

# Процедура моделирования и синтеза технологических систем угольных шахт на основе интеграции с интеллектуальными парадигмами

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

<sup>1</sup> МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

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

✉ kozlova\_ou@mail.ru

**Резюме:** Актуализируется и формализуется процедура синтеза проектных решений технологических систем угольных шахт в рамках объединения составляющих нечеткой логики, искусственных нейронных сетей, вероятностных рассуждений и эволюционных алгоритмов. Гибридизация и интеграция методов интеллектуальной обработки проектной информации при этом увязана со специальными процедурами, позволяющими производить «мягкие вычисления» (soft computing) в рамках Data Mining, наделив их новой функциональностью. Методологические особенности предлагаемого научно-методического подхода предоставляют возможность совместного применения двух моделей (вероятностно-статистической и детерминированной), что укладывается в рамки байесовского подхода к обоснованию проектных решений и однозначно позволяет наиболее полно учесть фактор неопределенности с расширением границ возможности целенаправленной интеллектуальной генерации лучших альтернатив проектных решений синтеза технологических систем угольных шахт.

**Ключевые слова:** угольная шахта, технологическая система, моделирование технологических систем, нечеткая логика, нейронные сети, неопределенность результатов, инвестиционный риск

**Для цитирования:** Козлова О.Ю., Агафонов В.В., Козлов В.В. Процедура моделирования и синтеза технологических систем угольных шахт на основе интеграции с интеллектуальными парадигмами. *Горная промышленность*. 2026;(2):74–77. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-2-74-77>

## Procedure for modeling and synthesizing of technological systems for coal mines based on integration with the smart paradigms

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

<sup>1</sup> MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russian Federation

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

✉ kozlova\_ou@mail.ru

**Abstract:** The procedure for synthesizing design solutions for technological systems in coal mines is updated and formalized within the framework of combining components of fuzzy logic, artificial neural networks, probabilistic reasoning and evolutionary algorithms. At the same time, hybridization and integration of the smart project information processing methods is linked to special procedures that allow for "soft computing" as part of Data Mining, ensuring their new functionality. Methodological features of the proposed scientific and methodological approach provide an opportunity for joint application of the two models (probabilistic-statistical and deterministic). This is consistent with the Bayesian approach to justifying design solutions and clearly allows for the most comprehensive consideration of the uncertainty factor, expanding the boundaries of the possibility of purposeful intellectual generation of the best alternatives for design solutions in the synthesis of technological systems for coal mines.

**Keywords:** coal mine, technological system, modeling of technological systems, fuzzy logic, neural networks, result uncertainty, investment risks

**For citation:** Kozlova O.Yu., Agafonov V.V., Kozlov V.V. Procedure for modeling and synthesizing of technological systems for coal mines based on integration with the smart paradigms. *Russian Mining Industry*. 2026;(2):74–77. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-2-74-77>

### Введение

В современных условиях проектирования технологических систем угольных шахт во многих случаях принятие основных проектных решений происходит в таких услови-

ях, когда цели, ограничения и последствия их реализации точно неизвестны, при этом следует отметить, что попытка учета даже основных факторов, влияющих на принятие решения, зачастую приводит к появлению довольно гро-

моздких моделей разного рода, сложных для понимания и соответствующей интерпретации. Отсюда со всей очевидностью возникает необходимость пересмотра основных методологических аспектов проектирования горнотехнических систем и необходимость в простом, наглядном подходе к обоснованию основных проектных решений технологических систем угольных шахт и их параметров, который позволял бы с достаточно большой достоверностью и надежностью дать общую, пусть даже наиболее приближенную оценку их реализации в современных сложившихся рыночных условиях.

Термин «проект угольной шахты» в этом случае понимается как комплекс действий (работ, услуг, приобретений, управленческих операций и решений), направленных на достижение определенной цели (добычи определенного объема угля за соответствующий промежуток времени с определенной себестоимостью, трудоемкостью и производительностью труда при соблюдении определенного уровня промышленно-экологической безопасности), причем окончательный вариант проекта принимается с помощью решающего правила из нескольких альтернативных на базе проектного анализа.

### **Результаты и их обсуждение**

При обосновании проектных решений технологических систем угольных шахт в последнее время важное место отводится технологиям нечеткого вывода, формирования и построения экспертных систем, минимизирующих неопределенность исходной информации, когда не имеется в достаточном объеме информации, характеризующей проект в целом, а вероятностные распределения, описывающие параметры проекта, неизвестны [1–3]. В конечном итоге анализ проектных решений на основе теории нечетких множеств позволяет не только определить превалирующее отношение к имеющимся потенциально реализуемым проектным решениям, но и осуществлять их корректировку, создавать в конкретной исходной проектной обстановке их эффективные комбинации. В связи с вышеизложенным применение и использование приближенных методов теории нечетких множеств и аппарата лингвистических переменных представляется весьма перспективным.

На данный момент времени существует огромное количество публикаций, посвященных методологии теории нечетких множеств, однако до сих пор практически не разработаны отдельные аспекты эффективного инструментария, позволяющие реализовывать ее для решения конкретных проектных задач угледобывающих предприятий и лишь единичные публикации посвящены использованию аппарата теории нечетких множеств и лингвистических переменных при обосновании проектных решений технологических систем угольных шахт.

Гибридизация методов интеллектуальной обработки информации увязана со специальным термином – «мягкие вычисления» (soft computing), который ввел Л. Заде в 1994 г. [4]. В настоящее время мягкие вычисления объединяют такие области, как: нечеткая логика, искусственные нейронные сети, вероятностные рассуждения и эволюционные алгоритмы. Они дополняют друг друга, их используют в различных комбинациях для создания гибридных интеллектуальных систем в рамках Data Mining, наделяя новой функциональностью.

Для создания методической базы придания структурной модели технологической системы прогностических функций необходимо в первую очередь определиться с набором

стандартных элементов применительно к конкретным горно-геологическим условиям эксплуатации, то есть произвести ее декомпозицию. Иерархическая структура процесса декомпозиции предполагает выделение определенного числа уровней. На высшей ступени иерархии находятся знаковые подсистемы, характеризующие всю систему и стадии освоения месторождения полезного ископаемого: способ отработки запасов месторождения, технологические структуры отработки запасов, вскрытие, подготовка и отработка запасов. Следующий уровень представляют основные звенья подсистем. В каждой из составляющих подсистем шахты, например, во вскрывающих, подготавливающих или очистных выработках реализуются различные производственные процессы (комплексы рабочих процессов): очистные и проходческие работы, внутришахтный транспорт, подъем, водоотлив, вентиляция и т.д. В результате декомпозиции сложная система разделяется на группу более мелких подсистем с такой взаимосвязью, чтобы глобальная задача синтеза преобразовалась в группу локальных задач синтеза отдельных подсистем, т.е. отдельные решения будут приниматься по ограниченной информации, без использования всего объема сведений. Переход к иерархической структуре синтеза сужает в общем случае множество допустимых стратегий, но одновременно снижает и уровень неопределенности, т.е. делает возможным получение более качественного решения.

Учет фактора неопределенности при решении задач синтеза проектных решений во многом изменяет методы принятия решения: меняется принцип представления исходных данных и параметров модели, становятся неоднозначными понятия решения задачи и оптимальности решения. Наличие неопределенности может быть учтено непосредственно в моделях соответствующего типа с представлением недетерминированных параметров как случайных величин с известными вероятностными характеристиками, как нечетких величин с заданными функциями принадлежности или как интервальных величин с фиксированными интервалами изменения и нахождения решения задачи с помощью методов стохастического, нечеткого или интервального программирования. Таким образом, появляется возможность совместного применения двух моделей (вероятностно-статистической и детерминированной), что укладывается в рамки байесовского подхода к обоснованию проектных решений и однозначно позволит учесть связь между соответствующими элементами технологической системы, а использование метода оценки реальных опционов повысит достоверность исходных данных о принятии проектных решений, более объективно исследовать закономерности изменения параметров горного производства, а также снизить энтропию.

Следует отметить, что реальные проекты имеют конфигурацию со сложной структурно-функциональной организацией. И здесь начинает превалировать вопрос их достоверности и объективности. На современном уровне развития методологии разнотипного моделирования этот аспект остается дискуссионным. В основном его решение базируется на методическом подходе, предложенном Д. Уотерманом [5]. В его основе лежат общеизвестные методы балльных экспертных оценок (анкетирование, интервьюирование, различные вариации метода Делфи, методы «мозгового штурма»); «круглого стола»; правовые и политические (P – political and legal), социальные (S – social), экономические (E – economic), технологические (T – technological) версии PEST-анализа: многочисленные версии SWOT-анализа

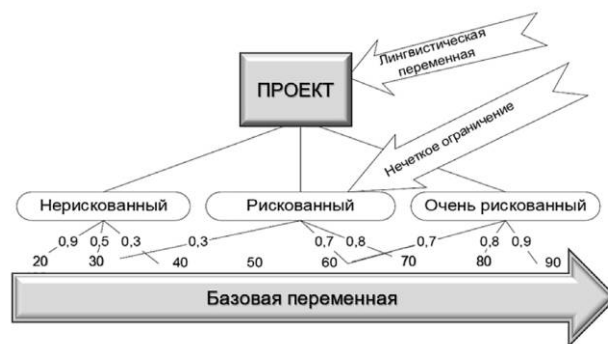
(S – strengths, W – weaknesses, O – opportunities, T – threats), общеизвестные модели: стратегическая карта Каплана–Нортонa [6], матрица BCG, модели ADL/LC, Hofer/Schendel, Shell/DPM и др. [7]; методы и модели сценарного анализа и сценарного планирования; SMART-технология постановки целей [8]; методы извлечения знаний в технологиях, основанных на знаниях; методы психосемантики и неметрического многомерного шкалирования [9].

Вышеизложенные процедурные методы позволяют осуществить конструирование и формирование классификационной структуры проектных решений, произвести ее параметризацию, проверить ее целевую направленность в области достижения необходимой степени полноты и противоречивости с редукций (устранение малозначимых составляющих-факторов и др.).

Изложенный многоступенчатый подход открывает широкие возможности целенаправленной интеллектуальной генерации лучших альтернатив проектных решений синтеза технологических систем угольных шахт и довольно существенно расширяет возможности моделирования для перехода к новой парадигме выбора оптимальной и рациональной функциональной структуры, которая не основана на парадигме RAND Corporation [10] и предполагает совершенно обратное – конструирование самой лучшей альтернативы без привлечения труднодоступной и не всегда достоверной количественной статистики с привлечением рецептурных схем процедуры принятия сложных решений.

С учетом проведенных исследований в области методологии теории сложных систем выявлено, что формализованно угольную шахту (ее технологическую систему) можно представить в виде слабоструктурированной иерархически увязанной системы с элементами неустойчивости и наличием неоднородной системы различных элементов, что подтверждается совершенно разными целями и функциями отдельных подсистем. Слабая структурированность и неустойчивость технологической системы шахты обусловлены неадекватными составляющими обеспечения принципа поточности технологических процессов и операций угледобычи при объективной необходимости рассмотрения и учета аспектов промышленно-экологической безопасности в условиях высокой вероятности возникновения различного рода рисков при ведении операционной деятельности.

При этом неопределенность получаемых результатов функционирования проектной технологической системы и различные составляющие инвестиционного риска в значительной мере формируются под воздействием внутренних горно-геологических параметров проектной среды,



**Рис. 1**  
Образцы уртыта, подготовленные для проведения испытаний на сдвиг по трещине

**Fig 1**  
Urtite core samples prepared for shear testing along the fracture

определяющих степень технологичности обработки запасов угольного месторождения, принятых проектных технико-технологических решений и уровня организации и управления производством.

Основное производственное правило вынесения окончательных суждений в области принятия проектных решений в рамках выполненных исследований и интеграции с интеллектуальными парадигмами при этом будет выглядеть следующим образом, рис. 1.

**Заключение**

Очень важно отметить, что формализованное описание технологической системы угольной шахты как сложной слабоструктурированной системы в современных условиях недропользования возможно только с использованием концептуальных моделей с иерархическим наполнением. Принципиальной отличительной особенностью заявленного подхода является совместное использование взаимоувязанных элементов логического и математического аппаратов теории принятия сложных решений, которые однозначно позволяют синтезировать формализованную модель функциональной структуры технологической системы угольной шахты, которая с должной степенью надежности увязывает и объединяет в единое целое управляемые пространственно-временные концепты-факторы и конечные целевые факторы-индикаторы и позволяет с учетом сопутствующих рисков недропользования построить их количественную и качественную ретроспективу, что в конечном счете позволяет сформировать достаточную степень объективности и достоверности интерпретации полученных проектных результатов.

**Список литературы / References**

1. Кретов В.А., Козлова О.Ю. Синтез организационно-технологических, организационно-технических и организационно-управленческих решений, обладающих наибольшим синергическим эффектом в рамках горноперерабатывающего предприятия. *Уголь*. 2022;(8):108–111. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-8-108-111>  
Kretov V.A., Kozlova O.Yu. Synthesis of organizational-technological, organizational-technical and organizational-management solutions that have the greatest synergistic effect within the mining enterprise. *Ugol'*. 2022;(8):108–111. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-8-108-111>
2. Шуплецов А.Ф., Латышева М.А., Скоробогатова Ю.А. Модель снятия неопределенности с использованием теории нечетких множеств как механизм выявления узких мест в промышленности. *Проблемы социально-экономического развития Сибири*. 2019;(2):89–94. Режим доступа: [https://brstu.ru/static/unit/journal\\_2/docs/number-36/89-94.pdf](https://brstu.ru/static/unit/journal_2/docs/number-36/89-94.pdf) (дата обращения: 15.12.2025).  
Shupletsov A.F., Latysheva M.A., Skorobogatova Yu.A. The model of removing uncertainty using the theory of fuzzy sets as a mechanism for identifying industry bottlenecks. *Issues of Social-Economic Development of Siberia*. 2019;(2):89–94. (In Russ.) Available at: [https://brstu.ru/static/unit/journal\\_2/docs/number-36/89-94.pdf](https://brstu.ru/static/unit/journal_2/docs/number-36/89-94.pdf) (accessed: 15.12.2025).

3. Павлыш В.Н., Перетолчина Г.Б. Математическое моделирование нестационарных процессов в среде с нечётко определёнными параметрами. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2018;(2):33–45. Режим доступа: [http://paijournal.guiaidn.ru/download\\_pai/2018\\_2/2\\_Павлыш\\_Перетолчина.pdf](http://paijournal.guiaidn.ru/download_pai/2018_2/2_Павлыш_Перетолчина.pdf) (дата обращения: 15.12.2025).  
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.) Available at: [http://paijournal.guiaidn.ru/download\\_pai/2018\\_2/2\\_Павлыш\\_Перетолчина.pdf](http://paijournal.guiaidn.ru/download_pai/2018_2/2_Павлыш_Перетолчина.pdf) (accessed: 15.12.2025).
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 нечёткой, интуиционистской, нейтрософической и плитогенной логики 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. Латышев А.В., Ромакин В.А., Хачумов В.М., Хачумов М.В. Методы и модели автоматического синтеза технологических процессов, основанного на знаниях. *Программные системы: теория и приложения*. 2016;7(3):25–43. Режим доступа: <https://www.mathnet.ru/rus/ps223> (дата обращения: 15.12.2025).  
Latyshev A.V., Romakin V.A., Khachumov V.M., Khachumov M.V. Methods and models of automatic knowledge-based synthesis of technological processes. *Program Systems: Theory and Applications*. 2016;7(3):25–43. (In Russ.) Available at: <https://www.mathnet.ru/rus/ps223> (accessed: 15.12.2025).
6. Семина Л.А., Ковалева И.В., Кудинова М.Г., Горносталь Р.Г. Система сбалансированных показателей как инструмент повышения инвестиционной привлекательности при формировании инновационных проектов. *Журнал прикладных исследований*. 2025;(10):84–89.  
Semina L.A., Kovaleva I.V., Kudinova M.G., Gornostal R.G. A system of balanced indicators as a tool for increasing investment attractiveness in the formation of innovative projects. *Journal of Applied Research*. 2025;(10):84–89. (In Russ.)
7. Тебекин А.В. Критерий принятия решения на основе матричной модели Артура Д. Литгла (ADL/LC). *Журнал исследований по управлению*. 2025;11(3):3–24. Режим доступа: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/103329/view> (дата обращения: 15.12.2025).  
Tebekin A.V. Decision making criteria based on Arthur D. Little's matrix model (ADL/LC). *Journal of Management Studies*. 2025;11(3):3–24. (In Russ.) Available at: <https://naukaru.ru/ru/nauka/article/103329/view> (accessed: 15.12.2025).
8. Ележанова Ш., Туржанов Н., Идрисов С., Дюсембина Ж. Разработка инновационного курса реинжиниринг информационных процессов. *Academic Scientific Journal of Computer Science*. 2023;(4):290–299. Режим доступа: <https://journals.nauka-nanrk.kz/physics-mathematics/article/view/5885> (дата обращения: 15.12.2025).  
Yelezhanova Sh., Turzhanov N., Idrisov S., Dyussembina Zh. Development of an innovative course reengineering of information processes. *Academic Scientific Journal of Computer Science*. 2023;(4):290–299. (In Russ.) Available at: <https://journals.nauka-nanrk.kz/physics-mathematics/article/view/5885> (accessed: 15.12.2025).
9. Белоусов К.И., Баширов Р.К., Зелянская Н.Л., Лабутин И.А., Рябинин К.В., Чумаков Р.В. Профилирование концептуальных систем на основе комплекса методов психосемантики и машинного обучения. *Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы*. 2023;(7):1–14. <https://doi.org/10.36535/0548-0027-2023-07-1>  
Belousov K.I., Bashirov R.K., Zelyanskaya N.L., Labutin I.A., Ryabinin K.V., Chumakov R.V. Profiling of conceptual systems based on a complex of methods of psychosemantics and machine learning. *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*. 2023;(7):1–14. (In Russ.) <https://doi.org/10.36535/0548-0027-2023-07-1>
10. Мирасова К.Н. Айн рэнд в глобальном мире. *Новое прошлое*. 2022;(4):160–174. <https://doi.org/10.18522/2500-3224-2022-4-160-174>  
Mirasova K.N. Ayn rand in the global world. *The New Past*. 2022;(4):160–174. (In Russ.) <https://doi.org/10.18522/2500-3224-2022-4-160-174>

#### Информация об авторах

**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)

**Агафонов Валерий Владимирович** – доктор технических наук, профессор кафедры геотехнологий освоения недр Горного института, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [agafonofvv@yandex.ru](mailto:agafonofvv@yandex.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: 29.12.2025

Поступила после рецензирования: 24.02.2026

Принята к публикации: 25.02.2026

#### Information about the authors

**Olga Yu. Kozlova** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Higher Mathematics-3, MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation; e-mail: [kozlova\\_ou@mail.ru](mailto:kozlova_ou@mail.ru)

**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: [agafonofvv@yandex.ru](mailto:agafonofvv@yandex.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: 29.12.2025

Revised: 24.02.2026

Accepted: 25.02.2026