

8. ДИАГНОСТИКА И ЭКСПЛУАТАЦИЯ

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В. (НПЦ «Динамика», г. Омск)

Современная эксплуатация машинного оборудования немыслима без использования специальных систем мониторинга технического состояния, с помощью которых осуществляют наблюдение за техническим состоянием агрегата (конструкции, машины, узла, механизма) для определения и предсказания момента его перехода в предельное состояние. Выбор необходимых технических средств систем мониторинга для конкретного вида оборудования является важной и актуальной задачей. Предлагаемая классификация систем мониторинга отвечает потребностям современных производств и основана на многолетнем опыте создания и внедрения систем мониторинга технического состояния машинного и технологического оборудования в реальном времени опасных производств химической, нефтехимической, нефтедобывающей, нефте- и газоперерабатывающей, горной и металлургической промышленности, железнодорожного транспорта, коммунального хозяйства.

Обобщенная структура системы мониторинга приведена на рис. 1 [1]. Сигналы с установленных на оборудовании датчиков (БД) сначала поступают на вход блока согласования (БС) где происходит их усиление и фильтрация, а затем на вход тракта распознавания (ТР), который включает в себя последовательно соединенные блоки анализатора сигналов (АС), блок формирования диагностических признаков (БФДП), блок принятия решения (БПР), блок оповещения и регистрации (БОР). Таким образом, на выходе системы по значениям диагностических признаков формируется набор диагностических сообщений, который доводится до персонала средствами оповещения.

Предлагается классификация систем мониторинга технического состояния по следующим факторам (Табл.1):

- количеству и виду используемых методов неразрушающего контроля (МНК);
- по типу экспертной системы;
- по объему выявляемых неисправностей; по величине статической ошибки распознавания состояния оборудования;
- по величине динамической ошибки распознавания состояния оборудования;
- по величине риска пропуска внезапного отказа;
- по числу измерительных каналов системы;
- по способу опроса датчиков;
- по архитектуре;
- по типу используемого анализатора сигналов;
- по типу индикатора состояния;
- по наличию и уровню диагностической сети;
- по типу управления.

По количеству и виду используемых МНК различают комплексные системы, использующие набор различных МНК и специализированные системы, использующие один из МНК.

Наиболее важным фактором классификации систем является тип используемой экспертной системы. По типу экспертной системы различают: системы

поддержки принятия решений (ЭСППР); диагностические (ЭСД); системы индикации состояния (СИС).

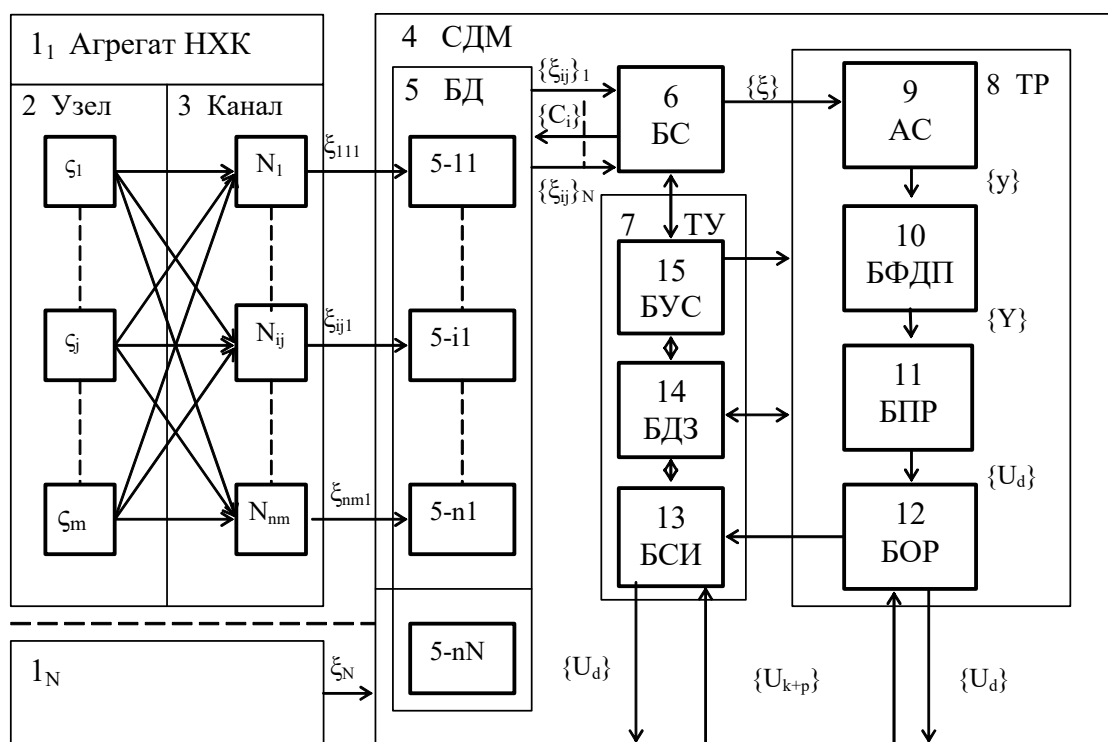


Рис. 1. Структура системы диагностики и мониторинга:

$1_1, \dots, 1_N$ – N агрегатов; 2_1-2_m – m диагностируемых узлов в агрегате; 3_1-3_n – каналы распространения сигналов от m узлов к n датчикам; 4 – система мониторинга (СДМ); 5 – блок датчиков (БД); 6 – блок согласования (БС); 7 – тракт управления (ТУ); 8 – тракт распознавания (ТР); 9 – анализатор (АС); 10 – блок формирования диагностических признаков (БФДП); 11 – блок принятия решения (БПР); 12 – блок оповещения, отображения и регистрации (БОР); 13 – блок сетевых интерфейсов (БСИ) (Intranet/Internet); 14 – информационные базы данных и знаний (конфигурации оборудования и СМ, архивы сигналов, событий, база знаний) (БДЗ); 15 – блок управления и синхронизации (БУС).

Системы индикации состояния осуществляют только определение технического состояния объекта, без указаний на вид неисправности. Диагностические системы наряду с определением технического состояния должны определять одну или несколько причин (вид) неисправного состояния объекта. Экспертные системы поддержки принятия решений включают свойства диагностических систем и должны автоматически выдавать целеуказующие предписания персоналу для предотвращения опасного состояния объекта и приведения его в нормальное состояние (Табл.2).

По объему выявляемых неисправностей различают: системы широкого класса, выявляющие неисправности различных узлов агрегата, а также неисправности в его работе по технологической схеме установки; системы узкого класса, выявляющие неисправности только одного узла агрегата, например подшипника.

Статическая ошибка распознавания есть пропуск своевременного распознавания опасного состояния оборудования, вызванный тем, что неисправное состояние оборудования система воспринимает (диагностирует) как исправное. По величине статической ошибки распознавания различают: системы низкой ошибки ($< 5\%$); системы средней ошибки ($5 - 30\%$); системы высокой ошибки ($> 30\%$).

Классификация по динамической ошибке распознавания аналогична классификации по статической ошибке, но здесь под ошибкой понимают пропуск

своевременного распознавания опасного состояния оборудования, вызванный тем, что период мониторинга (диагностирования) превышает интервал развития неисправности от момента ее обнаружения до предельного состояния оборудования. Период мониторинга может достигать нескольких секунд у стационарных систем и нескольких дней у переносных систем. Следует отметить, что быстродействие систем мониторинга не должно быть ниже скорости развития дефектов защищаемого оборудования.

Для оценки общей ошибки систем мониторинга вводится понятие риска пропуска опасного состояния оборудования - совокупность статической, динамической ошибок и влияния человеческого фактора, обусловленного несвоевременным выполнением персоналом предписаний системы мониторинга по устранению обнаруженного системой опасного состояния оборудования. По величине риска также различают: системы низкой ошибки ($< 5\%$); системы средней ошибки ($5 - 30\%$); системы высокой ошибки ($> 30\%$).

Важными факторами классификации являются параметры архитектуры систем. Здесь устанавливается разделение по числу измерительных каналов системы (одноканальные, многоканальные), по способу опроса датчиков (параллельно-последовательные, параллельные, последовательные), по архитектуре (распределенные, сосредоточенные).

Последовательные системы осуществляют поочередное измерение сигналов и их обработку. Последовательные измерения могут проводиться как автоматически, так и человеком-оператором (переносные системы). Универсальные (параллельно-последовательные) системы имеют смешанную структуру: устанавливаются группы каналов, внутри группы каналы измеряются последовательно, и затем осуществляется параллельная обработка выходных сигналов групп и/или наоборот. Параллельные системы осуществляют одновременное измерение сигналов и их последующую обработку. Вся аппаратура сосредоточенной системы (за исключением датчиков) размещается в одном месте, как правило, на удалении от объекта контроля. Аппаратура распределенной системы может размещаться непосредственно на объекте контроля.

По типу индикатора состояния объекта мониторинга различают комплексные, многоуровневые и простые системы. Простые индикаторы состояния имеют только функцию отображения состояния объекта. Многоуровневые индикаторы состояния наряду с отображением состояния объекта должны иметь функции отображения состояний и параметров различных его составных частей. Комплексные индикаторы состояния включают в себя функции многоуровневых индикаторов и должны отображать: даты пуска/останова систем и агрегатов, их наработки на разные виды ремонта, прогноз остаточного ресурса, а также выводят информацию по следующим каналам: звуковой вывод, печать протоколов, передача данных по сети (публикация на Web сервере).

По типу используемого анализатора сигналов различают скалярные и векторные системы. В скалярных системах результатом работы анализатора сигналов являются скалярные числа (общий уровень вибрации, температура, и т.д.). Векторные системы в результате обработки информации наряду со скалярными должны выдавать одномерные и многомерные массивы, производить спектральную, корреляционную, и др. математическую обработку.

По наличию и уровню диагностической сети различают следующие группы систем: автоматическая диагностическая сеть; ручная диагностическая сеть, интегрированная с переносными системами; ручная диагностическая сеть;

отсутствие диагностической сети. Автоматическая диагностическая сеть должна обеспечивать автоматическое представление на компьютерах удаленных пользователей полной информации о состоянии оборудования при одном обращении к сети, полученной как автоматическими стационарными системами, так и переносными (персональными) системами.

По типу управления системы разделяются на автоматические, автоматизированные и ручные. Ручные системы выполняют большинство функций мониторинга под управлением человека-оператора. Автоматизированные системы должны выполнять основные функции мониторинга автоматически, а вспомогательные - под управлением человека-оператора. Автоматические системы мониторинга должны выполнять все функции мониторинга автоматически. Человек в автоматических системах может использоваться как звено управления для выдачи управляющих воздействий на объект.

В таблице 1 приведены примеры расчета класса систем для различных конфигураций аппаратных и программных средств.

Таблица 1. Примеры расчета класса систем

№	Вид классификации	Параметры классификации	Система 1	Система 2	Система 3	Система 4
1	количеству и виду МНК	комплексные, специализированные (1,2)	1	1	1	2
2	По типу экспертной системы	ЭСППР, ЭСД, СИС (1,2,3)	1	2	2	3
3	По объему неисправностей	широкого класса, узкого (1,2)	1	2	2	2
4	По статической ошибке	низкой, средней, высокой (1,2,3)	1	1	1	1
5	По динамической ошибке	низкой, средней, высокой (1,2,3)	1	1	2	3
6	По риску пропуска внезапного а	низкий, средний, высокий (1,2,3)	1	2	3	3
7	По числу изм. каналов	многоканальные, одноканальные (1,2)	1	1	1	2
8	По способу опроса датчиков	универс, параллельн, послед. (1,2,3)	1	1	2	3
9	По архитектуре	распред, сосред (1,2)	1	1	1	2
10	По типу анализатора сигналов	векторный, скалярный (1,2)	1	1	1	1
11	По типу индикатора состояния	комплексные, многоуровнев, простые (1,2,3)	1	2	2	1
12	По наличию диагностической и	автоматические, ручные, нет (1,2,3,4)	1	2	2	1
13	По типу управления	автоматические, автоматизированные, руч-е (1,2,3)	1	1	2	2
		Произведение (П)	1	32	384	2160
		Log(П)+1	1,00	2,51	3,58	4,41
		Класс (К)	1	2	3	4

По каждому фактору устанавливается градация уровней классификации (от 2 до 4 уровней), по которым определяется комплексный показатель, определяющий класс системы по выражению:

$$K = \text{int}(1 + \log (\prod Ri)), \quad (1)$$

где К – комплексный показатель, определяющий класс системы; $\prod Ri$ - произведение значений номеров, соответствующих свойствам системы; Int – целая часть числа.

Для каждого класса системы устанавливаются границы применения при оснащении производственного оборудования. Классификация оборудования основана на матрице риска (рисунок 2), учитывающей вероятность возникнове-

ния отказа и его материальные и техногенные последствия. В первой ячейке матрицы помещается оборудование первой категории, занимающее ключевые позиции в технологическом процессе и *определяющее безопасность производства*, внезапный отказ которого может привести к *техногенной аварии (взрыву, пожару)* и/или существенному снижению технико-экономических показателей производства. Во второй ячейке помещается оборудование второй категории, занимающее второстепенные позиции в технологическом процессе и влияющее на безопасность производства, внезапный отказ которого может привести к снижению безопасности и технико-экономических показателей производства. В третьей и четвертой ячейках размещается оборудование третьей и четвертой категорий, решающее вспомогательные задачи. Оборудование четвертой категории может

эксплуатироваться до отказа.

Вероятность отказа оборудования	Потери вследствие пропуска отказа системой мониторинга		Техногенная опасность
высокая	I (80-90)% ТЭП	II (20-10)% ТЭП	Есть
низкая	III Небольшие (рост затрат на ремонт)	IV Незначительные (затраты на ремонт)	Нет

Рис. 2. Матрица рисков

Оценка величины последствий происшествия осуществляется относительно некоторых базовых величин – технико-экономических показателей (ТЭП), характеризующих работу опасного производственного объекта, на котором устанавливается система мониторинга.

Системы мониторинга 1 класса применяются для комплексного мониторинга всей технологической установки, включая объекты первой, второй и третьей категорий с возможностью автоматической блокировки опасных агрегатов и обеспечивают безопасную ресурсосберегающую эксплуатацию оборудования по фактическому техническому состоянию.

Системы 2 класса применяются для мониторинга оборудования второй и третьей категорий с возможностью автоматической блокировки опасных агрегатов и обеспечивают безопасную ресурсосберегающую эксплуатацию оборудования по фактическому техническому состоянию.

Системы 3 класса применяются для мониторинга оборудования третьей категории по фактическому техническому состоянию.

Системы 4-го и более низких классов носят вспомогательный характер.

Классификация включена в Стандарт Ассоциации Ростехэкспертиза «Системы мониторинга агрегатов опасных производственных объектов. Общие технические требования» (СА 03-002-05) [1], поддержанный также Ассоциацией нефтехимиков и нефтепереработчиков России и научно-промышленным союзом РИСКОМ, который рекомендован Ростехнадзором для применения экспертными, проектными организациями и промышленными предприятиями в качестве руководства по выбору и применению систем мониторинга технического состояния в реальном времени для предотвращения техногенных аварий и обеспечения

безопасной ресурсосберегающей эксплуатации оборудования по фактическому техническому состоянию.

Таблица 2 - Перечень автоматически указываемых неисправностей машин

№ п.п. Класса	Вид неисправности	№ п.п. Класса	Вид неисправности
1	подшипника: недостаток смазки перекос ослабление дефект внешней обоймы дефект внутренней обоймы дефект тел качения дефект сепаратора	5	поршневых компрессоров: клапанов кривошипно-шатунной группы ослабление гайки поршня коренных подшипников заброс конденсата
2	механизма: дефекты муфты дефекты зубчатых передач	6	Гидро-газодинамические: кавитация гидроудар прохвват помпаж (предпомпажное состояние)
3	машины: дисбаланс ротора нарушения крепления дефекты рабочего колеса срез вала недопустимое биение ротора недопустимый осевой сдвиг	7	электрические: перегрузка по току перекос фаз дефекты статора дефекты ротора
4	агрегата: нарушение центровки валов нарушение крепления к фундаменту и присоединенным конструкциям	8	температурные: перегрев неравномерность нагрева
		9	прочие: состояние торцовых уплотнений

Литература

1. Стандарт Ассоциации Ростехэкспертиза «Системы мониторинга агрегатов опасных производственных объектов. Общие технические требования» (СА 03-002-05) Серия 03/ Колл. авт. – М.: Издательство «Компрессорная и химическая техника», 2005. – 42 с.

ОРТОГОНАЛЬНОСТЬ СИГНАЛОВ ВИБРОУСКОРЕНИЯ, ВИБРОСКОРОСТИ И ВИБРОПЕРЕМЕЩЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ВИБРОДИАГНОСТИКИ

Костюков А.В., Костюков В.Н. (НПЦ «Динамика», г. Омск)

В практике вибродиагностики и виброконтроля сигналы виброускорения и виброперемещения часто не используют, считая их тесно связанными с сигналом виброскорости [2, 8], из-за того, что эти параметры связаны между собой дифференциально-интегральными соотношениями. Вместе с тем поиск и использование для оценки технического состояния машин ортогональных диагностических признаков представляет собой весьма актуальную задачу, поскольку существенно повышает достоверность диагностики. Результаты фундаментальных исследований вибрационных процессов в машинах и присоединенных конструкциях, выполненных под руководством и при непосредственном участии авторов показывают [3,4], что развитие различных неисправностей роторных машин приводит к тому, что параметры виброускорения, виброскорости и виброперемещения реагируют на эти неисправности по разному. Эти случаи указывают на значительное сужение диапазона диагностируемых неисправностей при использовании только одного из этих параметров.

Таким образом, возникает задача об оценке степени независимости сигналов виброускорения (А), виброскорости (V) и виброперемещения (S).