Необходимость в исследовании конвекции ферронаножидкостей связана с их использованием в качестве теплоносителя в различных системах охлаждения и преобразования энергии. Ферронаножидкость представляет собой устойчивую взвесь ферромагнитных частиц, со средним размером 10 нм, в жидкости–носителе (в случае углеводородных носителей это смесь разных по размеру, массе и химическому составу молекул). Кроме того, в ее состав могут входить свободные молекулы поверхностно-активного вещества, а также агрегаты, содержащие от нескольких до сотен частиц. Многокомпонентный состав ферронаножидкостей обуславливает множество действующих в ней физических механизмов, таких как тепловая и концентрационная конвекция, термофорез, гравитационная седиментация и вращательная вязкость. Вследствие этого возникают нерегулярные перемежающиеся колебательные режимы конвекции [1]. Для изучения влияния на тепловую конвекцию различных осложняющих факторов была выбрана шаровая полость, в которой первой моде неустойчивости отвечает один вихрь [2].

В подогреваемой снизу полости вблизи порога конвекции были проведены продолжительные (от нескольких недель до месяца) опыты, в которых обнаружены незатухающие автоколебания с переходами от квазигармонических колебаний к релаксационным, а затем нерегулярным колебаниям. Регистрируемые при помощи термопар колебания температуры отвечают вращению оси конвективного вихря. Для отдельных цугов, содержащих колебания высоких и низких частот, построены вейвлеты и скелетоны. Вейвлетное преобразование позволило эффективно выделить временные интервалы существования тех или иных гармоник в сигналах. Проведено сравнение с колебаниями, возникающими в жидкости–носителе — трансформаторном масле, которое широко применяется в качестве традиционного теплоносителя.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта є16-31-00091 мол_а.

1. Krauzina M.T., Bozhko A.A., Putin G.F., Suslov S.A. *Phys. Rev. E* **91** (2015) 013010.
2. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. Наука, Москва, 1972.

Соленоид Смейла - Вильямса в системе двух связанных осцилляторов с гомоклинической “восьмеркой”

Круглов В.П., Кузнецов С.П., Хаджиева Л.М.

Саратовский филиал ИРЭ им. В. А. Котельникова РАН, СарГУ, Саратов

В последнее время было предложено большое число систем с однородно гиперболическими аттракторами [1, 2], в основном, с аттракторами типа Смейла Ц Вильямса. Функционирование этих систем основано на манипуляции угловыми переменными [1, 2] (например, фазами колебаний). Для возникновения соленоида Смейла Ц Вильямса угловая переменная должна подвергаться растягивающему отображению окружности через средний временной интервал, характерный для системы. Большинство известных примеров Ц неавтономные системы, хотя были предложены и автономные [3, 4].

Мы предлагаем новый пример автономной системы с аттрактором типа Смейла Ц Вильямса, построенный схоже с системами из [3]. Модель состоит из двух подсистем, которые являются осцилляторами Неймарка с сепаратрисой седла в виде Yвосьмерки¥. Координаты этих подсистем можно рассматривать как действительную и мнимую части комплексной переменной. Благодаря связи между подсистемами особого вида аргумент этой переменной подвергается растягивающему отображению окружности, когда траектория проходит рядом с седлом, лежащим в начале координат. Уравнения выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned} \dot{x} = u, \quad \dot{u} &= (1 - x^2 - y^2)\, x + [L - (x^2 + y^2 - 1)^2]\, u + \varepsilon\, (u^3 - 3uv^2)\,, \\ \dot{y} = v, \quad \dot{v} &= (1 - x^2 - y^2)\, y + [L - (x^2 + y^2 - 1)^2]\, v + \varepsilon\, (3u^2 v - v^3)\,, \end{aligned} \tag{1}$$

где ε Џ параметр связи. Уравнения можно переписать в комплексной форме:

$$\dot{z} = w, \quad \dot{w} = \left(1 - |z|^2\right) z + \left[L - (|z|^2 - 1)^2\right] w + \varepsilon w^3, \tag{2}$$

где $z = x + iy$ и $w = u + iv$.

Функционирование системы мы объясним следующим образом. Аргумент переменной z назовем θ: $z = C \exp(\arg\theta)$. Когда абсолютная величина z близка к нулю (траектория близка к седлу в начале координат), угловая переменная θ увеличивается в 3 раза благодаря слагаемому εw^3 и кубической нелинейности $\left(1 - |z|^2\right) z$. Таким образом, угловая переменная подвергается отображению Бернулли $\theta_{n+1} = 3\theta_n + \mathrm{const} \pmod{2\pi}$ после среднего времени, необходимого траектории для возвращения к седлу.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты є 16-32-00449 и 16-02-00135).

1. Кузнецов С.П. Динамический хаос и гиперболические аттракторы: от математики к физике. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2013
2. Кузнецов С.П. *Успехи физических наук* **181** (2011) No. 2, 121-149
3. Kuznetsov S.P., Pikovsky, A. *Physica D: Nonlinear Phenomena* **232** (2007) No. 2, 87-102
4. Kruglov, V.P., Kuznetsov, S.P., Pikovsky, A. *Regular and Chaotic Dynamics* **19** (2014) No. 4, 483-494.

Диагностика направления связи между осцилляторами на основе оценок причинности по Грейнджеру по временным рядам при наличии скрытых переменных

Крылов С.Н., Смирнов Д.А., Безручко Б.П.

СарГУ, Саратов; СФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Саратов

Количественная оценка направленных связей (воздействий) между колебательными системами по временным рядам важна на практике, например в геофизике и нейрофизиологии. В таких случаях оценка причинности по Грейнджеру – улучшение прогноза одного процесса при учете данных о другом по сравнению с индивидуальным прогнозом – распространенный подход. Нормированное улучшение прогноза (УП) считается оценкой силы воздействия, причем значения УП в несколько процентов могут означать значительное долгосрочное влияние связи на динамику [1]. Ненулевые УП в обе стороны часто считают признаком двунаправленной связи, но возможны и ложные выводы, например,