

Под последним понимается следующее: *МП* должна способствовать тому, чтобы из занятия для посвященных компьютерное проектирование стало культурной нормой повседневной жизни неограниченного круга людей, в числе которых и элита проектирования, и представители самых разных направлений деятельности, не являющиеся профессиональными разработчиками.

Экономический эффект от перехода к интенсивной компьютеризации проектирования состоит в том, что прекращается распыление ресурсов на дорогостоящие и часто дублирующие друг друга разработки бесчисленных индивидуализированных, короткоживущих САПР. *МП* просто тиражируется для различных предметных областей, а перед запуском настраивается подключением предметно-ориентированных библиотек и заданием траектории процесса проектирования.

Одновременно *МП* повышает востребованность и эффективность применения программных продуктов и средств проектирования, которыми богат рынок, но использование которых вне системы не всегда технологично и эффективно.

Соответствующая парадигма, или компьютеризация «сверху вниз», должна сменить, на наш взгляд, в роли доминирующей парадигму позадачной компьютеризации («снизу вверх»), сосуществовать и эффективно взаимодействовать с последней.

Литература. 1. Балашов Е.П. Эволюционный синтез систем. – М.: Радио и связь, 1985. – 328 с. 2. Седенков В.М. Эволюционное проектирование сложных объектов. Ч1. Синтез прототипов систем. Учебное пособие. БГПА, г. Минск, 1997, 156 с. 3. Sedenkov V. Product Structuring and Synthesis in Evolutionary Design. Proceedings of the Third International Symposium “Tools and Methods of Competitive Engineering”, 18-21.04.2000, Delft, pp.183-197 4. Седенков В., Полойко Д. Структурный синтез систем. Лабораторный практикум. Минск, БГУ, 2001. 96 с. 5. Sedenkov V. Towards Personal Systems for Creative Design. Poster papers of the Fourth International Symposium “Tools and Methods of Competitive Engineering”, 22-26.04.2002, Wuhan, R.P. China, pp. 1-15.

УДК 621.45

А.В. Сергеев

ВИБРОДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДУЛЕЙ

*НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко при БГУ
Минск, Беларусь*

Для обеспечения безотказной работы промышленного оборудования необходимо своевременно производить замену дефектных деталей и узлов, до наступления отказа. Этого можно достичь в результате проведения следующих мероприятий:

1) замене детали, узла или всего механизма, после окончания заданного заранее нормативного срока, равного суммарному допустимому времени эксплуатации,

2) использованию фиксированного межремонтного цикла, когда по истечению нормативного срока цикла механизм разбирают, проводят выбраковку и замену изношенных узлов и деталей,

3) осуществлению ремонта по фактическому состоянию, определяемому с помощью непрерывного или периодического мониторинга технического состояния всего механизма, каждого ответственного узла или детали, в процессе эксплуатации оборудова-

ния. Обслуживание и ремонт производят при возникновении в оборудовании опасных неисправностей.

Среди перечисленных выше подходов наиболее перспективным является последний, так как он позволяет снизить простои оборудования, расход запасных частей, затраты на ремонтно-восстановительные работы. Эффективно реализовать этот подход можно с помощью вибродиагностических систем, использующих информацию о состоянии узлов и деталей, содержащуюся в вибрационных сигналах, возбуждаемых при работе оборудования. Достоинством вибрационных сигналов является то, что они обладают как большой информативностью, так и высокой чувствительностью к изменениям технического состояния деталей и узлов. Применение методов и средств вибродиагностики не требует разборки или доработки конструкций диагностируемого узла.

Повысить эффективность вибродиагностических систем можно путем использования для обработки вибрационных сигналов и принятия решений нечетких нейросетевых технологий. Достоинством нейросетевого подхода является то, что он позволяет формировать базу знаний, используя всю информацию о каждом диагностируемом состоянии оборудования, содержащемся в вибросигнале. В данном докладе будут рассмотрены принципы построения диагностических экспертных систем на основе нечетких нейросетевых модулей. Пусть имеется механизм, характеризуемый K диагностическими состояниями, каждое из которых соответствует определенному дефекту. Диагностическая экспертная система, распознающая эти состояния, содержит K нечетких нейросетевых модулей, каждый из которых обучен идентифицировать одно k -е диагностическое состояние, где $k = \overline{1, K}$. Все нечеткие нейросетевые модули построены на основе радиальных базисных функций и имеют одинаковую архитектуру. Каждый нечеткий нейросетевой модуль имеет L входов и один выход и содержит L радиальных базисных функций, с помощью которых формируются функции принадлежности, соответствующие нечетким множествам на входах модуля. На каждый вход нечеткого нейросетевого подаются компоненты вектора $\vec{X} = \{x_i\}$, где i -я компонента получена в результате предварительной статистической обработки исследуемого вибрационного сигнала и представляет собой i -й элемент статистического ряда, используемого при построении гистограмм с L уровнями, $i = \overline{1, L}$. Функция принадлежности на выходе i -й радиальной базисной функции равна

$$\mu_i^{(k)}(x_i) = \exp[-(x_i - A_i^{(k)})^2 / B_i^{(k)}], \quad i = \overline{1, L}, \quad k = \overline{1, K},$$

где $A_i^{(k)}, B_i^{(k)}$ - параметры, являющиеся средним значением и дисперсией элементов статистических рядов, полученных из N отрезков обучающей реализации k -го диагностического состояния, $N = \text{Ent}(NT/M)$, NT - количество отсчетов в реализации, M - количество отсчетов в отрезке. Оценка параметров осуществляется в процессе обучения нечеткого нейросетевого модуля k -му диагностическому состоянию [1]. На выходе нечеткого нейросетевого модуля, обученного k -му диагностическому состоянию, имеем соотношение

$$\mu(k, \vec{X}) = \min_i [\mu_i^{(k)}(x_i)], \quad i = \overline{1, L}, \quad k = \overline{1, K},$$

которое после нормировки можно представить в виде

$$\bar{\mu}(k, \vec{X}) = \mu(k, \vec{X}) / \left[\sum_{k=1}^K \mu(k, \vec{X}) \right].$$

Решение о том, что исследуемый вибрационный сигнал соответствует k_m -му диагностическому состоянию механизма принимается в случае, если имеет место соотношение

$$\bar{\mu}(k_m, \vec{X}) = \max_k [\bar{\mu}(k, \vec{X})], \quad k = \overline{1, K}, \quad m = \overline{1, K}.$$

Для оценки эффективности предложенного принципа построения вибродиагностической экспертной системы были проведены вычислительные эксперименты. Исследовались дефекты шариковых подшипников (ШП). Очевидно, что в процессе работы ШП возбуждаются вибросигналы, вид которых зависит от технического состояния подшипников. Предполагалось, что исследуемый ШП может иметь три возможных дефекта:

- 1) перекос внутреннего кольца и сколы тел качения,
- 2) перекос внутреннего кольца, раковины и трещины на наружном кольце,
- 3) трехгранность внутреннего кольца.

На основании математических выражений, приведенных в [2] были рассчитаны виброускорения, порождаемые ШП при наличии у них перечисленных выше дефектов. При вычислениях использовались следующие параметры ШП:

- диаметр шариков = 0,00953 м,
- число шариков = 7,
- диаметр окружности центров шариков = 0,036 м,
- угол контакта = 10,0 град.,
- число оборотов ротора = 2000 об/мин.,
- глубина модуляции = 0,3.

На рис. 1-3 представлены графические изображения вибросигналов, рассчитанных при данных параметрах ШП для трех типов предполагаемых дефектов.

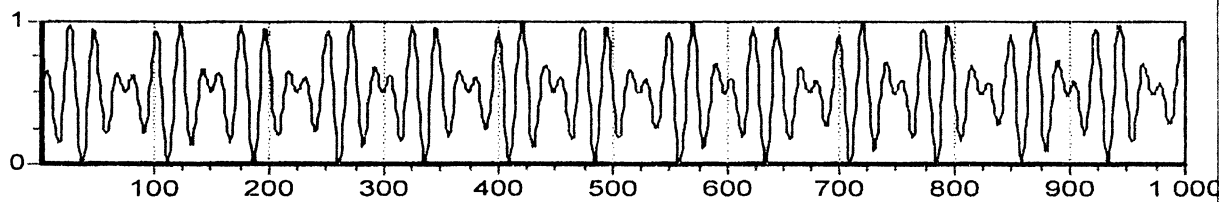


Рис.1. Вибросигнал, возбуждаемый ШП при наличии перекоса внутреннего кольца и сколов тел качения

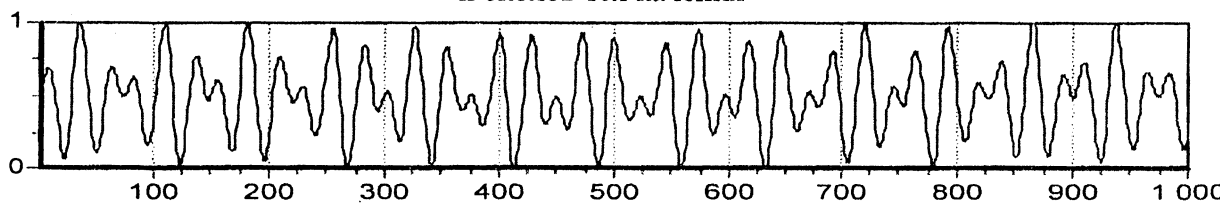


Рис.2. Вибросигнал, возбуждаемый ШП при наличии перекоса внутреннего кольца, раковин и трещин на наружном кольце

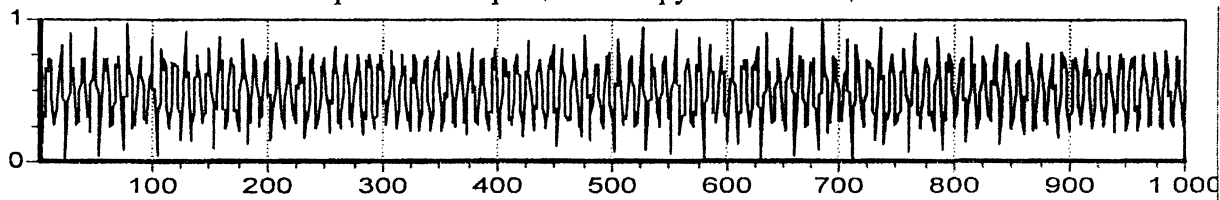


Рис.3. Вибросигнал, возбуждаемый ШП при наличии трехгранности внутреннего кольца

Результаты исследования эффективности вибродиагностической экспертной системы при распознавании наличия у ШП одного из возможных дефектов приведены в таблице.

Таблица. Результаты, полученные при моделировании работы вибро-диагностической экспертной системы на нечетких нейронных сетях

М	Номер дефекта	$\bar{\mu}(1, \bar{X})$	$\bar{\mu}(2, \bar{X})$	$\bar{\mu}(3, \bar{X})$
300	1	0,0	0,0	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
400	1	9,999E-01	9,874E-04	5,741E-58
	2	1,277E-01	8,722E-01	2,466E-59
	3	1,676E-22	1,271E-24	1,0
500	1	9,999E-01	1,833E-06	5,956E-135
	2	2,857E-01	7,142E-01	4,977E-145
	3	2,094E-29	5,242E-38	1,0
600	1	9,999E-01	7,521E-06	0,0
	2	1,083E-01	8,916E-01	0,0
	3	6,804E-43	2,598E-42	1,0
700	1	1,0	9,361E-09	0,0
	2	7,777E-02	9,222E-01	0,0
	3	1,718E-32	5,139E-45	1,0

Полученные результаты показывают, что предложенная нейросетевая структура позволяет правильно идентифицировать дефекты ШП, начиная со значений длин обрабатываемых отрезков реализаций вибросигналов $M=400$ отсчетов и по мере увеличения длины отрезков эффективность вибродиагностической системы возрастает.

Литература. 1. Сергеев А.В. Использование статистической обработки для обучения нечетких нейросетевых модулей// Цифровая обработка информации и управление в чрезвычайных ситуациях. Доклады III международной конференции. Мн. – 2002. – Т.1- С. 226-231. 2. Сергеев А.В. Математические модели, описывающие вибросигналы, возбуждаемые подшипниками качения// Машиностроение. – Мн. –2002. – Вып. 18. – С. 498 – 504.

S. Karpovich, F. Semenyako

MODELING OF HYDRAULICAL MACHINE UNIT WITH NONHOLONOMIC CONSTRAINTS

Bialystok Technical university
Bialystok, Poland

In the modern devices of robotics and also in the various machines with hydraulic power drive, for example, loaders, excavators, machine tools, cars, several hydromotors of a translation motion are often driven by one hydropump [1-3]. Example of such system is shown in fig. 3. Real pump capacity determines corresponding flow rate of working liquid that enables to set in motion of the hydropump pistons. By neglecting the liquid deformation and outflow through the gaps in the joints and connections of the parts and assuming that the everywhere liquid continuously fills in the hydraulic line and the operating pistons cavities, the instantaneous volumetric