

Abstract – There are presented the results of the research of the influence of the dependence on fuel temperature distribution for the neutron-physical characteristics of the nuclear core with VVER-1000 (1200). This in turn effects the parameters for xenon oscillations. The purpose of this study is to clarify the methodology for accounting the temperature distribution used to estimate the Doppler Effect. In the report, based on the neutron-physical characteristics of the nuclear core of the reactor VVER-1000, the improved method for accounting the temperature distribution in the nuclear fuel was developed. This is used to account resonant neutron capture on uranium 238. The parameters calculation results for xenon oscillations were obtained during commissioning tests of certain VVER-1000 reactor power units. These results showed that in reality a more accurate temperature distribution accounting in fuel significantly reduces the stabilization of the Doppler Effect for broadening. This fact becomes particularly important in the implementation of the daily power control in the condition of maneuvering (load following) modes. This is planned for new NPPs generation.

Keywords: VVER-1000, xenon oscillations, reactivity, Doppler-effect.

УДК 621.039.566.6 : 621.874.7

ПАСПОРТИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ МАШИНЫ МПС-В-1000 НА ОСНОВЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

А.А. Лапкис, В.Н. Никифоров, Л.А. Первушин

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

В докладе анализируются возможности паспортизации режимов работы машины перегрузочной на основании расчёта характеристик виброакустических сигналов, регистрируемых в процессе проведения перегрузочной кампании. Рассматриваются спектральные характеристики сигналов и показатели нелинейной динамики, в частности, отображение сигнала на псевдофазовой диаграмме.

Ключевые слова: перегрузка топлива, перегрузочная машина, информационный паспорт, виброакустический контроль, спектральный анализ, псевдофазовая диаграмма.

Перегрузка топлива на АЭС с реакторами ВВЭР-1000 осуществляется дистанционно управляемым краном специальной конструкции – машиной перегрузочной (МП) МПС-В-1000 [1]. Концепцией модернизации перегрузочных машин [2] с 2001 года также предусматривается оснащение МПС-В-1000 системами виброакустического контроля технического состояния основных узлов и механизмов рабочей штанги. Впервые подобного рода система была разработана коллективом НИИ АЭМ в начале 2000-х годов для энергоблоков №№1 и 2 Тяньваньской АЭС (Китай) и энергоблока № 1 Ростовской АЭС. Структура системы виброакустического контроля представлена в трудах ВНИИАМ и Волгодонского филиала ЮРГТУ, в настоящее время НИИ атомного энергетического машиностроения в составе Волгодонского филиала Национального Исследовательского Ядерного Университета МИФИ (ВИТИ НИЯУ МИФИ) [3, 4].

В качестве аналога разрабатываемой нами концепции виброакустического информационного паспорта кампаний перегрузки ядерного топлива можно рассматривать концепцию виброакустического информационного паспорта первого контура реакторной установки ВВЭР, предложенную в трудах К.Н. Проскурякова и др. [5]. Виброакустическая паспортизация перегрузочных кампаний ВВЭР позволит поддерживать заданный уровень ядерной безопасности, предоставляя оператору МП оперативную информацию:

- 1) о текущем техническом состоянии основных узлов и механизмов рабочей штанги;
- 2) о выявленных отклонениях текущих характеристик сигнала в сравнении с эталонными, составляющими исходный (эталонный) виброакустический портрет той или иной технологической операции.

В настоящем докладе рассматриваются вопросы применения аналитического аппарата нелинейной динамики (фазовых диаграмм) для решения задач сравнительного анализа текущего режима, реализуемого перегрузочной машиной, с его эталонным портретом. В частности, данный подход применяется нами при решении задач определения технического состояния электроприводной арматуры АЭС[6].

В связи с тем, что виброакустический сигнал, зарегистрированный одним измерительным каналом, представляет собой временной ряд, построение фазовой диаграммы напрямую件 невозможно. В таких случаях Ф. Муном рекомендуется построение траекторий в псевдофазовом пространстве (далее – псевдофазовых диаграмм)[7]. Псевдофазовая диаграмма представляет собой отображение временного ряда (в данной работе последовательности значений виброакустического сигнала через равные промежутки времени). Отображение строится как множество точек в плоскости

$$(a_i, a_{i+1})$$

Регулярное движение формирует аттрактор в виде замкнутой линии (количество замкнутых контуров связано с количеством гармоник), чистый шумовой сигнал равномерно занимает псевдофазовую плоскость, хаотический сигнал формирует фрактальный аттрактор. Линейные комбинации сигналов разного сорта сочетают узнаваемые элементы отображений на псевдофазовой диаграмме.

При построении псевдофазовых диаграмм сигналов, зарегистрированных системой виброакустического контроля МПС-В-1000, выявлены характерные фигуры – аттракторы, которые можно связать с режимами работы МП. Для перемещения первой секции рабочей штанги на различных скоростях осциллограммы и отображения сигналов приведены на рисунке 1.

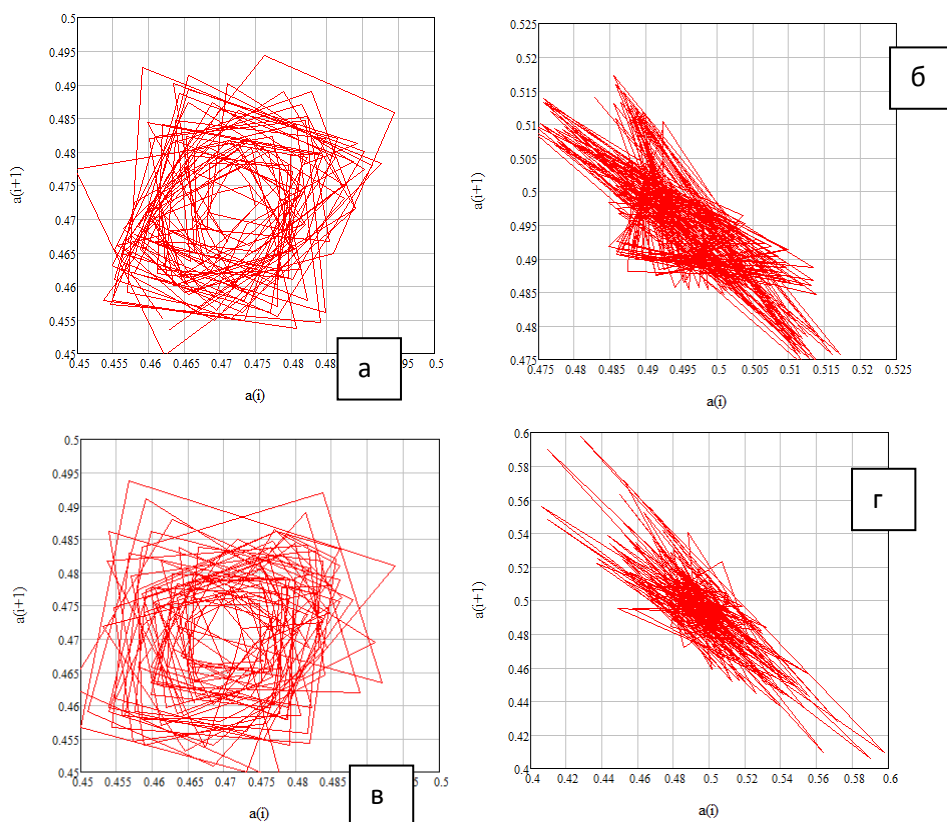


Рисунок 1 – Отображения виброакустических сигналов, зарегистрированных при движении первой секции рабочей штанги (а – движение на рабочей скорости с ТВС в захвате; б – движение на малой скорости без нагрузки на захватах; в – движение на транспортной скорости с ТВС в захвате; г – движение на средней скорости без нагрузки на захватах)

На рисунке 1 приведены отображения временных рядов виброускорения, обезразмеренного по формуле

$$a_i = \frac{A_i - \min(A)}{\max(A) - \min(A)},$$

где A – виброускорение, м/с^2 , a – нормированное виброускорение.

При перемещении секции рабочей штанги с ТВС характерны аттракторы в форме замкнутых линий с достаточно широкими областями, занятыми траекториями системы. Подобного рода отображение выполняемой операции позволяет дать соответствующую характеристику типу перемещения.

Перемещение секции рабочей штанги без груза характеризуется аттрактором сложной формы в виде вытянутой многолучевой звезды. В этом случае можно говорить о частично хаотическом характере движения секции ненагруженной рабочей штанги. Исследование на множестве фрагментов виброакустического сигнала позволило подтвердить выводы о смене характера отображений в псевдофазовой диаграмме при смене режима нагружения рабочей штанги.

Для практического применения псевдофазовых диаграмм необходимо при проведении дальнейших исследований выявить наиболее представительные численные показатели отображений, способные выступать как критерии для режима работы и технического состояния, совместно с классическими спектральными характеристиками. Типовые паттерны псевдофазовой диаграммы являются частью виброакустического портрета технологической операции, выполняемой МП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шиянов, А.И. Системы управления перегрузочных манипуляторов АЭС с ВВЭР [Текст] / А.И. Шиянов, М.И. Герасимов, И.В. Муравьев. – Москва : Энергоатомиздат. – 1987. – 176 с.
2. РЭ АТЭ.118.0003-2001. Модернизация перегрузочных машин для энергоблоков АЭС с ВВЭР. Концепция модернизации перегрузочных машин [Текст] / Концерн «Росэнергоатом» : Москва, 2001. – 57 с.
3. Никифоров, В.Н. Контроль технического состояния рабочей штанги перегрузочной машины для ВВЭР-1000 / В.Н. Никифоров [и др.] // Теплоэнергетика. – 2003 – № 5 – С. 33-34.
4. Никифоров, В.Н. Канал контроля технического состояния рабочей штанги машины перегрузочной типа МПС-В-1000-ЗУ4.2 [Текст] / В.Н. Никифоров, О.Ю. Пугачева, А.В. Чернов // Тез. докл. II всерос. науч.-техн. конф. «Обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР». – 19-23.11. – 2001. – Подольск, ОКБ «Гидропресс» – С. 116-117
5. Проскуряков, К.Н. Виброакустическая паспортизация АЭС — средство повышения их надежности и безопасности [Текст] / К.Н. Проскуряков // Теплоэнергетика. – 2005. – № 12. – С. 30-34.
6. Абидова, Е.А. Диагностирование электроприводной арматуры с использованием энтропийных показателей [Текст] / Е.А. Абидова, Л.С. Хегай, А.В. Чернов, О.Ю. Пугачёва // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 4 (21). – С. 69-77.
7. Мун, Ф. Хаотические колебания: Вводный курс для научных работников и инженеров: Пер. с англ. [Текст] / Ф. Мун. – Москва : Мир, 1990. – 312 с.

Use of the Vibroacoustic Signals to Identify Working Regime of the VVER-1000 Power Unit Refueling Machine

A.A. Lapkis, V.N. Nikiforov, L.A. Pevushin

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
Volgodonsk, Rostov region
nii_energomash@mail.ru*

Abstract – Vibroacoustic signals registered during refueling campaign of VVER-1000 give availability to identify working regime and technical condition of the refueling machine. In this issue spectral and nonlinear dynamics properties (in particular, pseudo phase plane analysis) are used for identification. Typical pseudo phase patterns of the refueling machine moves may be used as the parts of the refueling campaign vibroacoustic passport.

Keywords: technical diagnostics, refueling machine, signal processing, spectral analysis, nonlinear dynamics, pseudo phase plane.