

УДК 632.147

## ОБРАБОТКА МНОГОМЕРНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА

© Малайчук В.П., Мозговой А.В., 2005

Днепропетровский национальный университет

*Запропоновано алгоритм моніторингу за промисловим обладнанням з метою оцінки його технічного стану. При цьому певна увага приділена достовірності одержаної інформації засобами неруйнівного контролю і технічної діагностики, описані шляхи підвищення інформативності результатів вимірювань*

В последнее время наряду с традиционными многочисленными задачами неразрушающего контроля (НК) качества выпускаемой продукции всё чаще возникают, вызванные целым рядом объективных причин, проблемы по определению действительного состояния объектов находящихся в эксплуатации [1]. Исторически первым и основным методом мониторинга динамических объектов является визуальное наблюдение за их состоянием. Совершенствование мониторинга происходило путем периодических измерений некоторых параметров и сравнения их между собой. Дальнейшее повышение эффективности мониторинга сложных технических систем возможно на основе достижений современных информационно-измерительных технологий, применение которых в задачах мониторинга требует своего научного обеспечения. Используя системный подход [2] при проектировании технологий мониторинга, все проблемные вопросы можно разделить на две группы.

К первой группе относятся вопросы разработки методов и средств мониторинга. Главной особенностью при этом является выполнение требования обеспечения получения информации с минимальными требованиями к подготовке объектов. В идеале этот процесс должен происходить, не влияя при этом на процесс их функционирования. В этом направлении ведутся интенсивные исследования специалистами многих стран и достигнуты определённые успехи. Наиболее интересные результаты получены при использовании уже известных и широко применявшихся ранее методов НК и технической диагностики (ТД), а именно: тепловых, магнитных, акустической эмиссии, акустических, виброметрических и др. Особенно это заметно при рассмотрении вопросов, связанных с магнитной диагностикой трубопроводов [3]. Среди новых

перспективных направлений мониторинга следует отметить результаты, полученные с помощью метода магнитной памяти А.А.Дубовым [4], использования индикаторов усталости В.Н.Сызранцевым [5].

Вторую группу образуют проблемы, связанные с необходимостью получения требуемой информативности измерений и повышение их достоверности. Вся трудность заключается в том, что условия получения информации при мониторинге существенно ограничивают физические возможности методов и средств контроля. Надеяться на какие-то радикальные решения в ближайшее время за счёт усовершенствования методов и средств НК не представляется возможным. Наиболее перспективным сейчас, по нашему мнению, является разработка эффективных математических методов обработки полученной информации. Исследования необходимо, во-первых, проводить как в направлении обнаружения и классификации аномальных участков, оценки их характеристик, распознавания и идентификации типов дефектов, так и с целью обнаружения изменений и оценки состояния объекта мониторинга в целом.

Для решения первой задачи авторами разработан и обоснован метод безэталонного контроля, позволяющий получить в большинстве случаев необходимые выводы в условиях недостаточного объёма априорной информации [6,7].

Решение же второй, более общей задачи, требует совершенно другого математического подхода. Это стало очевидным на основании опыта создания нескольких систем мониторинга различных промышленных объектов. Так, например, для определения состояния прокатных валков блюминга, находящихся в эксплуатации, были использованы многомерные нестационарные ряды, полученные посредством применения комплекса

средств измерения информативных параметров в цеховых условиях: обнаружителя и измерителя глубины до 100 мм трещин усталостного и технологического происхождения, специализированного измерителя твердости, бесконтактного измерителя температуры до 600 °С, вибродиагностического измерителя состояния подшипников скольжения. Одновременно с этим оценивались остаточные напряжения с помощью ультразвукового прецизионного измерителя на базе дефектоскопа УД-4Т, переносной голографической установки и измерителя на основе магнитной памяти ИКН-1М-4. Другим примером мониторинга промышленного объекта, состояние которого изменяется в пространстве и во времени, является система периодического вихретокового контроля труб, находящихся в эксплуатации нефтяных скважин. Разработана также система мониторинга для оперативного обнаружения отклонений от нормы потребления электрической энергии в пространственно распределённых электрических сетях. Результаты испытаний этих систем подтвердили не только эффективность используемых измерителей, частных алгоритмов математической обработки, но и показали необходимость продолжения работы в направлении создания общих теоретических основ обработки измерений, представляющих собой многомерные нестационарные случайные дискретные сигналы.

Из трех составляющих неразрушающего контроля (рис. 1) исследованы и обоснованы алгоритмы обработки измерений и формирования решающих правил в задачах дефектоскопии. Алгоритмы и решающие правила применительно к задачам мониторинга и технической диагностики находятся в стадии разработки и исследования.

В настоящей работе рассматриваются проблемы наблюдения за промышленными объектами путем периодического измерения и оценки информативных параметров, прямо или косвенно характеризующих их состояние. Промышленные объекты характеризуются множеством параметров, моделями которых могут служить многомерные стационарные или нестационарные случайные процессы. Измерения по своей физической природе представляют собой случайные величины. При нормальном функционировании исследуемых объектов статистические свойства измерений информативных параметров почти не изменяются.

Мониторинг имеет своей целью путем специальной обработки последовательности измерений обнаружение аномальных изменений, определение их характера (быстрые или медленные, скачки или тренды) и вычисление количественных показателей (величины скачков и скорости трендов).

По этим данным представляется возможным краткосрочный прогноз изменения состояния информативных параметров. При обнаружении недопустимых аномальных изменений эксплуатация объекта мониторинга прекращается для выяснения причин аномальных изменений. Эта задача должна в дальнейшем решаться методами и средствами дефектоскопии и технической диагностики.



Рис. 1. Алгоритм определения состояния технических систем

Предложены методологические основы формирования данных для принятия решений в задачах мониторинга технических систем путем обработки многомерных измерений, в некоторых случаях и в реальном масштабе времени. Это означает, что решения должны приниматься по измерениям в прошлом с учетом необходимости прогноза состояния в будущем. Трудности решения задач мониторинга состоит в том, что контролируемые технические системы – это динамические объекты, измеряемые параметры которых по своей физической природе являются в большинстве случаев нестационарными случайными функциями времени, зависят не только от технического состояния различных блоков, узлов, звеньев систем, но и от внешних факторов (время суток, дни недели, время года, погодные условия, продолжительность и интенсивность эксплуатации и т.д.). Если в задачах дефектоскопии при наличии дефектов изменяются законы распределения вероятностей измерений, то в задачах мониторинга изменяется также характер нестационарности: медленные и быстрые изменения (скачки и тренды), периодические и непериодические колебания (выходы за пределы допустимых изменений), время и продолжительность выходов, максимумы и минимумы измеряемых параметров и т.д. Поэтому

сформировать решающие правила мониторинга только на основе алгоритмов статистической теории распознавания и однородности случайных величин невозможно. В задачах мониторинга решения должны приниматься на основе изучения истории функционирования контролируемых технических систем, математически описываемой их динамическими образами (портретами), формируемыми по результатам измерений информативных параметров в прошлом.

С точки зрения обработки информации можно выделить два класса объектов мониторинга:

1) мониторинг технических систем в реальном масштабе времени путём обработки текущих измерений в известных точках пространства (машины и механизмы, линии электропередач и т.д.);

2) мониторинг пространственно распределённых технических систем путём обработки выборок измерений полученных на всём этом пространстве (нефтегазопроводы, рельсовые пути и т.д.). В первом случае измерения являются функциями времени и слабо зависят от пространственных координат, во втором случае измерения являются функциями пространственных координат и медленно меняются во времени.

Рассмотренные классы объектов, исходя из необходимости построения решающих правил, можно в свою очередь разделить на два вида технических систем:

1) системы, состояния которых в нормальном режиме работы почти не изменяются и их информативные параметры представляют собой стационарные или квазистационарные временные ряды;

2) системы, состояния которых в норме, характерны и предсказуемы те или иные изменения в соответствии с требованиями эксплуатации или в следствии влияния внешних факторов, измерения их информативных параметров представляют повторяющиеся нестационарные временные ряды на некотором временном интервале.

Сформулируем исходные положения, на основании которых должны формироваться исходные данные для принятия решений в процессе мониторинга:

1) измерения являются неточными из-за влияния помех и шумов электронной аппаратуры;

2) статистические закономерности неизвестны и меняются при изменении состояния контролируемого объекта;

3) каждый из информативных параметров имеет свою, отличную от других физическую природу и содержит только часть информации о состоянии объекта мониторинга;

4) динамические свойства информативных

параметров могут существенно отличаться друг от друга;

5) измерения каждого из информативных параметров обрабатываются отдельно и на их основе формируются многомерные динамические портреты объектов мониторинга.

Измерения обрабатываются в два этапа. Первичная обработка – фильтрация измерений, формирование взвешенного текущего среднего и определение скорости изменения информативных параметров, обнаружение скачков и трендов. Вторичная обработка – формирование функций нестационарности на заданном интервале времени, оценка их параметров, анализ и сравнение с предыдущими динамическими портретами.

Задача обнаружения скачков и трендов в условиях недостатка знаний о статистических закономерностях измерений решается путем формирования в пределах подвижного окна динамических функций эмпирического отношения правдоподобия, свойства которого резко изменяются при изменении статистики измерений.

Функции нестационарности – основа динамических портретов. Они формируются как степенные ряды путем минимизации среднего квадрата ошибок на заданном интервале наблюдения (например, сутки), оцениваются максимумы и минимумы, их положение, выборочная дисперсия, формируются допуски измерений, определяются число и временные интервалы выхода информативных параметров за их пределы.

Обнаруженные скачки, тренды и изменения динамических портретов являются признаком аномального состояния объектов мониторинга. На основе анализа результатов мониторинга должны приниматься решения или об их дальнейшей эксплуатации, или о необходимости проведения дефектоскопии и технической диагностики аномальных участков.

На примере нефтегазопроводов рассмотрены алгоритмы обработки в задачах мониторинга одномерных и многомерных измерений в условиях частичной или полной неопределенности о статистических закономерностях измерений и их числовых характеристиках. На основе решающих правил статистической теории распознавания образов предложены и исследованы алгоритмы обнаружения изменений информативных параметров (скачков и трендов) в пределах подвижного окна. Исследованы алгоритмы, формируемые путем восстановления отношения эмпирических законов распределения, сравнения эмпирических функций распределения вероятностей и ранговых показателей однородности выборок измерений Ван-дер-Вардена и Вилконсона.

Применение предложенных алгоритмов позволяет эффективно решать следующие задачи:

1) обнаружение аномалий, связанных с конструктивными неоднородностями объектов (сварные швы) и разбиение объекта мониторинга на однородные участки (трубы, рельсы);

2) анализ выборок измерений и формирование математических портретов однородных участков;

3) обнаружение аномалий в пределах таких участков и оценка их параметров;

4) сравнение текущих портретов с портретами, полученными ранее, формирование обобщённых динамических портретов и определение их параметров;

5) классификация выделенных аномалий с учётом их пространственных и временных характеристик.

На основании полученных результатов и привлечении, при необходимости, дополнительных методов и средств контроля и/или тщательного анализа не использованных до этого информативных параметров сигналов, производится идентификация типов обнаруженных дефектов путём сопоставления их с тем или иным классом аномалий.

И, наконец, привлекая априорные знания в виде требований нормативной и/или конструкторской документации, а при необходимости данные разрушающих испытаний, результаты расчётов, можно с заданной вероятностью определить степень опасности обнаруженных пространственно-временных изменений объекта

мониторинга и дать рекомендации в отношении режимов его дальнейшей эксплуатации.

1. Малайчук В.П., Мозговой А.В. Мониторинг технического состояния промышленных объектов. Российская научно-техническая конференция с международным участием «Не разрушающий контроль и диагностика». Тезисы докладов. – Екатеринбург, 5-11 сентября 2005г. 2. Малайчук В.П., Мозговой А.В., Петренко А.Н. Автоматизированная система проектирования технологий неразрушающего контроля. Материалы IX ежегодного международного семинара выставки. – Ялта, Украина, 10-14 сентября 2001г. 3. Абакумов А.А., Абакумов А.А.(мл.) Магнитная дефектоскопия газонефтепроводов.-М.: Энергоатомиздат, 2001. – 440с. 4. Власов В.Т., Дубов А.А. Физические основы метода магнитной памяти металла. – М.: ЗАО «Тиссо», 2004. – 425с. 5. Сызранцев В.Н., Голфаст С.Л., Сызранцева К.В. Диагностика нагруженности и ресурса деталей трансмиссий и несущих систем машин по показаниям датчиков деформаций интегрального типа. – Новосибирск: Наука, 2004. – 188с. 6. Малайчук В.П., Мозговой А.В. Обработка информации в средствах и системах неразрушающего контроля. – Днепропетровск: Издательство ДГУ, 1992. – 168с. 7. Малайчук В.П., Мозговой А.В. Математическая дефектоскопия: Монография. – Днепропетровск: Системные технологии, 2005. – 180 с.

УДК 621.791.053:620.179.16

## НОВА ТЕХНОЛОГІЯ ТЕХНІЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ПОСУДИН З БАГАТОШАРОВИМИ РУЛОННИМИ ОБИЧАЙКАМИ

© Саприкін С.О., Волков Ю.О., Колбін І.Б., Хвостов К.В., 2005  
УкрНДІгаз, м. Харків

**Описана технологія проведення технічного діагностування посудин, які мають багатощарові рулонні обичайки. Основна перевага запропонованих технологій – це забезпечення можливості виявлення та ідентифікації зон відриву від зварних з'єднань шарів рулонних обичайок**

В Україні експлуатуються значна кількість посудин високого тиску, виготовлених з обичайок рулонного типу. Як правило, термін їх експлуатації вже перевищує 15, а інколи і 20 років. Згідно нормативних положень [1÷3] після 20 років експлуатації необхідно проводити технічне діагностування, обов'язково виконуючи при цьому:

- огляд поверхні зсередини та ззовні;
- візуально-оптичний контроль не менше ніж трьох ділянок внутрішньої поверхні посудини;

- капілярний контроль внутрішньої поверхні в зоні перетину поздовжніх та кільцевих швів;

- визначення товщини і твердості елементів корпусу;

- ультразвуковий контроль (УЗК) поздовжніх і кільцевих швів в межах товщини зовнішньої та внутрішньої обичайок згідно з [4];

- ультразвуковий контроль стану кільцевих зварних з'єднань монолітних днищ з рулонними обичайками згідно з [4, 5];