

УДК 681.518.9; 621.384.3

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

ИМИТАЦИОННАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОГНИТИВНЫХ СИСТЕМ

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

SIMULATED DYNAMIC MODEL 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

ІМІТАЦІЙНА ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ КОГНІТИВНИХ СИСТЕМ

Когнитивные системы обладают рядом свойств, важнейшим из которых является свойство неравновесной устойчивости. Исследование вопросов неравновесной устойчивости когнитивных систем является актуальной проблемой, успешное решение которой связано с установлением принципов и соответствующих моделей устойчивого функционирования таких систем. Наличие адекватной модели позволяет определить совокупность показателей устойчивого функционирования. В работе предлагается имитационная динамическая модель когнитивных систем с активными элементами.

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

Cognitive systems have a number of properties, the most important of which is the property of non-equilibrium stability. Research of cognitive systems' non-equilibrium stability is an actual problem, successful solution of which is associated with the establishment of appropriate principles and stable functioning models of such systems. Availability of an adequate model makes it possible to determine a set of indicators of stable functioning. In this paper, a simulated dynamic model of cognitive systems with active elements is proposed.

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 системи мають ряд властивостей, найважливішою з яких є властивість нерівноважної стійкості. Дослідження питань нерівноважної стійкості когнітивних систем є актуальною проблемою, успішне вирішення якої пов'язане зі встановленням принципів і відповідних моделей сталого функціонування даних систем. Наявність адекватної моделі дозволяє визначити сукупність показників сталого функціонування. У роботі пропонується імітаційна динамічна модель когнітивних систем з активними елементами.

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

Введение

Вопросам обработки сложной информации пространственно-временных полей уделяется большое внимание, в частности, разработана определенная методология, предполагающая использование систем искусственного интеллекта [1-13], в том числе когнитивных систем (КС). Известно, что КС – это интеллектуальные системы обработки сложной, в том числе семантической, информации, построенные по типу нервной системы человека. К характерным свойствам, присущим данным системам, можно отнести целостность, самоорганизованность, адаптивность, быстродействие, надежность, неравновесную устойчивость. Состояние неравновесной устойчивости когнитивных систем обеспечивает возможность их адаптации и самоорганизации, т.е. необходимой трансформации структурного построения. Поэтому задача исследования условий устойчивого функционирования является одной из актуальных. Успешное решение данной задачи определяется видом используемой модели КС.

В настоящее время наиболее распространенной моделью, используемой для описания свойств когнитивных систем, является модель Хопфилда, позволяющая разрабатывать нейроподобные системы обработки информации. Вместе с тем, данная модель не предполагает обработку семантической информации, поэтому с ее помощью не представляется возможным установить характер реакции КС на изменение семантического содержания информации, а, следовательно, и показателей неравновесной устойчивости. Представляется целесообразным в модели Хопфилда каждый из элементов рассматривать как активный, обладающий определенной базой знаний и способный принимать самостоятельные решения, что должно обеспечивать способность систем к самоорганизации и адаптации.

Функционирование активного элемента (АЭ), как уже было отмечено [14], [15], носит циклический характер и, согласно принципам продукционного программирования, состоит в следующем:

- рабочая память инициализируется начальным описанием задачи. Текущее состояние решения задачи представляется набором образцов в рабочей памяти;
- образцы сопоставляются с условиями продукционных правил, что порождает подмножество правил вывода (конфликтное подмножество), условия которых согласованы с образцами в рабочей памяти;
- выбирается и активизируется одна из продукций конфликтного множества (разрешение конфликта). Активизация правила означает выполнение его действия, в результате которого изменяется содержание рабочей памяти.

Эффективным способом исследования систем с АЭ может служить имитационное динамическое моделирование (ИДМ).

Цель работы – разработка имитационной динамической модели функционирования когнитивных систем с активными элементами.

Имитационная динамическая модель

Согласно модели, предложенной в [14], [15], система может иметь два фазовых портрета, характеризующих устойчивое и неустойчивое функционирование системы (рис. 1, рис. 5). В случае устойчивого функционирования при $H_0 = 0$ система характеризуется полной определенностью, т.е. однозначно определены функции каждого АЭ и связи между ними, что в целом характерно для технических систем.

При возникновении приращения информационного потока, в частности его семантического содержания, за счет реакции АЭ возникает приращение энтропии $+\Delta H$ и система переходит в режим адаптации. Согласно диаграмме устойчивого функционирования происходит «движение» от точки H_0 к H_1 , при этом на отрезке H_0H_{01} действует механизм положительной обратной связи, который, может быть описан с помощью специализированного языка моделирования DYNAMO, используемого при ИДМ. Формальное описание этого языка приведено в [16], а символика применяемая в данной статье соответствует основным обозначениям этого языка.

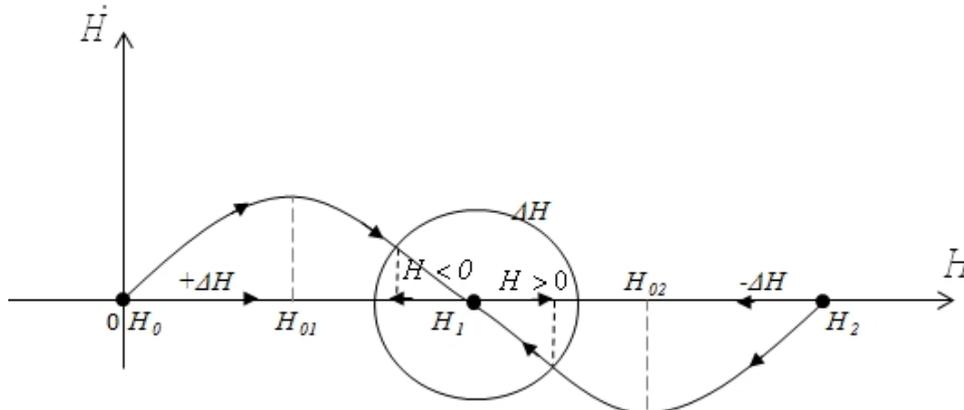


Рисунок 1 – Фазовый портрет устойчивого функционирования КС

Будем полагать, что информационный поток поступает в систему с некоторым темпом RT , причем темп прямо пропорционален текущему уровню знаний (интеллекта) системы. В таком случае система сможет быть описана следующим уравнением:

$$LEV.K = LEV.J + DT.RT.JK, \tag{1}$$

где $LEV.K$ – величина уровня знаний (интеллекта) в момент K ;

где $LEV.J$ – величина уровня знаний (интеллекта) в момент J ;

$RT.JK$ – темп потока, поступающего в систему в течение интервала DT (от момента J до момента K).

Значение темпа на следующий интервал времени KL

$$RT.KL = C.LEV.K \tag{2}$$

Из этого уравнения следует, что темп постоянно увеличивается, т.к. он пропорционален уровню. Приращение уровня на каждый интервал времени DT также увеличивается, поскольку оно пропорционально темпу, т.е. значения темпа и уровня экспоненциально растут (рис. 2).

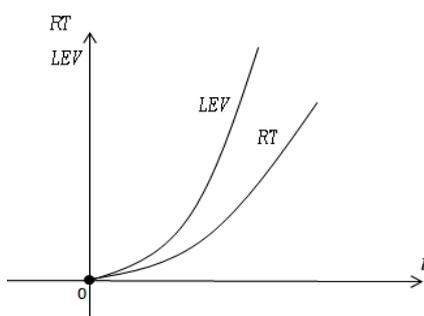


Рисунок 2 – Изменение темпа и уровня для положительной обратной связи

Представим данную ситуацию аналитически:

$$LEV.K - LEV.J = C \cdot DT \cdot LEV.J \quad (3)$$

при $DT \rightarrow 0$ получим:

$$d[LEV(t)] = C \cdot LEV(t) dt, \quad (4)$$

$$\text{или } d[LEV(t)] / LEV(t) = C \cdot dt \quad (5)$$

Заменяя t на τ и интегрируя в пределах от нуля до t , получим

$$\int_{LEV(0)}^{LEV(t)} \frac{d[LEV(\tau)]}{LEV(\tau)} = \int_0^t C d\tau, \quad (6)$$

$$\text{т.е. } LEV(t) = LEV(0) \cdot e^{ct} \quad (7)$$

Кривая экспоненциального роста характеризуется временной постоянной $T = 1/C$ и временем удвоения T_d . Временная постоянная – это время, за которое значение уровня увеличивается в e раз. Она показывает, как быстро происходит рост в системе с положительной обратной связью. Время удвоения T_d – это время, за которое начальное значение уровня увеличивается вдвое. Итак, изменение уровня на отрезке H_0H_{01} происходит по экспоненте (кривая 1, рис.3).

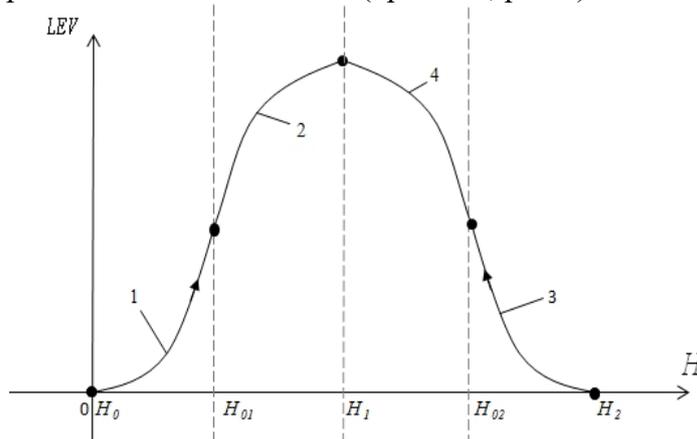


Рисунок 3 – Изменение интеллектуального потенциала

На отрезке $H_{01}H_1$ действует механизм отрицательной обратной связи.

При действии отрицательной обратной связи темп потока зависит от разности между фактическим и желаемым состоянием системы (потенциальный уровень интеллекта)

$$DISC.K = GL - LEV.K, \quad (8)$$

модель данного состояния описывается следующими уравнениями

$$LEV.K = LEV.J + DT \cdot RT \cdot JK, \quad (9)$$

$$RT.KL = C \cdot DISC.K, \quad (10)$$

$$LEV.K - LEV.J = DT \cdot C (GL - LEV.K) \quad (11)$$

При $DT \rightarrow 0$ получим:

$$\frac{d[LEV(t)]}{GL - LEV(t)} = C \cdot dt \quad (12)$$

Меняя t на T и интегрируя, аналогично предыдущему, в пределах от нуля до t , получим

$$LEV(t) = GL + [LEV(0) - GL]e^{-ct} = LEV(0) + [GL - LEV(0)] \cdot (1 - e^{-ct}) \quad (13)$$

График поведения элементов контура отрицательной обратной связи во времени представлен на рис 4.

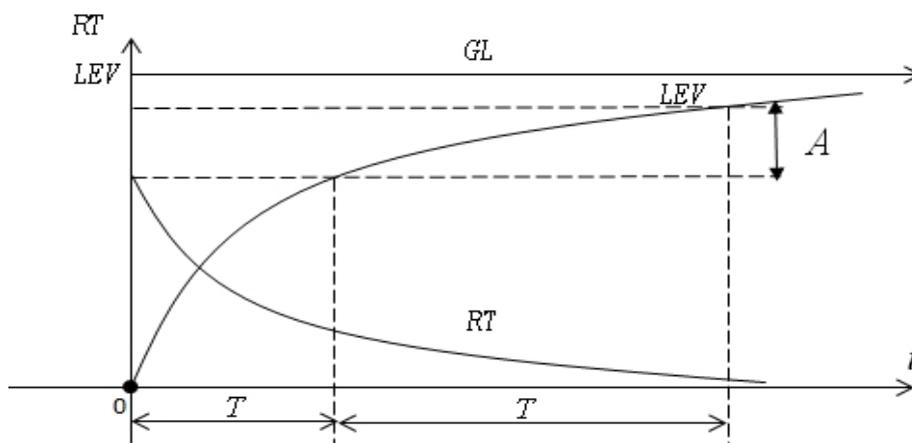


Рисунок 4 – Изменение темпа и уровня для отрицательной обратной связи
 Характеристикой поведения контура отрицательной обратной связи является временная постоянная $T = 1/C$. За время равное T , уровень увеличивается на $(1 - 1/e)$ разности между GL и достигнутом значением уровня

$$\begin{aligned} LEV(T) &= LEV(0) + [GL - LEV(0)](1 - e^{-CT}) \approx \\ &= LEV(0) + 0,632[GL - LEV(0)] = LEV(0) + A \end{aligned} \quad (14)$$

За время $3T$ значение уровня становится $\approx 0,956L$, т.е. за это время система с отрицательной обратной связью приближается к значению GL .

Действие отрицательной обратной связи приводит к тому, что нарастание уровня происходит по затухающей (кривая 2, рис. 3) и достигает своего потенциального значения GL в точке H_1 .

В точке H_1 изменение интенсивности (семантического содержания) информационного потока сопровождается изменением энтропии ($H > 0$, либо $H < 0$), однако, действие механизма отрицательной обратной связи (при $H > 0$, $\dot{H} < 0$, при $H < 0$, $\dot{H} > 0$) возвращает систему (рис. 1) в точку равновесия (H_1), то есть, система достигла «своего» уровня интеллектуального потенциала.

Возможна иная ситуация, когда исходное состояние системы характеризуется точкой H_2 . Это состояние почти полной неопределенности, когда связи между элементами разорваны, а их функции не определены. В этом случае при появлении информационного потока АЭ «включаются» в работу, их функционирование приобретает циклический характер, происходит формирование связей, начинает действовать механизм положительной обратной связи, что приводит к уменьшению энтропии и движению системы от H_2 к H_1 . Изменение уровня (интеллектуального потенциала) происходит по кривым 3 и 4 (рис.3).

В случае неустойчивого функционирования, характеризуемого фазовым портретом (рис. 5), при H_0 нарастание информационного потока сопровождается действием механизма отрицательной обратной связи, что приводит к возврату в исходную точку H_0 , («отказ» от решения новой задачи). При нахождении системы в точке H_2 также действует механизм отрицательной обратной связи («отказ» от решения каких-либо задач).

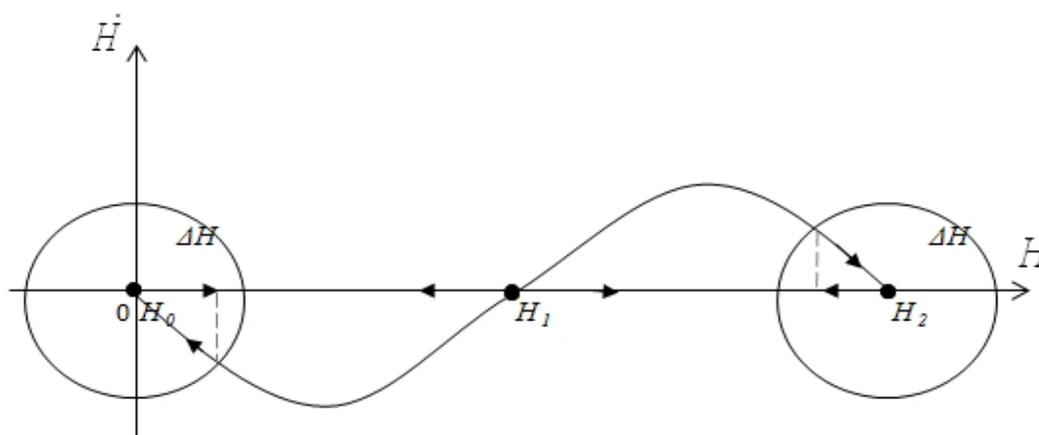


Рисунок 5 – Фазовый портрет неустойчивого функционирования КС

Выводы

Предложенная имитационная динамическая модель раскрывает механизм функционирования когнитивных систем с активными элементами, что позволяет установить показатели их устойчивого функционирования.

Полученные результаты создают необходимые предпосылки для разработки методик оценки показателей устойчивого функционирования КС.

Список литературы

1. Анцыферов С. С. Формирование спектра тепловых изображений объектов и распознавание их образов [Текст] / С. С. Анцыферов // 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. – 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. Общие принципы построения и закономерности функционирования интеллектуальных систем [Текст] / С. С. Анцыферов // Искусственный интеллект. – 2011. – № 3. – С. 6–15.
9. Анцыферов С. С. Вопросы метрологического обеспечения интеллектуальных систем [Текст] / С. С. Анцыферов // Мир измерений. – 2012. – № 5. – С. 46–51.
10. Анцыферов С. С. Метрологические основы формирования информационного пространства образов в интеллектуальных системах обработки [Текст] / С. С. Анцыферов // Искусственный интеллект. – 2012. – № 4(58). – С. 283–291.
11. Анцыферов С. С. Быстродействие интеллектуальных систем [Текст] / С. С. Анцыферов, К. Е. Русанов // Искусственный интеллект. – 2013. – № 4(62). – С. 259–265.
12. Анцыферов С. С. Стандартизация показателей качества продукции когнитивных технологий [Текст] / С. С. Анцыферов // Научные технологии. – 2014. – Т. 15, № 7. – С. 7–13.

13. Анцыферов С. С. Проблемы искусственного интеллекта [Текст] / С. С. Анцыферов // Проблемы искусственного интеллекта. – 2015. – № 0(1). – С. 5–12.
14. Анцыферов С. С. Показатели неравновесной устойчивости когнитивных систем [Текст] / С. С. Анцыферов, К. Н. Фазилова, К. Е. Русанов // Проблемы искусственного интеллекта. – 2016. – № 2 (3). – С. 4–11.
15. Анцыферов С. С. Стандартизация показателей неравновесной устойчивости когнитивных систем [Текст] / С. С. Анцыферов, К. Н. Фазилова, К. Е. Русанов // Научные технологии. – 2017. – № 5. – С. 15–20.
16. Киндлер, Е. Языки моделирования : пер. с чеш. [Текст] / Е. Киндлер. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 288 с

References

1. Antsyferov S.S. Formirovanie spektra teplovykh izobrazhenii ob"ektov i raspoznavanie ikh obrazov [Forming the spectrum of thermal images of objects and recognize their images]. *J. Opt. Technol*, 1999, vol. 66, no. 12, pp. 44-48.
2. Antsyferov S.S. Formirovanie spektra teplovykh izobrazhenii ob"ektov i raspoznavanie ikh obrazov [Forming the spectrum of thermal images of objects and recognize their images]. *J. Opt. Technol*, 1999, vol. 66, no. 12, pp. 1047- 1049.
3. Antsyferov S.S., Evtikhiev N.N., Golub B.I. Adaptatsiya informatsionno-raspoznayushchikh biomeditsinskikh sistem [Adaptation of information and recognition of biomedical systems]. *Biomedical Radioelectronics*, 2001, no. 1, pp.5-9.
4. Antsyferov S.S., Evtikhiev N.N., Golub B.I. Tekhnologiya adaptivnoi obrabotki informatsii teplovykh shirokospektral'nykh polei [Adaptive information processing technology of thermal wide spectral fields]. *Science Intensive Technologies*, 2002, vol.3, no. 4, pp. 45-50.
5. Antsyferov S.S. Metrologiya virtual'nykh sistem [Metrology virtual systems]. *Measurement technology*, 2003, no. 5, pp. 17-21.
6. Antsyferov S.S., Evtikhiev N.N. Adaptivnye sistemy raspoznavaniya obrazov prostranstvenno-vremennykh polei [Adaptive pattern recognition system of spatio-temporal fields], *Artificial Intelligence*, 2004, no. 3, pp. 405-416.
7. Antsyferov S.S., Evtikhiev N.N. Adaptivnaya obrabotka informatsii prostranstvenno-vremennykh izotropnykh polei [Adaptive information processing of spatiotemporal isotropic fields]. *J. Opt. Technol*, 2006, vol. 3, no. 10, pp. 52-57.
8. Antsyferov S.S. Obshchie printsipy postroeniya i zakonmernosti funktsionirovaniya intellektual'nykh sistem [The General Principles of Construction and Laws of Functioning of Intellectual Systems]. *Artificial Intelligence*, 2011, no. 3, pp. 6-15.
9. Antsyferov S.S. Voprosy metrologicheskogo obespecheniya intellektual'nykh sistem [Questions of metrological maintenance of intelligent systems]. *World of measurement*, 2012, no. 5, pp. 46-51.
10. Antsyferov S.S. Metrologicheskie osnovy formirovaniya informatsionnogo prostranstva obrazov v intellektual'nykh sistemakh obrabotki [Metrological basis of the information space in intelligent processing systems]. *Artificial Intelligence*, 2012, no. 4 (58), pp. 283-291.
11. Antsyferov S.S., Rusanov K.E. Bystrodeistvie intellektual'nykh sistem [Processing speed of intelligent systems]. *Artificial Intelligence*, 2013, no. 4 (62), pp. 259-265.
12. Antsyferov S.S. Standartizatsiya pokazatelei kachestva produktsii kognitivnykh tekhnologii [Standardization of indicators of quality of products cognitive technologies]. *Science Intensive Technologies*, 2014, vol. 15, no. 7, pp. 7-13.
13. Antsyferov S.S. Problemy iskusstvennogo intellekta [Problems of Artificial Intelligence]. *Problems of Artificial Intelligence*, 2015, no. 0(1), pp. 5-12.
14. Antsyferov S. S., Fazilova K. N., Rusanov K. E. Pokazатели neravnesnoi ustoychivosti kognitivnykh sistem [Indicators of Non-Equilibrium Stability of Cognitive Systems]. *Problems of Artificial Intelligence*, 2016, no. 2(3), pp. 4-11.
15. Antsyferov S. S., Fazilova K. N., Rusanov K. E. Standartizatsiya pokazatelei neravnesnoi ustoychivosti kognitivnykh sistem [Standardization of Non-Equilibrium Stability Indicators of Cognitive Systems]. *Science Intensive Technologies*, 2017, no. 5, pp. 15-20.
16. Kindler, E. Yazyki modelirovaniya [Programming languages]: Translated from Czech, Moscow. Energoatomizdat, 1985. 288 p.

RESUME

S. S. Antsyferov, K. N. Fazilova, K. E. Rusanov
Simulated dynamic model of cognitive systems

Background: cognitive systems have a number of properties, the most important of which is the property of non-equilibrium stability. Construction of such systems is possible only with the use of interconnected active elements, functioning of each can be based on the principles of product programming. For the most complete representation of functioning mechanism of systems, it is necessary to develop an imitation dynamic model.

Materials and methods: simulation methods and modeling language DYNAMO are used in the article.

Results: a simulated dynamic model of cognitive systems with active elements is proposed.

Conclusion: proposed simulation dynamic model of cognitive systems establishes functioning mechanism of cognitive systems with active elements, which makes it possible to determine indicators of their stable functioning.

Статья поступила в редакцию 14.04.2017.