

УДК 681.518.9; 621.384.3

С. С. Анцыферов, К. Н. Фазилова, К. Е. Русанов
Московский технологический университет (МИРЭА), г. Москва
Россия, 119454, г. Москва, пр. Вернадского, 78

ПОКАЗАТЕЛИ НЕРАВНОВЕСНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КОГНИТИВНЫХ СИСТЕМ

S. S. Antsyferov, K. N. Fazilova, K. E. Rusanov
Moscow Technological University (MIREA), Moscow
Russia, 119454, Moscow, Vernadsky ave., 78

INDICATORS OF NON-EQUILIBRIUM STABILITY OF COGNITIVE SYSTEMS

С. С. Анциферов, К. Н. Фазілова, К. Є. Русанов
Московський технологічний університет МІРЕА, м. Москва, Росія
Росія, 119454, м. Москва, пр. Вернадського, 78

ПОКАЗНИКИ НЕРІВНОВАЖНОЇ СТІЙКОСТІ КОГНІТИВНИХ СИСТЕМ

Когнитивные нейронные системы обладают рядом свойств, важнейшим из которых является свойство неравновесной устойчивости. Исследование показателей неравновесной устойчивости когнитивных систем еще не получило широкого распространения, поэтому разработка стандартных методик оценивания показателей является актуальным вопросом. Предложена модель когнитивных систем с активными элементами, рассмотрены показатели неравновесной устойчивости таких систем.

Ключевые слова: когнитивные системы, неравновесная устойчивость, показатели неравновесной устойчивости, активные элементы, фазовый портрет активного элемента, предельный цикл, динамика системы, энтропия.

Cognitive neural systems have a number of properties, the most important of which is the property of non-equilibrium stability. Research of indicators of non-equilibrium stability of cognitive systems is still not become a frequent practice, therefore the development of standard methods of evaluation indicators is an actual question. Model of cognitive systems with active elements is offered. Indicators of non-equilibrium system stability are considered.

Keywords: cognitive systems, non-equilibrium stability, indicators of non-equilibrium stability, active elements, phase portrait of active element, limit cycle, dynamics of system, entropy.

Когнітивні нейронні системи володіють рядом властивостей, найважливішою з яких є властивість нерівноважної стійкості. Дослідження показників нерівноважної стійкості когнітивних систем ще не отримало широкого розповсюдження, тому розробка стандартних методик оцінювання показників є актуальним питанням. Запропоновано модель когнітивних систем з активними елементами, розглянуто показники нерівноважної стійкості таких систем.

Ключові слова: когнітивні системи, нерівноважна стійкість, показники нерівноважної стійкості, активні елементи, фазовий портрет активного елемента, граничний цикл, динаміка системи, ентропія.

Введение

Развитие искусственного интеллекта привело к формированию нового подхода, который предполагает создание интеллектуальных систем на основе нейрофизиологических принципов построения нервной системы человека, т.е. когнитивных нейронных систем. Когнитивные нейронные системы отражают коннективистское направление в искусственном интеллекте, основанное на идее связывания большого числа нейроподобных элементов для построения ассоциативных сетей, позволяющих накапливать и использовать знания для решения интеллектуальных задач. Теоретической базой этого направления служат биологические модели функционирования нервной системы, теория формальных нейронов, динамические модели нейросетей, методы обучения ассоциативных сетей и др. В последнее время ведется работа как по изучению свойств, так и по стандартизации показателей свойств когнитивных систем [1-12]. Одним из определяющих является свойство устойчивости. Следует заметить, что понятие устойчивости когнитивных систем приобретает смысл, отличный от традиционных технических систем, поскольку они должны функционировать в режиме неравновесной устойчивости, обеспечивающей возможность быстрой трансформации их структурного построения. В связи с этим задача установления номенклатуры и нормированных значений показателей устойчивости представляется в настоящее время актуальной.

Целью работы является определение показателей неравновесной устойчивости когнитивных систем. Эти показатели определяются принятой моделью когнитивных систем.

Модели когнитивных систем

При описании показателей свойств когнитивных систем используют такие модели нейронных сетей, как модель Хопфилда, модель «Машина Больцмана», нейробиологические модели Палма, сложная нейронная модель Фукусима. В настоящее время наиболее распространенной моделью является модель Хопфилда. Модель Хопфилда может быть представлена в виде дискретной динамической системы

$$S_i(t+1) = \text{sign} \left[\sum_{j=1}^N J_{ij} S_j(t) - \theta_i \right], \quad 1 \leq i \leq N, t = 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где $S_i(t+1)$ – состояние i -го нейрона в момент времени $t+1$;

$S_i(t)$ – состояние (i -го) j -го нейрона в момент времени t ;

J_{ij} – вес связи i -го и j -го нейронов;

θ_i – локальный порог, по превышении которого i -й нейрон переходит в активное состояние;

N – общее число нейронов.

Если внешнее воздействие, оказываемое на нейрон со стороны других нейронов

$$h_i(t) = \sum_{j=1}^N J_{ij} S_j(t) - \theta_i, \quad (2)$$

тогда

$$S_i(t+1) = \text{sign}[h(t)] = \begin{cases} 1, & h(t) > 0, \\ -1, & h(t) < 0. \end{cases} \quad (3)$$

Согласно данной модели, при описании характера функционирования нейронной сети используются переменные, описывающие состояние нейронов («вектор состояния» \bar{S}), и переменные, описывающие связи между нейронами («оператор памяти» \bar{J}). Устойчивость состояния определяется отношением числа ключевых образов M , которые могут быть сохранены, к числу нейронов сети N .

Вместе с тем модель Хопфилда не отражает процесса целенаправленной трансформации структуры системы при изменении содержания и интенсивности входных информационных потоков. Будем исходить из того, что способность систем к самоорганизации и адаптации обеспечивается активностью нейронов, функционирующих на уровне квантового компьютера.

Модель когнитивных систем с активными элементами

Будем полагать, что одним из условий неравновесности когнитивных систем является активный характер функционирования нейроподобных элементов. Будем полагать, что активный элемент подчиняется определенному набору функций: a_1 – действие, a_2 – результат действия, a_3 – оценка результата. Выполняемые функции являются взаимообусловленными, поэтому функционирование каждого активного элемента можно рассматривать в виде замкнутого цикла (рис. 1), в котором $a_1 = h(a_3)$, $a_2 = f(a_1)$, $a_3 = g(a_2)$.

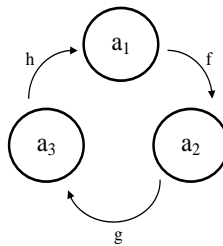


Рисунок 1 – Замкнутый цикл функционирования активного элемента

Функции h ; f ; g имеют вид эмпирических зависимостей, свойственных человеку (рис. 2).

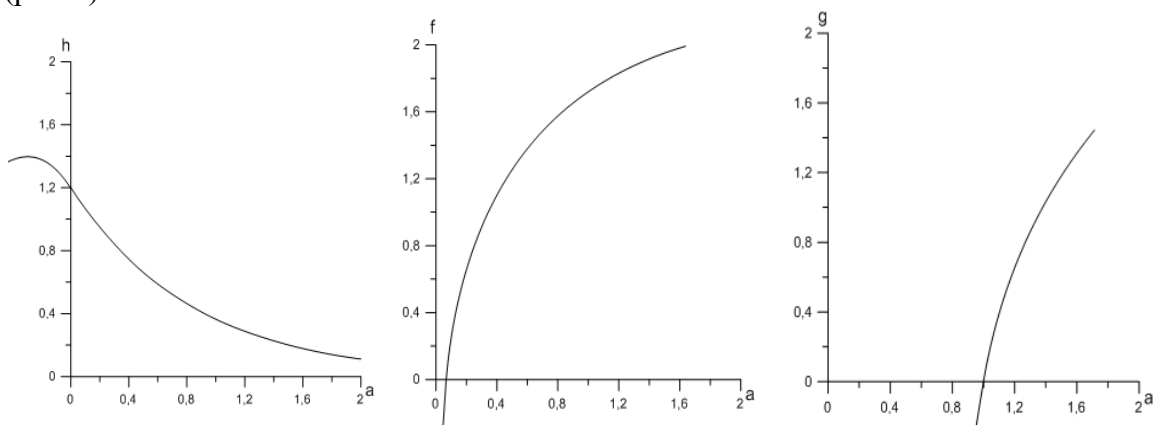


Рисунок 2 – Эмпирические зависимости h ; f ; g

С целью построения фазового портрета АЭ аппроксимируем эмпирические зависимости следующими аналитическими соотношениями: $h(a)=\lambda(1-e^{-\lambda a})$; $f(a)=\lambda e^{-\lambda a}$; $g(a)=\log_2 a$ (рис. 3).

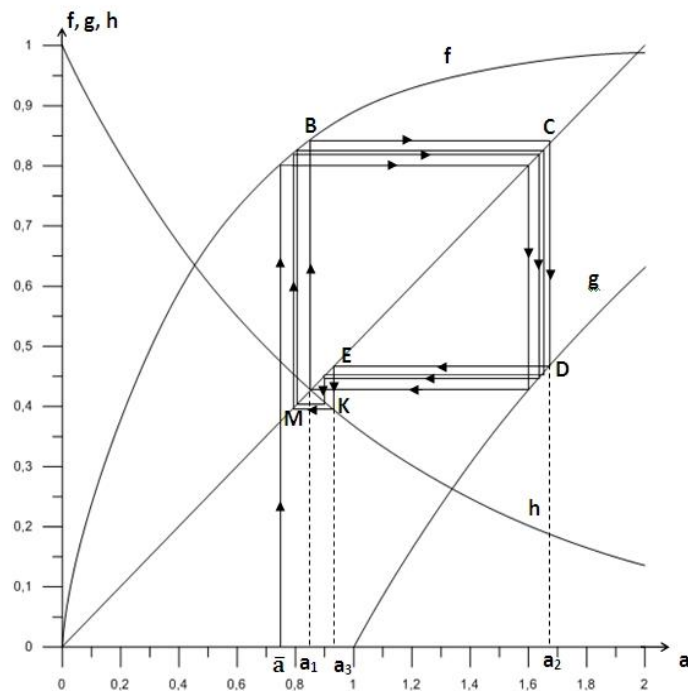


Рисунок 3 – Фазовый портрет активного элемента

Согласно представленному фазовому портрету, при совершении некоего действия a_1 достигается некоторый результат a_2 , после чего производится оценка этого результата: a_3 . По итогам оценки активный элемент совершает следующее действие и так далее до вхождения в предельный замкнутый цикл (B, C, D, E, K, M) .

Используя предложенный фазовый портрет, при заданных значениях параметров функций ($\lambda_1; \lambda_2; x$ – основание логарифма) возможно установление, пределов допустимых значений параметров a .

Фазовый портрет показывает, что предельный цикл сохраняется в определенных диапазонах значений параметров $a_1' \dots a_1''$, что означает, что система функционирует в режиме неравновесной устойчивости.

При выходе за допустимый диапазон происходит распад предельного цикла, а следовательно полная потеря устойчивости (рис. 4)

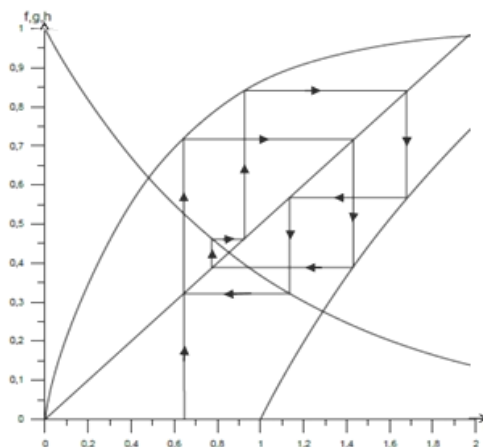


Рисунок 4 – Распад предельного цикла

Аналогично этому происходит попарное взаимодействие. При установлении попарного взаимодействия также возникает колебательный процесс (рис. 5) до достижения предельного цикла (b,c,d,e,k,m).

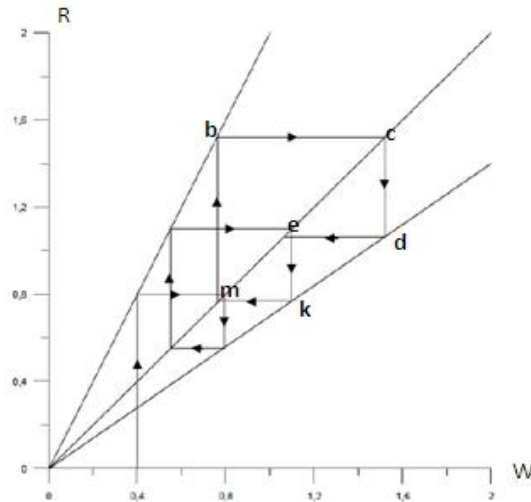


Рисунок 5 – Фазовый портрет попарного взаимодействия

Эффективность с точки зрения «полезности» функционирования каждого АЭ и установления связей носит вероятностный характер. В силу данного обстоятельства адекватной моделью описания состояния когнитивной системы с активными элементами может служить энтропия. При этом дифференциальное уравнение, описывающее динамику системы, будет иметь следующий вид:

$$\frac{dH}{dt} = KH \tag{4}$$

$$K = \Delta I - \Delta JH, \text{ где} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} \dot{H} &= \Delta IH - \Delta JH^2 = -\Delta J \left(H^2 - \frac{\Delta I}{\Delta J} H \right) = \\ &= -\Delta J \left[H^2 - \frac{\Delta I}{\Delta J} H + \left(\frac{1}{2} \frac{\Delta I}{\Delta J} \right)^2 - \frac{\Delta I^2}{4\Delta J^2} \right] = -\Delta J \left[\left(H - \frac{\Delta I}{2\Delta J} \right)^2 - \frac{\Delta I^2}{4\Delta J^2} \right] \end{aligned} \tag{6}$$

где ΔI – приращение интенсивности информационного потока;

ΔJ – приращение интенсивности обработки информационного потока;

ΔJH – параметр, характеризующий управление процессом формирования структуры, показатель функциональной организации системы.

$$\dot{H} = 0, \text{ корни уравнений: } H_1 = 0, H_2 = \frac{\Delta I}{\Delta J}.$$

Устойчивое состояние достигается при $\Delta I > 0, \Delta J > 0$.

H_2 – точка устойчивости.

При возрастании интенсивности информационного потока $\Delta I > 0$, естественная реакция активного элемента состоит в усилении $a_I(\Delta J > 0)$, что приводит к потере устойчивости и возрастанию энтропии системы ($\Delta H > 0$). Если действия a_I

не выходят за установленные пределы, происходит циклический возврат активного элемента к предельному циклу (рис. 3), что соответствует возврату системы в устойчивое состояние H_2 (рис. 6), т.к. согласно (6) $\dot{H} < 0$. Аналогичный процесс происходит при уменьшении интенсивности информационного потока $\Delta H < 0; \dot{H} > 0$. Описанная ситуация справедлива, согласно (6), для случая, когда $\Delta I > 0$ и $\Delta J > 0$. Если же $\Delta I < 0$ и $\Delta J < 0$, то функционирование системы в точке H_2 становится неустойчивым.

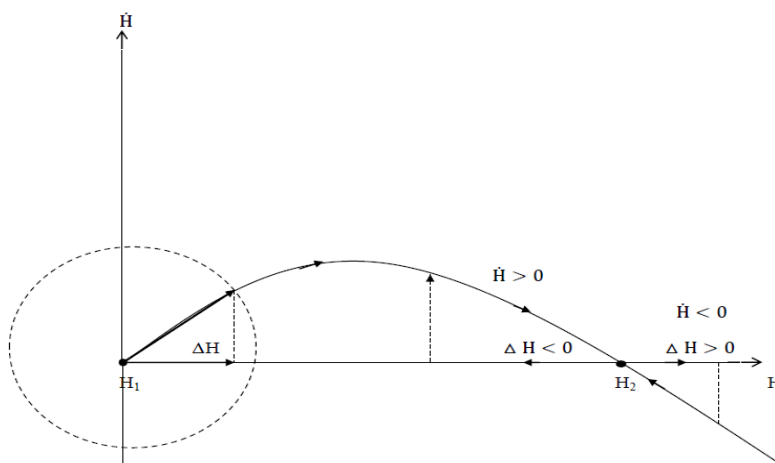


Рисунок 6 – Динамика устойчивого функционирования когнитивной системы

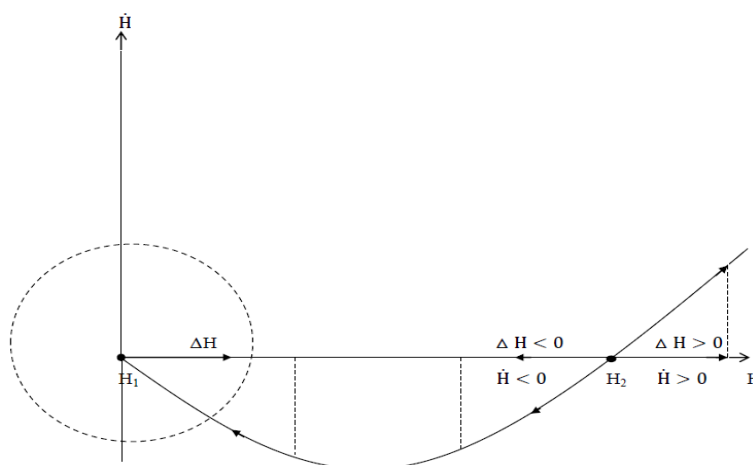


Рисунок 7 – Динамика функционирования когнитивной системы

Выводы

Предложенная модель когнитивных систем с активными элементами позволяет формализовать показатели неравновесной устойчивости таких систем и установить диапазоны возможных значений этих показателей.

Список литературы

1. Анцыферов, С. С. Формирование спектра тепловых изображений объектов и распознавание их образов [Текст] / Анцыферов С. С. // Оптический журнал. – 1999. – Т. 66, № 12. – С. 44–48.
2. Анцыферов, С. С. Формирование спектра тепловых изображений объектов и распознавание их образов [Текст] / С. С. Анцыферов // J. Opt. Technol. – 1999. – V. 66, № 12. – P. 1047–1049.
3. Анцыферов, С. С. Адаптация информационно-распознающих биомедицинских систем [Текст] / С. С. Анцыферов, Н. Н. Евтихий, Б. И. Голубь // Биомедицинская радиоэлектроника. – 2001, № 1. – С. 5–9.
4. Анцыферов, С. С. Технология адаптивной обработки информации тепловых широкоспектральных полей [Текст] / С. С. Анцыферов, Н. Н. Евтихий, Б. И. Голубь // Научные технологии. – 2002. – Т. 3, № 4. – С. 45–50.
5. Анцыферов, С. С. Метрология виртуальных систем [Текст] / С. С. Анцыферов // Измерительная техника. – 2003. – № 5. – С. 17–21.
6. Анцыферов, С. С. Адаптивные системы распознавания образов пространственно-временных полей [Текст] / С. С. Анцыферов, Н. Н. Евтихий // Искусственный интеллект. – Донецк : Наука і освіта, ИПШ. – 2004. – № 3. – С. 405–416.
7. Анцыферов С. С. Адаптивная обработка информации пространственно-временных изотропных полей [Текст] / С. С. Анцыферов, Н. Н. Евтихий // Оптический журнал. – 2006. – Т. 3, № 10. – С. 52–57.
8. Анцыферов, С. С. Метрологические основы формирования информационного пространства образов в интеллектуальных системах обработки [Текст] / С. С. Анцыферов // Искусственный интеллект. – Донецк : Наука і освіта, ИПШ. – 2012. – № 4(58). – С. 283–291.
9. Анцыферов, С. С. Быстродействие интеллектуальных систем [Текст] / С. С. Анцыферов, К. Е. Русанов // Искусственный интеллект. – Донецк : Наука і освіта, ИПШ. – 2013. – № 4(62). – С. 259–265.
10. Анцыферов, С. С. Стандартизация показателей качества продукции когнитивных технологий [Текст] / С. С. Анцыферов // Научные технологии. – 2014. – Т. 15, № 7. – С. 7–13.
11. Анцыферов, С. С. Проблемы искусственного интеллекта [Текст] / С. С. Анцыферов // Проблемы искусственного интеллекта. – Донецк : ГУ «ИПИИ». – 2015. – № 0(1). – С. 5–12.

References

1. Antsyferov S. S. Formation of the spectrum of thermal images of objects and recognize their images. *Opticheskii zhurnal* [Journal of Optical Technology], 1999, vol. 66, no. 12, pp. 44–48.
2. Antsyferov S. S. Formation of the spectrum of thermal images of objects and recognize their images. *Opticheskii zhurnal* [Journal of Optical Technology], 1999, vol. 66 no. 12, pp. 1047–1049.
3. Antsyferov S. S., Evtikhiev N. N., Dove B. I. Adaptation of information and recognition of biomedical systems. *Biomedical electronics*, 2001, no. 1, pp. 5–9.
4. Antsyferov S. S., Evtikhiev N. N., Dove B. I. Adaptive technology information processing thermal shirokospektralnyh fields, *High Tech.*, 2002, vol. 3, no. 4, pp. 45–50.
5. Antsyferov, S. S. Metrology virtual systems. *Measuring equipment*, 2003, no. 5, pp. 17–21.
6. Antsyferov, S. S., Evtikhiev N. N. Adaptive pattern recognition system of spatio-temporal fields. *Artificial intelligence*, Donetsk: Nauka і Osvita, IPAI, 2004, no. 3, pp. 405–416.
7. Antsyferov, S. S., Evtikhiev N. N. Adaptive information processing spatiotemporal isotropic fields. *Opticheskii zhurnal* [Journal of Optical Technology], 2006, vol. 3, no. 10, pp. 52–57.
8. Antsyferov, S. S. Metrological basis of the Information Space in intelligent processing systems. *Artificial intelligence*. Donetsk: Nauka і Osvita, IPAI, 2012, no. 4 (58), pp. 283–291.
9. Antsyferov, S. S., Rusanov K. E. Performance intelligent systems. *Artificial intelligence*, Donetsk: Nauka і Osvita, IPAI., 2013, no. 4 (62), pp. 259–265.
10. Antsyferov, S. S. Standardization of indicators of cognitive technology product quality. *High Tech.*, 2014, vol. 15, no. 7, pp. 7–13.
11. Antsyferov, S. S. Problems of artificial intelligence. *Problems of Artificial Intelligence*, Donetsk: PI "IPAI", 2015, no. 0 (1), pp. 5–12.

RESUME

S. S. Antsyferov, K. N. Fazilova, K. E. Rusanov
Indicators of Non-Equilibrium Stability of Cognitive Systems

Background: cognitive system should possess the properties of non-equilibrium stability. The most important factor for achieving a non-equilibrium condition is the level of activity elements that are components of the system. Hopfield network is used for describing indicators of cognitive systems. However, this model doesn't adequately reflect the functioning of the cognitive system.

Materials and methods: methods of mathematical modeling are used in the article.

Results: cognitive systems' model with active elements is offered. Indicators of non-equilibrium stability of cognitive systems are defined.

Conclusion: the offered cognitive systems' model with active elements allows to formalize indicators of non-equilibrium system stability and to establish the range of possible values of these parameters.

Статья поступила в редакцию 04.03.2016.