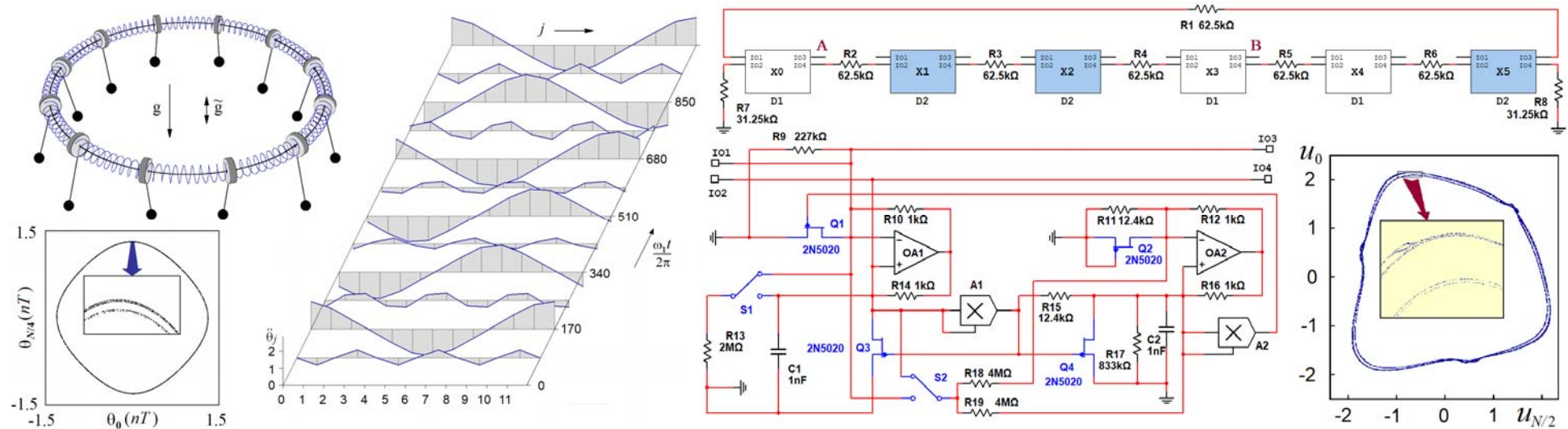


Показано, что на базе решеточных систем – клеточной нейросети из ячеек в виде электронных блоков или кольцевой цепочки параметрически возбуждаемых осцилляторов с нелинейностью синуса (например, маятников) можно реализовать генерацию хаоса, обусловленную аттракторами типа соленоида Смейла – Вильямса, что обеспечивает грубую (структурно устойчивую) хаотическую динамику, нечувствительную к малым вариациям параметров, несовершенству изготовления, помехам. Для системы в виде клеточной нейросети указана схемотехническая реализация и проведено моделирование генерации грубого хаоса в среде Multisim.

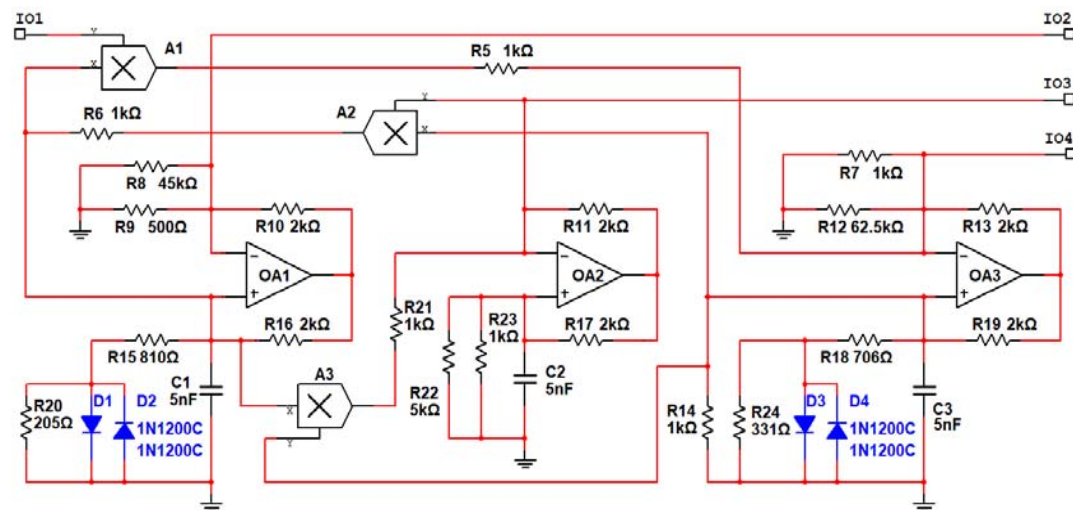
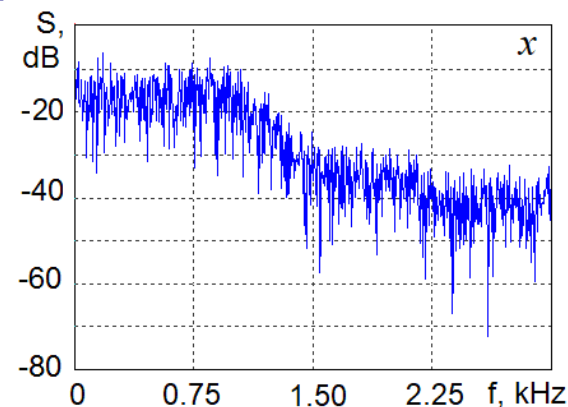
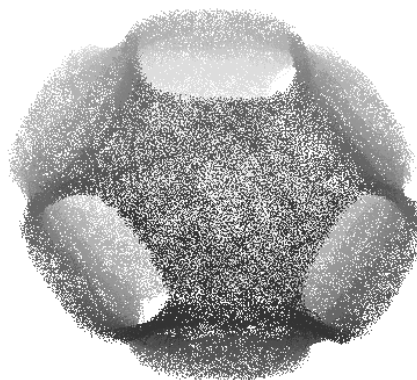
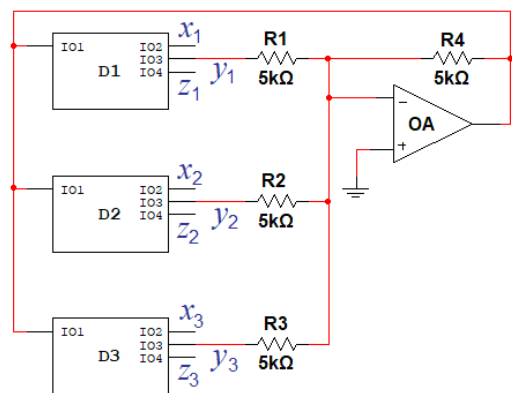


Кузнецов С.П. Хаотическая динамика кольцевой цепочки маятников с вибрирующим подвесом. Известия вузов. ПНД, 2019, т. 29, вып. 4, 99–113.

Kuznetsov S.P. Generation of Robust Hyperbolic Chaos in CNN, Russian Journal of Nonlinear Dynamics, 2019, 15, no. 2, p. 109-124.

РНФ 15-12-20035, совместно с УдГУ, Ижевск  
Госзадание ИРЭ РАН

Предложен электронный генератор грубого хаоса, представляющий собой автономную систему с алгебраической нелинейностью, где траектории на гиперболическом аттракторе приблизительно соответствуют динамике на поверхности отрицательной кривизны. Сформулирована математическая модель и электронная схема генератора, с использованием которой проведено моделирование в среде Multisim. Для математической модели продемонстрировано соответствие с результатами схемотехнического моделирования, вычислены показатели Ляпунова и выполнена проверка гиперболической природы аттрактора с помощью анализа гистограмм углов пересечения устойчивых и неустойчивых многообразий. Присущая аттрактору приблизительно равномерность растяжения и сжатия элементов фазового объема в непрерывном времени определяет хорошие спектральные свойства сигнала.

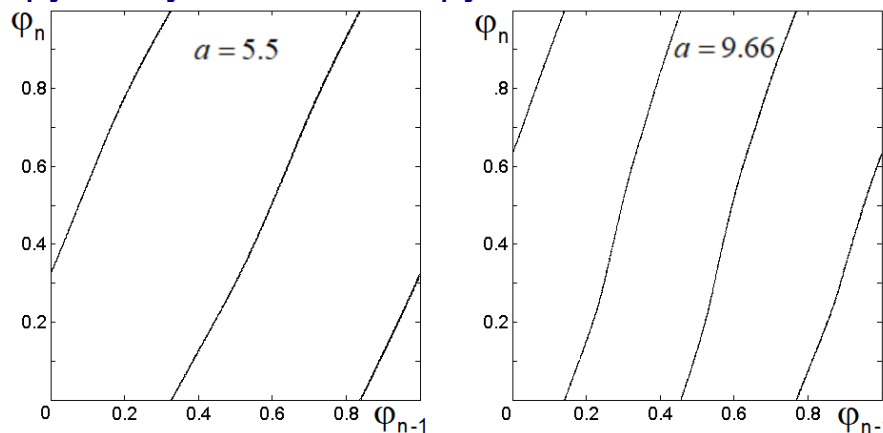


Кузнецов С.П. Автогенератор грубого гиперболического хаоса. Известия вузов. ПНД, 27, 2019, №6, 39-62.

РНФ 17-12-01008.

Показана возможность грубого гиперболического хаоса, обусловленного присутствием аттрактора в виде соленоида Смейла–Вильямса, в осцилляторе Бонхоффера – ван дер Поля с периодически модулируемым параметром возбуждения и в механической системе на основе маятника Фруда с периодическим торможением при наличии дополнительной запаздывающей обратной связи. Проведено численное моделирование хаотической динамики, вычислены показатели Ляпунова и выполнена проверка гиперболической природы аттракторов. Для системы на основе маятника Фруда построена карта динамических режимов, на которой гиперболический хаос в силу структурной устойчивости занимает сплошную область, окруженную зонами негрубого хаоса, а также периодической динамики.

Кузнецов С.П., Седова Ю.В. Гиперболический хаос в осцилляторе Бонхоффера – ван дер Поля с дополнительной запаздывающей обратной связью и периодически модулируемым параметром возбуждения. Изв. вузов. ПНД, 2019, **27**, №1, с.77-95.



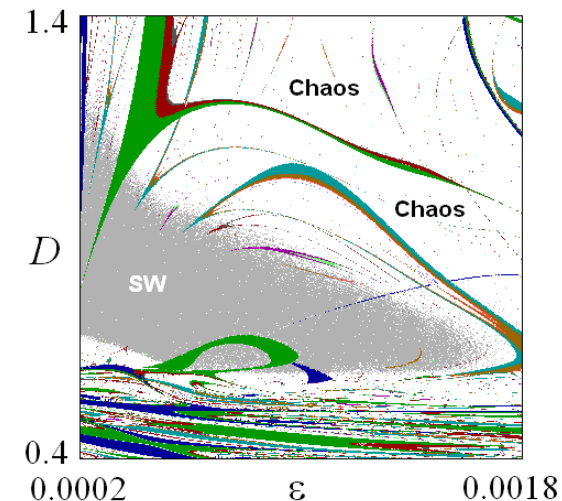
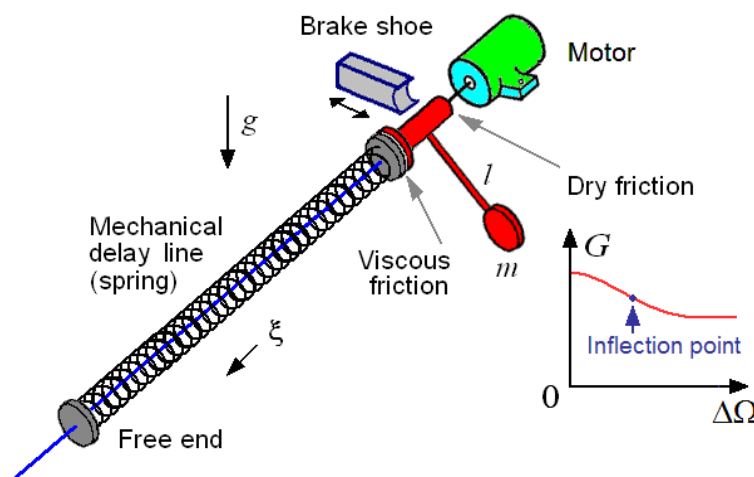
$$\ddot{x} - f(t/T)\dot{x} + x^2\dot{x} + x = K + \varepsilon(x(t-\tau) - x)$$

$$f(\xi) = \begin{cases} a, & 0 < \xi \leq \tau_1, \\ \frac{(a-c)\xi + c\tau_1 - a\tau_2}{\tau_1 - \tau_2}, & \tau_1 < \xi \leq \tau_2, \\ \frac{(c-a)\xi + a\tau_2 - c}{\tau_2 - 1}, & \tau_2 < \xi \leq 1. \end{cases}$$

$$K = 0.5, \quad c = -2, \quad \tau_1 = 0.4, \quad \tau_2 = 0.5, \\ \varepsilon = 0.01, \quad T = 200, \quad \tau = 100$$

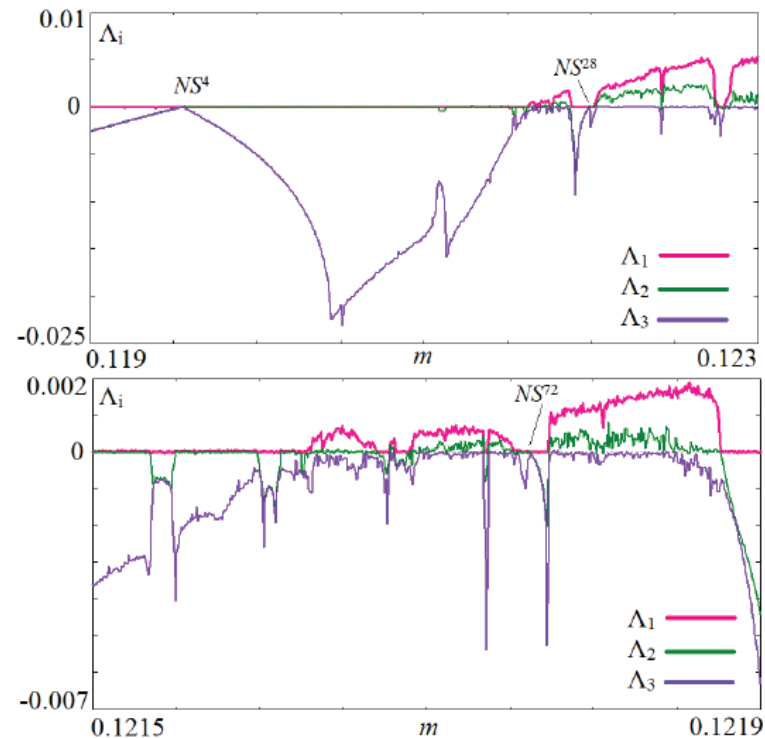
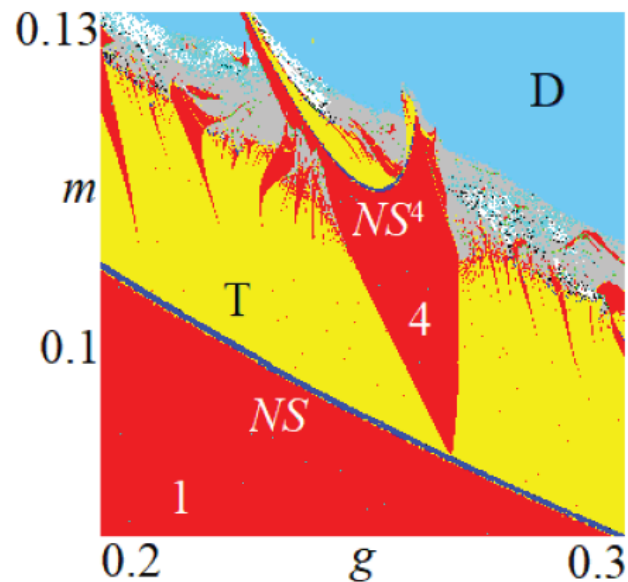
Kuznetsov S.P., Sedova Y.V. Robust hyperbolic chaos in Froude pendulum with delayed feedback and periodic braking. IJBC, **29**, 2019, 1930035.

РНФ 17-12-01008,  
РНФ 15-12-20035, совместно с  
УдГУ, Ижевск



Исследована модель радиофизического генератора в виде системы уравнений четвертого порядка, где в зависимости от параметров реализуются сценарии формирования хаоса и гиперхаоса. Показана возможность возникновения при участии вторичной бифуркации Неймарка–Сакера гиперхаоса с двумя положительными показателями Ляпунова и хаотических аттракторов с единственным положительным показателем. Динамическое поведение системы проиллюстрировано полученными в численных расчетах картами режимов, графиками показателей Ляпунова в зависимости от параметров, бифуркационными диаграммами и портретами характерных аттракторов, возникающих на пути от гладкого тора к хаосу и гиперхаосу через потерю гладкости инвариантной кривой в сечении Пуанкаре.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= mx + y - x\varphi - dx^3, \\ \dot{y} &= -x, \quad \dot{z} = \varphi, \\ \dot{\varphi} &= -\gamma\varphi - gz + \gamma \frac{1 + \operatorname{sgn} x}{2} x^2 \end{aligned}$$

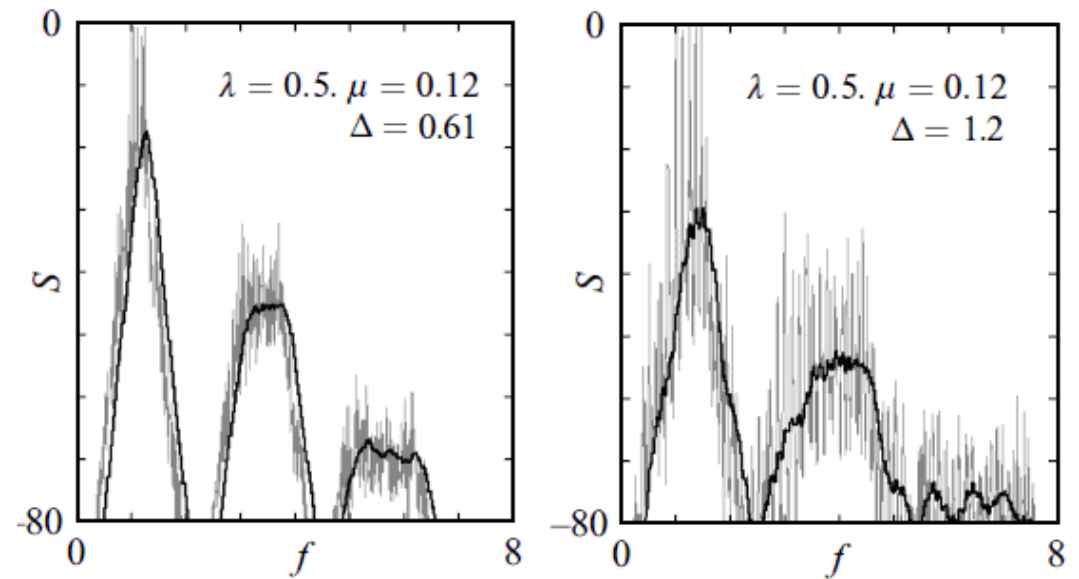


Stankevich N.V., Kuznetsov A.P., Popova E.S., Seleznev E.P. Chaos and hyperchaos via secondary Neimark–Sacker bifurcation in a model of radiophysical generator, *Nonlinear Dynamics*, 2019, **97**, 2355-2370.

*РНФ 17-12-01008,  
совместно с СГТУ  
им. Гагарина Ю.А.*

Выполнено численное исследование хаотической динамики кольцевой цепочки осцилляторов ван дер Поля, с проведением анализа спектров Фурье и спектра показателей Ляпунова. Показано, что хаос, возникающий при разрушении многочастотных торов, обладает широкополосным спектром.

$$\begin{aligned} \ddot{x} - (\lambda_1 - x^2)\dot{x} + x + \frac{\mu}{2}(2x - w - y) &= 0, \\ \ddot{y} - (\lambda_2 - y^2)\dot{y} + \left(1 + \frac{\Delta}{4}\right)y + \frac{\mu}{2}(2y - x - z) &= 0 \\ \ddot{z} - (\lambda_3 - z^2)\dot{z} + \left(1 + \frac{\Delta}{2}\right)z + \frac{\mu}{2}(2z - y - v) &= 0. \\ \ddot{v} - (\lambda_4 - v^2)\dot{v} + \left(1 + \frac{3\Delta}{4}\right)v + \frac{\mu}{2}(2v - z - w) &= 0 \\ \ddot{w} - (\lambda_5 - w^2)\dot{w} + (1 + \Delta)w + \frac{\mu}{2}(2w - v - x) &= 0 \end{aligned}$$



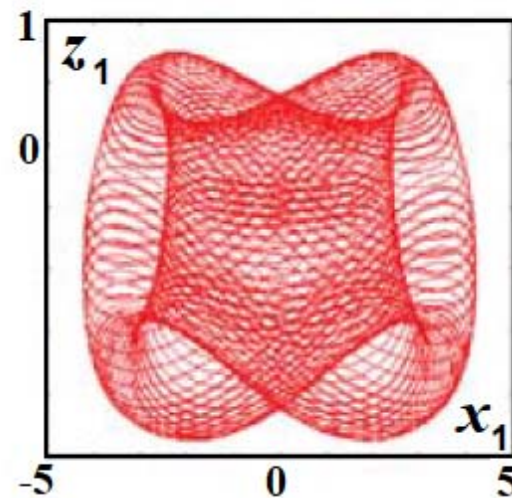
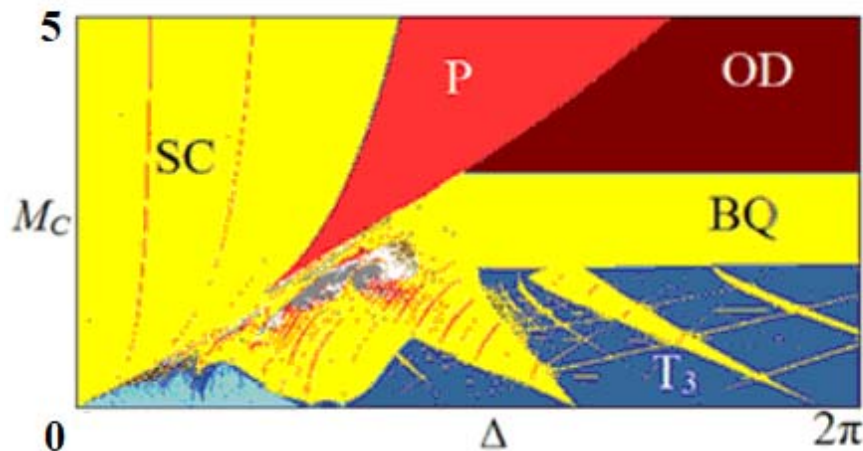
Станкевич Н.В., Попова Е.С., Кузнецов А.П., Селезнев Е.П. Широкополосные хаотические колебания в слабосвязанном ансамбле автоколебательных осцилляторов. Письма в ЖТФ, 2019, **45**, вып. 24, с. 17-20.

*Госзадание ИРЭ РАН НИР, совместно с СГТУ им. Гагарина Ю.А.*



Исследованы эффекты, сопровождающие взаимную синхронизацию двух связанных генераторов квазипериодических колебаний с устойчивыми состояниями равновесия. Построены карты показателей Ляпунова на плоскости параметров, где присутствуют области аттракторов в виде торов разной размерности, периодических режимов и хаоса. Выявлены режимы гибели колебаний, полной синхронизации, синхронной квазипериодичности, когда реализуется квазипериодичность при наличии фазовой синхронизации подсистем, режим широкополосной синхронизации, являющийся аналогом описанного ранее режима для периодических автоколебаний в системах с неидентичными параметрами. Обнаружен режим широкополосной квазипериодичности, характеризующийся наличием тора–аттрактора в широком диапазоне частотных расстройек и конечном интервале значений параметра связи. Выявлены также квазипериодические бифуркации Хопфа торов и наличие резонансной паутины Арнольда.

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 - (\lambda_1 + z_1 + x_1^2 - \beta x_1^4)\dot{x}_1 + \omega_0^2 x_1 + M_C(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) &= 0, \\ \dot{z}_1 &= b(\varepsilon - z_1) - k\dot{x}_1^2, \\ \ddot{x}_2 - (\lambda_2 + z_2 + x_2^2 - \beta x_2^4)\dot{x}_2 + (\omega_0 + \Delta)^2 x_2 + M_C(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) &= 0, \\ \dot{z}_2 &= b(\varepsilon - z_2) - k\dot{x}_2^2, \end{aligned}$$



Kuznetsov A.P., Kuznetsov S.P., Shchegoleva N.A., Stankevich N.V. Dynamics of coupled generators of quasiperiodic oscillations: Different types of synchronization and other phenomena. *Physica D*, 2019, **398**, 1-12.

*РНФ 17-12-01008,  
совместно с СГТУ  
им. Гагарина Ю.А.*