

В условиях производства эффективны:

- комплексный контроль качества изготовления узлов, систем и изделий в целом;
- контроль стабильности технологии производства;
- отбраковка изделий со скрытыми дефектами, обнаруженными в эксплуатации.

На этапе эксплуатации возможен более полный контроль условий работы изделий и дублирование (или полная передача автоматам) части функций, выполняемых человеком.

Критерии эффективности диагностических систем, способствующих повышению надежности, отличаются от критерия в выражении (2) и будут различными в зависимости от выполняемых функций. Главным параметром их должно быть число выявленных дефектов.

Таким образом, рассмотрение диагностики как раздела теории надежности придает ей активный творческий характер и существенно расширяет масштабы, задачи и области применения. Активная диагностика является эффективным инструментом не только в уменьшении последствий отказов, но и в профилактике и "лечении" их.

Л и т е р а т у р а

1. ГОСТ 20911-75 "Техническая диагностика. Основные термины и определения". М., 1975.
2. Е в л а н о в Л.Г. Контроль динамических систем. М., "Наука", 1972.

М.К.Сидоренко

ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Широкое распространение методов диагностики состояний технических объектов требует разработки количественных оценок их эффективности. Первым шагом в этом направлении является разработка системы характеристик диагностики и методов количественного описания их.

Система характеристик в определенной степени зависит от выбранной модели объекта диагностирования. В первой группе моделей объект

рассматривается как единая физическая система, взаимосвязи между элементами которой неизвестны или недостаточно известны; во второй-объект рассматривается как совокупность взаимосвязанных узлов. Предполагается возможным определять состояние каждого узла. Нами принята смешанная трехступенчатая иерархическая модель.

Изделие представляется совокупностью взаимосвязанных узлов, узлов - совокупностью взаимосвязанных элементов (деталей). Диагностируется структурное и функциональное состояние изделия. В последнем случае узел и элемент понимаются в обобщенном смысле. Состояние изделия в целом (общий диагноз) определяется по состоянию узлов (по локальным диагнозам). Состояние узла (локальный диагноз) определяется либо по обобщенным параметрам узла, либо по состоянию составляющих его элементов (локальным по отношению к узлу диагнозам).

Введем понятие идеальной системы диагностирования. Идеальная система должна:

выдавать абсолютно точный и полный диагноз на ранней стадии развития дефектов;

своевременно реализовать результаты диагноза;

минимизировать затраты на процедуру диагностирования и быть удобной в эксплуатации.

Соответственно совокупность характеристик разделим на три группы: характеристики качества диагноза; характеристики практического использования результатов диагноза; эксплуатационные характеристики систем диагностирования.

Качество диагноза оценим пятью характеристиками: достоверностью, глубиной, полнотой, стадией диагноза и числом диагностируемых видов состояния. Первые три из них рассмотрены Л.Г.Евлановым применительно к системам контроля динамических систем [1].

Достоверность диагноза

$$D = 1 - \rho_{ош} , \quad (I)$$

где $\rho_{ош}$ - вероятность ошибок диагноза, определяет относительное количество полученной диагностической информации и меру доверия к результату диагноза. Она обусловлена используемой системой диагностических признаков, точностью измерения их значений и правильностью классификации состояния по результатам измерения.

Система признаков должна удовлетворять условиям минимальности и полноты. Требование минимальности вызвано возрастанием затрат на процедуру диагностирования с увеличением числа признаков. Полнота опреде-

ляет степень охвата признаков x , характеризующих состояние объекта, и достоверность диагноза.

Полноту системы признаков оценим количественно отношением числа используемых для диагноза признаков m к числу минимально необходимых для достоверного диагноза n с учетом их значимости (веса) ρ_x :

$$P_c = \sum_{i=1}^m \rho_x^i / \sum_{j=1}^n \rho_x^j \quad (2)$$

Значимость признака определяется достоверностью диагноза только по этому признаку:

$$\rho_x^i = 1 - p_{\text{ош}}^i = D_i.$$

Погрешность измерения признака (или обобщенного параметра системы признаков) снижает достоверность диагноза вследствие уменьшения количества информации. При этом относительная погрешность должна определяться как отношение абсолютной погрешности Δx к диапазону изменения значений измеряемого признака при развитии дефекта:

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{max}} - x_{\text{min}}} \quad (3)$$

Правило принятия решений (заключений о состоянии объекта диагностирования) также может вносить ошибки. Количественно их можно определить как ошибки диагноза при минимально необходимом числе признаков и точном измерении их.

Глубина диагноза Γ определяет степень локализации дефекта. Введем четыре градации глубины: до группы узлов, до узла, до детали, до причины дефекта. Часто последние две градации сливаются.

Объем диагноза устанавливает степень охвата элементов, определяющих состояние объекта. В локальной диагностике объектом диагностирования является узел. Если состояние узла определяется n элементами, а диагностируется состояние m элементов, то объем диагноза выразится отношением

$$O_y = \frac{m}{n} \quad (4)$$

Объем диагноза изделия найдется через объем диагноза узлов

$$O_n = \sum_{i=1}^M O_y^i / \sum_{i=1}^N O_y^i \quad (5)$$

либо по зависимости (4) с подстановкой соответствующего числа элементов изделия.

Стадия диагноза определяется соответствующей стадией развития дефекта. Примем трехстадийную модель развития дефекта, в которой будем различать раннюю стадию I (микроизменения состояния), стадию первичных разрушений II (макроизменения состояния) и стадию вторичных явлений III (различные стадии вторичных дефектов). При усталостных дефектах ранняя стадия совпадает с подготовительной (инкубационной), заканчивающейся образованием усталостной трещины, а стадия первичных разрушений - со стадией развития усталостной трещины, заканчивающейся разрушением детали [2]. Стадия вторичных явлений заканчивается полной потерей работоспособности узла или изделия. При функциональных дефектах разрушение понимается в обобщенном смысле. Диагноз на III стадии малоэффективен не только из-за значительных разрушений, но также из-за невозможности установления первичной причины разрушения.

Число видов (классов) состояний, на которые разделяется множество возможных состояний объекта диагностирования, должно быть не менее двух. Во многих случаях желательно разделение на три класса. Часто работоспособность отождествляется с состоянием. Будем различать три класса состояний объекта по уровню работоспособности: "годен", "годен с ограничениями" (работоспособен с ухудшенными параметрами), "негоден" (полная потеря работоспособности, остановка).

Рассмотренные характеристики определяют потенциальную ценность диагноза. Реальная ценность зависит от возможности осуществления своевременных регулирующих воздействий на объект диагностирования. Желательны регулирующие воздействия, сохраняющие полную или частичную работоспособность изделия до окончания технологического цикла работы, например, путем резервирования или изменения режима работы с целью устранения обратимых или замедления развития необратимых дефектов. При опасном развитии дефекта или внезапном опасном воздействии внешних или внутренних факторов необходима аварийная защита изделия (остановка и включение защитных средств).

Своевременность регулирующих воздействий определяется оперативностью диагноза, прогноза и регулирующего воздействия. Количественно оперативность воздействий можно оценить отношением

$$O_n = 1 - \frac{\Delta \tau_{\Sigma}}{\Delta \tau_{cm}}, \quad (6)$$

где $\Delta \tau_{\Sigma}$ - суммарные затраты времени работы изделия на процедуры диагноза, прогноза и регулирования:

$$\Delta \tau_{\Sigma} = \Delta \tau_{\theta} + \Delta \tau_{np} + \Delta \tau_{p},$$

$\Delta \tau_{см}$ - оставшаяся возможная наработка на данной стадии с момента начала диагноза.

Затраты на процедуру диагностирования включают затраты на обеспечение контролепригодности объекта, на разработку, изготовление и эксплуатацию системы диагностирования. Количественно их удобнее выражать в относительной форме

$$k = \frac{C_{np}}{C}, \quad (7)$$

где C_{np} - стоимость затрат на процедуру диагноза, C - стоимость затрат, связанных с устранением последствий непредупрежденных дефектов.

Информативность диагностического сигнала является дополнительной характеристикой, влияющей на некоторые из рассмотренных. При диагностике по параметрам рабочего процесса часто используются одновременно сигналы различных датчиков (температура, давление, обороты и др.), поскольку сигнал одного датчика недостаточно информативен. В то же время вибрационные процессы высокоинформативны - сигнал от одного датчика несет информацию, достаточную для достоверного диагностирования состояния нескольких элементов (узлов) одновременно. Например, по датчику вибрации корпуса изделия можно диагностировать многие дефекты, приводящие к изменению дисбаланса, дефекты подшипников роторов, обрывы рабочих лопаток, явления помпажа и неустойчивого горения. Эти возможности обусловлены широким диапазоном частот вибрационных процессов - от единиц герц до десятков килогерц.

Количественно информативность сигнала может быть оценена по полноте системы признаков (2) и объему диагноза (4), (5).

Изложенная система характеристик позволяет более полно и более объективно оценивать возможности и эффективность различных методов диагностики.

Л и т е р а т у р а

1. Е в л а н о в Л.Г. Контроль динамических систем. М., "Наука", 1972.
2. Б о л о т и н В.В. Статистические методы в строительной механике. М., Изд-во литературы по строительству, 1965.