
doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.06.046>

УДК 519.21

В.И. Большаков, В.Н. Волчук, Ю.И. Дубров

ГВУЗ “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, Днепр

E-mail: volchuku@yandex.ua

Фрактальный подход при идентификации сложных систем

Представлено академиком НАН Украины А.Ф. Булатом

Рассмотрены возможности применения фрактальных моделей для идентификации сложных систем. Приведен алгоритм определения области самоподобия для исследуемого объекта, что, по мнению авторов, позволяет снизить вероятность нарушения штатного режима его работы.

Ключевые слова: математическая модель, сложная система, карусель Лоренца, фрактал, область самоподобия, атомный реактор.

Среди всех видов математических моделей сложных систем¹, включая нанотехнологии [1, 2], особое место занимает модель, согласно применению которой необходимо производить обоснование её принадлежности к фрактальному типу [3–7]. При этом следует обратить особое внимание на то, что у отдельных объектов идентификации, в некоторые моменты времени, наблюдаются ситуации, при которых отдельные их составляющие (например, определяющий параметр) внезапно изменяют знак своего действия на противоположный.

Как это было ранее показано (см., например [8]), подобное явление продиктовано глобальной неустойчивостью объекта идентификации.

О глобальной неустойчивости, обосновывающей вычислительно неприводимые задачи идентификации некоторых, казалось бы, детерминированных объектов [9], стали говорить после открытия Э. Лоренцем так называемой атмосферной карусели, которая, например, приводит к непрогнозируемости погоды [8]. Э. Лоренц математически описал изменение атмосферы, на которую действуют два фактора: нагревание воздуха от земли и охлаждение его в её верхних слоях. В результате нагревания воздух расширяется и поднимается вверх, вытесняя холодный воздух, который опускается. Образуется своеобразная “карусель”.

Сделав несколько оборотов в одном направлении, в какой-то момент времени, эта карусель начнет вращаться в другом направлении, затем снова его сменит и т. д. Природа этого явления достаточно проста. При больших перепадах температур скорость движения воздушной массы будет большой и она не успеет охладиться в верхней части, чтобы опу-

¹ Сложной системой будем называть систему с относительно большим числом переменных, часть из которых изменяется непредсказуемым образом.

ститься и начнет “всплывать”, что затормозит вращение этой “карусели”. В результате вращение начинается в другом направлении и т. д.² Если фиксировать моменты времени, в которых происходит смена направления вращения этой “карусели”, то мы будем получать случайную последовательность чисел. Многим технологиям присущ эффект карусели Лоренца.

В этой связи исследования карусели Э. Лоренца как объекта идентификации приведены с целью демонстрации возможности применения фрактального формализма, для идентификации объектов и систем с частичным индетерминизмом.

Составляющими определяющего параметра могут быть выбраны скорость воздушной массы и ее температура. После чего область самоподобия определится как постоянство отношения этих составляющих.

С учётом непредсказуемости момента изменения направления вращения карусели Э. Лоренца данный объект идентификации является вычислительно неприводимым [9].

В настоящей работе показано как применение фрактального формализма к формированию математической модели этого объекта идентификации частично устраняет неопределённость, возникающую в результате неполноты формальной аксиоматики [10].

С целью частичного устранения неполноты формальной аксиоматики, С. Бир рекомендовал использовать принцип “внешнего дополнения” [11], основанный на применении, для формулирования утверждений, языка высокого уровня, который не должен формулироваться в терминах языка, до этого применяемого. Вновь выбранные решения, выраженные языком более высокого уровня, призваны устранять недостатки первоначально используемого языка. Применение вновь избранного языка выступает в качестве практического метода, направленного на частичное устранение сложности, являющейся следствием, вытекающим из теоремы Гёделя “о неполноте” [12]. Следует ожидать, что новый язык также не сможет привести неразрешимое утверждение к точному определению. Для этого понадобится применение языка еще более высокого уровня и т. д.

С. Бир рекомендовал, чтобы выйти за рамки первоначально выбранного языка, но в то же время не оторваться от реальной ситуации, следует привязаться к такому свойству системы, которое неразрывно связано с ее действительным существованием. В рамках фрактального формализма для формирования модели со сходным свойством считаем необходимым устанавливать области самоподобия определяющего параметра, а для доказательства верности утверждения “момент изменения направления вращения карусели Э. Лоренца прогнозируемый” применить принцип внешнего дополнения С. Бира.

Для этого самоподобие области (ОС) определяющего параметра будем описывать языком более высокого уровня, чем язык до этого применявшийся — языком фрактального формализма. Покажем, как применение этого языка способствует определению момента изменения направления вращения карусели Э. Лоренца. Для этого принимаем, что границы ОС карусели Э. Лоренца с допустимой погрешностью определяются постоянством отношений:

$$K = \frac{T_1 / v_1}{T_2 / v_2} \approx \text{const},$$

² Предполагается, что возникновение торнадо, смерчей и подобных явлений подчиняется аналогичным закономерностям.

где T_1 и T_2 — температуры воздушной массы в двух исследуемых областях; v_1 и v_2 — скорости воздушной массы в этих областях; v_1 — область, в которой скорость воздушной массы определяется на минимальном расстоянии от поверхности земли (область минимального значения определяющего параметра); v_2 — область, в которой скорость воздушной массы определяется на заданном расстоянии от поверхности земли (область максимального значения определяющего параметра).

Изменение направления вращения воздушной массы на противоположное происходит не мгновенно, а по мере приближения определяющего параметра к одной из границ области самоподобия, с изменением знака вращения. Время, идущее на изменение знака вращения — время запаздывания, которое может изменяться в широком диапазоне от 0 до ∞ .

Из вышеизложенного следует, что карусель Э. Лоренца может описываться фрактальной моделью, где размерность этой модели D пропорциональна значению коэффициента самоподобия: $D \sim K$.

Как отмечалось ранее, относительно значительному числу технологий, при определённых условиях их функционирования, присущ эффект, порождаемый так называемой каруселью Э. Лоренца.

В этой связи для подобных технологий способ определения области самоподобия, приведенный выше, может служить аналогом индикатора, который постоянно регистрирует приближение определяющего параметра к одной из границ ОС, тем самым сигнализируя о вероятности возникновения нештатной ситуации.

Одной из таких технологий, на наш взгляд, является технология работы реактора на Чернобыльской атомной электростанции, известной в связи с аварией, произошедшей 26 апреля 1986 г.

Как показал печальный опыт эксплуатации АЭС, первопричиной катастроф, происшедших на этих станциях, в большей части, являлись нарушения, связанные с несвоевременной подачей управляющего сигнала на изменение количества подаваемого хладагента [13].

При своевременной подаче сигнала об увеличении вероятности возникновения нештатной ситуации, изменив подачу хладагента, ее можно было бы избежать. Для этого необходимо было бы на входе хладагента в рубашку атомного реактора, не нарушая установленной там защиты, определять одну из границ области самоподобия хладагента, установив в ней соответствующий датчик, другую границу этой области самоподобия определить на выходе хладагента из рубашки реактора. Если по мере приближения определяющего параметра к одной из границ области самоподобия будет фиксироваться вероятность возникновения нештатной ситуации, то, по нашему мнению, аварии можно избежать.

Процесс охлаждения в случае классических вентиляторных градирен происходит за счёт испарения части воды при стекании её тонкой плёнкой или каплями по специальному оросителю, вдоль которого в противоположном движению воды направлении подаётся поток воздуха (грубая модель карусели Э. Лоренца). В инновационных эжекционных градирнях охлаждение происходит за счёт создаваемой среды, приближаемой к условиям вакуума специальными форсунками. Охлаждение осуществляет принцип двойного действия, охлаждая распыляемую жидкость не только снаружи, но и внутри.

Существующая в настоящее время точность и надёжность измерительной аппаратуры позволяет производить своевременное определение нештатной ситуации по приведенной схеме.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Черепанов В.В., Прилудский Ю.И., Сененко А.И., Марченко А.А., Наумовец А.Г. Структурная организация фуллера С₆₀, доксорубицина и их комплекса в физиологическом растворе как потенциальных противоопухолевых агентов. *Наноразмерные системы и наноматериалы: исследования в Украине*. Глав. редактор А.Г. Наумовец. Киев: Академперіодика, 2014. С. 15–18.
2. Наумовец А.Г., Беспалов С.А. Нанорозмірні системи: будова, властивості, технології (Міжнародна наукова конференція НАНСИС-2013). *Вісник Нац. акад. наук України*. 2014. № 2. С. 67–69.
3. Bol'shakov V., Volchuk V., Dubrov Yu. *Fractals and properties of materials*. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2016. 140 с.
4. Булат А.Ф., Дырда В.И. Фракталы в геомеханике. Киев: Наук. думка, 2005. 356 с.
5. Гринченко В.Т., Мацьпура В.Т., Снарский А.А. Введение в нелинейную динамику. Хаос и фракталы. Киев: Наук. думка, 2005. 263 с.
6. Большаков В.И., Волчук В.Н., Дубров Ю.И. Особенности применения мультифрактального формализма в материаловедении. *Допов. Нац. акад. наук України*. 2008. № 11. С. 99–107.
7. Большаков В.И., Волчук В.Н. Материаловедческие аспекты применения вейвлетно-мультифрактального подхода для оценки структуры и свойств малоуглеродистой стали. *Металлофизика и новейшие технологии*. 2011. **33**. № 3. С. 347–360.
8. Lorenz E.N.I. Deterministic nonperiodic flow. *J. Atmos. Sci.* 1963. 20. P. 130–141.
9. Большаков В.И., Дубров Ю.И. О возможности идентификации вычислительно неприводимых систем. *Вісник Нац. акад. наук України*. 2016. № 3. С. 76–80. doi: <https://doi.org/10.15407/visn2016.03.076>
10. Большаков Вад.І. Большаков В.І., Волчук В.М., Дубров Ю.І. Часткова компенсація неповноти формальної аксіоматики при ідентифікації структури металу. *Вісник Нац. акад. наук України*. 2014. № 12. С. 45–48.
11. Бир С. Кибернетика и управление производством. Москва: Наука, 1963. 276 с.
12. Gödel K. Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme. *Monatshefte für Mathematik und Physik*. 1931. 38. P. 173–198.
13. Международное агентство по атомной энергии. Чернобыльская авария: дополнение к INSAG-1. Серия изданий по безопасности № 75-INSAG-7. МАГАТЭ, Вена, 1993.

Поступило в редакцию 31.01.2017

REFERENCES

1. Cherepanov, V. V., Prylutsky, Yu. I., Senenko, A. I., Marchenko, A. A. & Naumovets, A. G. (2014). Nanoscale systems and nanomaterials research in Ukraine. Editorial board: A.G. Naumovets (glav. red.). Kiev: Academperiodika, pp. 15-18 (in Russian).
2. Naumovets, A. G. & Bespalov, S. A. (2014). Nano-sized systems: structure, properties, technologies (International scientific conference NANSYS-2013). *Visn. Nac. acad. nauk Ukraine*, No. 2, pp. 67-69 (in Russian).
3. Bol'shakov, V., Volchuk, V. & Dubrov, Yu. (2016). *Fractals and properties of materials*. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing.
4. Bulat, A. F. & Dyrda, V. I. (2005). *Fractals in geomechanics*. Kiev: Naukova Dumka (in Russian).
5. Grinchenko, V. T., Matsypura, V. T., Snarskiy, A. A. (2005). *Introduction to nonlinear dynamics. Chaos and Fractals*. Kiev: Naukova Dumka (in Russian).
6. Bol'shakov, V. I., Volchuk, V. N. & Dubrov, Yu. I. (2008). Peculiarities of applications of the multifractal formalism to materials science. *Dopov. Nac. acad. nauk Ukraine*, No. 11, pp. 99-107 (in Russian).
7. Bol'shakov, V. I. & Volchuk, V. N. (2008). Materials science aspects of applications of the wavelet-multifractal approach to the evaluation of a structure and properties of low-carbon steel. *Metallofizika i Noveishie Tekhnologii*, 33, No. 3, pp. 347-360 (in Russian).
8. Lorenz, E.N.I. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *J. Atmos. Sci.*, 20, pp. 130-141.
9. Bol'shakov, V. I. & Dubrov, Yu. I. (2016). On a possibility to identify computationally irreducible systems. *Visn. Nac. acad. nauk Ukraine*, No. 3, pp. 76-80 (in Ukrainian), <https://doi.org/10.15407/visn2016.03.076>
10. Bol'shakov Vad. I., Bol'shakov V. I., Volchuk V. N. & Dubrov Yu. I. (2014). A partial compensation of the incompleteness of a formal axiomatics at the identification of a metal structure. *Visn. Nac. acad. nauk Ukraine*, No. 12, pp. 45-48 (in Ukrainian).
11. Beer, S. (1959). *Cybernetics and Management*. London: English Universities Press.

12. Gödel, K. (1931). Über formal unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und verwandter Systeme. Monatshefte für Mathematik und Physik, 38, pp. 173-198 (in Germany).
13. 75-INSAG-7 in. LL. CO. INSAG-7. The Chernobyl Accident: Updating of INSAG-1. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1992.

Received 31.01.2017

В.І. Большаков, В.М. Волчук, Ю.І. Дубров

ДВНЗ “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, Дніпро

E-mail: volchuky@yandex.ua

ФРАКТАЛЬНИЙ ПІДХІД ПРИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Розглянуті можливості застосування фрактальних моделей для ідентифікації складних систем. Наведено алгоритм визначення області самоподібності для досліджуваного об'єкта, що, на думку авторів, дозволяє знизити ймовірність порушення штатного режиму його роботи.

Ключові слова: математична модель, складна система, карусель Лоренца, фрактал, область самоподібності, атомний реактор.

V.I. Bol'shakov, V.M. Volchuk, Yu.I. Dubrov

Dnipro State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro

E-mail: volchuky@yandex.ua

FRactal Approach to the Identification of Complex Systems

A possibility of applying the fractal models for the identification of complex systems is considered. An algorithm for determining the area of self-similarity of the object under consideration is presented. The algorithm allows one to reduce the probability of the object malfunctioning.

Keywords: mathematical model, complex system, Lorentz carousel, fractal, self-similarity area, nuclear reactor.