

УДК 621.001.63

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАШИН

© А. Е. Проволоцкий, д.т.н., профессор,
Т. М. Кадильникова, к.т.н., доцент, Национальная
металлургическая академия, Днепропетровск, Украина

**Розглянуто питання вибору діагностичних параметрів
технічного стану машин з позицій ймовірного підходу
та теорії розпізнавання образів.**

**The question of a choice of diagnostic parameters of a technical
condition of machines from positions of the probable approach
and theory of recognition of images is considered.**

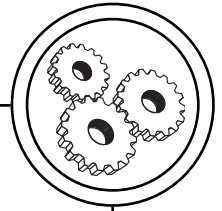
Для определения работоспособности машины, поиска дефектов и прогнозирования состояния необходимо измерять диагностические параметры.

Измеряемые диагностические параметры выбираются из множества принципиально возможных параметров некоторого ограниченного количества (множества) для исследования информативности признаков, сформулированных на этих параметрах. На основании информативности признаков определяется окончательный состав измеряемых физических параметров, которые используются в дальнейшем для диагноза неисправных состояний. С усложнением современного оборудования и условий его эксплуатации повышаются требования к его надежности и, как следствие, возрастает число контролируемых параметров.

Использование математического моделирования делает возможным для конкретной машины (узла или механизма) определить совокупность показателей её технического состояния (диагностических параметров), соответствующих нормальному или оптимальному тех-

ническому состоянию. Для этого путем анализа предварительных результатов моделирования выбираются наиболее информативные индикационные показатели, совокупность которых репрезентативно фиксирует состояние исследуемого объекта. В процессе мониторинга фиксируются фактические значения индикационных показателей. Использование результатов математического моделирования позволяет сократить стоимость натурных мониторинговых исследований путем ограниченного изучения режимов работы в наиболее опасных, заранее определенных диапазонах пространства варьируемых параметров на предварительной фазе исследований. Информация, полученная на основе анализа математических моделей, позволяет более тщательно и внимательно проводить диагностирование и осмотр находящихся уже в эксплуатации машин.

Перечень свойств и диапазон изменения основных параметров объекта наблюдения должен быть положен в основу выбора чувствительных элементов и методов мониторинговых исследований, на-



иболе адекватных изучаемому процессу, а также системе наблюдений. Желательно комплексирование экспериментальных методов — согласованное изменение физических полей различной природы повышает однозначность окончательных результатов [1, 2].

Физические параметры разделяются на следующие: кинематические, геометрические, статические, динамические, тепловые, акустические, электрические, магнитные, механические, молекулярные, излучений, атомной физики, универсальные физические постоянные.

При этом важно выделить дополняющие или «ортогональные» методы наблюдений и ограничить множество диагностических параметров, поскольку неоправданное увеличение количества входных данных приводит к существенному увеличению погрешности.

Так, например, для успешного проведения диагностирования по динамическим параметрам необходимо:

1. Ограничиться рассмотрением следующих физических величин: время, скорость, ускорение, угловая скорость, угловое ускорение, период, частота периодического процесса, фаза, энергия, мощность, коэффициент трения, коэффициент сопротивления, коэффициент упругости, момент силы, момент инерции, затухание, напряжение, вязкость, текучесть.

2. Изучить связь тех упругих характеристик узлов, блоков и деталей машины, которые могут быть получены из мониторинговых наблюдений (скоростей упругих волн, поглощения и т.д.) с напряженно-деформированным состоянием и другими параметрами (реологическими свойствами, коррозией и др.) с тем, чтобы путем слежения

за упругими характеристиками делать заключение об изменении тех свойств, которые непосредственно определяют устойчивость и работоспособность машины.

3. На основе аппроксимационных математических моделей спроектировать систему мониторинга и на её основе определить оптимальную систему непрерывных наблюдений.

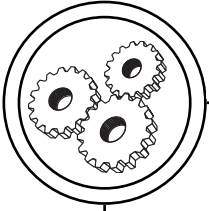
4. Определить статистические критерии «тревоги», т.е. порогового значения аномалий, за которыми можно ожидать катастрофу [3, 4].

Можно выделить основные виды техногенного воздействия, приводящие к развитию нештатных ситуаций и экспериментальные физические методы измерений, наиболее чувствительные к ним:

- тепловое воздействие — инфракрасная съемка, термометрия;
- механическое воздействие — измерение скоростей и ускорений;
- физико-механическое воздействие — деформационные измерения;
- изменение электромагнитного поля — электрометрия.

Представляется, что перспективным является подход к возникновению нештатных ситуаций при эксплуатации машин, как к следствиям развития процессов нелинейного характера и преодоление критических точек. Очевидно, что нештатная ситуация может произойти при достижении критической точки разными путями:

- при снижении устойчивости системы и неизменных возмущающих силах;
- при неизменной устойчивости системы и возрастании возмущающих сил до порогового значения;
- при одновременном снижении устойчивости и росте возмущающих сил.



Если исходить из подобной модели, то становится ясным, что к возникновению нештатных ситуаций при эксплуатации машин **можно прийти в двух главных направлениях, касающихся устойчивости систем и развития возмущающих процессов** [4].

Достоверность диагноза может быть повышена путем неоднократных проверок. Так, если представляет собой событие, заключающееся в том, что работоспособной технической системой диагностирования (ТСД) объект признается работоспособным, а \bar{c}_2 соответствует признанию неработоспособного объекта неработоспособной системой диагностирования, то их достоверность будет определяться выражениями:

$$D(c_1) = \frac{P(\bar{c} / H_1) P(H_1)}{\sum_{i=1}^4 P(c / H_i) P(H_i)}$$

$$D(\bar{c}_2) = \frac{P(\bar{c} / H_2) P(H_2)}{\sum_{i=1}^4 P(\bar{c} / H_i) P(H_i)}$$

где $P(\bar{c} / H_1)$ $P(\bar{c} / H_2)$ — условия вероятности получения диагноза; c, \bar{c} — события работоспособности и неработоспособности объекта, соответственно; при наличии события H_1 объект работоспособен, ТСД работоспособны; H_2 — объект неработоспособен, ТСД работоспособен; $P(H_1)$, $P(H_2)$ — вероятности наступления соответственно событий H_1 и H_2 ; H_3 — событие заключающееся в том, что объект диагностирования (ОД) работоспособный при работоспособной ТСД; H_4 — ОД неработоспособный при неработоспособной ТСД.

События $H_i (i = \bar{1}, \bar{4})$ попарно несовместимы и образуют полную группу событий:

$$P(H_1) + P(H_2) + P(H_3) + P(H_4) = 1.$$

Следовательно, в соответствии с аксиомой сложения вероятностей, достоверности того, что события c_1 и \bar{c}_2 наступят r раз при выполнении n проверок, будут равны:

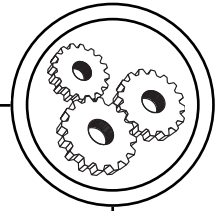
$$D_r(c_1) = \frac{\sum_{k=r}^n C_n^k P^k(c_1) (1 - P(c_1))^{n-k}}{\sum_{i=1}^4 \sum_{k=r}^n C_n^k P^k(c_i) (1 - P(c_i))^{n-k}}$$

$$D_r(\bar{c}_2) = \frac{\sum_{k=r}^n C_n^k P^k(\bar{c}_2) (1 - P(\bar{c}_2))^{n-k}}{\sum_{i=1}^4 \sum_{k=r}^n C_n^k P^k(\bar{c}_i) (1 - P(\bar{c}_i))^{n-k}}$$

Возрастание достоверности оценки состояния ОД при неоднократных проверках позволяет снизить требования к достоверности однократной проверки и достичь заданной достоверности путем планирования неоднократных проверок.

Техническую диагностику машин и механизмов можно интерпретировать как распознавание классов технического состояния объекта по совокупности его технических характеристик. Для решения этой проблемы целесообразно применять математическую теорию распознавания образов. Применительно к диагностике машин задача распознавания может быть сформулирована следующим образом.

Пусть исходное множество W явлений, ситуаций, процессов в машинах подразделено на классы: $W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$. Различные технические характеристики машин объединяются во множество



признаков $U = \{u_1; u_2; \dots; u_n\}$. Составлено описание каждого класса $W_i (i=1, \bar{m})$ на языке признаков $u_j (j=1, \bar{n})$, т.е. составлена функциональная зависимость вида $W_i = p_i(u_1, u_2, \dots, u_n)$. Сведения, заключенные в этих зависимостях представляют собой априорную информацию системы распознавания; $p_i(U)$ — плотность распределения признаков внутри i -го класса).

Пусть в результате проведения экспериментов установлено, что для рассматриваемого состояния признаки приняли значения: $u_1 = u_1^0; u_2 = u_2^0, \dots, u_n = u_n^0$. Требуется установить, к какому классу относится распознаваемое состояние. Решение задачи распознавания осуществляется на основе сопоставления апостериорной информации с априорным описанием классов при помощи алгоритма распознавания.

Реализация процесса распознавания осуществляется посредством сравнения параметров текущего состояния машины с эталоном каждого класса. Под эталоном понимается некий усредненный образ класса. При большом числе членов класса можно значительно упростить процедуру определения принадлежности к одному из классов предварительным формированием эталонов каждого класса и сравнением вновь предъявленного к распознаванию. При построении реальных систем диагностирования возникает вопрос о мощности множества признаков. Увеличение мощности множества хотя и приводит к увеличению достоверности распознавания, но требует, как правило, дополнительных материальных средств на реализацию системы.

При большой мощности множества U достоверность диагноза снижается. Вот почему так важно при разработке системы технического диагностирования тщательно оценивать, какие классы технических состояний машин и механизмов целесообразно включать во множество признаков.

При выборе диагностических признаков необходимо учитывать ряд требований, вытекающих из задачи оптимизации системы диагностирования. Прежде всего признаки должны быть однозначно связаны с состоянием машины и осуществлять обнаружение дефектов на ранних стадиях их развития.

Множество диагностических признаков формируется с учетом их информативности и ограничений на ресурсы (массовые, габаритные, временные, стоимостные и др.).

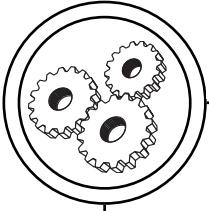
Пусть задано множество классов $W = \{W_1, W_2, \dots, W_m\}$, априорное множество признаков $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, априорные вероятности состояний $P(W_i)$, а также плотности распределения признаков i -го класса $p_i(u_1, u_2, \dots, u_n)$. Исходная энтропия такой системы равна:

$$H_0 = -\sum_{i=1}^m P(W_i) \ln P(W_i).$$

После измерения признака u_j энтропия в системе принимает значение:

$$H(u_j) = -\sum_{i=1}^m P\left(\frac{W_i}{u_j}\right) \ln P\left(\frac{W_i}{u_j}\right),$$

где $P\left(\frac{W_i}{u_j}\right)$ — условная вероятность отнесения распознаваемого состояния механизма или машины к классу W_i , определяемого по формуле:



$$P\left(\frac{W_i}{u_j}\right) = \frac{P(W_i) P_i(u_j)}{\sum_{i=1}^m P(W_i) P_i(u_j)}.$$

Информативность признака u_j , т.е. количество информации, которое получает система распознавания при измерении признака u_j определяется как разность значений энтропии начального и текущего состояний:

$$I(u_j) = H_0 - H(u_j).$$

При проектировании реальной системы распознавания технического состояния целесообразно оценивать информативность каждого признака в предположении, что он определен первым. Такая процедура позволяет предварительно определить, какие из признаков множества U целесообразно исключить из дальнейшего рассмотрения.

При диагностике машин и механизмов в качестве основного требования к диагностическому признаку — высокая чувствительность к изменению структурного параметра, т.е. большая скорость его изменения от нормального со-

стояния механизма W_H до дефектного W_D .

Информативность такого признака вычисляется по формуле:

$$I_j = \frac{(U_j^D - U_j^H)}{U_j^H},$$

где U_j^H , U_j^D — значения диагностических признаков при нормальном и дефектном состояниях механизма.

Для каждого класса машин и механизмов формируются эталонные кривые — определенным образом аппроксимированные и усредненные внутри класса значения диагностических признаков, а также формируются их пороговые значения, соответствующие предельным значениям диагностируемых параметров технического состояния.

На основании сравнения текущих и эталонных диагностических признаков, хранящихся в базе данных ПЭВМ, производится операция принятия решения, т.е. ставится диагноз, на основании которого осуществляется операция управления объектом диагностирования.

1. Исследования в общей теории систем. Сб. пер. — М.: Прогресс, 1969. — 200 с.
2. Кофф Г. Л. Комплексный мониторинг и практика. АН СССР. — М., 1991. — С. 11—13.
3. Нолет Г. (под ред.) Сейсмическая томография // М.:МИР, 1990. — 416 с.
4. Кушнир А. Ф., Писаренко В. Ф. и др. Компенсация помех в многомерных физических наблюдениях. В кн. Методы и алгоритмы интерпретации сейсмических данных. — М.: Наука, 1980. — С. 146—151.

Надійшла до редакції 21.03.06