

УДК 681.518.9; 621.384.3

S. S. Antsyferov, K. N. Fazilova

MIREA – Russian Technological University, c. Moscow, Russia  
Russia, 119454, c. Moscow, Vernadsky ave., 78

## EVALUATION OF COGNITIVE SYSTEMS STRUCTURAL ELEMENTS EFFECTIVENESS

С. С. Анцыферов, К. Н. Фазилова

МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Россия  
119454, Россия, г. Москва, пр. Вернадского, 78

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОГНИТИВНЫХ СИСТЕМ

С. С. Анциферов, К. М. Фазілова

MIPEA – Російський технологічний університет, м. Москва, Росія  
119454, Росія, м. Москва, пр. Вернадського, 78

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КОГНІТИВНИХ СИСТЕМ

Cognitive systems have a number of properties, the most important of which is the property of nonequilibrium stability. A method for determining quality indicators is proposed, which includes the development of a model of nonequilibrium stability, a real-time structural element evaluation model, and numerical modeling of the proposed models.

**Keywords:** cognitive system, structural element, nonequilibrium stability, efficiency indicators of structural element, entropy.

Когнитивные системы обладают рядом свойств, важнейшим из которых является свойство неравновесной устойчивости. Предложена методика определения показателей качества, включающая в себя разработку модели неравновесной устойчивости, модель оценки структурного элемента в реальном масштабе времени, численное моделирование предложенных моделей.

**Ключевые слова:** когнитивная система, структурный элемент, неравновесная устойчивость, показатели эффективности структурного элемента, энтропия.

Когнітивні системи мають ряд властивостей, найважливішим з яких є властивість нерівноважної стійкості. Запропоновано методику визначення показників якості, що включає в себе розробку моделі нерівноважної стійкості, модель оцінки структурного елементу в реальному масштабі часу, чисельне моделювання запропонованих моделей.

**Ключові слова:** когнітивна система, структурний елемент, нерівноважна стійкість, показники ефективності структурного елементу, ентропія.

## Introduction

Cognitive systems (CS), being self-organizing systems, have a special property of nonequilibrium stability, suggesting the ability of system functioning in both stable and unstable modes. A number of papers were devoted to study of nonequilibrium stability properties [1-12], in which a nonequilibrium stability model was proposed and studied, based on the probabilistic representation of system connected structural elements (SE) functioning efficiency.

The ability to self-organize involves system's transformation. Achievement of a system certain state is one of the reason for transformation. Accuracy of SE efficiency evaluation in real time is an important aspect.

The aim of the work is to develop an algorithm for evaluating the performance of cognitive system structural elements in real time and to determine the accuracy of the estimates obtained as a result of numerical modeling.

## Evaluating algorithm of the cognitive systems structural elements effectiveness indicators

Method of pairwise preferences is proposed for efficiency evaluation (fig. 1), according to which a matrix of pairwise preferences ( $sr$ ) for each performance indicator is formed and a probabilistic preference indicator ( $q$ ) is calculated, in addition, a weighting factor for each performance indicator ( $\alpha$ ) is determined.

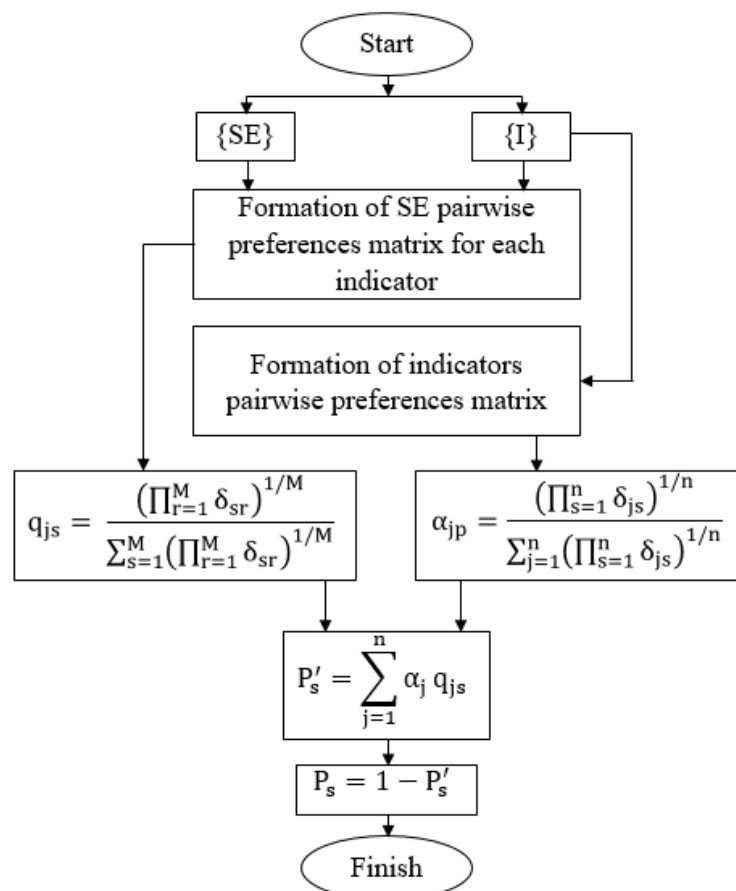


Figure 1 – Evaluating algorithm of CS SE indicators

Then the efficiency value is calculated  $P_s$

$$P_s = 1 - \sum_{js} q_{js} a_j, \text{ where} \quad (1)$$

$$q_{js} = \frac{(\prod_{r=1}^M \delta_{sr})^{1/M}}{\sum_{s=1}^M (\prod_{r=1}^M \delta_{sr})^{1/M}}, \quad 0 \leq q_{js} \leq 1 \quad (2)$$

$$a_j = \frac{(\prod_{s=1}^n \delta_{js})^{1/n}}{\sum_{j=1}^n (\prod_{s=1}^n \delta_{js})^{1/n}}. \quad (3)$$

Dimension of arrays is the main parameter of this algorithm, as these dimensions determine the speed and accuracy of probabilistic indicators. For the practical implementation of this algorithm, it is important to assess the impact of the algorithm parameters on the accuracy of the results.

## Numerical simulation of the developed algorithm

For implementation of numerical simulation,  $N$  structural elements and  $n$  efficiency indicators are used. An example is shown for the case when  $N = 10, n = 3$ .

Table 1 – Pairwise preferences SE for  $I_1$

For $I_1$	SE <sub>1</sub>	SE <sub>2</sub>	SE <sub>3</sub>	SE <sub>4</sub>	SE <sub>5</sub>	SE <sub>6</sub>	SE <sub>7</sub>	SE <sub>8</sub>	SE <sub>9</sub>	SE <sub>10</sub>
	0,82	0,74	0,93	0,9	0,85	0,79	0,71	0,87	0,83	0,78

	SE <sub>1</sub>	SE <sub>2</sub>	SE <sub>3</sub>	SE <sub>4</sub>	SE <sub>5</sub>	SE <sub>6</sub>	SE <sub>7</sub>	SE <sub>8</sub>	SE <sub>9</sub>	SE <sub>10</sub>	$q_{js}$
SE <sub>1</sub>	1	1/4	5	4	2	1/2	1/5	3	2	1/3	0,072571
SE <sub>2</sub>	4	1	9	7	5	3	1/2	6	5	3	0,225804
SE <sub>3</sub>	1/5	1/9	1	1/2	1/4	1/7	1/9	1/3	1/5	1/7	0,015595
SE <sub>4</sub>	1/4	1/7	2	1	1/3	1/6	1/8	1/2	1/4	1/6	0,021483
SE <sub>5</sub>	1/2	1/5	4	3	1	1/4	1/6	2	1/2	1/4	0,043687
SE <sub>6</sub>	2	1/3	7	5	3	1	1/4	4	3	1/2	0,10784
SE <sub>7</sub>	5	2	9	8	6	4	1	7	5	3	0,286111
SE <sub>8</sub>	1/3	1/6	3	2	1/2	1/4	1/7	1	1/3	1/5	0,03094
SE <sub>9</sub>	1/2	1/5	5	4	2	1/3	1/5	3	1	1/3	0,059328
SE <sub>10</sub>	2	1/3	7	6	4	2	1/3	5	3	1	0,136642

Table 2 – Pairwise preferences SE for I<sub>2</sub>

For I<sub>2</sub>

<b>SE<sub>1</sub></b>	<b>SE<sub>2</sub></b>	<b>SE<sub>3</sub></b>	<b>SE<sub>4</sub></b>	<b>SE<sub>5</sub></b>	<b>SE<sub>6</sub></b>	<b>SE<sub>7</sub></b>	<b>SE<sub>8</sub></b>	<b>SE<sub>9</sub></b>	<b>SE<sub>10</sub></b>
0,88	0,79	0,71	0,8	0,74	0,92	0,85	0,9	0,76	0,84

	<b>SE<sub>1</sub></b>	<b>SE<sub>2</sub></b>	<b>SE<sub>3</sub></b>	<b>SE<sub>4</sub></b>	<b>SE<sub>5</sub></b>	<b>SE<sub>6</sub></b>	<b>SE<sub>7</sub></b>	<b>SE<sub>8</sub></b>	<b>SE<sub>9</sub></b>	<b>SE<sub>10</sub></b>	<b>q<sub>is</sub></b>
<b>SE<sub>1</sub></b>	1	1/5	1/8	1/4	1/7	3	1/2	2	1/6	1/3	0,027223
<b>SE<sub>2</sub></b>	5	1	1/4	2	1/3	6	3	5	1/2	3	0,105387
<b>SE<sub>3</sub></b>	8	4	1	5	2	9	7	9	3	6	0,294491
<b>SE<sub>4</sub></b>	4	1/2	1/5	1	1/3	6	3	5	1/3	3	0,084254
<b>SE<sub>5</sub></b>	7	3	1/2	3	1	8	5	7	2	5	0,20522
<b>SE<sub>6</sub></b>	1/3	1/6	1/9	1/6	1/8	1	1/4	1/2	1/7	1/4	0,015616
<b>SE<sub>7</sub></b>	2	1/3	1/7	1/3	1/5	4	1	3	1/5	1/2	0,040352
<b>SE<sub>8</sub></b>	1/2	1/5	1/9	1/5	1/7	2	1/3	1	1/7	1/3	0,020797
<b>SE<sub>9</sub></b>	6	2	1/3	3	1/2	7	5	7	1	4	0,156534
<b>SE<sub>10</sub></b>	3	1/3	1/6	1/3	1/5	4	2	3	1/4	1	0,050126

Table 3 – Pairwise preferences SE for I<sub>3</sub>

For I<sub>3</sub>

<b>SE<sub>1</sub></b>	<b>SE<sub>2</sub></b>	<b>SE<sub>3</sub></b>	<b>SE<sub>4</sub></b>	<b>SE<sub>5</sub></b>	<b>SE<sub>6</sub></b>	<b>SE<sub>7</sub></b>	<b>SE<sub>8</sub></b>	<b>SE<sub>9</sub></b>	<b>SE<sub>10</sub></b>
0,75	0,76	0,87	0,73	0,91	0,84	0,78	0,72	0,81	0,8

	<b>SE<sub>1</sub></b>	<b>SE<sub>2</sub></b>	<b>SE<sub>3</sub></b>	<b>SE<sub>4</sub></b>	<b>SE<sub>5</sub></b>	<b>SE<sub>6</sub></b>	<b>SE<sub>7</sub></b>	<b>SE<sub>8</sub></b>	<b>SE<sub>9</sub></b>	<b>SE<sub>10</sub></b>	<b>q<sub>is</sub></b>
<b>SE<sub>1</sub></b>	1	2	6	1/2	7	5	2	1/2	3	3	0,152659
<b>SE<sub>2</sub></b>	1/2	1	5	1/2	7	4	2	1/2	3	3	0,127617
<b>SE<sub>3</sub></b>	1/6	1/5	1	1/7	3	1/2	1/5	1/7	1/3	1/4	0,023941
<b>SE<sub>4</sub></b>	2	2	7	1	8	5	3	1/2	4	4	0,199076
<b>SE<sub>5</sub></b>	1/7	1/7	1/3	1/8	1	1/4	1/6	1/9	1/5	1/5	0,01499
<b>SE<sub>6</sub></b>	1/5	1/4	2	1/5	4	1	1/3	1/6	1/2	1/3	0,034917
<b>SE<sub>7</sub></b>	1/2	1/2	5	1/3	6	3	1	1/4	2	2	0,087818
<b>SE<sub>8</sub></b>	2	2	7	2	9	6	3	1	5	4	0,240962
<b>SE<sub>9</sub></b>	1/3	1/3	3	1/4	5	2	1/2	1/5	1	1/2	0,052246
<b>SE<sub>10</sub></b>	1/3	1/3	4	1/4	5	3	1/2	1/4	2	1	0,065774

Table 4 – Indicators pairwise preferences

<b>I<sub>1</sub></b>	<b>I<sub>2</sub></b>	<b>I<sub>3</sub></b>
0,85	0,83	0,89

	<b>I<sub>1</sub></b>	<b>I<sub>2</sub></b>	<b>I<sub>3</sub></b>	<b>α<sub>ii</sub></b>	<b>α<sub>i</sub></b>
<b>I<sub>1</sub></b>	1	1/2	3	1,144714243	0,332515928
<b>I<sub>2</sub></b>	2	1	3	1,817120593	0,527836133
<b>I<sub>3</sub></b>	1/3	1/3	1	0,480749857	0,139647939

Receiving values  $q_{js}$  the efficiency value  $P_s$  is calculated by the formula (1).

Table 5 – Performance indicator and the arithmetic mean

	$P_s$	Set value $P_s$	$\Delta_i$	$\bar{\Delta}$
$P_1'$	0,94	0,82	0,12	0,088
$P_2'$	0,85	0,76	0,09	
$P_3'$	0,84	0,84	0	
$P_4'$	0,92	0,81	0,11	
$P_5'$	0,88	0,83	0,05	
$P_6'$	0,95	0,85	0,1	
$P_7'$	0,87	0,78	0,09	
$P_8'$	0,95	0,83	0,12	
$P_9'$	0,89	0,8	0,09	
$P_{10}'$	0,92	0,81	0,11	

As a result of numerical modeling it is established that the accuracy of the estimate depends on the number of SE ( $N$ ) and the number of performance indicators ( $n$ ) (fig. 2).

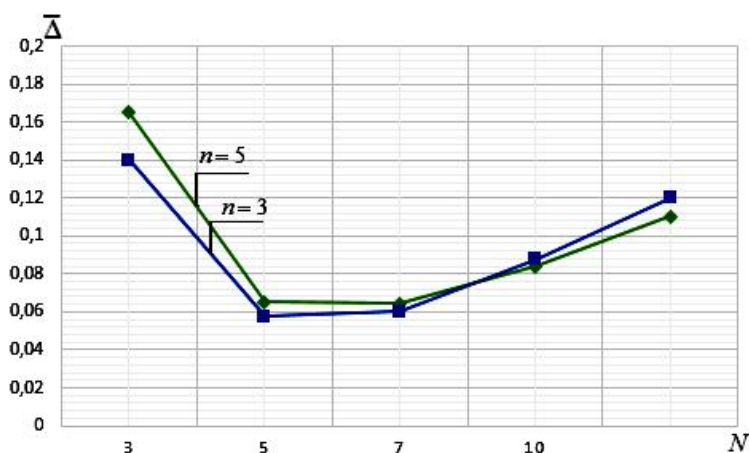


Figure 2 – Accuracy of SE performance evaluation

The most accurate estimate is achieved in the range of values  $N$  from 5 to 10.

## Conclusion

An evaluating algorithm of cognitive systems structural elements effectiveness indicators in real time is developed. According to this algorithm, numerical simulation was carried out in which the inverse dependence of the array dimension and the accuracy of the result was revealed.

## References

1. Antsyferov S. S. The general principles of construction and laws of functioning of intellectual systems [Text] / S. S. Antsyferov // Artificial Intelligence. – 2011. – № 3. – P. 6–15.
2. Antsyferov S. S. Questions of metrological maintenance of intelligent systems [Text] / S. S. Antsyferov // World of measurement. – 2012. – № 5. – P. 46–51.
3. Antsyferov S. S. Standardization of indicators of quality of products cognitive technologies [Text] / S. S. Antsyferov // Science Intensive Technologies. – 2014. – V. 15, № 7. – P. 7–13.

4. Antsyferov S. S. Metrological support of high technologies [Text] / S. S. Antsyferov, M. S. Afanasiev, A. S. Sigov. – M. : Izd. IKAR, 2016. – 224 p.
5. Antsyferov S. S. Indicators of non-equilibrium stability of cognitive systems [Text] / S. S. Antsyferov, K. N. Fazilova, K. E. Rusanov // Problems of Artificial Intelligence. – 2016. – № 2 (3). – P. 4–11.
6. Antsyferov S. S. Standardization of indicators of non-equilibrium stability of cognitive systems [Text] / S. S. Antsyferov, K. N. Fazilova, K. E. Rusanov // Science Intensive Technologies. – 2017. – № 5. – P. 15–20.
7. Antsyferov S. S. Determination of indicators of stable functioning of neural-like systems [Text] / S. S. Antsyferov, K. N. Fazilova, K. E. Rusanov // Materialy XXV Vserossijskogo seminaru «Nejroinformatika, eyo prilozheniya i analiz dannyh», 29 sentyabrya – 1 oktyabrya 2017 g. – Krasnoyarsk : Institut vychislitel'nogo modelirovaniya SO RAN. 2017. – P. 8–13.
8. Antsyferov S.S., Fazilova K.N., Rusanov K.E. Simulated dynamic model of cognitive systems [Text] / S. S. Antsyferov, K. N. Fazilova, K. E. Rusanov // Problems of Artificial Intelligence. – 2017. – № 2 (5). – P. 32–39.
9. Antsyferov S. S. Building and functioning principles of intelligence information processing systems of spati-temporal fields [Text] / S. S. Antsyferov, K. N. Fazilova, K. E. Rusanov // Science Intensive Technologies. – 2018. – № 2. – P. 36–45.
10. Antsyferov S.S., Fazilova K.N. Estimation of stability functioning indicators of intelligent systems with active elements [Text] / / S. S. Antsyferov, K. N. Fazilova // Informatika i tehnologii. Innovacionnie tehnologii v promishlennosti i informatike \_RNTK FTI\_2018 : Sbornik trudov konferencii, 2018. – P. 286–291.
11. Antsyferov S. S. Modeling of non-equilibrium stability of cognitive systems [Text] / S. S. Antsyferov, K. N. Fazilova, K. E. Rusanov // Modelirovanie neravnovesnyh sistem : Materialy XXI Vserossijskogo seminaru, 5–7 oktyabrya 2018 g. – Krasnoyarsk : Institut vychislitel'nogo modelirovaniya Sibirskogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk, 2018. – P. 9–14.
12. Antsyferov S. S. systems non-equilibrium stability evaluation [Text] / S. S. Antsyferov, K. N. Fazilova, K. E. Rusanov // Science Intensive Technologies. – 2017. – № 5. – P. 14–19.

## RESUME

*S. S. Antsyferov, K. N. Fazilova*

### *Evaluation of Cognitive Systems Structural Elements Effectiveness*

A number of papers were devoted to study of nonequilibrium stability properties, in which a nonequilibrium stability model was proposed and studied, based on the probabilistic representation of system connected structural elements (SE) functioning efficiency.

The ability to self-organize involves system's transformation. Achievement of a system certain state is one of the reason for transformation. Accuracy of SE efficiency evaluation in real time is an important aspect.

Method of pairwise preferences is proposed for efficiency evaluation, according to which a matrix of pairwise preferences ( $sr$ ) for each performance indicator is formed and a probabilistic preference indicator ( $q$ ) is calculated, in addition, a weighting factor for each performance indicator ( $\alpha$ ) is determined. Then the efficiency value is calculated  $P_s$ .

As a result of numerical modeling it is established that the accuracy of the estimate depends on the number of SE ( $N$ ) and the number of performance indicators ( $n$ ).

An evaluating algorithm of cognitive systems structural elements effectiveness indicators in real time is developed. According to this algorithm, numerical simulation was carried out in which the inverse dependence of the array dimension and the accuracy of the result was revealed.

## РЕЗЮМЕ

*С. С. Анцыферов, К. Н. Фазилова*

*Оценка эффективности структурных элементов когнитивных систем*

Вопросам исследования свойств неравновесной устойчивости был посвящен ряд работ, в которых была предложена и исследована модель неравновесной устойчивости, основанная на вероятностном представлении эффективности функционирования взаимосвязанных структурных элементов (СЭ) системы.

Способность к самоорганизации предполагает трансформацию системы. Одной из причин трансформации является необходимость достижения определенного состояния системы. Важным аспектом является точность оценки эффективности СЭ в реальном масштабе времени.

Для оценки эффективности предложено использовать метод попарных предпочтений, согласно которому формируется матрица попарных предпочтений ( $sr$ ) по каждому показателю эффективности и рассчитывается вероятностный показатель предпочтений ( $q$ ), кроме того определяется коэффициент весомости для каждого показателя эффективности ( $\alpha$ ). Затем вычисляется значение эффективности  $P_s$ .

В результате численного моделирования алгоритма оценки показателей эффективности СЭ КС установлено, что точность оценки зависит от числа СЭ ( $N$ ) и от числа показателей эффективности ( $n$ ).

Разработан алгоритм оценки показателей эффективности структурных элементов когнитивной системы в реальном масштабе времени. Согласно этому алгоритму было проведено численное моделирование, в ходе которого была выявлена обратная зависимость размерности массива и точности результата.

Статья поступила в редакцию 22.07.2019.