K. V. Litvinenko

THE SEMI - MARKOV HYPER CASUAL APPROACH TO THE ESTIMATION OF RISKS OF SYSTEMS

An effective approach to estimating risks of systems is considered. The approach semi – Markov models construction for estimation of multifactorial risks is modified on the basis of the hyper casual phenomena. An optimal method for construction of average densities of hyper casual law distribution is proposed. The received results are applied to semi – Markov GERT - models.

Keywords: *risk, stochastic modelling, semi – Markov model, hyper casual phenomena.*

УДК 006.91

В. Ю. Кучерук[1], д.т.н., **О. В. Грабовський[2],** к.т.н., **М. С. Павловська[1]**

[1] *Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця*
[2] *Одеська державна академія технічного регулювання та якості, м. Одеса*

ВИКОРИСТАННЯ ТЕОРІЇ ДЕТЕРМІНОВАНОГО ХАОСУ ПРИ ОБРОБЛЕННІ ВІБРОАКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ

В статті проілюстровано елементи теорії детермінованого хаосу, використовуючи які, можна досягти підвищення достовірності визначення інформаційних параметрів віброакустичного сигналу.

Ключові слова: *аттрактор, вібродіагностика, процедура вкладення, рівень вібрації, теорія детермінованого хаосу, теорія самоорганізації (синергетика), фазова траєкторія.*

Вступ

Підвищення надійності, ефективності експлуатації машин і механізмів пов'язано із необхідністю контролю їх технічного стану. Досить часто при контролі технічного стану в застосовується вібродіагностика, в якій з використанням певних методів формується система ознак, що характеризує технічний стан механізму.

При моніторингу технічного стану обладнання основним параметром є загальний рівень вібрацій, перевищення яким допустимих меж є сигналом для прийняття відповідних заходів. Проте часто на практиці, не зважаючи на загальний рівень вібрації, в механізмі розвиваються інші дефекти, вплив яких на загальний рівень вібрації спочатку незначний, але через деякий час швидкість розвитку дефекту починає рости, що в кінцевому випадку позначається на рівні вібрації. При цьому досить важко запобігти виникненню аварійної ситуації.

Тому виникає необхідність у розробці нових методів аналізу вібросигналів, які дозволяють більш якісно оцінювати інформацію. Одним з таких підходів є використання елементів теорії детермінованого хаосу, параметри якого є досить чутливими до зміни інформативних ознак.

Основна частина

Теорія самоорганізації (синергетика) вивчає поведінку складних систем, умови їх стійкості, природу нестійкості і еволюцію систем далеко від термодинамічної рівноваги. Методи синергетики, які являють собою ніщо інше як методи нелінійної фізики, дають можливість описати багато процесів, які спостерігаються в системах, зовнішньо не маючи нічого спільного один з одним, з допомогою одних і тих самих математичних моделей, число яких відносно невелике [1-3].

Одним з важливих і найбільш цікавих розділів синергетики є теорія динамічного хоасу. В даний час вивчений цілий клас систем, котрі в деяких областях фазового простору, називаються «дивними аттракторами» і проявляють хаотичні властивості.

При аналізі вібросигналів агрегатів різного типу прийнято вважати, що хаотична шумова складова в сигналі є прикрою перешкодою. Проте випадкові коливання, які виникають в технологічних системах мають детермінований характер [4]. Вони породжуються самою системою і тому можуть слугувати важливим джерелом інформації про її внутрішні характеристики.

Кількісною мірою, яка характеризує стан динамічної системи може слугувати фрактальна

розмірність дивного атрактору. Нижня оцінка цієї величини визначається шляхом вирахування кореляційної розмірності за методикою Паккарда-Такенса [2, 3]. Варто відмітити, що процедура Паккарда-Такенса дозволяє ідентифікувати, яким є джерело випадкових сигналів – детермінованим чи шумовим. Якщо діагностується детермінований хаос, то це означає, що система керована, тобто зміною деяких параметрів можна впорядкувати її рух [4].

У будь-якому випадку початковим етапом для дослідження сигналів методами нелінійної динаміки повинна бути процедура реконструкції фазової траєкторії динамічної системи, що породжує сигнал. Єдиним методом, що дозволяє реконструювати характер фазової траєкторії системи на основі аналізу експериментально отриманого сигналу, є процедура вкладення (embedding procedure).

Підставою для такого підходу є теорема Такенса [5], яка стверджує, що шляхом правильного підбору розмірності m і параметра затримки τ можна отримати (m+1)-мірний фазовий образ, який досить повно відображає властивості істинної траєкторії динамічної системи у фазовому просторі. Рівняння цієї синтетичної траєкторії може бути записано у вигляді $z_{i+1} = x(t - i\tau)$, де індекс (i+1)-номер координати реконструйованого фазового простору $Z = \{z_1, ..., z_{i+1}\}$, а параметр i приймає цілочисельні значення від 0 до m. В експериментальних дослідженнях динаміки дана процедура називається вкладенням кратності m, а проекції одержуваного (m+1)-мірного фазового образу $\{z_1, ..., z_{i+1}\}$ на площину $\{z_j, z_k\}$, де $j <> k$ можуть приймати значення від 1 до i+1, картами затримки. Стверджується, що розмірність складних процесів зазвичай знаходиться в межах від m = 3 до m = 6. Таким чином, розмірність відповідних фазових образів від 4 до 7.

При проведенні процедури вкладення важливим параметром є затримка τ, яка не обов'язково повинна бути рівна інтервалу дискретизації h при цифровому аналізі. Найчастіше її вибирають, виходячи з очікуваного або оціненого, наприклад, за методом авторегресії, періоду однієї з головних мод процесу. В останньому випадку за період приймають часовий інтервал, який відповідає першому перетинанню кривої авторегресії з віссю абсцис.

На практиці форма хвилі вібраційного сигналу є одномірним рядом значення рівня вібрації, отриманим з певною дискретністю, який потім обробляється одним з методів обробки вібросигналу.

На перший погляд здається, що послідовність по єдиній змінній дає досить обмежену інформацію про досліджуваний об'єкт. Проте виявляється, що частотна послідовність однієї змінної містить набагато більшу інформацію – має сліди всіх змінних, що беруть участь в описанні динаміки системи, а також дозволяє безмодельним способом ідентифікувати деякі її ключові особливості.

Нехай, $A_0(t)$ - частотна послідовність експериментально виміряних амплітуд віброшвидкості коливань, які збуджуються корпусом агрегату. Так як попередньо не опираємося ні на яку конкретну модель, то було б бажано відновити цю динаміку виключно на основі відомої послідовності $A_0(t)$. З цією метою розглянемо фазовий простір, утворений змінними $\{A_k\}, k = 0,...,n-1$. Стан досліджуваного об'єкта в цьому просторі відповідає точці, а послідовність станів, які він пройшов, визначає деяку криву – фазову траєкторію. З часом в системі встановлюється деякий постійний режим, якщо тільки динаміка системи зводиться до сукупності детерміністичних рівнянь, що описують дисипативні процеси. Це знаходить відображення в збіжності сімейств фазових траєкторій до деякої підмножини фазового простору. Цю інваріантну підмножину прийнято називати аттрактором.

Таким чином, при дослідженні динамічних процесів експлуатації обладнання по будь-якій послідовності експериментальних даних необхідно ідентифікувати аттрактор, якщо він існує. Іншими словами, потрібно встановити, чи можуть властивості об'єкта, що досліджується з допомогою цієї послідовності, розглядатися як прояв детермінованої функції чи в ній міститься деякий неусувний елемент стохастичності.

Якщо буде встановлено, що аттрактор існує, то важливу апріорну інформацію несе його розмірність ν. Розмірність ν дає нам вкрай важливу характеристику динаміки джерела сигналів.

Для визначення підходящого набору змінних, що створюють фазовий простір, зручно розвернути вихідну частотну послідовність $A_0(f)$ в ряд наборів з послідовно зростаючими зсувами, визначеними як величини кратні деякій фіксова-

ній затримці r - різниці фаз ($r = m\Delta f$), де m – ціле і Δf - інтервал між послідовними вибірками). Тобто, вибираючи з набору експериментальних даних, приходимо до наступного набору дискретних змінних:

$$\begin{aligned} &A_0 : A_0(f_1),...,A_0(f_N); \\ &A_1 : A_0(f_1 + r),...,A_0(f_N + r); \\ &A_{n-1} : A_0(f_1 + (n-1)r),...,A_0(f_N + (n-1)r). \end{aligned} \quad (1)$$

При належному виборі r можна сподіватися, що ці змінні будуть лінійно незалежними, а це єдина вимога, необхідна для визначення фазового простору. Причому, всі ці змінні можна отримати в одній часовій послідовності, яка відноситься до $A_0(f)$, що визначена експериментально. Дивні атрактори являють собою фрактальні множини, головні властивості яких визначаються розмірнісними характеристиками (розмірність Хаусдорфа, кореляційна розмірність). Найбільш просто визначається кореляційна розмірність ν з допомогою кореляційного інтеграла

$$C(\varepsilon) = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^{N} \theta(\varepsilon - \left|\vec{A}_i - \vec{A}_j\right|), \quad (2)$$

де $\theta(z)$ - функція Хевісайда, а саме

$$\theta(z) = \begin{cases} 1, z \geq 0; \\ 0, z < 0. \end{cases}$$

Тут A_i – вектор, що описує положення відповідної точки у фазовому просторі в деякий момент часу $t_i = t_0 + ir (i = 1,..., N)$, де r - деякий заданий проміжок часу, N – об'єм вибірки. Значення $C(\varepsilon)$ визначає відносне число пар точок, відстань між будь-якими двома сусідніми з яких не перевищує ε. При малих ε кореляційний інтеграл $C(\varepsilon) \approx \varepsilon^{\nu}$, тому розмірність ν можна визначити по тангенсу кута нахилу залежності $\ln C$ від $\ln\varepsilon$, отриманої розрахунком $C(\varepsilon)$ по формулі (2) при різних значеннях ε для достатньо великих N. В розглянутому випадку достовірно виміряною є лише одна із координат вектора $A(f)$, а саме амплітуда віброшвидкості. В подібних випадках для відновлення розмірно-дивного аттрактору використовують процедуру Паккарда – Такенса.

Нехай A_i – реалізація однієї з координат фазового простору системи $A(f) : A_i = A(t_i), i = 1,2,..., N$. Введемо в розгляд новий фазовий простір (простір вкладення), розмірності m, точки якого визначаються векторами

$$\bar{y}_j^{(m)} = \{A_j, A_{j+1},..., A_{j+m-1}\}, \quad (3)$$

які сконструйовані з послідовних значень величини $A(j = 1,2,..., = N - m + 1)$. При зміні t отримаємо в цьому просторі траєкторію, що відтворює деяку множину, кореляційну розмірність якої ν_m можна вирахувати через кореляційний інтеграл

$$C_m(\varepsilon) = \lim_{n\to\infty} \frac{1}{n^2} \sum_{j,k=1}^{n} \theta\left(\varepsilon - \left|\vec{y}_j^{(m)} - \vec{y}_k^{(m)}\right|\right) \quad (4)$$

по нахилу залежності $\ln C_m$ від $\ln\varepsilon$. Маючи розмірність вектора y, проаналізуємо залежність ν_m від m. Очевидно, що при малих m розмірність ν із збільшенням m повинна збільшуватися. Проте, якщо випадковий сигнал є проявом детермінованого хаосу, то при деякому $m=m_0$ величина m перестає зростати. Досягнуте при цьому значення ν_{m0} і приймається за розмірність ν_m дивного аттрактору вихідної системи і називається розмірністю реалізації. Якщо ж ріст ν_m продовжується без насичення, то це свідчить про те, що сигнал, який спостерігається, є «білим шумом».

Таким чином, звичайний шумовий випадковий процес можна розглядати як рух системи на аттракторі безкінечної розмірності. Кінцева розмірність ν_m означає, що даний сигнал можна відновити з допомогою динамічної системи.

Висновки

Фазовий портрет і його розмірність реалізації однозначно описують стан вібросигналу. Найменші зміни в сигналі відображаються як в структурі фазового портрету, так і в значеннях розмірності реалізації. Характер дефекту, що розвивається в агрегаті слід визначати порівнянням структури фазового портрету вібросигналу зі структурами фазових портретів «елементарних» сигналів. Аналіз значень розмірності реалізації фазового портрету вібросигналу в часі дозволяє визначити момент зародження будь-якого дефекту, коли значення його вібраційної складової ніяк

не позначається на загальному рівні вібрації – параметрі, що аналізується при моніторингу стану технічного обладнання.

Список використаних джерел

1. Лоскутов А. Ю. Введение в синергетику / А. Ю Лоскутов, А. С. Михайлов. – М.: Наука, 1990. – 305 с.

2. Шустер Г. Детерминированный хаос / Г. Шустер. – М.: Мир, 1990. – 312 с.

3. Шустер Г. Детерминированный хаос: Введение Пер. с англ. / Г. Шустер. – М.: Мир, 1988. – 367 с.

4. Кузев И. Р. Новый подход к первичному анализу вибрационных сигналов роторных агрегатов с применением теории детерминированного хаоса / И. Р. Кузев, Д. С. Солодовников // Материалы второго научно-технического семинара «Обеспечение промышленной безопасности производственных обьектов топливно-энергетического комплекса», Уфа: Изд-во УГНТУ, 1999. – 238 с.

5. Малинецкий Г. Г. Современные проблемы нелинейной динамики. / Г. Г. Малинецкий, А. Б. Потапов. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 336 с.

Надійшла до редакції 15.05.2014

В. Ю. Кучерук, д.т.н., **О. В. Грабовский,** к.т.н., **М. С. Павловская**

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ХАОСА ПРИ ОБРАБОТКЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В статье проиллюстрировано элементы теории детерминированного хаоса, используя которые, возможно добиться повышения достоверности определения информационных параметров виброакустического сигнала.

Ключевые слова: *аттрактор, вибродиагностика, процедура вложения, уровень вибрации, теория детерминированного хаоса, теория самоорганизации (синергетика), фазовая траектория.*

V. Kucheruk, DSc., **O. Grabovsky,** PhD., **M. Pavlovska**

USE DETERMINISTIC CHAOS THEORY VIBROAKUSTIC SIGNAL PROCESSING

The paper illustrates the elements of the theory of deterministic chaos by which we can achieve improve the reliability of determining the parameters of signal information.

Keywords: *attractor, vibration, embedding procedure, the level of vibration theory of deterministic chaos theory of self-organization (synergetics) phase trajectory.*

УДК 531:535

О. В. Банзак, к.т.н., **И. С. Захариев, Н. С. Даниленко**

Одесская государственная академия технического регулирования и качества, г. Одесса

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ РАДИАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

В статье рассмотрены основные методы разработки программно-технических комплексов радиационно-технологического контроля состояния физических барьеров безопасности на основе единого подхода в составе систем радиационного контроля АЭС. Определено, что для нормального функционирования блока детектирования и амплитудного анализатора система должна включать устройство питания и управления, обеспечивающее подачу на указанные устройства требуемых напряжений питания и синхронизации их работы. В соответствии со сформулированными требованиями к системе построена ее структурная схема.

Ключевые слова: *радиационно-технологический контроль, барьер безопасности, спектры гамма-излучения.*