

УДК 621.039

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАЗОВО-ПЛОСКОСТНОГО МЕТОДА

© 2014 г. Е.А. Абидова, О.В. Малик, Д.С. Гавриленко

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

Различного типа неисправности и внезапные отказы, возникающие в процессе эксплуатации электроприводной арматуры в составе энергоблоков АЭС, могут приводить к снижению безопасности и большим экономическим потерям. Для определения технического состояния арматуры на АЭС применяется анализ огибающей и спектра сигнала тока, потребляемого оборудованием в процессе работы. С целью повышения чувствительности диагностирования предлагается фазово-плоскостной метод, основанный на анализе фазового портрета сигнала тока. Показано, что наилучшее качество диагностирования достигается при использовании штатных методов, связанных с анализом огибающих и спектров токовых сигналов совместно с оценкой фазовых портретов.

*Ключевые слова:* диагностика, электроприводная арматура, отказы оборудования, дефекты, фазово-плоскостной метод, фазовые портреты.

Поступила в редакцию 20.05.2014 г.

Значительную часть эксплуатируемого оборудования на энергоблоках АЭС (в пределах двух тысяч единиц на блок) составляет электроприводная арматура (ЭПА). Различного типа неисправности и внезапные отказы в процессе эксплуатации данного оборудования в составе энергоблока АЭС могут приводить к снижению безопасности и большим экономическим потерям в связи с длительными сроками проведения ремонтно-восстановительных работ.

В настоящее время для определения технического состояния ЭПА используют виброакустический анализ, анализ электрической мощности, токового сигнала и момента. Методы диагностирования ЭПА по токовому сигналу, регистрируемому с обмоток электродвигателя привода, получили наиболее широкое распространение, ввиду их мобильности и оперативности получения результатов обследования. Кроме того, при использовании данных методов имеется возможность проведения дистанционных измерений в шкафу РТЗО, в машинном зале, когда доступ к объекту диагностирования затруднен или невозможен (например, при наличии радиации или высокой температуры), что и определило выбор данного метода в условиях АЭС.

При этом следует иметь ввиду, что использование токового сигнала в качестве источника диагностической информации затруднительно по ряду причин:

- искажение токового сигнала различными помехами, возникновение которых может быть вызвано как случайными шумами, так и влиянием внешних электромагнитных полей на электрическую цепь;
- в токовом сигнале из-за наличия нестационарностей уменьшается достоверность использования преобразования Фурье;
- информативные компоненты сигнала модулируются сетевой составляющей.

Для получения информации о техническом состоянии строят огибающие токовых сигналов с последующим контролем отдельных информативных участков, а также построение и анализ частотного спектра токового сигнала. При анализе огибающих

могут быть выявлены такие дефекты, как превышение нормативного времени срабатывания, снижение плавности хода, обрыв штока. Результаты диагностирования во многом определяются способом получения огибающих. Например, при получении огибающей методом вычисления скользящего среднего значения существует зависимость вида огибающей от числа точек, что является фактором потери информации [1].

Спектральный анализ проводится с целью глубокой диагностики механизма вплоть до конкретных узлов и деталей [2]. В спектрах диагностических сигналов отображаются частоты, с которыми колеблется механизм, если частота соответствует срабатыванию детали, то, как правило, диагностируется дефект данной детали (рис. 1).

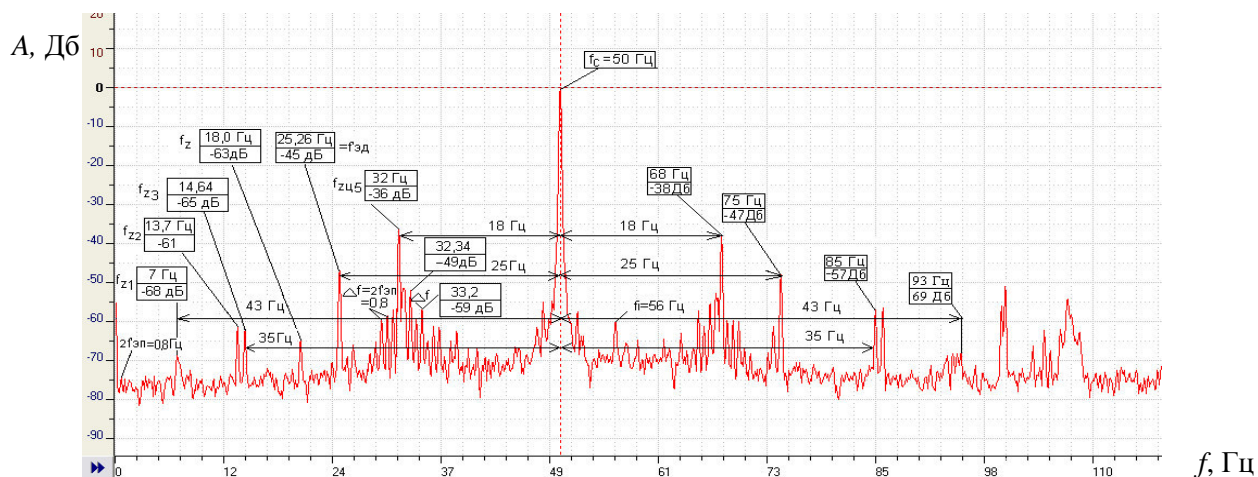


Рис. 1. Частоты подшипника двигателя арматуры в спектре токового сигнала

При этом спектральный анализ не позволяет видеть фазовые соотношения, дает усреднённую характеристику за исследуемый период времени, обладает не однозначностью трактовки (одному и тому же спектру могут соответствовать разные процессы). Эти причины и приводят к ограничению возможностей анализа технического состояния электроприводной аппаратуры существующими методами и могут привести к ошибкам при осуществлении непосредственной оценки.

Для повышения достоверности и чувствительности диагностирования разрабатываются и внедряются новые методы диагностики. Одним из новых подходов, внедряемых НИИ АЭМ ВИТИ НИЯУ МИФИ является фазово-плоскостной метод (ФПМ).

ФПМ основан на комплексном представлении колебаний. Для сигнала временной области (с помощью преобразования Гильберта) рассчитывается его комплексно-сопряженная (мнимая) составляющая. Совокупность действительной и мнимой части – аналитический сигнал: его проекция на комплексную плоскость называется фазовым портретом (ФП). Портрет отображает изменение системы за известный промежуток времени, поэтому является динамической характеристикой [3].

Согласно комплексной теории колебаний, сигнал можно представить, как вращающийся вектор. Диагностический сигнал (рисунок 2) содержит несколько гармоник-векторов: каждый вектор имеет свою длину (в зависимости от амплитуды), вращается со своей скоростью (в зависимости от частоты), между собой векторы связаны фазовыми и иными соотношениями. Конец результирующего вектора на рисунке 2 описывает ФП на рисунке 3.

ФПМ, как качественный метод теории динамических систем, широко используется в теории колебаний, теории автоматического управления, в

электротехнике, механике, нашел применение в медицине. Мы предлагаем распространить данный метод для углубленного анализа технического состояния электроприводной арматуры.

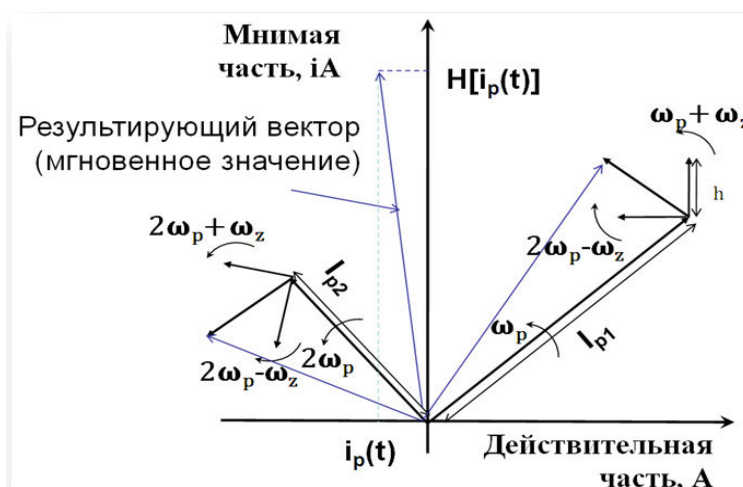


Рис. 2. Векторное представление диагностического сигнала

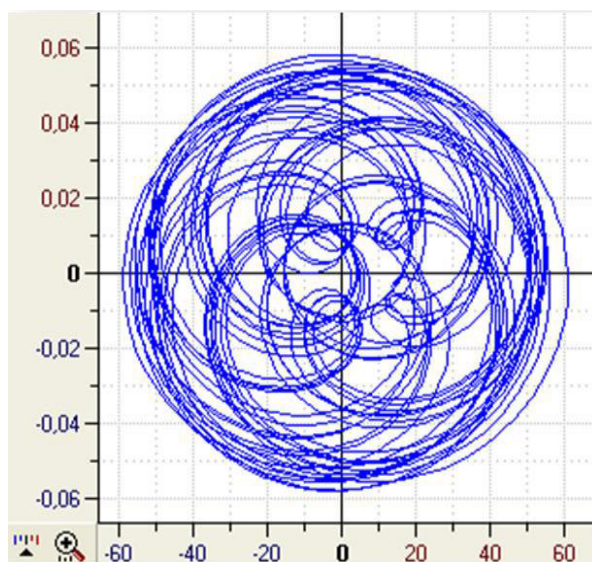
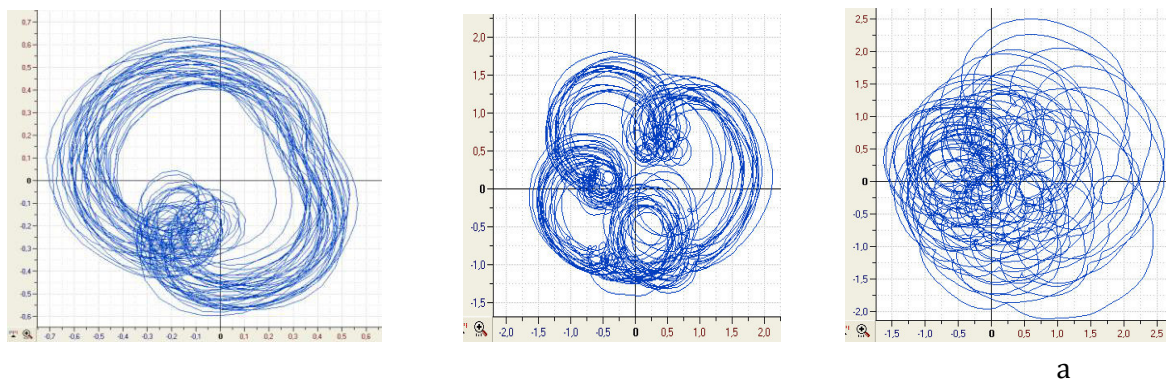


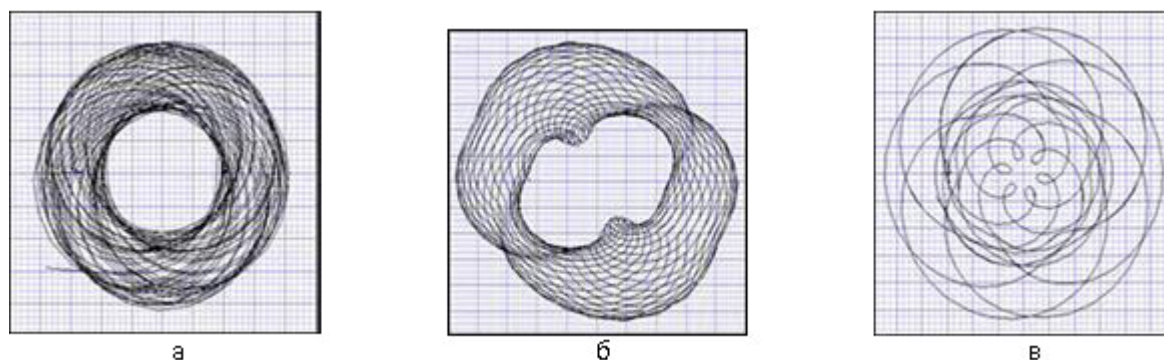
Рис. 3. Фазовый портрет

Методика диагностирования арматуры с использованием ФПМ предполагает оценку размеров ФП (площадей или максимальных диаметров). Увеличение размеров служит характерным признаком ухудшения состояния оборудования. Другим показателем динамики состояния арматуры является изменение формы портрета. При протекании в оборудовании установившегося колебательного процесса фазовые портреты соответствуют графикам полигармонических функций: окружностям, кардиоидам, нефроидам, эпициклоидам и пр. По усложнению формы фазового портрета (например, переход от окружности к кардиоиду от кардиоиде к нефроиде и т.д.) можно судить о степени ухудшения состояния объекта диагностирования (рисунок 4). Портреты хаотической формы наблюдаются при неустановившемся колебательном процессе в арматуре. При этом портреты хаотической формы, но меньших размеров могут соответствовать исправному состоянию оборудования [4].



**Рис. 4.** ФП сигнала тока ЭПА, снятый в различные годы:  
 а – кардиоида (2007 год); б – нефроида (2008 год); в - хаотическая форма (2009 год)

На базе теоретических и эмпирических знаний, о процессах, протекающих в электроприводном оборудовании (прежде всего в арматуре) [5], были построены эталонные ФП, которые соответствуют проявлению конкретных дефектов: биение вала двигателя, дефект подшипника, неуравновешенность вала ротора и т.д. (рисунок 5).



**Рис. 5.** Эталонные ФП сигналов тока ЭПА с дефектами: а – дефект червячной пары;  
 б – дефект подшипника редуктора; в – биение вала ротора

Данные эталоны с целью идентификации дефектов сравниваются с ФП реальных токовых сигналов ЭПА. В настоящее время ведется работа по составлению каталогов эталонных ФП, соответствующих изменению состояния ЭПА различных типов.

Методика диагностики ЭПА с использованием ФПМ опробована при определении технического состояния оборудования в лабораторных и промышленных условиях. Использование ФПМ обеспечивает повышение чувствительности диагностирования благодаря учету фазовых и динамических особенностей в исследуемом сигнале. Широкое применение ФПМ для диагностирования оборудования АЭС пока ограничивается сложностью интерпретации результатов.

Опыт диагностирования ЭПА Калининской и Новоронежской АЭС в 2012-2014 показывает, что наилучшее качество диагностирования достигается при использовании штатных методов, связанных с анализом огибающих и спектров токовых сигналов совместно с оценкой ФП.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синельщиков, П.В. Информационно–измерительная система для диагностирования электроприводной арматуры атомных станций на основе вейвлет–преобразования: автореф. дис. канд. техн. наук [Текст] / П.В. Синельщиков. – Волгоград, 2011. – 18 с.

2. Розенберг, Г.Ш. и др. Вибродиагностика [Текст] / Г.Ш. Розенберг, Е.З. Мадорский, Е.С. Голуб. / Под ред. Г.Ш. Розенберга. – СПб.: ПЭИПК, 2003. – 284 с.
3. Рандалл, Р.Б. Частотный анализ [Текст] / Р.Б. Рандалл. – К. Ларсен и сын А/О – Дания: ДК 2600 Глострун, 1989. – 390 с.
4. Абидова, Е.А. и др. Диагностика электроприводного оборудования по амплитудно-фазовым характеристикам сигнала тока двигателя [Текст] / Е.А. Абидова, А.К. Пугачёв, О.Ю. Пугачёва, А.В. Чернов // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Актуальные научные достижения» Т. №20. – Прага, 2011. – С. 40–46.
5. Абидова, Е.А. Идентификация информационных процессов в системе диагностики электроприводной арматуры атомных станций: автореф. дис. канд. техн. наук [Текст] / Е.А. Абидова. – Волгоград, 2011. – 18 с.

### **The Nuclear Power Plant Equipment Diagnosis with the use of the Phase and Plane Method**

**E.A. Abidova, O.V. Malik, D.S. Gavrilenko**

*Volgodonsk Engineering Technical Institute  
the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,  
73/94 Lenin St., Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360  
e-mail: e-abidova@mail.ru*

**Abstract** –The article tells about various malfunctions and sudden refusals arising in use of electrodriving fittings as a part of power units of NPP, it can lead to safety decrease and big economic losses. For definition of fittings technical condition on the nuclear power plant the analysis of spectrum and analysis of bending around the signal of the current consumed by the equipment in the course of work is applied. For the purpose of sensitivity increase of diagnosing the phase and plane method based on the analysis of a phase portrait of a signal of current is offered. It is shown that the best quality of diagnosing is reached when using the regular methods connected with the analysis of bending around and spectrum of current signals together with an assessment of phase portraits.

*Keywords:* diagnostics, electrodriving fittings, equipment failures, defects, phase and plane method, phase portraits.

#### REFERENCES

- [1] Sinelshchikov P.V. Informatsionno–izmeritelnaya sistema dlya diagnostirovaniya elektroprivodnoy armatury atomnykh stantsy na osnove veyvlet–preobrazovaniya [Information and measuring system for diagnosing of electrodriving fittings of nuclear power plants on the basis of Wavelet-transformation] : avtoref. dis. kand. tekhn. Nauk [PhD thesis abstract in Engineering]. Volgograd, 2011. 18 p. (in Russian)
- [2] Rozenberg G.Sh., Madorsky Ye.Z., Golub Ye.S. Vibrodagnostika [Vibration diagnostics] / Pod red. G.Sh. Rozenberga [Edited by G.Sh. Rosenberg]. SPb. Pub. PEIPK [Petersburg Power Institute of Professional Development], 2003, ISBN 978-5-9729-0026-8, 284 p. (in Russian)
- [3] Randall R.B. Chastotny analiz [Frequency analysis]. K. Larsen i syn [K. Larsen and the son] A/O – Daniya. Pub. DK 2600 Glostrun [Denmark: Recreation center 2600 Glostrun], 1989. 390 p. (in Russian)
- [4] Abidova, Ye.A. Pugachev A.K., Pugacheva O.Yu., Chernov A.V. Diagnostika elektroprivodnogo oborudovaniya po amplitudno-fazovym kharakteristikam signala toka dvigatelya [Diagnostics of the electrodriving equipment according to the amplitude-phase characteristics of a signal of engine current]. Materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktualnye nauchnye dostizheniya» [Materials VII of the International scientific and practical conference "Actual scientific achievements"]. T. №20 [Vol. №20]. Praga, 2011. pp. 40–46. (in Russian)
- [5] Abidova Ye.A. Identifikatsiya informatsionnykh protsessov v sisteme diagnostiki elektroprivodnoy armatury atomnykh stantsy [Identification of information processes in diagnostics of nuclear power plant electrodriving fittings] : avtoref. dis. kand. tekhn. Nauk [PhD thesis abstract in Engineering]. Volgograd, 2011. 18 p. (in Russian)