

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. В 80-х годах 20 столетия во всех родах вооруженных сил Советского Союза проводились НИОКР по применению искусственного интеллекта в военном деле. Теория искусственного интеллекта широко используется в экспертных системах различного назначения, в том числе в системах технического диагностирования трансформаторов и электрических двигателей. Любая экспертная система содержит базу знаний, базу данных, блок логических выводов. Для этих целей применяется табличная форма, логические функции, эталоны состояний, порядковая функция графа, матрица смежностей и метод Байеса. В статье рассматриваются экспертные системы технического диагностирования электрооборудования.

Искусственный интеллект начал активно развиваться за рубежом в 60–70 годах прошлого столетия. В 80-х годах во всех видах вооруженных сил Советского Союза проводились НИОКР по применению искусственного интеллекта в военном деле [1, 2]. Проводились исследования по применению искусственного интеллекта и для решения противоаварийных задач в корабельной атомной энергетической установке [3]. Результаты этих исследований хорошо демонстрируются сегодня в вооруженных силах Российской Федерации.

Разработка теории и систем искусственного интеллекта обусловлена в первую очередь двумя факторами:

- подготовка высококвалифицированных специалистов длительный, дорогостоящий и многократно повторяющийся процесс;
- высокоинтеллектуальные системы обеспечивают высокую надежность и безопасность эксплуатации технологических процессов любой сложности.

Теория искусственного интеллекта широко используется в экспертных системах различного назначения.

Применение экспертных систем техническом диагностировании силовых маслонаполненных трансформаторов.

Любая экспертная система проектируется по определенным принципам. Она должна содержать базу данных, базу знаний, блок логических выводов (рисунок 1). Для этих целей применяются реляционная (табличная) форма, логические функции, эталоны состояний, порядковая функция графа, матрица смежности и другие. При разработке экспертных систем привлекаются эксперты-специалисты соответствующей области [4].

В 2004–2005 гг. ОАО «Белгорхимпром» под руководством д.т.н., профессора Грунтовича Н. В. по заданию Концерна «Белнефтехим» разработал экспертную систему технического диагностирования для трансформаторов 110 кВ для ОАО «Беларуськалий» (рисунок 2). Состав системы: компьютерная экспертная система; трехканальная автоматическая система контроля $\text{tg}\delta$ вводов 110 кВ под нагрузкой; трехканальная виброакустическая система контроля вибрации бака трансформатора с компьютером. Виброакустическую систему можно было использовать как стационарную, так и как переносную.

В настоящее время многие зарубежные фирмы России, Украины, Ирландии, США, Швеции и др. предлагают стационарные компьютерные системы технического диагностирования трансформаторов. Но их нельзя считать системами противоаварийной защиты [5].



Рисунок 1. – Структурная схема интеллектуальной системы поддержки принятия решений

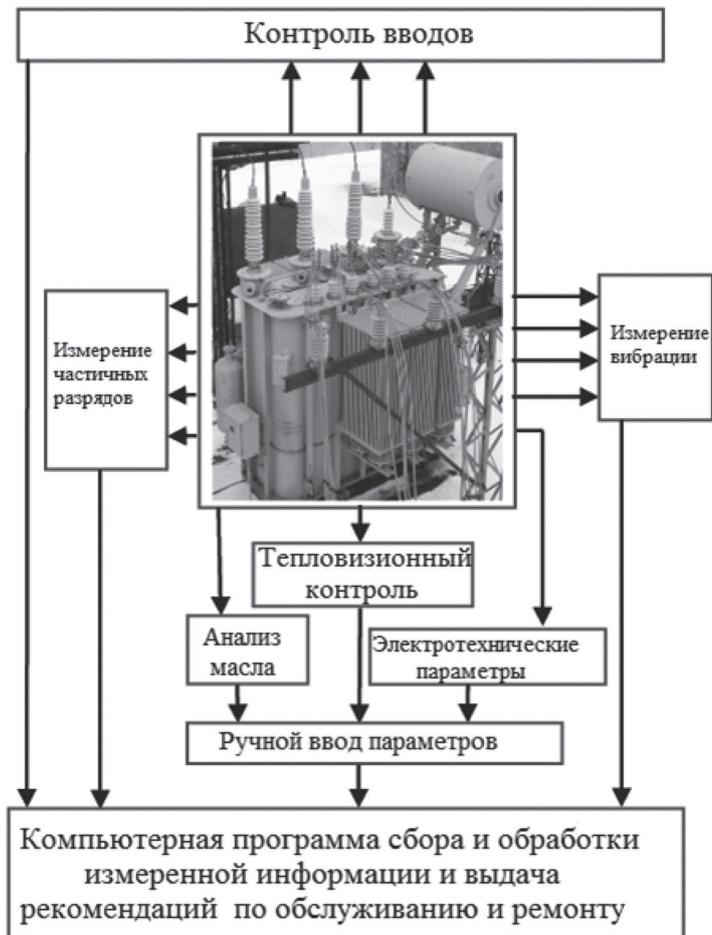


Рисунок 2. – Функциональная схема экспертной системы технического диагностирования трансформаторов 110–330 кВ

Применение экспертных систем в техническом диагностировании электрических двигателей.

Принцип работы эксперта в области вибродиагностики и алгоритм работы компьютерной программы:

1. Спектр вибрации подшипника качения электрического двигателя может находиться в базе данных (базы знаний). Выполняется анализ спектра по частоте и амплитуде. Выявляются возможные дефекты в подшипнике.

2. Определяются геометрические параметры подшипников качения и частота вращения внутреннего кольца (вала ротора механизма).

3. По формулам, которые находятся в базе знаний вычисляются основные информативные частоты вибрации, на которых могут проявляться дефекты, в зависимости от численного значения амплитуды вибрации (таблица 1).

Таблица 1. – Основные дефекты подшипников качения и частоты вибрации

Частота вибрации для выявления дефекта	Вид дефекта	Формула	Пояснение к формулам
1. Частота вращения сепаратора вокруг центра вала	Износ сепаратора	$f_c = \frac{f_p \cdot R_{вн}}{2(R_{вн} + r_{ш})}$	f_p – частота вращения ротора АД, Гц. Принята 24,4 Гц.; $R_{вн}$ – радиус рабочей поверхности внутреннего кольца подшипника качения, мм;
2. Частота вращения тел качения относительно наружного кольца	Раковины на наружном кольце, разноразмерность тел качения	$f_{шк} = f_c \cdot Z_{ш} \cdot k1$	$r_{ш}$ – радиус тел качения, мм. f_c – частота вращения сепаратора относительно центра вала, Гц; $Z_{ш}$ – количество тел качения; $k1$ – отношение длины окружности рабочей поверхности наружного кольца к длине окружности шара.
3. Частота вращения тел качения относительно внутреннего кольца	Раковины на рабочей поверхности внутреннего кольца	$f_{вк}' = f_p \cdot f_c$ $f_{вк} = f_{вк}' \cdot Z_{ш} \cdot k2$	$f_{вк}'$ – частота перемещения тел качения относительно рабочей поверхности внутреннего кольца; $f_{вк}$ – частота вращения тел качения относительно рабочей поверхности внутреннего кольца;
4. Частота вращения тела (всех тел) качения вокруг собственной оси	Раковины на телах качения	$f_{ш1} = f_p \cdot R_{вн} / 2 \cdot r_{ш}$	$k2$ – отношение длины окружности рабочей поверхности внутреннего кольца к длине окружности тела качения.
		$f_{ш2} = f_p \cdot R_{вн} / 2 \cdot r_{ш} \cdot Z_{ш}$	

4. Формируется диагностическая модель подшипника. Для этого определяется максимальное и минимальное значение виброускорения на каждой информативной частоте ($A_{мин}$, $A_{макс}$) согласно ISO2372 или согласно статистической обработки спектров.

5. Полученная разность между $A_{мин}$, $A_{макс}$ делится на пять зон износа: начальный; малый; средний; предельный; аварийный.

6. Экспертная система вычисляет степень риска дефектов на каждой информативной частоте. В таблице 1 приведены результаты диагностирования подшипника качения № 409.

Таблица 2. – Результаты вибродиагностирования подшипника качения № 409

Номер	Частота	Виброускорение, дБ			Износ	Дефект	Степень риска
		$A_{мин}$	$A_{тек}$	$A_{макс}$			
1	24,400	70,000	76,711	80,000	Средний	Нарушение балансировки	0,671
2	8,799	70,000	48,598	80,000	Начальный	Дефект сепаратора	0,000
3	31,561	70,000	53,390	80,000	Начальный	Дефект тел качения	0,000

Номер	Частота	Виброускорение, дБ			Износ	Дефект	Степень риска
		A_мин	A_тек	A_макс			
4	220,926	70,000	75,342	80,000	Средний	Дефект тел качения	0,534
5	61,592	70,000	59,099	80,000	Начальный	Разноразмерность тел качения	0,000
6	123,183	70,000	74,113	80,000	Нормальный	Перекас наружного кольца	0,411
7	15,601	70,000	52,258	80,000	Начальный	Дефект внутреннего кольца	0,000
8	109,208	70,000	68,515	80,000	Начальный	Дефект внутреннего кольца	0,000
9	7,161	70,000	48,598	80,000	Начальный	Износ поверхностей тел качения в норме	0,000
10	50,126	70,000	68,343	80,000	Начальный	Износ поверхностей тел качения в норме	0,000

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Поспелов, Д. А. Искусственный интеллект. Справочник. Книга 2. Модели и методы. М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.
2. Попов, Э. В., Фирдман, Г. Р. Алгоритмические основы интеллектуальных роботов и искусственного интеллекта. – М.: Наука, 1976. – 456 с.
3. Грунтович, Н. В., Скороходов, Д. А. Представление знаний в автоматизированных системах информационной поддержки операторов. Сборник НПО «Аврора» Л.: 1991 г.
4. Грунтович, Н. В., Чаус, О. В. Анализ принципов построения информационных систем поддержки операторов АЭС. Промышленная безопасность. 2012 – № 1. – С. 31–35.
5. Грунтович, Н. В., Фёдоров, О. В., Мороз, Д. Р., Третьяков, Б. Б., Колесников, П. М. Анализ проблемных вопросов эксплуатации маслонаполненных трансформаторов. Энергия и Менеджмент, 2017. – № 3 (96), С. 2–6.

HRUNTOVICH NIC. VAS., HRUNTOVICH NAD. VL.
Educational Establishment «Sukhoi State Technical University of Gomel»

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IMPLEMENTATION IN DIAGNOSTIC SYSTEMS OF POWER-ENGINEERING EQUIPMENT

Summary. In the 80s of the 20th century research and development were conducted in all kinds of USSR Armed Forces on the implementation of artificial intelligence in military affairs. The theory of artificial intelligence is widely used in expert systems of different purpose, including systems of technical diagnostics of transformers and electric motors. Any expert system contains knowledge base, database, inductive inference block. For these purposes a tabular form, logic functions, condition standards, order function of a graph, an adjacency matrix and the Bayesian method are used. The article considers expert systems of technical diagnostics of electrical equipment.