

Ю.В. Прус, В.В. Белозеров, А.В. Марченко
ОБОСНОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ
ДИАГНОСТИКИ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ УЗЛОВ
ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Эффективное применение современных методов технической диагностики для определения возможных рисков и объективного прогноза потенциально опасных объектов (ПОО) требует пересмотра традиционных подходов к оценке безопасности и мониторингу технического состояния. Отставание методологии от имеющегося технического и научного потенциала обусловлено усложнением и "интеллектуализацией" периферийных устройств, позволяющих получать более полную первичную информацию о состоянии контролируемых узлов, а также увеличением информационной производительности аппаратных, коммуникационных, технических средств и программного обеспечения в автоматизированных системах безопасности объектов.

Использование современных технических и программных средств открывает потенциальные возможности для перехода от процедуры независимой регистрации и параллельной обработки различных типов первичной информации от периферийных устройств к процедурам синхронной регистрации и комплексному анализу информационных потоков по алгоритмам, определяющим в качестве параметров и критериев для оценки текущего технического состояния и прогноза его изменения некоторые значимые функциональные и корреляционные зависимости между различными типами первичных данных и их динамическими характеристиками.

Научное обоснование методологии индивидуального прогноза отдельных критически важных узлов ПОО должно основываться на построении математических моделей, адекватно описывающих поведение их функциональных свойств в течение всего длительного периода эксплуатации до отказа или разрушения. Для решения такой задачи необходима большая исследовательская работа по изучению реальных физико-химических процессов, определяющих, в конечном счете, надежность исследуемых элементов. Осуществление непрерывного мониторинга ПОО требует также разработки достаточно эффективных физико-технических неразрушающих методов диагностики, обеспечивающих возможность исследования состояния критически важных узлов ПОО непосредственно в процессе эксплуатации.

Наиболее перспективным направлением развития теоретических основ технической диагностики представляется *системно-физический подход*, в основе которого лежит термодинамическая интерпретация надежностных свойств [1]. Для интерпретации экспериментальных данных с точки

зрения системно-физического подхода необходимо совместное использование как энергетических, так и энтропийных характеристик, установление значимых корреляционных связей между различными экспериментальными диагностическими параметрами. Такая методология позволила создать некоторые простые феноменологические модели надежности, сформировать систему интегральных диагностических параметров [2]. Вместе с тем, необходимо отметить, что дальнейшее развитие методов интегральной диагностики, построение моделей для осуществления индивидуального прогноза и описания изменений функциональных свойств сдерживается отсутствием целостного теоретического обоснования общей концепции интегральной диагностики.

Основное предположение системно-физического подхода, на основе которых строится концепция интегральной диагностики, заключается в возможности представления текущего состояния исследуемого объекта как системы в некотором многомерном пространстве параметров и свойств, т.е. фазовом пространстве динамической системы.

Известны методы построения моделей, предсказывающих состояние системы на основе известной динамики поведения объекта (анализа данных наблюдений, временных рядов событий и т.п.). Аппарат нелинейной динамики, обычно используемый при решении задач такого рода эффективен лишь в случаях, когда размерность модели невелика, так как с повышением размерности фазового пространства объём необходимых вычислений и требуемое количество учитываемых данных растут экспоненциально.

Для решения ряда задач большой размерности можно использовать тот факт, что фазовое пространство динамических систем может быть неоднородно: состояние системы в определённых областях фазового пространства может быть с приемлемой точностью охарактеризовано небольшим количеством переменных, описывающих проекцию малой размерности. Такие области предложено называть руслами и истоком названа область входа фазовых траекторий в русло ("начало" русла), а устьем – область выхода ("конец"). Прочие переменные могут быть подчинены переменной проекции (называемым параметрами порядка) или несущественны с точки зрения описания системы. Области, в которых построение проекции малой размерности не представляется возможным, именуются джокерами. Поведение системы, находящейся в области джокера, отличается сложностью, непредсказуемостью и разнообразием, вследствие чего приходится использовать вероятностные методы и/или простые приближённые правила, определяемые эмпирически либо из общих соображений.

Описание системы с помощью русел и джокеров представляет собой своего рода компромисс между динамическими и статистическими мето-

дами, наследуя, по возможности, точность первых и простоту вторых. С другой стороны, рассмотрение объекта в терминах русел и джokers можно считать своеобразным применением техники асимптотического анализа. Именно асимптотические методы оказываются естественным аппаратом для синергетики и других междисциплинарных подходов. Существенным недостатком рассмотренного подхода к математическому моделированию динамических систем является отсутствие методов, позволяющих установить однозначное соответствие координат фазового пространства системы экспериментально наблюдаемым параметрам и свойствам объекта.

При построении альтернативной модели, дающей возможность обоснованного перехода от абстрактного фазового пространства системы к реальным физическим параметрам и характеристикам авторами предложено использовать методы статистической физики в предположении, что состояние системы может быть определено с помощью равновесного G и неравновесного Φ термодинамических потенциалов, зависящих от обобщенных координат q_i , представляющих некоторые функции от параметров системы. При этом можно выделить такие обобщенные координаты q_i , отклонения которых от их равновесных значений q_{0i} определяют изменение Φ с точностью до малых второго порядка. Таким образом, в первом приближении поведение системы описывается несколькими обобщенными координатами q_i , которые удобно выражать через симметрические координаты η_i , или компоненты параметра порядка [5].

Рассмотрим свойства динамической системы, которые определяются их восприимчивостями к внешним воздействиям. Первая производная Φ по отклонению q_i от q_{0i} определяет величину возвращающей силы. Если внешние условия таковы, что динамическая система находится вблизи границы лабильности равновесной фазы – состояние близко к критическому. При этом часть компонент тензора обобщенной обратной восприимчивости $(\chi^{-1})_{ik} = \partial^2 \Phi / \partial \eta_i \partial \eta_k$ аномально мала, по сравнению с их значениями в обычных условиях. Соответствующие аномально малым $(\chi^{-1})_{ik}$ обобщенные координаты (η_i, η_j) и сопряженные им внешние воздействия называются критическими. Соответствующие критическим воздействиям компоненты тензора обобщенной восприимчивости определяют характер активности динамической системы.

Такой подход к математическому моделированию позволяет найти соответствие между экспериментально наблюдаемыми свойствами объекта и обобщенными координатами η_i , определяющими проекции малой размерности исследуемой динамической системы.

Необходимо, учитывать, что точное соответствие между обобщен-

ными координатами q_i , используемыми для теоретического описания состояния объекта, и характеристиками, доступными для экспериментального наблюдения, в большинстве случаев не только неочевидно, но и принципиально недостижимо. Тем не менее, в рамках предлагаемого подхода, показано, что параметры порядка, представляющие собой симметрические координаты η_i , определяющие поведение системы в критической области, являются достаточно сложными функциями от нескольких параметров. Становится понятным, почему их экспериментальная оценка возможна лишь при условии установления необходимых функциональных и корреляционных связей между различными типами первичных данных и их динамическими характеристиками.

Литература

1. Белозеров В.В., Загускин С.Л., Прус Ю.В., Самойлов Л.К., Топольский Н.Г., Труфанов В.Н. Классификация объектов повышенной опасности и вероятностно-физические модели оценки их устойчивости и безопасности. – Безопасность жизнедеятельности. 2001, № 8.
2. Прус Ю.В. Исследование физических механизмов диссипации при деформировании квазихрупких материалов методом акустической эмиссии. – Техническая диагностика и неразрушающий контроль, 1999, № 1.
3. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. -М.: УРСС, 2002.
4. Андрианов И.В., Баранцев Р.Г., Маневич Л.И. Асимптотическая математика и синергетика: путь к целостной простоте. -М.: УРСС, 2004.
5. Гуфан Ю.М. Структурные фазовые переходы. -М.: Наука, 1982.