

# Оценка структурной устойчивости и динамического развития синтезированной функциональной структуры технологической системы угольной шахты

В.В. Агафонов<sup>1</sup>, О.Ю. Козлова<sup>2</sup>✉, В.В. Козлов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> Московский политехнический университет, Тучковский филиал, п.г.т. Тучково, Российская Федерация

✉ kozlova\_ou@mail.ru

**Резюме:** Актуализируется процедура синтеза технологических систем угольных шахт с использованием методологии композиционных гибридных нечетких моделей «с взаимодействием». В рамках предложенного подхода модельные когнитивные представления предусматривают процедуру трансформации факторов-концептов с использованием искусственных нейронных сетей с соответствующими алгоритмами обучения в рамках параметрической оптимизации с формированием функций принадлежности нечетких множеств. Гибридизация и интеграция методов интеллектуальной обработки проектной информации при этом требует реализации процедуры сравнения синтезированных результатов когнитивного моделирования с реальными результатами рутинного проектирования и выявления степени их расхождения, что позволяет расширить границы возможности целенаправленной интеллектуальной генерации лучших альтернатив проектных решений. Оценка структурной устойчивости сформированной нечеткой когнитивной карты в рамках доверительного интервала производится путем бинарного сопоставления числа циклов отрицательной и положительной обратной связи. Вспомогательным в процедуре оценки является критерий бесконтекстности, основанный на использовании шаблонов однотипного перевода связей между концептами-факторами. На основе аналитического обзора систем и средств когнитивного моделирования и проведенных исследований сформирована нечеткая когнитивная карта процесса оценки.

**Ключевые слова:** угольная шахта, технологическая система, нечеткая логика, нейронные сети, нечеткая когнитивная карта, структурная устойчивость, динамическое развитие

**Для цитирования:** Агафонов В.В., Козлова О.Ю., Козлов В.В. Оценка структурной устойчивости и динамического развития синтезированной функциональной структуры технологической системы угольной шахты. *Горная промышленность*. 2026;(3):151–156. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-3-151-156>

## Assessment of the structural stability and dynamic development of the synthesised functional structure of the process system in a coal mine

V.V. Agafonov<sup>1</sup>, O.Y. Kozlova<sup>2</sup> ✉, V.V. Kozlov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> Moscow Polytechnic University, Tuchkovsky Branch, Tuchkovo, Russian Federation

✉ kozlova\_ou@mail.ru

**Abstract:** The procedure for synthesizing process systems of coal mines is updated using the methodology of composite hybrid fuzzy models with interaction. Within the framework of the proposed approach, the model cognitive representations provide for a procedure for transforming the factor-concepts using artificial neural networks with corresponding learning algorithms within the framework of parametric optimization with the formation of membership functions of fuzzy sets. Hybridization and integration of methods for smart processing of design information in this case requires implementation of a procedure for comparing the synthesized results of cognitive modeling with the actual results of routine designing and identifying the degree of their discrepancy, which allows expanding the boundaries of the possibility for targeted smart generation of the best options for

the design solutions. An assessment of the structural stability of the formed fuzzy cognitive map within the confidence interval is carried out by binary comparison of the number of cycles of the negative and positive feedback. An auxiliary criterion in the assessment procedure is the lack of continuity, based on using templates of the same type of connections translation between the concept-factors. An analytical review of the systems and tools for cognitive modeling and the conducted research made it possible to create a fuzzy cognitive map of the assessment process.

**Keywords:** coal mine, process system, fuzzy logic, neural networks, fuzzy cognitive map, structural stability, dynamic development

**For citation:** Agafonov V.V., Kozlova O.Y., Kozlov V.V. Assessment of the structural stability and dynamic development of the synthesised functional structure of the process system in a coal mine. *Russian Mining Industry*. 2026;(3):151–156. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-3-151-156>

**Введение**

Определенный интерес в области синтеза технологических систем угольных шахт представляют композиционные гибридные нечеткие модели «с взаимодействием» [1; 2]. Основные методические положения создания композиционных гибридных нечетких моделей сводятся к следующим итерационным процедурам.

Итерация 1. Реализуется процедура декомпозиции анализа.

Итерация 2. Разрабатывается классификация нечетких моделей в универсальной (реляционной, производственной и функциональной) и проблемно-ориентированной форме (состояний событий и управления). Каждой форме предпосылаются ее возможности с учетом специфических свойств объекта анализа, типами динамики и неопределенности исходных данных.

Итерация 3. Определяются граничные требования и ограничения применения и использования когнитивных моделей, увязанных с частными задачами моделирования.

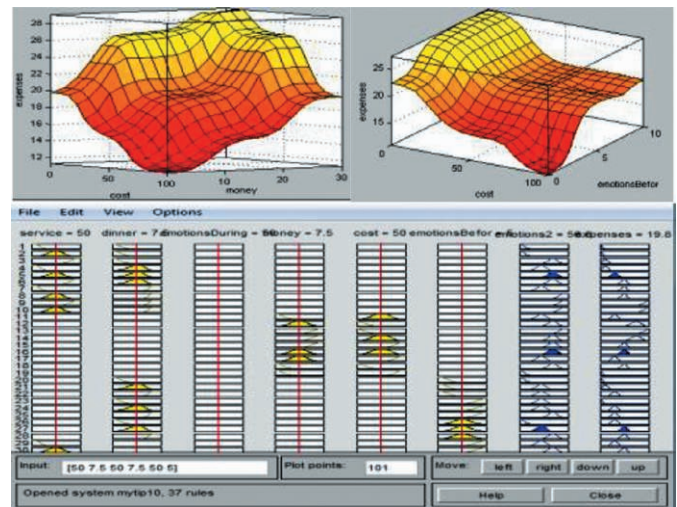
Итерация 4. Определяется суммарное количество нечетких моделей для решения частных задач моделирования (построение «дерева покрытия»).

Итерация 5. Определяются подмножества нечетких моделей с максиминными критериями оптимальности (рационального выбора).

Следует отметить, что в функциональном плане гибридные композиционные модели могут иметь до тридцати поверхностей нечеткого вывода с возможностью формирования числовых значений конечных выходных переменных (рис. 1), причем поверхность нечеткого вывода имеет явно выраженные участки, идентичные с экспериментальной функцией полезности [3].

В рамках данного подхода когнитивные модели предусматривают процедуру представления факторов-концептов в формализованном виде искусственных нейронных сетей с присущими алгоритмами обучения для параметрической оптимизации на основе обучающих выборок; компоненты искусственных нейронных сетей предусматривают формирование функций принадлежности нечетких множеств и алгоритма фаззификации и дефаззификации переменных [4].

Также установлено, что некоторые когнитивные модели можно использовать в рамках предварительного анализа проблемных ситуаций синтеза, а некоторые, в частности гибридные модели, непосредственно для процедуры синтеза проектных решений, так как именно они имеют наибольшую практическую полезность и функциональную возможность замены, трансформации и усовершенствования отдельных составляющих компонентов нечетких когнитивных моделей функциональных структур техно-



**Рис. 1**  
Поверхности нечеткого вывода гибридных композиционных моделей

**Fig. 1**  
Surfaces of fuzzy inference in hybrid composite models

логических систем угольных шахт, и сформировать prerogative их выбора за счет расширения возможностей, улучшения базовых свойств, конструктивизма и многоагентности моделей.

**Материалы и методы**

В рамках этого подхода для выбранной функциональной структуры технологической системы угольной шахты и сформированной когнитивной карты требуется оценка ее достоверности и объективности, т.е. необходимо провести ее валидацию и верификацию, что требует реализации процедуры сравнения синтезированных результатов когнитивного моделирования с реальными результатами рутинного проектирования и выявления степени их расхождения.

В соответствии с принятыми подходами в этой области используется общепринятый критерий достоверности и объективности. Критерий, удостоверяющий наличие нормальной формы  $K^c(K_1)$  концепта  $K_1$ . Данный критерий интерпретируется когнитологом как в форме концепта, так и в форме переменной в шкале отношений  $ZS$ . Формальное описание критерия выглядит как  $K^c(K_1):(IU, ZS)$ . Модификация критерия подразумевает ввод фактора  $EX$ , который превращает концепт в переменную шкалы отношений, т.е.  $K^c(K_1):(IU, ZS, EX)$ . Далее вводится бинарное значение  $k_i^{IU}, k_i^{ZS}, k_i^{EX}$  для общего числа концептов:

$$k^c = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i^{IU} + k_i^{ZS} + k_i^{EX})}{3n}, \quad (1)$$

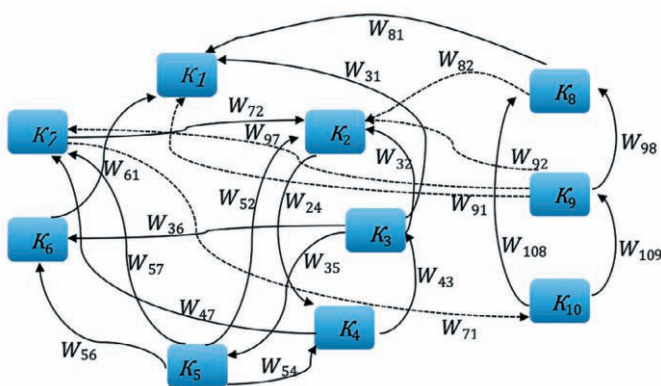
В случае бинарного сопоставления, если  $k^c = 1$ , то все элементы нечеткой когнитивной карты и принятые проектные решения функциональной структуры технологической системы угольной шахты удовлетворяют критерию наличия нормальной формы, и структурная устойчивость НКК лежит в рамках доверительного интервала.

Структурная устойчивость нечеткой когнитивной карты в рамках доверительного интервала оценивается сопоставлением числа циклов отрицательной и положительной обратной связи. В этих целях задействуется подход, изложенный в трудах [5; 6]. В соответствии с этим подходом нечеткое число циклов отрицательной обратной связи формирует условие устойчивости НКК, а четное число циклов положительной обратной связи формирует условие неустойчивости НКК.

На основании данного подхода используются следующие концепты процедуры оценки структурной устойчивости НКК в рамках доверительного интервала:

$$K = \{K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8, K_9, K_{10}\}, \quad (2)$$

где  $K_1$  – оценка возможности формирования функциональной структуры технологической системы обработки запасов каменноугольного месторождения (шахты);  $K_2$  – оценка возможности формирования отдельной технологической подсистемы угледобывающего производства;  $K_3$  – оценка возможности формирования функциональной структуры отдельной технологической подсистемы угледобывающего производства;  $K_4$  – оценка возможности минимизации рисков и фактора неопределенности при формировании функциональной структуры технологической системы шахты;  $K_5$  – структурная устойчивость функционирования проектных решений шахты;  $K_6$  – структурная устойчивость функционирования отдельных технологических подсистем шахты;  $K_7$  – оценка возможности образования структурной устойчивости;  $K_8$  – структурная устойчивость не сформирована;  $K_9$  – оценка причин невозможности достижения структурной устойчивости;  $K_{10}$  – оценка причин невозможности достижения структурной устойчивости с учетом рисков и неопределенности (рис. 2).



**Рис. 2**  
Нечеткая когнитивная карта оценки структурной устойчивости в рамках доверительного интервала

**Fig. 2**  
A fuzzy cognitive map for assessing the structural stability within the confidence interval

Для оценки весового влияния концептов используется девятиуровневый классификатор вида:

$$X_k = \{BND, LMND, MND, SND, Z, SPD, HMPD, MPD, LPD\}, \quad (3)$$

где  $B$  – большое влияние;  $M$  – среднее влияние;  $S$  – малое влияние;  $L$  – ниже;  $H$  – выше;  $D$  – значение отклонения;  $N$  – в отрицательном,  $P$  – в положительном направлении от  $Z$  – нулевого значения.

Функции принадлежности сравниваются с гауссовой [7]:

$$\mu_A(x) = \exp \left[ - \left( \frac{x - c}{\sigma} \right)^2 \right], \quad (4)$$

где  $c$  – ассоциируется с центром нечеткого множества;  $\sigma$  – с крутизной ФП.

Далее формируется матрица парных сравнений вида:

$$A = \begin{matrix} & u_1 & u_2 & \dots & u_n \\ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ \dots \\ u_n \end{matrix} & \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix} \end{matrix}, \quad (5)$$

где  $a_{ij}$  – оценка преимущества  $u_i$  над  $u_j$  базового множества  $U \in [x^{\min}, x^{\max}]$ ;  $x^{\min}, x^{\max}$  – минимум и максимум параметра:  $i, j = 1, n$ .

Далее вычисляется собственный вектор матрицы  $A$ :

$$\begin{cases} A \cdot \Omega = \lambda_{\max} \cdot \Omega \\ w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1 \end{cases}, \quad (6)$$

где  $\lambda_{\max}$  – максимум значения матрицы  $A$ .

В этом случае функция принадлежности определяется наличием координат собственного вектора  $\Omega$ , т.е.  $\mu(u_i) = w_i, i, j = \overline{1, n}$ .

Для нормализации функций принадлежности степени принадлежности делятся на максимум  $\mu(u_i)^{\max}$

$$\mu(u_i)' = \frac{\mu(u_i)}{\sup(\mu(u_i))}, \quad (7)$$

Нечеткая когнитивная матрица взаимовлияний при этом приобретает вид:

$$W = \left\| w_{ij} \right\|_{n \times n}, \quad (8)$$

где  $n$  – общее число концептов.

В дальнейших расчетах используется каузальная алгебра [8] с элементами операций  $T$ -норм,  $S$ -норм, макстриангулярной композиции, операций  $\max$  и замыкания. Взаимовлияние концептов оценивается с помощью нечеткой матрицы положительных обратных связей  $R = \left\| r_{ij} \right\|_{2n \times 2n}$ , которая служит основой для формирования транзитивно замкнутой когнитивной матрицы взаимовлияний [9];

$$V = \left\| (v_{ij}, \overline{v_{ij}}) \right\|$$

$$\begin{cases} r_{2i-1, 2j-1} = w_{ij}, r_{2i, 2j} = w_{ij} & \hat{O} \hat{O} \hat{E} w_{ij} > 0 \\ r_{2i-1, 2j-1} = -w_{ij}, r_{2i, 2j} = -w_{ij} & \hat{O} \hat{O} \hat{E} w_{ij} < 0 \\ r_{2i-1, 2j-1} = 0, r_{2i, 2j} = 0 & \hat{O} \hat{O} \hat{E} w_{ij} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} v_{ij} = \max(r_{2i-1, 2j-1}, r_{2i, 2j}) \\ \overline{v_{ij}} = -\max(r_{2i-1, 2j-1}, r_{2i, 2j}) \end{cases} \quad (10)$$

В целях выявления степени взаимовлияния концептов-факторов, а также интегральных показателей, используемых для оценки надежности и достоверности нечеткой когнитивной карты, используются консонанс и диссонанс влияния концептов и процесса образования функциональных структур [10].

Аналитический обзор систем и средств когнитивного моделирования позволил сформировать нечеткую когнитивную карту процесса оценки (рис. 3) с положительными и отрицательными связями.

Оценка НКК шахты «Элегест», выбранной в качестве объекта исследований по вышеописанному алгоритму с вычисленными значениями критерия  $K^c$ , представлена в табл. 1. Так как значение критерия  $k^c = 1$  для всех составляющих когнитивной модели, то НКК входит в доверитель-

Таблица 1  
Оценки достоверности когнитивного моделирования технологической системы шахты «Элегест»

Table 1  
Reliability assessments of the cognitive modelling of the Elegest mine's process system

	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$K_7$	$K_8$	$K_9$	$K_{10}$
$k_i^{IU}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$k_i^{ZS}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$k_i^{EX}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$K^c$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ный интервал и удовлетворяет предъявляемому требованию достоверности.

Вспомогательным в процедуре оценки является критерий бесконтекстности, основанный на использовании шаблонов однотипного перевода связей между концептами-факторами в двух вариантах:

– в первом случае используется **шаблон А** (шаблон с положительным влиянием):

$[P_i] + [P_j]$ : усиление концепта-фактора  $[P_i]$  приводит к усилению концепта-фактора  $[P_j]$ , а ослабление концепта-фактора  $[P_i]$  приводит к ослаблению концепта-фактора  $[P_j]$ ;

– во втором случае используется **шаблон Б** (шаблон с отрицательным влиянием):

$[P_i] - [P_j]$ : усиление концепта-фактора  $[P_i]$  приводит к ослаблению концепта-фактора  $[P_j]$ , а ослабление концепта-фактора  $[P_i]$  приводит к усилению концепта-фактора  $[P_j]$ .



Рис. 3  
Нечеткая когнитивная карта оценки достоверности когнитивного моделирования технологической системы шахты

Fig. 3  
A fuzzy cognitive map for assessing the reliability of cognitive modelling of the mine's process system

Перебор шаблонов А и Б в пространстве созданной НКК показывает, что процедура однотипного перевода связей между всеми концептами реализована в том числе и с математической точки зрения и, таким образом, формализована. Коррекция карты не требуется, так как присутствует необходимая степень достоверности по критериям полноты описания и соразмерности концептов в области знаний.

Весы функций принадлежности для нашего случая (веса взаимного влияния матрицы *W*) на основе методологических особенностей экспертного опроса выглядят следующим образом (табл. 2).

**Таблица 2**  
Веса функций принадлежности с использованием классификаторов

**Table 2**  
Membership function weights using classifiers

?	BND	LMND	MND	SND	Z	SPD	HMPD	MPD	LPD
<i>c</i>	-1	-0,8	-0,6	-0,4	0	0,4	0,6	0,8	1
<i>σ</i>	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18

Так как общее число циклов положительной обратной связи представлено тремя ( $K_4 \otimes K_3 \otimes K_2$ ,  $K_4 \otimes K_7 \otimes K_2$ ,  $K_5 \otimes K_4 \otimes K_3$ ) и является нечетным, а общее число циклов отрицательной обратной связи представлено единицей ( $K_9 \otimes K_{10} \otimes K_7$ ) и является четным, то считается, что обеспечивается достаточная степень структурной устойчивости разработанной НКК.

Значение консонанса влияния концепта на процесс формирования функциональной структуры технологической системы шахты «Элегест» равно единице для всех входящих в структуру НКК концептов, исключение составляет концепт  $K_1$  (значение 0) и  $K_6$  (значение 0,15), что укладывается в рамки доверительного интервала с высоким уровнем доверия. Следует констатировать степень наибольшего положительного влияния на процесс формирования функциональной структуры технологической системы шахты «Элегест» таких концептов-факторов, как структурная устойчивость функционирования отдельных технологических подсистем, возможность образования структурной устойчивости, возможность минимизации рисков и фактора неопределенности при формировании функциональной структуры технологической системы. Степень наибольшего отрицательного влияния присуща невозможности достижения структурной устойчивости

с учетом рисков и неопределенности. Это также означает, что обеспечивается достаточная степень структурной устойчивости разработанной НКК.

### Заключение

В качестве объекта исследований для разработанных методических положений когнитивного моделирования выбрано Элегестское угольное месторождение. Прерогативой выбора является тот факт, что перечень основных горно-геологических и горнотехнических параметров и характеристик, лежащих в основе технологичности и благонадежности отработки запасов угольных пластов месторождения, вписывается в рамки доверительных технологических интервалов, которые с той или иной степенью достоверности и объективности позволяют спроектировать высокоэффективную функциональную структуру технологической системы угледобывающего предприятия с подземным способом добычи.

Установлено, что в рамках композиционного гибридного нечеткого моделирования рационально сгенерировать 12 456 альтернативных вариантов функциональных структур технологической системы угольной шахты «Элегест», которые с помощью процесса импульсных «возмущений» (динамического моделирования) и процедур решающего правила (попадание в доверительный интервал концепта целевого индикатора технико-экономической эффективности) сведены к 10 окончательным вариантам. Относительные изменения состояния выбранных вариантов позволили исключить из процедуры окончательного выбора заведомо нецелесообразные варианты и определить наиболее рациональный.

Для выбранной функциональной структуры технологической системы угольной шахты и сформированной когнитивной карты требуется оценка ее достоверности и объективности, т.е. необходимо провести ее валидацию и верификацию, что требует реализации процедуры сравнения синтезированных результатов когнитивного моделирования с реальными результатами рутинного проектирования и выявления степени их расхождения. Данный аспект следует реализовывать с привлечением оценки структурной устойчивости и динамического развития синтезированной функциональной структуры технологической системы шахты «Элегест», а также с учетом подходов к моделированию геомеханических процессов [11] и концепций межсекторального моделирования [12].

### Список литературы / References

1. Козлова О.Ю., Агафонов В.В., Кравец К.Д. Использование гибридных многопараметрических модельных представлений для синтеза функциональных структур горнотехнических систем. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024;(S19):12–23.  
Kozlova O.Yu., Agafonov V.V., Kravets K.D. The use of hybrid multiparametric model representations for the synthesis of functional structures of mining systems. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2024;(S19):12–23. (In Russ.)
2. Козлова О.Ю., Агафонов В.В. Формализация когнитивного моделирования при разработке систем поддержки принятия проектных решений технологических систем угольных шахт с учетом базовых онтологий. *Горная промышленность*. 2025;(5):44–48. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5-44-48>  
Kozlova O.Y., Agafonov V.V. Formalization of cognitive modeling in development of design decision support systems for technological systems of coal mines with account of basic ontologies. *Russian Mining Industry*. 2025;(5):44–48. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5-44-48>
3. Павлыш В.Н., Перетолчина Г.Б. Математическое моделирование нестационарных процессов в среде с нечётко определёнными параметрами. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2018;(2):33–45.  
Pavlysh V.N., Peretolchina G.B. The mathematical modeling of non-stationary processes in environment with left certain parameters. *Problems of artificial intelligence*. 2018;(2):33–45. (In Russ.)

4. Трофимов Ю.В., Муравьев И.П., Аверкин А.Н., Лебедев А.Д., Кузнецов Е.М., Трусов И.А. и др. Новый плитогенно-нечеткий многослойный перцептрон (PN-MLP) на основе нечеткой, интуиционистской, нейтрософической и плитогенной логик с объяснительным искусственным интеллектом второго поколения (XAI 2.0) для платформы клинического анализа молочной железы. *Нечеткие системы и мягкие вычисления*. 2025;20(1):5–35. <https://doi.org/10.26456/fssc132>  
Trofimov Yu.V., Muravyov I.P., Averkin A.N., Lebedev A.D., Kuznetsov E.M., Trusov I.A. et al. A plithogenic-fuzzy multilayer perceptron (PN-MLP) integrating fuzzy, intuitionistic-fuzzy, neutrosophic and plithogenic logics with XAI 2.0 for a breast cancer CAD platform. *Fuzzy Systems and Soft Computing*. 2025;20(1):5–35. (In Russ.) <https://doi.org/10.26456/fssc132>
5. Тарасов В.Б. Биполярные шкалы, многозначные семантики и решетки модальностей в моделировании когнитивных агентов. В кн.: *Колесников А.В. (ред.) Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: материалы 4-й Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием, г. Калининград, 14–19 мая 2018 г.* Калининград: Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта; 2018. С. 98–115.
6. Малахов А.А. Группировка концептов нечеткой когнитивной карты. В кн.: *Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сб. науч. ст. 5-й Междунар. науч. конф., г. Казань, 30–31 мая 2020 г.* М.: Конверт; 2020. Ч. 2. С. 60–64.
7. Борисов В.В., Луферов В.С. Метод многомерного анализа и прогнозирования состояния сложных систем и процессов на основе нечетких когнитивных темпоральных моделей. *Системы управления, связи и безопасности*. 2020;(2):1–23. Режим доступа: <https://sccs.intelgr.com/archive/2020-02/01-Borisov.pdf> (дата обращения: 25.02.2026).  
Borisov V.V., Luferov V.S. The method of multidimensional analysis and forecasting states of complex systems and processes based on Fuzzy Cognitive Temporal Models. *Systems of Control, Communication and Security*. 2020;(2):1–23. (In Russ.) Available at: <https://sccs.intelgr.com/archive/2020-02/01-Borisov.pdf> (accessed: 25.02.2026).
8. Рудниченко Н.Д., Вычужанин В.В., Шибает Д.С., Шибаета Н.О. Разработка модели решающего дерева для когнитивного представления метаанных о больших объемах информации. В кн.: Пугина О.В. (ред.) *Информационные системы и технологии ИСТ-2020: сб. материалов 26-й Междунар. науч.-техн. конф., г. Нижний Новгород, 24–28 апреля 2020 г.* Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. П.Е. Алексеева; 2020. С. 684–690.
9. Дальбергенова Л.Е. Когнитивное моделирование каузальных ситуаций. В кн.: *Современные тенденции в науке, технике, образовании: сб. материалов 4-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Смоленск, 30 декабря 2018 г.* Смоленск; 2018. С. 90–92.
10. Лойко В.И., Барановская Т.П., Вострокнутов А.Е. Методика когнитивного моделирования и анализа целей и функций корпоративных интегрированных структур. *Современная экономика: проблемы и решения*. 2018;(11):84–97. Режим доступа: <https://journals.vsu.ru/meps/ru/article/view/6589> (дата обращения: 25.02.2026).  
Loyko V.I., Baranovskaya T.P., Vostroknutov A.E. The methodology of cognitive modeling and analysis of goals and functions of corporate integrated structures. *Modern Economics: Problems and Solutions*. 2018;(11):84–97. (In Russ.) Available at: <https://journals.vsu.ru/meps/ru/article/view/6589> (accessed: 25.02.2026).
11. Павлова Л.Д., Фрянов В.Н. Моделирование геомеханических процессов в структурно неоднородном геомассиве для оценки устойчивости подготовительных выработок угольных шахт. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2025;(8):5–16. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2025\\_8\\_0\\_5](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_8_0_5)  
Pavlova L. D., Fryanov V. N. Modeling geomechanical processes in structurally nonuniform geomass for stability estimation of temporary roadways in coal mines. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025;(8):5–16. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2025\\_8\\_0\\_5](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_8_0_5)
12. Кравец К.Д., Козлова О.Ю., Оганесян А.С. Концепция межсекторального моделирования функциональной структуры угольной шахты. *Уголь*. 2025;(7):111–115. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2025-7-111-115>  
Kravets K.D., Kozlova O.B., Oganesyanyan A.S. The concept of intersectoral modeling of the functional structure of a coal mine. *Ugol'*. 2025;(7):111–115. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2025-7-111-115>

**Информация об авторах**

**Агафонов Валерий Владимирович** – доктор технических наук, профессор кафедры геотехнологий освоения недр Горного института, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0007-0449-8124>; e-mail: [agafonovfv@yandex.ru](mailto:agafonovfv@yandex.ru)

**Козлова Ольга Юрьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики-3, МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [kozlova\\_ou@mail.ru](mailto:kozlova_ou@mail.ru)

**Козлов Валерий Владимирович** – доктор технических наук, доцент, Московский политехнический университет, Тучковский филиал, п.г.т. Тучково, Российская Федерация; e-mail: [kozmaster@mail.ru](mailto:kozmaster@mail.ru)

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 11.02.2026

Поступила после рецензирования: 24.03.2026

Принята к публикации: 03.04.2026

**Information about the authors**

**Valery V. Agafonov** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Geotechnology of Subsurface Development at the Mining Institute, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; e-mail: [agafonovfv@yandex.ru](mailto:agafonovfv@yandex.ru)

**Olga Yu. Kozlova** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Higher Mathematics-3, MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0007-0449-8124>; e-mail: [kozlova\\_ou@mail.ru](mailto:kozlova_ou@mail.ru)

**Valery V. Kozlov** – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Moscow Polytechnic University, Tuchkovsky Branch, Tuchkovo, Russian Federation; e-mail: [kozmaster@mail.ru](mailto:kozmaster@mail.ru)

**Article info**

Received: 11.02.2026

Revised: 24.03.2026

Accepted: 03.04.2026