



OSTIS-2013

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 004.8:621.031

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Бранцевич П.Ю.* , Ли И.**

* *Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

branc@bsuir.edu.by

** *Шаньдунский университет
г. Цзинань, Китайская народная республика*

liyibing@sdu.edu.cn

Отмечается важность организации технического обслуживания оборудования в процессе эксплуатации в соответствии с реальным техническим состоянием. Это может быть достигнуто путем внедрения современных систем мониторинга, оценки технического состояния, диагностики. Рассмотрены основные составные части системы оценки состояния сложных механизмов с вращательным движением по параметрам вибрации.

Ключевые слова: вибрация, диагностика, решение, система.

ВВЕДЕНИЕ

В общей сумме затрат расходы на эксплуатацию производственного оборудования достигают значительных величин, причем существенную долю в них занимает ремонтно-эксплуатационная составляющая.

Считается, что наиболее изнашиваемым является оборудование с вращательным движением (турбины, генераторы, двигатели, редукторы, насосы, компрессоры, вентиляторы и т.д.). Снизить затраты на его эксплуатацию можно путем внедрения современных систем технического обслуживания, которые базируются на использовании технологий мониторинга, оценки состояния, диагностики, прогнозирования развития дефектов, которые с точки зрения их организации и функционирования являются интеллектуальными системами.

Состояние производственного оборудования может характеризоваться многими параметрами основных и вторичных процессов, развивающихся при его работе. Для контроля целесообразно выбирать те, которые достаточно хорошо отражают функциональное состояние объектов и не требуют слишком больших затрат на их измерение. В этом плане, для механизмов с вращательным движением, такими являются параметры вибрации [1].

На основе анализа вибрационного состояния группы однотипных механизмов при их функционировании на различных режимах, в

различном техническом состоянии и на протяжении длительного времени могут быть обоснованы и сформулированы диагностические признаки для локализации мест и причин повышения вибрации. Это создает условия для построения автоматизированных интеллектуальных систем оценки технического состояния и диагностики, значительно облегчающих работу инженерно-технического персонала [2].

1. ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕХАНИЗМОВ

Практически невозможно разработать подобную универсальную систему, так как каждый тип оборудования имеет свои специфические особенности и характеризуется определенным набором параметров. В связи с этим, представляется целесообразным создание обобщенной модели системы оценки технического состояния и диагностирования, которая адаптируется под конкретное применение, и может быть представлена следующим набором взаимодействующих элементов.

1. Множество информативно значимых параметров, характеризующих техническое состояние объекта

$$P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_N\}. \quad (1)$$

Например, амплитуды спектральных составляющих вибросигнала на фиксированных

частотах, мощность или СКЗ вибрации в полосе частот (может задаваться несколько полос), пик-фактор, эксцесс, асимптота, коэффициент модуляции огибающей вибросигнала, амплитуды оборотных составляющих вибрации и т.д. Параметры выбираются на основе теоретических и экспериментальных исследований, экспертных знаний, эвристических предположений.

2. Множество дефектов, требующих обнаружения, для конкретного механизма

$$D = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_M\}. \quad (2)$$

Конкретный состав этого множества определяется типом механизма, его техническими параметрами, выполняемыми функциями, условиями эксплуатации и т. п.

Например, дефектами подшипников качения являются: неуравновешенность ротора, овальность внутреннего кольца, раковины на поверхности тел качения, перекос наружного кольца, раковины и трещины на наружном или внутреннем кольце, дефекты смазки.

3. Базовые значения каждого из параметров множества P , которые соответствуют нормальному (исправному, бездефектному) состоянию исследуемого объекта

$$Z = \{z_1, z_2, z_3, \dots, z_N\}. \quad (3)$$

Эти значения принимаются: на базе нормативных документов, регламентирующих допустимые уровни вибрации механизмов; на основе исследования вибрационных характеристик достаточно большого количества однотипных механизмов на протяжении продолжительного периода времени; путем теоретических расчетов; в результате проведения натурального или полунатурного моделирования.

4. Подмножества информативно значимых параметров, по изменению которых можно идентифицировать проявление каждого из дефектов, и весовые коэффициенты значимости для каждого признака (в качестве примера см. таблицу 1). Весовые коэффициенты принимают значения в диапазоне от 0 до 1.

Таблица 1 – Соответствие информативно значимых признаков дефектам

Дефект	Информативные признаки	Весовые коэффициенты
d_1	p_i, p_j, p_k	$\alpha_{d_1,i}, \alpha_{d_1,j}, \alpha_{d_1,k}$
...
d_r	p_1, p_3	$\alpha_{d_r,1}, \alpha_{d_r,3}$
...
d_M	p_q	$\alpha_{d_M,q}$

В данной таблице индексы i, j, k, q могут принимать значения от 1 до N .

5. Множество решающих функции для каждого

дефекта, отражающих проявление или развитие дефекта. Решающие функции учитывают соотношение текущих и базовых значений информативно значимых параметров и могут быть достаточно разнообразными, например численными, логическими, на основе нечетких правил, претендентов.

Можно привести некоторые примеры таких функций.

При применении численных решающих функции на первом этапе выбирается формула, описывающая эту функцию. Такие формулы, к примеру, могут иметь вид:

$$R_{d_j} = \frac{1}{\sum_{i \in S_{d_j}} \alpha_{d_j,i}} \cdot \sum_{i \in S_{d_j}} \left(\frac{x_i - z_i}{z_i} \right) \cdot \alpha_{d_j,i}; \quad (4)$$

$$R_{d_j} = \frac{1}{\sum_{i \in S_{d_j}} \alpha_{d_j,i}} \cdot \sum_{i \in S_{d_j}} (x_i - z_i) \cdot \alpha_{d_j,i}; \quad (5)$$

$$R_{d_j} = \sum_{i \in S_{d_j}} (x_i - z_i) \cdot \alpha_{d_j,i}; \quad (6)$$

где S_{d_j} - множество номеров информативных признаков, присущих дефекту d_j ;

x_i - полученное при обследовании (текущее) значение для i -го информативного признака.

На втором этапе для конкретной численной решающей функции определяются граничные значения, соответствующие степени развития дефекта, которая может быть, например, сформулирована как очень малая (ОМ), малая (М), средняя (С), большая (Б) –

$$R_{d_j, \text{Ст.разв.деф.}} = \{R_{d_j, \text{ОМ}}, R_{d_j, \text{М}}, R_{d_j, \text{С}}, R_{d_j, \text{Б}}\}. \quad (7)$$

Сравнение, вычисленного для конкретных данных, значения решающей функции с граничными значениями из множества $R_{d_j, \text{Ст.разв.деф.}}$,

позволяет установить степень развития конкретного дефекта. Целесообразно определить функцию развития дефекта Ψ_{d_j} , которая может принимать

одно из значений набора {очень малая (ОМ), малая (М), средняя (С), большая (Б), очень большая (ОБ)}:

$$\Psi_{d_j,i} = \begin{cases} \text{ОМ, если } R_{d_j} < R_{d_j, \text{ОМ}} \\ \text{М, если } R_{d_j, \text{ОМ}} \leq R_{d_j} < R_{d_j, \text{М}} \\ \text{С, если } R_{d_j, \text{М}} \leq R_{d_j} < R_{d_j, \text{С}} \\ \text{Б, если } R_{d_j, \text{С}} \leq R_{d_j} < R_{d_j, \text{Б}} \\ \text{ОБ, если } R_{d_j, \text{Б}} \leq R_{d_j} \end{cases} \quad (8)$$

При построении логических решающих функций применяется следующий подход:

а) для количественных значений каждого из

информативных признаков для каждого j -го типа дефекта устанавливаются границы, соответствующие различной степени развития дефекта (например, очень малая (исправное состояние), малая, средняя, большая) - $z_{d_j,i,OM}$, $z_{d_j,i,M}$, $z_{d_j,i,C}$, $z_{d_j,i,B}$;

б) по полученному при обследовании (текущему) значению для i -го информативного признака j -го типа дефекта определяется степень развития дефекта (значение функции развития дефекта по i -му информативному признаку $F_{d_j,i}$, которая принимает одно из значений набора {очень малая (ОМ), малая (М), средняя (С), большая (Б), очень большая (ОБ)}):

$$F_{d_j,i} = \begin{cases} \text{ОМ, если } x_i < z_{d_j,i,OM} \\ \text{М, если } z_{d_j,i,OM} \leq x_i < z_{d_j,i,M} \\ \text{С, если } z_{d_j,i,M} \leq x_i < z_{d_j,i,C} \\ \text{Б, если } z_{d_j,i,C} \leq x_i < z_{d_j,i,B} \\ \text{ОБ, если } z_{d_j,i,B} \leq x_i \end{cases}; \quad (9)$$

в) для j -го типа дефекта определяется степень его развития (значение функции развития j -го типа дефекта Ψ_{d_j} , которая принимает одно из значений набора {очень малая (ОМ), малая (М), средняя (С), большая (Б), очень большая (ОБ)} и является логической функцией от функций $F_{d_j,i}$, где $i \in S_{d_j}$:

$$\Psi_{d_j} = \Phi(F_{d_j,m}, F_{d_j,n}, F_{d_j,l}, \dots), \text{ где } m, n, l, \dots \in S_{d_j}. \quad (10)$$

Такая функция может быть задана в табличной форме (см. таблицу 2).

Таблица 2 – Пример задания логической функции развития дефекта для двух диагностических признаков

$F_{d_j,i}$	$F_{d_j,j}$	Ψ_{d_j}
ОМ	ОМ	ОМ
ОМ	ОМ∨М	М
С	ОМ∨М∨С	С
ОМ∨М	Б	С
С	Б	Б
Б	Б	Б
М∨С∨Б∨ОБ	ОБ	ОБ
ОБ	М∨С∨Б∨ОБ	ОБ

Решающие функции могут быть построены и на основе нечетких правил. Вывод о том в каком состоянии находится объект в зависимости от значения характеризующего его параметра x формируется на основе значений функций принадлежности:

$$FP_{1\text{Сост.}}(x) = \exp\left(-\frac{(x-x_{\min})^2}{2(X_1-x_{\min})^2}\right), \quad x > x_{\min}; \quad (11)$$

$$FP_{j\text{Сост.}}(x) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{(x-X_{j-1})^2}{2(X_{j-1}-X_{j-2})^2}\right), & x \leq X_{j-1} \\ \exp\left(-\frac{(x-X_{j-1})^2}{2(X_j-X_{j-1})^2}\right), & x > X_{j-1} \end{cases}; \quad (12)$$

$$FP_{5\text{Сост.}}(x) = \begin{cases} \exp\left(-\frac{(x-X_4)^2}{2(X_4-X_3)^2}\right), & x \leq X_4 \\ 1, & x > X_4 \end{cases}; \quad (13)$$

где x - параметр, для которого определяется значение функции принадлежности; $j=2,3,4$.

X_j - значения параметра x , которые соответствуют определенным состояниям, причем $x_{\min} < X_1 < X_2 < X_3 < X_4$. Их количественные значения выбираются на основе экспертных оценок и накапливаемых экспериментальных данных.

Решение о том, что объект находится в состоянии j принимается в том случае, если $FP_{j\text{Сост.}}(x)$ имеет максимальное значение из всех вычисленных $FP_{k\text{Сост.}}(x)$.

Если решение о состоянии объекта принимается на основании нескольких параметров, то в этом случае обобщенная функция принадлежности для J -го состояния имеет вид:

$$FP_{J\text{Сост.}} = \sum_{i=1}^N \alpha_i \cdot FP_{J\text{Сост.}}(x_i), \quad (14)$$

где $FP_{J\text{Сост.}}(x_i)$ - значение функции принадлежности к J -му состоянию по параметру x_i ; α_i - весовой коэффициент значимости параметра x_i ; N - число параметров, значение которых учитывается при принятии решения.

Вывод о том, что объект находится в состоянии J , делается в том случае, если $FP_{J\text{Сост.}}$ имеет максимальное значение из функций принадлежности, вычисленных для всех возможных состояний объекта. Если окажется, что для нескольких состояний функции принадлежности $FP_{J\text{Сост.}}$ имеют одинаковое значение, то отнесение объекта к определенному состоянию осуществляется на основании функции принадлежности для параметра, который имеет наибольший весовой коэффициент. В такой ситуации, когда все параметры равнозначны, следует руководствоваться дополнительными

правилами по отнесению объекта к определенному состоянию в зависимости от целевых и стоимостных критериев.

6. Множество рекомендаций по устранению обнаруженного дефекта и предотвращению его развития. Для каждого дефекта формулируется некоторое множество рекомендаций по его ликвидации или снижению его влияния:

$$C_{d_j} = \{c_{d_j,1}, c_{d_j,2}, c_{d_j,3}, \dots, c_{d_j,K}\}. \quad (15)$$

Примеры таких рекомендаций: заменить смазку в подшипнике; провести балансировку вала; заменить подшипник; проводить ежедневное измерение параметров вибрации механизма и т.п.

Результатом работы системы вибрационной диагностики является набор рекомендаций для пользователя по устранению выявленного дефекта. Выбор таких рекомендаций есть некоторый функционал φ от функции развития дефекта Ψ_{d_j} и множества рекомендаций по его ликвидации C_{d_j} , результатом которого есть некоторое подмножество множества C_{d_j} в пределе с ним совпадающее:

$$E_{d_j} = \varphi(\Psi_{d_j}, C_{d_j}), \quad E_{d_j} \in C_{d_j}. \quad (16)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение систем вибрационного мониторинга позволяет получать данные об изменении технического состояния механизмов и агрегатов, планировать мероприятия по техническому обслуживанию и ремонтам оборудования и, таким образом, оптимизировать затраты на их проведение. Стационарные системы мониторинга помимо этого ориентированы на предотвращение серьезных аварий.

Использование компьютера в качестве базового узла системы обработки вибрационных данных обеспечивает быструю настройку под условия применения, гибкость и расширяемость функциональных возможностей.

Задачами вибрационной диагностики является обнаружение зарождающихся дефектов, наблюдение за их развитием и прогнозирование изменения технического состояния. Однако не следует ожидать очень быстрого экономического эффекта от их внедрения, так как требуется время на адаптацию системы под конкретное производство, а также подготовку специалистов и изменение психологии их поведения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

[Барков, 2000] Барков, А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2000. – 169 с.

[Бранцевич, 2008] Бранцевич, П.Ю. ИВК «Лукомль-2001» для вибрационного контроля / П.Ю. Бранцевич // Энергетика и ТЭК. – 2008. – № 12(69). – с.19-21.

ORGANIZATION OF INTELLECTUAL SYSTEM OF THE ASSESSMENT TECHNICAL CONDITIONS COMPOSITE MECHANISMS

Brancevich P.J. *, Li.Y. **

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

branc@bsuir.edu.by

**Shandong university, Jinan, P.R.China

liyibing@sdu.edu.cn

This article notes the importance of technical equipment maintenance while their operation, according to its actual technical state. It can be achieved by implementation of modern monitoring and technical condition diagnostics systems. The article covers main components of evaluation state system for complex mechanisms with rotary motion, basing on vibration parameters.

INTRODUCTION

On vibration state analysis basis for similar mechanisms functioning in different modes and technical conditions in long terms, we can justify and formulate diagnostic criteria's for further localization of vibration sources. This gives ability to construct automatic intelligent technical condition assessment systems, which facilitate engineering and technical personnel work.

MAIN PART

Each type of equipment has its own specific characteristics and can be described with a certain set of parameters. In this regard, it is appropriate to create a generalized model of the technical condition assessment and diagnosis system, which can be customized for specific applications. Such system consists of the next elements, which interact with each other.

Informative parameters set, which characterize the object technical state. Defects set, which need to be detected. Informative parameters initial values. Changes in subset of informative parameters, which indicate appearance of corresponding defects. Set of decision functions for each defect type.

Result of vibration diagnostics system work is a set of recommendations for user how to resolve identified defects.

CONCLUSION

The objectives of vibration diagnostics are: incipient defects detection, defect progress monitoring and predicting technical condition changes. However, we can't expect a very rapid economic effect from their implementation, as it takes time to adapt the system to a specific production, as well as training and change in the psychology of behavior.