачивающих агрегатов в условиях эксплуатации на КС

83. Мин.газ.пром.

84. РД 51-132-88 НПО "Союзгаз-технология"(ВНИИГАЗ). Автомобильные газонаполнительные компрессорные станции.Нормы вибрации. Методика виброобследования. Виброзащита оборудования.

85. МИ 1873-88. Государственная система обеспечения единства измерений. Виброметры с пьезоэлектрическими и индукционными преобразователями.

АНОТАЦІЯ

Войцехівський Д.А. Розробка та дослідження системи бортового контролера з функціями оперативного моніторингу механічних коливань. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 2019.

В дипломному проєкті розроблено систему бортового контролера з функціями оперативного моніторингу механічних коливань за допомогою переносних портативних аналізаторів.

Вона дозволяє проведення аналізу спектрів вібрації і її часових реалізацій на місці експлуатації об'єкта контролю, проводити відразу оцінку технічного стану підшипників, агрегатів і визначати їхні дефекти. Аналізатор дає можливість переглядати й аналізувати спектри вібрації за допомогою основних і бічних курсорів, порівнювати спектри вібрації між собою і виявляти їхньої відмінності. Несправності машин визначаються користувачем по діагностичних словниках.

Ключові слова: вібрація, спектр, контролер, датчик, імпульсний

ANNOTATION

Voytsekhivs'kyy D.A. Development and research of the onboard controller system with the functions of operational monitoring of mechanical vibrations. - Ternopil National Technical University named after Ivan Puluj. - Ternopil, 2019.

The diploma project has developed a system of on-board controller with the functions of operational monitoring of mechanical vibrations with the help of portable portable analyzers.

It allows the analysis of vibration spectra and its temporal realizations at the site of operation of the control object, to immediately evaluate the technical condition of the bearings, units and to determine their defects. The analyzer makes it possible to view and analyze vibration spectra with the help of main and side cursors, to compare vibration spectra with each other and to detect their differences. Machine malfunctions are determined by the user according to the diagnostic dictionaries.

Key words: vibration, spectrum, controller, sensor, pulse