

Возбуждение и подавление химерных состояний в многослойной сети нелинейных элементов

В. А. Максименко^{1,*}, М. В. Горемыко^{1,2}, В. В. Макаров¹, А. Е. Храмов¹, Д. Гош³, Б. К. Бера³, С. К. Дана⁴

¹Саратовский Государственный Технический Университет имени Гагарина Ю. А.,
НОЦ «Нелинейная динамика сложных систем»
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, д. 77

²Правительство Саратовской Области, Россия, 410042, Саратов, Московская, д. 72

³Индийский Статистический Институт, Индия, 700108, Западная Бенгалия, Калькутта

⁴Индийский Институт Химической Биологии, Индия, 700032, Западная Бенгалия, Калькутта

В настоящей работе исследуется взаимодействие между ансамблями нелинейных элементов, демонстрирующих как химерное состояние, так и когерентное или некогерентное состояние, в рамках модели многослойной сети. Обнаружено, что взаимодействие между слоем, демонстрирующим химерное состояние, и слоем, демонстрирующим как полностью когерентное состояние, так и некогерентное состояние, приводит, при слабой межслойной связи, к подавлению химеры и переходу к когерентному или некогерентному состоянию, а при сильной межслойной связи — к возбуждению химерного состояния из когерентного или некогерентного состояния, соответственно.

PACS: 05.45.Xt, 89.75.Nc УДК: 51-77, 530.182

Ключевые слова: многослойная сеть, нелокальная связь, химерные состояния, осциллятор Курамото–Сакагучи.

Изучение химерных состояний [1], реализующихся в ансамблях нелинейных осцилляторов различной природы [2], является в настоящий момент активно развивающимся научным направлением, о чем свидетельствует возросшее в последние годы число публикаций по данной тематике [3–7]. Подобные состояния, характеризующиеся сосуществованием в сетях связанных осцилляторов групп когерентных и некогерентных элементов, представляют интерес, обусловленный наблюдением в реальных системах состояний, свойства которых соответствуют химерам. В качестве таких систем, как правило, рассматриваются объекты биологической, химической и электронной природы [8–10].

В настоящей работе, в контексте изучения химерных состояний, исследуется взаимодействие между ансамблями нелинейных элементов, демонстрирующих как химерное, так и когерентное или некогерентное состояние, в рамках модели многослойной сети. Данная модель характеризуется наличием у каждого элемента двух типов связей. Первый тип характеризует взаимодействие элемента с другими узлами сети, находящимися в пределах одного слоя. Второй тип определяет связь данного элемента с элементами, относящимися к другим слоям сети. В зависимости от специфики задачи, конфигурации связей между элементами многослойной сети могут быть различными. В рамках нашей работы будет рассмотрена конфигурация, описанная в нашей недавней работе [15].

Для моделирования динамики узла сети в настоящей работе используется фазовый осциллятор Курамото–Сакагучи (1) [16], который часто применяется как базовая модель для численного и аналитического исследова-

ования химерных состояний [17].

$$\frac{d\phi_i^j}{dt} = \omega_i^j - \frac{\lambda_1}{2R+1} \sum_{k=i-2R}^{i+2R} \sin(\phi_i^j - \phi_k^j + \alpha) + \frac{\lambda_2}{M} \sum_{i \neq j} \sin(\phi_i^j - \phi_i^l), \quad (1)$$

Здесь ω_i^j — собственная частота осциллятора, λ_1 — коэффициент связи между осцилляторами внутри слоя, λ_2 — коэффициент межслойной связи, R — радиус связи, M — число слоев, α — постоянный фазовый сдвиг.

Результаты численного анализа приведены на рисунке 1 для двухслойной сети, где $R = 30$, $N = 100$. Рассмотрены случаи отсутствия межслойной связи (а), слабой (б) и сильной (в) межслойной связи. Управляющий параметр α для разных слоев выбирался таким образом, чтобы один слой демонстрировал химерное состояние, в то время, как другой слой — когерентное (рис. 1, верхний ряд) или некогерентное (рис. 1, нижний ряд) состояние.

Видно, что взаимодействие между слоем, демонстрирующим химерное состояние, и слоем, демонстрирующим как полностью когерентное состояние, так и некогерентное состояние, приводит, при слабой межслойной связи, к подавлению химеры и переходу к когерентному или некогерентному состоянию, а при сильной межслойной связи — к возбуждению химерного состояния из когерентного или некогерентного состояния, соответственно.

*E-mail: maximenkovi@gmail.com

Excitation and suppression of chimera states in the multilayer network of nonlinear elements

V. A. Maksimenko^{1,a}, M. V. Goremyko^{1,2}, V. V. Makarov¹, A. E. Hramov¹, D. Ghosh³, B. K. Bera³ and S. K. Dana⁴

¹*REC «Nonlinear Dynamics of Complex Systems», Saratov State Technical University, Saratov, 410054, Russia*

²*The Government of the Saratov Region, Saratov, 410042, Russia*

³*Physics and Applied Mathematics Unit, Indian Statistical Institute, Kolkata, 700108, India*

⁴*CSIR-Indian Institute of Chemical Biology, Kolkata, 700032, India*

E-mail: ^amaximenkovl@gmail.com

In this paper, we consider the interaction between the ensembles of nonlinear elements, demonstrated both the chimera state and coherent or incoherent state, in the framework of a multilayer network model. We show that the interaction between a layer, which demonstrates chimera state, and the layer of completely coherent or incoherent oscillators, leads in case of the weak interlayer coupling, to the suppression of chimera and transition to the coherent or incoherent state, and in case of the strong interlayer coupling - to the excitation of chimera state from both coherent or incoherent oscillators.

PACS: 05.45.Xt, 89.75.Hc

Keywords: multilayer network, nonlocal coupling, chimera state, Kuramoto–Sakaguchi model.

Сведения об авторах

1. Максименко Владимир Александрович — канд. физ.-мат. наук, мл. науч. сотрудник, e-mail: maximenkovl@gmail.com.
2. Горемыко Михаил Владимирович — канд. физ.-мат. наук, зам. председателя, тел.: (452) 21-01-00.
3. Макаров Владимир Владимирович — аспирант, мл. научный сотрудник, доцент; e-mail: vladmak404@gmail.com.
4. Храмов Александр Евгеньевич — доктор физ.-мат. наук, профессор, вед. науч. сотрудник; тел.: (452) 514294, e-mail: hramovae@gmail.com.
5. Дибакар Гош — доцент Индийского Статистического Института; тел.: +91-9883285599, e-mail: dibakar@isical.ac.in.
6. Бидеш Кумар Бера — студент Индийского Статистического Института; тел.: +91-9883285599, e-mail: bideshbera18@gmail.com.
7. Сямал Кумар Дана — вед. науч. сотрудник Индийского Института Химической Биологии, тел.: +91 33 24995848, e-mail: skdana@iicb.res.in.