

## **Повышение качества диагностических операций при проведении планово-предупредительных ремонтов оборудования АЭС**

**Е.А. Абидова, О.Ю. Пугачёва, А.В. Чернов**

*НИИ АЭМ, Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл.*

В докладе рассмотрены проблемы обслуживания оборудования АЭС по состоянию, связанные с повышением чувствительности диагностических процедур. Предложена методика сравнения текущих диагностических параметров с заранее рассчитанными образами известных состояний путем использования метода главных компонент.

*Ключевые слова:* диагностика электромеханического оборудования, планово-предупредительный ремонт, электроприводная арматура, энтропия Шеннона, образ состояния, метод главных компонент.

Проблемой перехода от обслуживания электро-механического оборудования АЭС по регламенту к обслуживанию по состоянию является возможность проведения диагностирования только в период планово-предупредительного ремонта (ППР), и по результатам диагностирования устанавливается возможность безотказной эксплуатации данного оборудования в межремонтный период. Повышение чувствительности применяемых методов диагностирования к зарождающимся дефектам является актуальной и востребованной задачей. Актуальность данной задачи повышается в связи с переходом эксплуатации некоторых блоков на восемнадцатимесячный цикл, сокращением сроков ППР.

Самым массовым оборудованием, подвижным для диагностики, является электроприводная арматура (ЭПА): 5000 единиц на один блок ВВЭР-1000, среди которой есть элементы, отказы которых являются исходными событиями проектных аварий. ЭПА ежегодно подвергается диагностике путем регистрации и анализа тока, потребляемого двигателем. Рассчитанные по току двигателя характеристики сравниваются с нормативными для данного типа ЭПА значениями.

Основным достоинством метода анализа тока является его оперативность. Однако метод не обеспечивает чувствительности, глубины диагностирования которые достигается системами виброакустической диагностики [1]. Вибрационный контроль нескольких тысяч единиц оборудования, часть которого располагается в «грязных» зонах, в условиях сокращения времени диагностирования практически невозможен. В данной ситуации повысить качество диагностирования можно за счет совершенствования методов электрических сигналов.

В работе [2] показано, что качество диагностирования может быть существенно повышено за счет комплексного использования энтропийных и детерминированных показателей состояния ЭПА. В настоящей работе задачу многомерного анализа детерминированных и энтропийных характеристик предлагается решить с использованием метода главных компонент (МГК).

Классический метод [3] использует при обработке весь массив данных (исправных и неисправных состояний) и результаты классификации являются относительными. МГК в интерпретации, предлагаемой Трендафиловой [4], предполагает изначальное построение базиса и последующее проецирование на него анализируемых данных. Исходными данными являются результаты диагностирования соответствующие исправному состоянию. Для корректного применения метода при обработке диагностической информации нужно осуществить выбор и представление данных для построения базиса.

Для решения данной задачи [5] предлагается провести анализ нагрузок параметров, которыми характеризуется объект диагностирования, на главные компоненты. Проверяемые параметры, по которым планируется построить эталонный базис, подвергаются сингулярному разложению и проецированию. В результате получается матрица нагрузок, первые колонки которой являются координатами параметров в пространстве главных компонент (ГК). Положение параметров в пространстве ГК позволяет установить их относительную взаимосвязь и информативность.

С целью реализации предлагаемого подхода была исследована нагрузка параметров ЭПА на ГК. Путем анализа графика нагрузок (рисунок 1 а) установлено, что энтропия Шеннона, имея наибольшую нагрузку на компоненты, в наибольшей степени характеризует выборку параметров и, соответственно, состояние ЭПА. При этом штатные параметры (плавность хода, рабочий ток, время срабатывания) создают нагрузку, которой нельзя пренебречь, т.е. ни один из используемых параметров не целесообразно исключать.

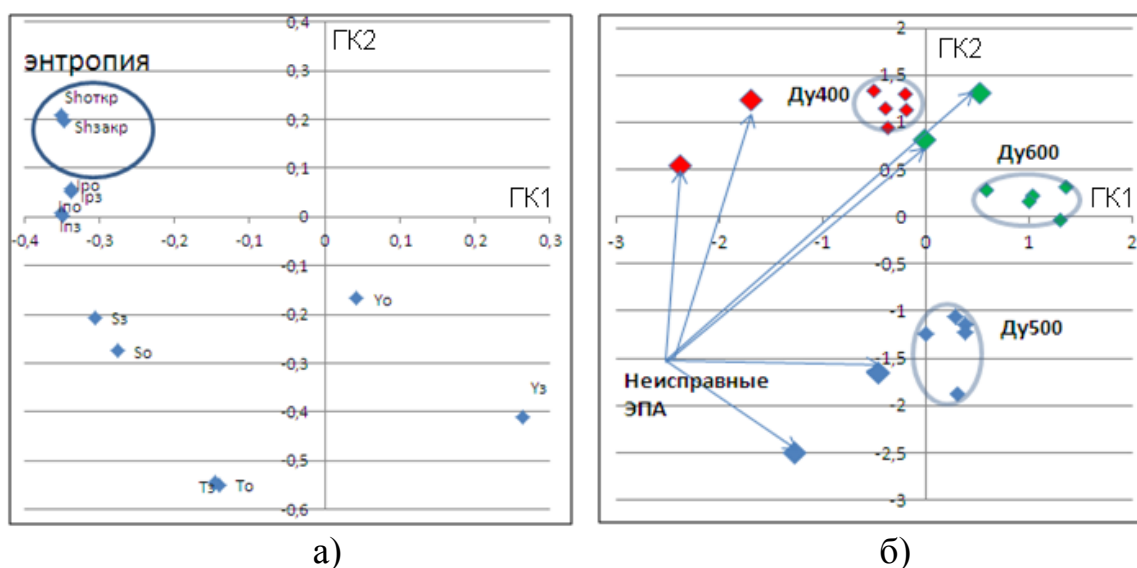


Рисунок 1 – Представление данных в пространстве ГК: а) представление диагностических параметров ЭПА; б) представление характеристик ЭПА

Применение алгоритма классификации данных к характеристикам ЭПА, - детерминированным и хаотическим (энтропийным), - позволил получить кластера, соответствующие типу оборудования (рисунок 1 б). При этом характеристики неисправного оборудования оказались вне кластеров. Важно, что учет энтропийных характеристик позволил избежать пропуска дефекта. Если в качестве исходных брались только параметры, предусмотренные штатной методикой, то характеристики неисправных ЭПА попадали в один кластер с исправными (т.е. возникали ошибки первого рода).

Таким образом, повышение качества диагностических операций за счет комплексного анализа детерминированных и хаотических характеристик позволяет осуществлять ремонт оборудования АЭС по состоянию.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Русов, В. Обзор вибрационных методов и технических средств, предназначенных для диагностики подшипников качения [Текст] / В. Русов // Главный механик. – 2009. – № 3. – С.15-18.
2. Муха, Ю.П. Алгоритмизация процесса обработки диагностических сигналов электроприводной арматуры с учетом хаотических составляющих [Электронный ресурс] / Ю.П. Муха, А.В. Чернов, Е.А. Абидова, Л.С. Хегай // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 2. – URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4253](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4253).

3. *Абидова, Е.А.* Оценка состояния водного объекта в зоне размещения РоАЭС с использованием метода главных компонент [Текст] / Е.А. Абидова [и др.] //Глобальная ядерная безопасность. – 2018. – № 4 (29). – С. 17-23.
4. *H Al-Bugharbee and I Trendailova*, ‘A fault diagnosis methodology for rolling element bearings based on advanced signal pretreatment and autoregressive modelling’, *Journal of Sound and Vibration*, Vol 369, pp. 246-265. 2016.
5. *T Liu, J Chen and G Dong*, ‘Singular spectrum analysis and continuous hidden Markov model for rolling element bearing fault diagnosis’, *Journal of Vibration and Control*, Vol 21, No 8, pp. 1506-1521. 2015.

## **Improving the Quality of Diagnostic Operations When Carrying Out Scheduled and Preventive Repairs of Equipment of Nuclear Power Plants**

**E.A. Abidova, O.Yu. Pugacheva, A.V. Chernov**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University “MEPhI”,  
Volgodonsk, Rostov region  
nii\_energomash@mail.ru*

**Abstract** – The report deals with the problems of maintenance of NPP equipment as associated with increased sensitivity of diagnostic procedures. The method of comparison of current diagnostic parameters with pre-calculated images of known states by using the principal component method is proposed.

*Keywords:* diagnostics of electromechanical equipment, scheduled preventive maintenance, electric drive valves, Shannon entropy, state image, principal component method.

УДК 608.2

## **Разработка механического устройства координатного слежения как средство виртуальной реальности для тренажёра сварщика**

**В.А. Толстов, В.В. Кривин, И.О. Ишигов**

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовской обл.*

Доклад посвящён разработке механического манипулятора для координатного слежения за торцом физической модели электрода в компьютерном тренажёре для обучения навыкам сварки. Рассматриваются вопросы проектирования механизма, выбора датчиков и программирования микроконтроллера для связи с компьютером.

*Ключевые слова:* дуговая сварка, тренажёр, манипулятор

Обучение рабочим профессиям в условиях повышения требований к качеству продукции машиностроения порождает необходимость в новых методах обучения. Во многих странах разработаны и активно используются тренажёры для обучения навыкам сварки [1]. Активное развитие энергетики в Российской Федерации и интерес к российским проектам АЭС со стороны зарубежных заказчиков породили спрос на специалистов высокой квалификации во многих областях. В таких условиях для подготовки сварщиков необходим недорогой, но в то же время эффективный тренажёр.

Для эффективного обучения сварщиков на тренажёре необходимы математические модели процесса сварки, которым была в значительной степени посвящена научная работа кафедры информационных и управляющих систем ВИТИ НИЯУ МИФИ. Однако исходными данными для моделирования являются координаты торца электрода, и для их регистрации