

2. Длиной готового проката можно управлять за счет изменения геометрических размеров проката, в пределах поля допусков оговариваемых соответствующим стандартом.

3. Управление длиной готового проката позволяет компенсировать изменение длин заготовок и поддерживать выход мерного проката на максимально уровне, за счет уменьшения количества технологической обрезки.

4. В предложенной комплексной системе управления выходом мерного проката подсистема формирования раскройного плана, на основании спрогнозированной длины заготовки рассчитывает задание для подсистемы формирования длины проката, которая в свою очередь обеспечивает заданное значение длины готового проката. Что гарантирует точное выполнение раскройного плана и обеспечивает стабильное приближенное к максимальному значению выхода мерного проката.

Список литературы

1. Чекмарев А.П. Прокатка на мелкосортных станах / Чекмарев А.П., Гречко В.П., Гетманец В.В., Ховрин Б.В. – М.: Металлургия, 1967. – 363 с.
2. Бешта А.С. Технично-економічні показателі виробництва мелкосортного проката в стержнях як цільова функція управління / А.С. Бешта, А.П. Егоров, О.А. Бойко, М.Ю. Кузьменко, Соколова А.С. – Дніпропетровськ, Теорія і практика металургії, №3, 2013, с. 57-61.
3. Куваєв В.М. Розвиток наукових основ автоматизації процесів виробництва арматурного прокату: автореф. дис. д-ра техн. наук. / Куваєв В.М. – Дніпропетровськ, 2007. – 35 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.
Надійшла до редакції 27.02.2015*

УДК 004.94:550.3:622.831.3:681.178

© Н.А. Иконникова

ИНФОРМАТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Обоснованы информативные параметры контроля устойчивости геотехнических систем
Обґрунтовані інформативні параметри контролю стійкості геотехнічних систем
Informative parameters of geotechnical systems stability control are proved

В горных геотехнических системах, прежде всего, в силу специфики геологического строения породных массивов, высокой фрактальной размерности пород и полезных ископаемых, являющимися одновременно объектами, вмещающими шахты, рудники и подземные сооружения, и объектами добычи и переработки, возможно как самопроизвольное возникновение процессов самоорганизации, так и хаотических процессов. Эти процессы могут быть доминирующими или частичными, а в зависимости от положения равновесия -

устойчивыми или неустойчивыми, потеря устойчивости может быть мягкой или жесткой [1].

Цель работы - обоснование информативных параметров потери устойчивости равновесных и автоколебательных режимов через хаотизацию динамических процессов на основе теории катастроф.

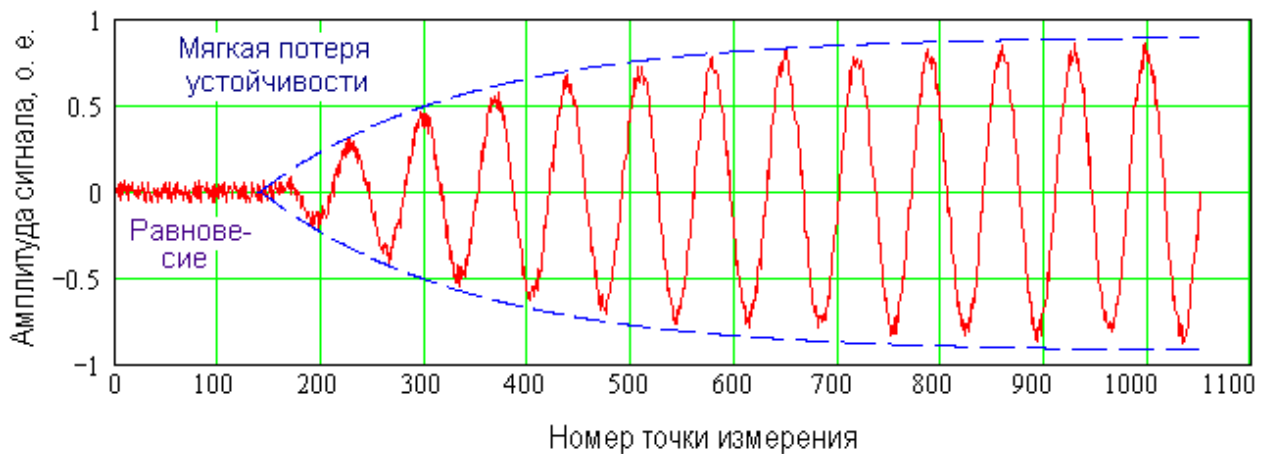
При мягкой потере устойчивости устанавливается колебательный периодический режим, который на начальном этапе мало чем отличается от состояния равновесия, рис. 1 а [1]. При жесткой потере устойчивости система скачком уходит из стационарного режима равновесия и переходит на другой режим движения, как правило, установившийся колебательный периодический режим, рис. 1 б. Режим, установившийся после потери устойчивости равновесного состояния, называется странный аттрактор (не равновесие и не предельный цикл). Такой режим означает, что в системе наблюдаются сложные непериодические колебания, для внешнего экспериментатора - турбулентные. Переход от устойчивого состояния равновесия к странному аттрактору может совершаться непосредственно сразу скачком при жесткой потере устойчивости (рис. 1 б), так и после возникновения мягкой потери устойчивости (рис. 1 а). Если хаотический режим не является необходимым технологическим режимом работы, то доводить динамическую систему до хаотического режима весьма опасно.

Известно, что в настоящее время в результате изучения перехода динамических систем к хаосу сложилось представление о трех типичных сценариях, а именно: через каскад удвоений периода (сценарий Фейгенбаума), для гидравлических систем через перемежаемости первого, второго и третьего типов и квазипериодические режимы [2]. Сценарий хаотизации колебательного процесса через удвоение периода приведен на рис. 1 в, при этом потеря устойчивости цикла в однопараметрическом семействе систем возможна следующими способами:

- 1) столкновение с неустойчивым циклом;
- 2) удвоение;
- 3) рождение тора [1].

Размерность критического аттрактора, реализующегося в результате фейгенбаумовского каскада удвоений периода, всегда одна и та же и составляет $1 + d$, где $d = 0,538...$ - универсальная константа (единица добавляется из-за дополнительного измерения вдоль фазовой траектории). Поперечная структура полос представляет собой кантороподобное множество, фрактальные свойства которого те же, что и аттрактора Фейгенбаума, а старший ляпуновский показатель равен нулю [2].

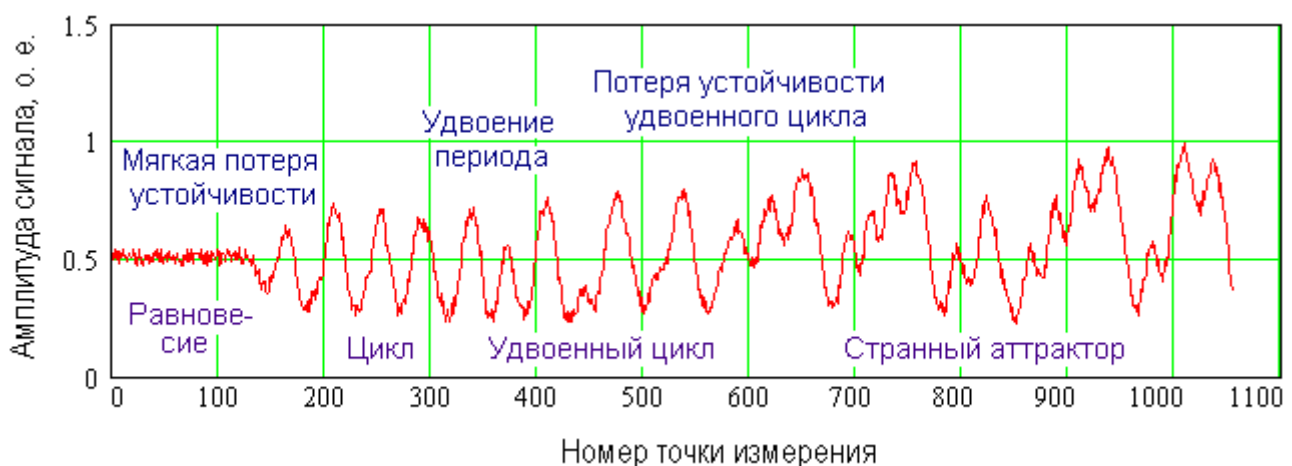
Примером мягкой потери устойчивости в природе может служить образование циклонов при температурной конвекции воздуха, примером жесткой потери устойчивости могут служить землетрясения. В горных технических системах и электрических сетях, в особенности работающих на переменном токе и подверженных вибрационным воздействиям, колебаниям напряжений и изменению нагрузок, априори преобладает мягкая потеря устойчивости системы, однако возможна и жесткая потеря устойчивости в результате коротких электрических замыканий, механических разрушений конструкций, электрических пробоев и так далее.



а)



б)



в)

Рис. 1. Изменение динамического поведения системы: а) мягкая потеря устойчивости; б) жесткая потеря устойчивости; в) сценарий хаотизации

Исходя из «сценария» хаотизации (рис. 1.2 в), наиболее простым и доступным способом диагностики мягкой потери устойчивости является анализ акусти-

ческих и электрических сигналов, а информативными параметрами последовательно могут служить: развитие устойчивого предельного цикла (бифуркация Гопфа), удвоение периода (бифуркация Питчфорка), удвоенный цикл, потеря устойчивости удвоенного цикла, странный аттрактор, а также их спектры. Диагностика жесткой потери устойчивости (землетрясений, выбросов пород, угля и газа, обрушений кровли выработок) на финишном этапе практически не возможна, поэтому на практике обычно осуществляется предварительный прогноз с применением необходимых предупреждающих, но не всегда достаточных, мероприятий.

Теория мягкой потери устойчивости равновесных состояний применима во всех областях науки (механике, электротехнике, физике, химии, биологии, экономике и так далее) как для колебательных систем с конечным числом степеней свободы, так и для мелкослоистых (шихтованные сердечники, статоры, роторы, якоря) диссипативных сред, в которых возбуждаются вынужденные колебания.

Устойчивость и, соответственно, неустойчивость определяют по Лагранжу (траектория остается в замкнутой области), Пуассону (траектория многократно возвращается в ε -окрестность стартовой точки) и Ляпунову (две близкие на старте траектории остаются близкими всегда). *Если непериодическая траектория устойчива по Пуассону и Ляпунову, то она квазипериодическая. Критерием хаоса является наличие положительного старшего ляпуновского показателя.* Если старший показатель нулевой, то это может свидетельствовать о недостаточности анализа устойчивости по Ляпунову. Если все показатели отрицательны, то это говорит об асимптотической устойчивости траектории [2].

Для примера, следует остановиться на фактах, подтверждающих универсальность информативных параметров теории катастроф. Для этого нет необходимости доводить реальные или экспериментальные объекты до их катастрофического разрушения, достаточно выполнить анализ уже имеющегося в литературе фактического графического материала о мягкой или жесткой потере устойчивости с позиции теории катастроф при физическом ударном взаимодействии реальных тел, возникновении колебательных и волновых процессов в слоистых диссипативных средах.

Например, на рис. 2 представлено изменение интенсивности рассеивания рентгеновского излучения на полислоях полимерных пленок, полученных методом послойного нанесения частичек. При снижении угла рассеивания растет относительная интенсивность рентгеновских лучей и при этом увеличивается период их «шумовых» колебаний [3].

Даже простой анализ теоретических исследований распространения акустических волн в диссипативных нелинейных средах показывает на возможность формирования солитонов разной частоты, наличие дифракционных эффектов и неустойчивость волновых пакетов. Особо следует обратить внимание на резонансные процессы, которые происходят в блоковых и плоскопараллельных структурах, в различных резонаторах. В таких системах, априори, образу-

ются структуры разночастотных поперечных мод, частота которых определяется линейными размерами волноводов или резонаторов.

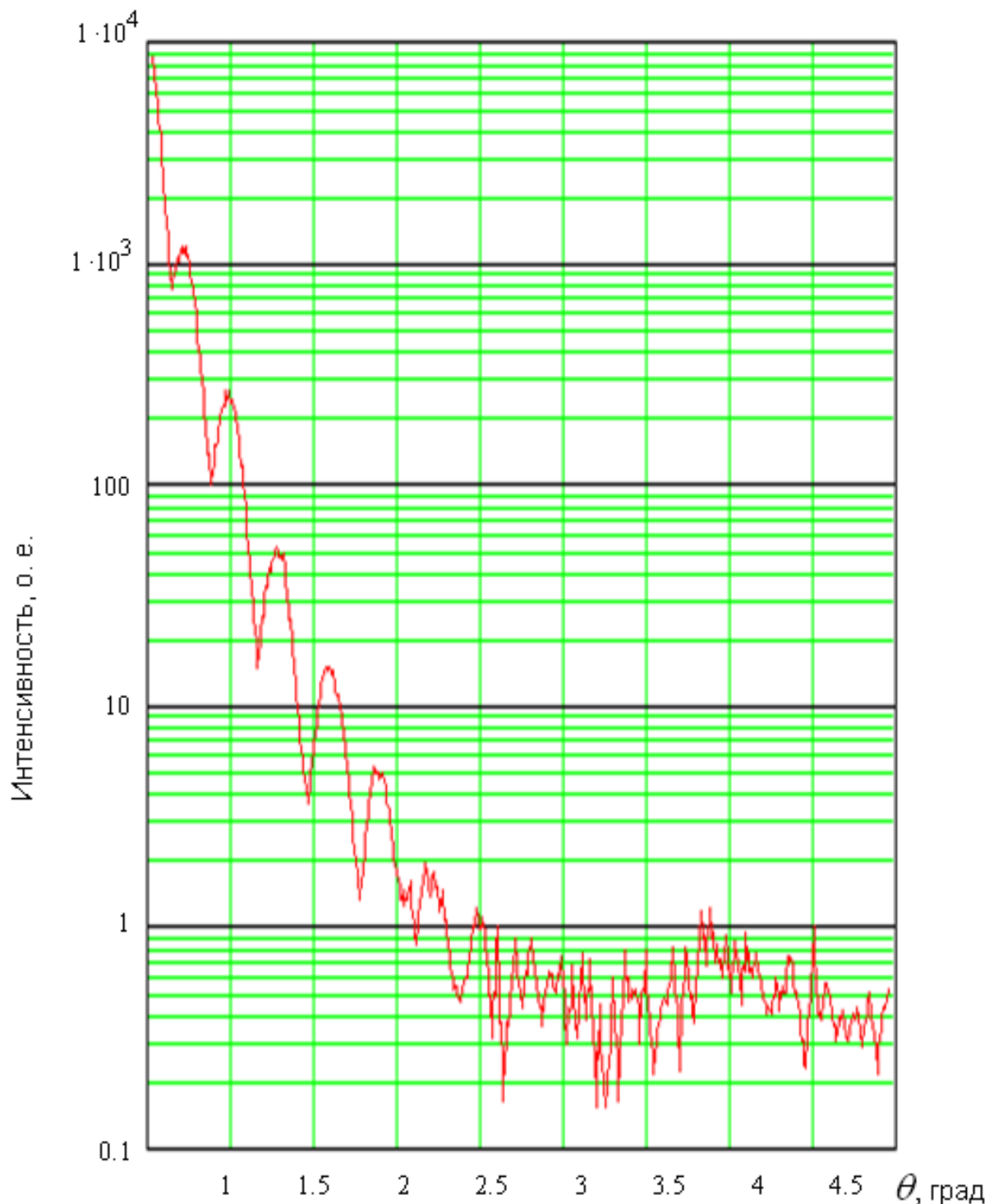


Рис. 2. Хаотическое изменение интенсивности малоуглового рассеивания рентгеновских лучей на полислоях частиц, полученных методом послойного нанесения (по материалам работы [3])

Хаотические процессы могут быть детерминированными или стохастическими. По существу, любые исходные физические переменные также делятся

на два класи. В один клас входять відомі характеристики, т.е. величини, які піддаються (по крайній мірі, теоретично) точному вимірюванню або визначенню. Вони називаються детермінованими змінними, які часто, але не завжди, описуються звичайним математичним апаратом. В інший клас входять невідомі характеристики, т.е. величини, які неможливо точно визначити, оскільки мають випадковий характер. Вони називаються стохастичними змінними. Модель, що містить стохастичні змінні, по визначенню повинна описуватися математичним апаратом теорії ймовірностей або математичної статистики. Природа складних фізичних процесів на початку частіше за все не відома, тому, в принципі, для дослідника такі процеси зазвичай характеризуються змінними обох типів. В цій зв'язі для побудови адекватної математичної моделі дуже важливо заздалегідь визначити природу вихідних змінних. Оскільки виконати таке визначення на практиці дуже складно, а іноді й неможливо, то обробити достовірні робочі або інформативні параметри краще за все на математичних моделях.

Для математичного моделювання динамічних процесів в геотехнічних системах запропоновано застосування трьохплечевих гравітаційних маятників, а також простих, пов'язаних і з заздалегідь заданими нелінійностями k -масових систем пружинних маятників. Визначені особливості математичного моделювання в детерміновано-хаотичних системах, в тому числі параметри, критерії і допустимі похибки ітерацій [4].

Практичне значення моделювання в даному випадку полягає в тому, що воно дозволяє взяти до уваги кількість елементів в системі, конкретні маси і пружні зв'язі між елементами, різноманітність цих зв'язей, задати віртуально будь-які збурюючі впливи, оцінити реакцію на ці впливи при моделюванні динамічних процесів в гірських геотехнічних системах.

Для збереження стійкості складної геотехнічної динамічної системи необхідно оперативний або неперервний контроль, який хоча і не завжди дозволяє виключити аварійне стечення обставин, але може попередити про зміни в системі, а при прийнятті своєчасних експертних рішень - підвищити поріг її стійкості. В ідеалі можливе взяти до уваги всі причинно-наслідкові зв'язі, так і тенденції накоплення випадкових пошкоджень, що необхідно для заздалегідь зупинки і ремонту системи.

Оскільки хаотичні процеси переважно характерні для трьохмерних структур, часто змінюють напрямленість коливань, то їх спектральний контроль необхідно проводити по взаємно перпендикулярним напрямкам двохканальними (багатованальними) системами. Це дозволяє виявляти можливі фазові переходи, які характерні для особливо небезпечного детермінованого хаосу. Крім того, хаотичне рухання отли-

чается наличием непрерывного спектра частот, расположенного ниже вынуждающей (резонансной) частоты бифуркации, и оно, как правило, опасно для контролируемого устройства, поэтому любые изменения исходных линейчатых спектральных характеристик свидетельствуют об отклонениях в работе динамической системы.

Преобразование сигналов из временной области в частотную должно выполняться в режиме реального времени, поэтому актуальной является задача разработки математических методов спектрального анализа, обеспечивающих достаточную точность при минимальном объеме вычислительных операций без использования комплексных чисел и учитывающих особенности контролируемых технологических процессов и электромеханических объектов. Ранее для спектрального анализа было предложено применять оптимизированный для вычислений в двоичном коде метод 12-ти ординат. Его преимуществом по сравнению с известными алгоритмами быстрого дискретного преобразования Фурье (БПФ) является то, что вычисления выполняются только над действительными числами. Недостаток предложенного подхода заключается в возможности определения амплитуд и фаз только лишь 5-ти гармонических составляющих. Для повышения информативности контроля предложен упрощенный метод обработки 24-х ординат сигнала, который просто реализуется на микроконтроллере, но достаточный для технического контроля [5].

Анализ поведения системы в целом, отдельных ее элементов, а также спектральных характеристик сигналов и функций автокорреляции показывает, что введение нелинейности приводит к усиленной хаотизации системы: энергия сигналов распределяется более равномерно по всему спектру, автокорреляционная функция приобретает затухающий характер, усиливается чувствительность к начальным условиям.

Так, на рис. 3 представлены результаты обработки сигналов координат (x_j) и скоростей (v_j) для последнего в линейной цепочке груза трехмассовой полносвязной системы пружинных маятников без нелинейности (рисунки в левой колонке) и с нелинейно изменяющейся жесткостью c_{03} (рисунки в правой колонке).

На рис. 3 а приведены автокорреляционные функции сигналов изменения координаты центра массы груза m_3 во времени (последнего груза в цепочке и, в то же время, груза, который непосредственно соединен с нелинейным элементом), где μ - номер точки АКФ. Видно, что введение дополнительной нелинейности придает автокорреляционной функции затухающий характер, таким образом, развитие процесса во времени проходит существенно аперiodически.

На рис. 3 б стрелками обозначены амплитуды пиков спектрограмм сигналов координат центров масс системы; μ - номер точки дискретного преобразования Фурье. Введение дополнительной нелинейности приводит к расширению частотного состава сигнала и значительному затуханию доминирующих гармоник.

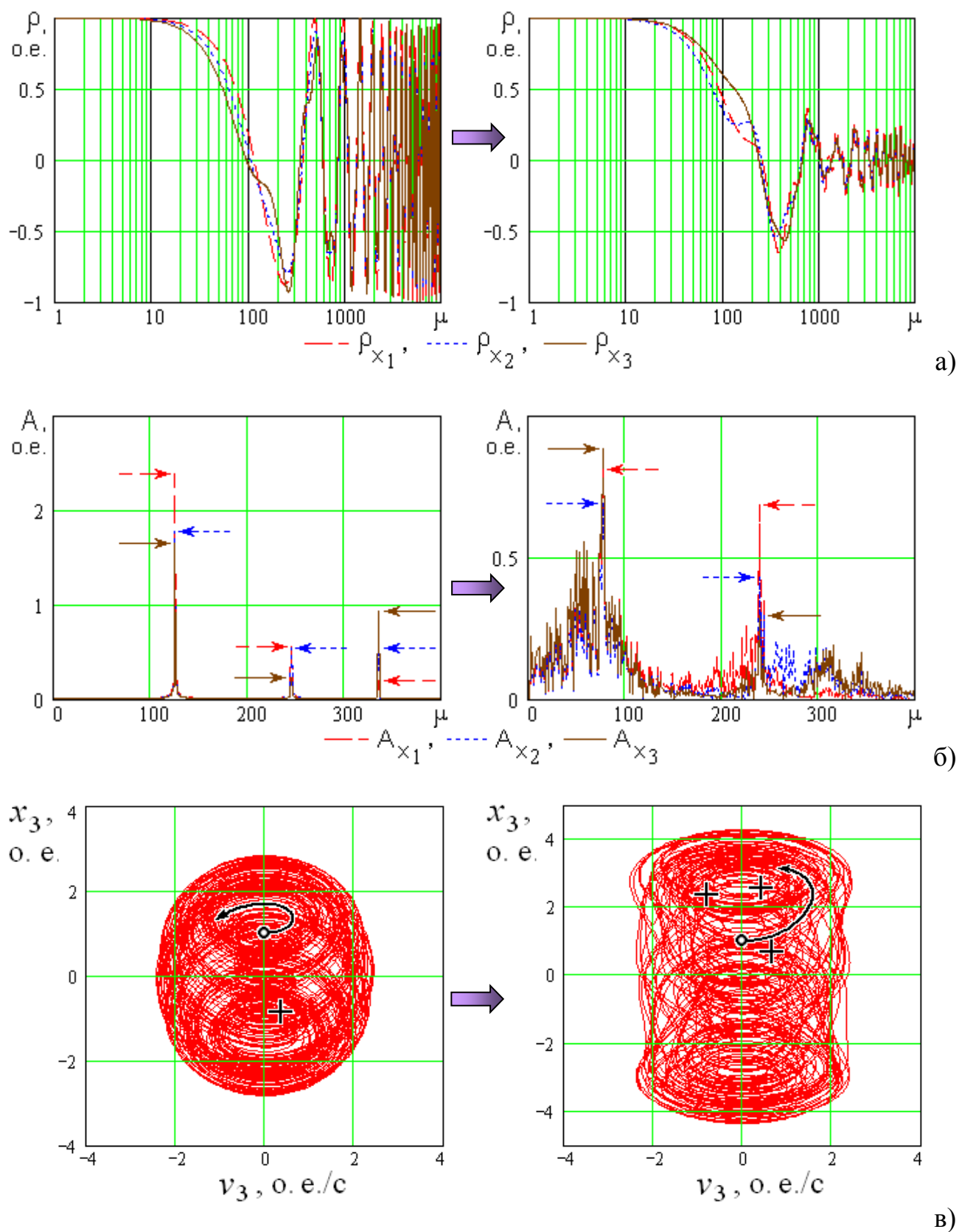


Рис. 3. Хаотизація пов'язаної системи з трьох пружинних маятників введенням додаткової нелінійності: а) графіки автокореляційних функцій; б) спектрограми; в) траєкторії

На рис. 3 в знаке « $\circ \rightarrow$ » обозначены начальная точка и направление движения груза m_3 вдоль фазовой траектории $x_3 = f(v_3)$. Знаком «+» обозначены конечные точки траектории при малом изменении начальных условий (изменялась начальная координата x_3^0 в пределах $\pm 1\%$). И если в системе без дополнительной нелинейности такое изменение было несущественным, то при наличии нелинейного элемента изменение начальной координаты приводило не только к значительному изменению конечного положения груза (см. знаки «+»), но и к изменению самой траектории с сохранением «зоны притяжения», т. е. аттрактора, рис. 3 в.

Таким образом, на основе компьютерного моделирования процессов хаотизации усовершенствован метод диагностики колебаний в реальных системах, который базируется на контроле акустических сигналов конусными датчиками по взаимно перпендикулярным направлениям и отражает тенденцию возможных фазовых переходов, что позволяет учесть поляризацию колебаний и повысить информативность измерений. Выбраны информативные параметры для оценки состояния динамических процессов (начальная потеря устойчивости системы, удвоение периода, потеря устойчивости удвоенного цикла, потеря дискретности спектра), отражающие с учетом поляризации колебаний тенденцию доминирующих связей и возможные фазовые переходы. Разработана упрощенная вычислительная схема определения гармонического состава акустических и электрических сигналов по методу 24-х ординат, позволяющая с достаточной точностью обеспечить спектральную обработку сигнала в режиме реального времени.

Список литературы

1. Арнольд В.И. Теория катастроф. - Изд. 3-е, дополненное / В.И. Арнольд. - М.: Наука, 1990. - 128 с.
2. Кузнецов С.П. Динамический хаос / С.П. Кузнецов. - М.: Физматлит, 2001. - 295 с.
3. Процеси самоорганізації в матеріалах різної природи: Навч. посіб. / А.П. Шпак, Ю.А. Куницький, В.А. Прокопенко, С.Ю. Смик. - К.: ІМ ім. Г.В. Курдюмова НАН України, 2004. - 113 с.
4. Яланский А.А. Моделирование динамики хаотических и синергетических процессов в сложных системах / А.А. Яланский, Алекс.А. Яланский, Н.А. Иконникова // Геотехническая механика. - Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2008. - № 78. - С. 163 - 172.
5. Корсун В.И. Оперативный контроль частотных параметров электрических сигналов методом двадцати четырех ординат в режиме реального времени / В.И. Корсун, Н.А. Иконникова // Гірнична електромеханіка та автоматика. - Дніпропетровськ: НГУ, 2006. - Вип. 77. - С. 98 - 102.

*Рекомендована до публікації д.т.н. Ткачовим В. В.
Надійшла до редакції 10.12.2014*