

---

---

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ  
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

---

---

УДК 621.818

**ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ  
ОБОРУДОВАНИЯ АЭС В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА НА 18-  
МЕСЯЧНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ**

© 2019 Е.А. Абидова

*Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета МИФИ, Волгодонск, Ростовская обл., Россия*

В работе поднимается вопрос повышения чувствительности диагностирования оборудования АЭС в связи с увеличением межремонтного периода. Предлагается использовать подход на основе метода главных компонент. Приводятся результаты эксперимента, указывающего на повышение чувствительности и избирательности за счет использования предлагаемого метода.

*Ключевые слова:* диагностика электроприводной арматуры, метод главных компонент, чувствительность, избирательность.

Поступила в редакцию 21.10.2019

После доработки 29.10.2019

Принята к публикации 05.11.2019

Безопасность и экономичность АЭС во многом обеспечивается качеством ремонта оборудования. Большая часть оборудования АЭС подвергается контролю и ремонту в период планово-предупредительного ремонта (ППР): ЭПА, насосы, машина перегрузочная. Реализуя стратегию обслуживания по состоянию, необходимость и объём ремонта этого оборудования обосновывается диагностированием. Таким образом, в течение ППР необходимо либо выявить и устранить дефекты, либо подтвердить возможность безотказной работы весь межремонтный период [1, 2]. В связи с переходом блоков АЭС на 18-месячный топливный цикл, сокращением времени ППР возрастают требования к чувствительности диагностических процедур.

Арматура АЭС – краны, вентили, задвижки – в настоящее время диагностируются по электрическим показателям [2]. Подход, конечно, позволяет в короткий период охватить большой объём оборудования, но чувствительность его недостаточна. Низкую чувствительность показывают функции плотности распределения вероятности параметров исправного и неисправного оборудования – они практически совпадают. Чувствительность вибродиагностик [3] выше, но регистрация вибросигнала слишком длительная процедура в условиях периода ППР [4].

Проблема локализации места неисправности (конкретизация дефекта) достигается за счет спектрального анализа диагностического сигнала. Показано, что в спектре сигналов вибрации и тока ЭМО проявляются гармоники дефектной детали [5]. Но на практике спектральный анализ тока ЭПА является трудоёмкой почти не поддающейся автоматизации процедурой и используется для обоснования наличия неисправности, а не её конкретного места.

Место неисправности существующими системами если и определяются, то по сигналам вибрации, а не тока. При чем, штатные системы выдают список диагнозов с разной степенью вероятности, что затрудняет обслуживание оборудования.

Обслуживание оборудования АЭС в условиях 18-месячного топливного цикла выдвигает следующие требования [6] к методам обработки диагностической информации:

- повышение чувствительности;
- конкретизация дефекта;
- автоматизация получения результатов.

Желательно, чтоб указанные требования выполнялись при обработке электрических сигналов, а не виброакустических. В работах [6-8] показано, что повышение чувствительности возможно за счет извлечения из диагностических сигналов дополнительной информации, содержащейся в хаотической составляющей. Для анализа как детерминированной, так и хаотической информации, содержащейся в сигнале, предлагается использовать метод главных компонент (МГК) [9]. Разработаны алгоритмы обработки диагностических сигналов оборудования АЭС.

Обработка требует наличия сигнала заведомо исправного оборудования и (желательно) сигналов оборудования, неисправность которого известна. На предварительных этапах получают эталонный базис и проекции разных состояний в этом базисе. Потом на тот же базис проецируется сигнал оборудования, состояние которого надо установить [10-12].

Для демонстрации преимуществ предлагаемого подхода были проведены эксперименты в лабораторных условиях. Первая серия экспериментов была направлена на иллюстрацию повышения чувствительности. В рамках эксперимента в оборудование вносили дефекты и регистрировали сигналы тока. Затем сопоставляли плотности распределения параметров исправного и неисправного оборудования. Исходные распределения токовых параметров практически совпадали, что исключало обнаружение дефекта. Но за счет проецирования тех же параметров на главные компоненты (ГК) вероятности ошибок снизились до приемлемого уровня, в отдельных случаях даже до нуля. Таким образом, чувствительность токового метода явно повысилась.

Следующая серия экспериментов проводилась для иллюстрации избирательности предлагаемого подхода по отношению к разным видам дефектов. Эксперимент состоял в регистрации диагностических сигналов заведомо исправного оборудования и оборудования с заранее внесенными дефектами: обрывы штока, разные стадии искривления штока, дефект резьбы (рис. 1).

Полученные сигналы тока были предварительно обработаны штатными методами: выявлено, что при наличии дефекта увеличивается время срабатывания и несколько снижается плавность хода. Эти признаки позволяют предположить неисправность, но ничего не говорит о её причине.

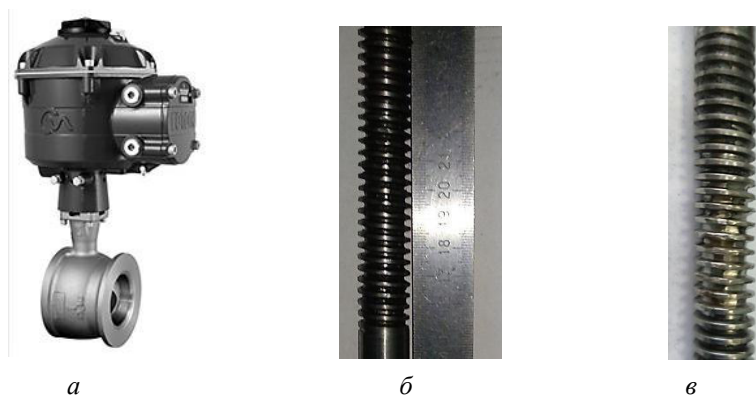


Рисунок 1 – Дефекты ЭПА: *а* – ЭПА *б* – искривление штока; *в* – дефект резьбы [Defects of electric valves: *a* – electric valves *б* – rod curvature; *в* – thread defect]

К тем же данным был применен предлагаемый алгоритм обработки. А именно, построен базис по сигналу исправной ЭПА; не него спроецированы сигналы арматуры, состояние которого известны; направления эталонного базиса выбраны так, чтоб проекции в нем различались; на тот же базис спроецирован сигнал условно неизвестного состояния (рис. 2).

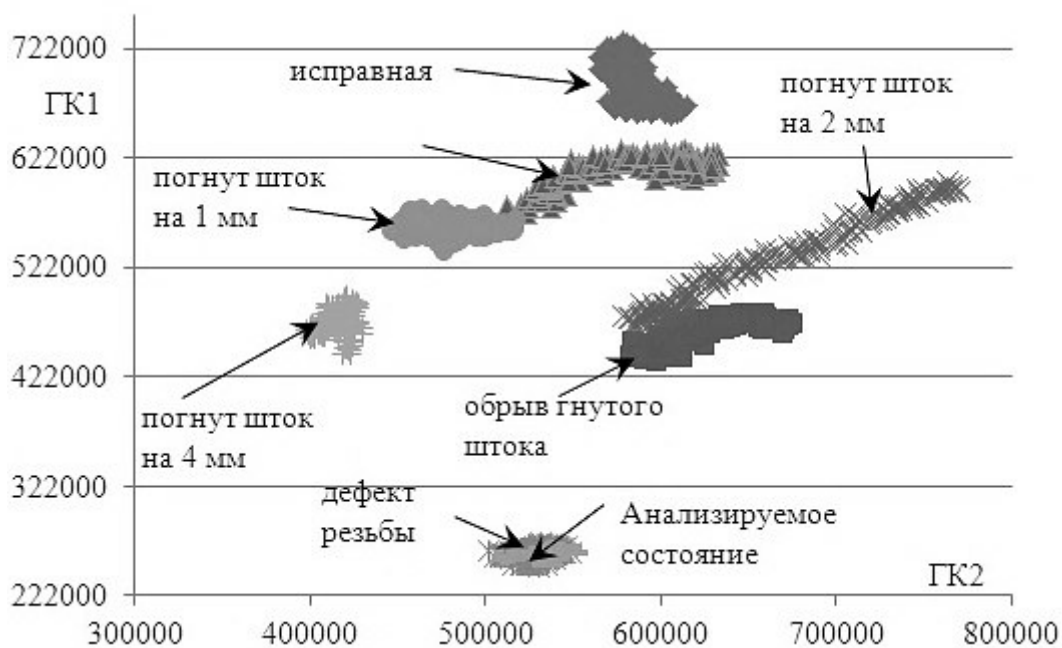


Рисунок 2 – Проекция электрических сигналов на ГК [Projections of electrical signals on the main components]

В рамках эксперимента анализируемое состояние известно, – шток погнут на 4 мм, – и оно явно идентифицируется по совпадению проекций. Очевидно, МКГ является альтернативой спектральному анализу для решения задачи локализации.

В рамках НИОКР (выполняемых НИИ «Атомное энергетическое машиностроение» ВИТИ НИЯУ МИФИ) разработаны программы для идентификации состояния оборудования с известными образами состояния. Результат (соответствие одному из образов) вычисляется в процентах.

Использование алгоритма в отношении диагностики ЭПА является одним из приложений. Аналогичные результаты достигнуты при диагностике другого оборудования АЭС. Предлагаемый подход внедрен при разработке комплекса диагностирования дизель-генераторных установок и комплекса диагностирования электроприводного оборудования. Комплексы являются пилотными проектами и проходят опытную апробацию.

За счет внедрения подхода, основанного на МКГ, планируется достигнуть повышения чувствительности диагностирования и избирательности по отношению к состоянию. А повышение качества диагностирования позволит выполнять ремонт оборудования по состоянию в необходимом объеме в условиях перехода АЭС на 18-месячный цикл.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения. – Москва, 2009.
2. Богданов, Е. А. Основы технической диагностики нефтегазового оборудования. – Москва : Высшая школа, 2006. – 279 с.
3. Рэндалл, Р. Б. Частотный анализ / Р. Б. Рэндалл; пер. с англ. Глоструп. – Дания : К. Ларсен и сын, 1989.

4. Чернов, А.В. Обработка диагностической информации при оценке технического состояния электроприводной арматуры АЭС / А. В. Чернов, О. Ю. Пугачёва, Е. А. Абидова // Инженерный вестник Дона. – 2011. – № 3. – URL : [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2011/499](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2011/499).
5. Техническое диагностирование арматуры АЭС / С. В. Сейнов, А. И. Гошко, А. К. Адаменков и др. – Москва : Машиностроение (Библиотека арматурщика АЭС). – 2012. – 452 с.
6. Абидова, Е. А. Диагностирование электроприводной арматуры с использованием энтропийных показателей / Е. А. Абидова, Л. С. Хегай, А. В. Чернов, О. Е. Драка, О. Ю. Пугачева // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 4(21). – С. 69-77.
7. Хи, Y.G. Approximate Entropy and its applications in mechanical fault diagnosis, *Information and Control* / Y.G. Xu., L.L. Li, Z.J. He. – 31 (6) (2002). P. 547-551.
8. Немирко, А. П. Энтропийные методы оценки уровня анестезии по ЭЭГ-сигналу / А. П. Немирко, Л. А. Манило, А. Н. Калиниченко, С. С. Волкова // Управление в медицине и биологии. – 2010. – № 3. – С. 69-73.
9. Померанцев, А. Метод главных компонент (PCA) / А. Померанцев // Российское хемометрическое общество. – URL : <http://rcs.chemometrics.ru/Tutorials/pca.htm> (дата обращения: 21.05.2019).
10. Reza Golafshan, Kenan Yuce Sanliturk. SVD and Hankel matrix based de-noising approach for ball bearing fault detection and its assessment using artificial faults. *Mechanical Systems and Signal Processing* 70-71 (2016). P. 36-50.
11. Hussein Al Bugharbee and Trendafilova Irina. A methodology for fault detection in rolling element bearings using singular spectrum analysis. *International Conference on Engineering Vibration 2017 (ICoEV 2017)*. 4-7 September 2017, Sofia, Bulgaria. URL: <https://strathprints.strath.ac.uk/62663>.
12. Леонтьева, Н. Л. Многомерная гусеница, выбор длины и числа компонент гусеницы / Н. Л. Леонтьева // Машинное обучение и анализ данных. – 2013. – Т. 1. – №5. – С. 5-15.

## REFERENCES

- [1] GOST 20911–89. *Texnicheskaya diagnostika. Terminy` i opredeleniya* [Technical Diagnostics. Terms and Definitions]. Moskva [Moscow]. 2009 (in Russian).
- [2] Bogdanov E.A. *Osnovy` texnicheskoj diagnostiki neftegazovogo oborudovaniya* [Fundamentals of Oil and Gas Equipment Technical Diagnostics]. Moskva: Vy`sshaya shkola [Moscow, Higher School]. 2006. 279 p. (in Russian).
- [3] Randall R.B. *Chastotny`j analiz* [Frequency Analysis]. Copenhagen: Bruel & Kjaer; 3rd edition. 1989.
- [4] Chernov A.V., Pugachiova O. Yu., Abidova E.A. *Obrabotka diagnosticheskoy informacii pri ocenke tekhnicheskogo sostoyaniya elektroprivodnoj armatury AES* [Processing of Diagnostic Information in Assessing the Technical Condition of the Electric Valves of Nuclear Power Plants]. *Inzenernyj vestnik Dona* [Don Engineering Bulletin]. 2011. №3. 499 p. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2011/499](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2011/499) (in Russian).
- [5] Sejnov S.V., Goshko A.I., Adamenov A.K. et al. *Tekhnicheskoe diagnostirovanie armatury AES* [Technical Diagnostics of NPP Valves]. Moskva [Moscow]: Mashinostroenie. Biblioteka armaturshhika AE`S [Library of Fitter Nuclear Power Plant]. 2012 (in Russian).
- [6] Abidova E.A., Hegaj L.S., Chernov A.V., Draka O.E., Pugachiova O. Yu. *Diagnostirovanie elektroprivodnoj armatury s ispol'zovaniem entropijnyh pokazatelej* [Diagnostics of Valves with the Use of Entropy Indicators]. *Global`naya yadernaya bezopasnost`* [Global Nuclear Safety] 2016. Vol. 4 (21), P. 69-77 (in Russian).
- [7] Y.G. Xu, L.L. Li, Z.J. He, *Approximate Entropy and its applications in mechanical fault diagnosis* *Information and Control* 31 (6) (2002). P. 547-551 (in Russian).
- [8] Nemirko A.P., Manilo L.A., Kalinichenko A.N., Volkova S.S. *Entropijnye metody ocenki urovnya anestezii po EEG-signalu* [Entropy Methods for Assessing the Level of Anesthesia by EEG Signal]. *Upravlenie v medicine i biologii* [Management in Medicine and Biology]. 2010. Vol. 3. P. 69-73 (in Russian).
- [9] Pomerantsev A. *Metod glavnih komponent (PCA)* [Principal Components Method (PCA)]. *Rossijskoe hemometricheskoe obshchestvo* [Russian Chemometric Society]. URL: <http://rcs.chemometrics.ru/Tutorials/pca.htm> (in Russian).
- [10] Reza Golafshan, Kenan Yuce Sanliturk. SVD and Hankel matrix based de-noising approach for ball bearing fault detection and its assessment using artificial faults. *Mechanical Systems and Signal Processing* 70-71 (2016). P. 36-50.

- [11] Al Bugarbee H., Trendafilova I. A methodology for fault detection in rolling element bearings using singular spectrum analysis International Conference on Engineering Vibration. 2017 (ICoEV 2017). URL: <https://strathprints.strath.ac.uk/62663>.
- [12] Leont'eva N.L. Mnogomernaya gusenica, vybor dliny i chisla komponent gusenicy [Multidimensional Caterpillar, the Choice of Length and Number of Caterpillar Components]. Mashinnoe obuchenie i analiz danny'x [Machine Learning and Data Analysis]. 2013. Vol. 1, № 5. P. 5-15 (in Russian).

## **The Increase in the Sensitivity of Diagnostics of NPP Equipment in the Conditions of Transition to 18-month Fuel Cycle**

**E.A. Abidova**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,  
Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

*ORCID iD: 0000-0003-0258-5543*

*WoS Researcher ID: O-1870-2018*

*e-mail: e-abidova@mail.ru*

**Abstract** – The paper raises the question of increasing the sensitivity of NPP equipment diagnostics due to the increase of the overhaul period. It is proposed to use the principal component approach. The results of an experiment indicating an increase in sensitivity and selectivity through the use of the proposed method are presented.

*Keywords:* diagnostics of valves, the method of principal components, sensitivity, selectivity.