

УДК 622.013.3 © О.Ю. Козлова¹, В.В. Агафонов², В.В. Козлов³, 2026UDC 622.013.3 © O.Yu. Kozlova¹, V.V. Agafonov², V.V. Kozlov³, 2026¹ ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»,
119454, г. Москва, Россия² НИТУ МИСИС, 119049, г. Москва, Россия³ Тучковский филиал ФГАОУ ВО «Московский политехнический
университет», 143130, п.г.т. Тучково, Россия

✉ e-mail: kozlova_ou@mail.ru

¹ MIREA – Russian Technological University,
Moscow, 119454, Russian Federation² National University of Science and Technology MISIS (NUST MISIS),
Moscow, 119049, Russian Federation³ Tuchkovsky Branch of Moscow Polytechnic University,
urban-type settlement Tuchkovo, 143130, Russian Federation

✉ e-mail: kozlova_ou@mail.ru

Многокритериальная оптимизация и моделирование технологических систем угольных шахт

Multi-criteria optimization and modeling of technological systems of coal mines

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2026-4-106-109>**КОЗЛОВА О.Ю.**Канд. техн. наук,
доцент кафедры

«Высшая математика – 3»

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский
технологический университет»,

119454, г. Москва, Россия,

e-mail: kozlova_ou@mail.ru

АГАФОНОВ В.В.

Профессор кафедры

«Геотехнологии освоения недр»

Горного института НИТУ МИСИС,

119049, г. Москва, Россия,

e-mail: agafonovvv@yandex.ru

КОЗЛОВ В.В.

Доктор техн. наук, доцент,

Тучковский филиал

ФГАОУ ВО «Московский

политехнический университет»,

143130, п.г.т. Тучково, Россия,

e-mail: kozmaster@mail.ru

Изложены общие положения, научно-методическое обеспечение и основные процедуры многокритериальной оптимизации и синтеза технологических систем угольных шахт. В статье обоснована назревшая необходимость трансформации и совершенствования существующих подходов и математических моделей в заявленной области. Разработаны методика, алгоритм и программный комплекс для методологического и научно-методического обеспечения концепции формирования и обоснования функциональных структур угольных шахт при сложившихся тенденциях и закономерностях в угольной отрасли на основе эвристического подхода к задаче комплексной оптимизации структуры технологической системы подземной угледобычи, включая систему основных пространственно-планировочных решений и взаимосвязанных элементов основных технологических подсистем. Предложена система эффективного проектирования отработки запасов угольных месторождений, которая формируется в рамках разработанных методических положений за счет использования комплексного подхода (стратегии, методы оптимизации) и инвариантной системы многокритериального выбора (многокритериальное предпочтение) при синтезе качественно новых конкурентоспособных проектных решений.

Ключевые слова: проектирование, оптимизация, моделирование, угольная шахта, технологическая система, эвристический подход, алгоритм.

Для цитирования: Козлова О.Ю., Агафонов В.В., Козлов В.В. Многокритериальная оптимизация и моделирование технологических систем угольных шахт // Уголь. 2026;(4):106-109. DOI: 10.18796/0041-5790-2026-4-106-109.

Abstract

The general provisions, scientific and methodological support, and basic procedures for multi-criteria optimization and synthesis of technological systems in coal mines are outlined. The article substantiates the urgent need to transform and improve existing approaches and mathematical models in the claimed field. A methodology, algorithm and software package have been developed for methodological and scientific-methodological support of the concept of formation and substantiation of functional structures of coal mines in the current trends and patterns in the coal industry based on a heuristic approach

to the task of complex optimization of the structure of the technological system of underground coal mining, including a system of basic spatial planning solutions and interrelated elements of the main technological subsystems. A system of effective design of mining coal deposits is proposed, which is formed within the framework of the developed methodological provisions through the use of an integrated approach (strategies, optimization methods) and an invariant system of multi-criteria choice (multi-criteria preference) in the synthesis of qualitatively new competitive design solutions.

Keywords

Design, optimization, modeling, coal mine, technological system, heuristic approach, algorithm.

For citation

Kozlova O.Yu., Agafonov V.V., Kozlov V.V. Multi-criteria optimization and modeling of technological systems of coal mines. *Ugol*. 2026;(4):106-109. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2026-4-106-109.

ВВЕДЕНИЕ

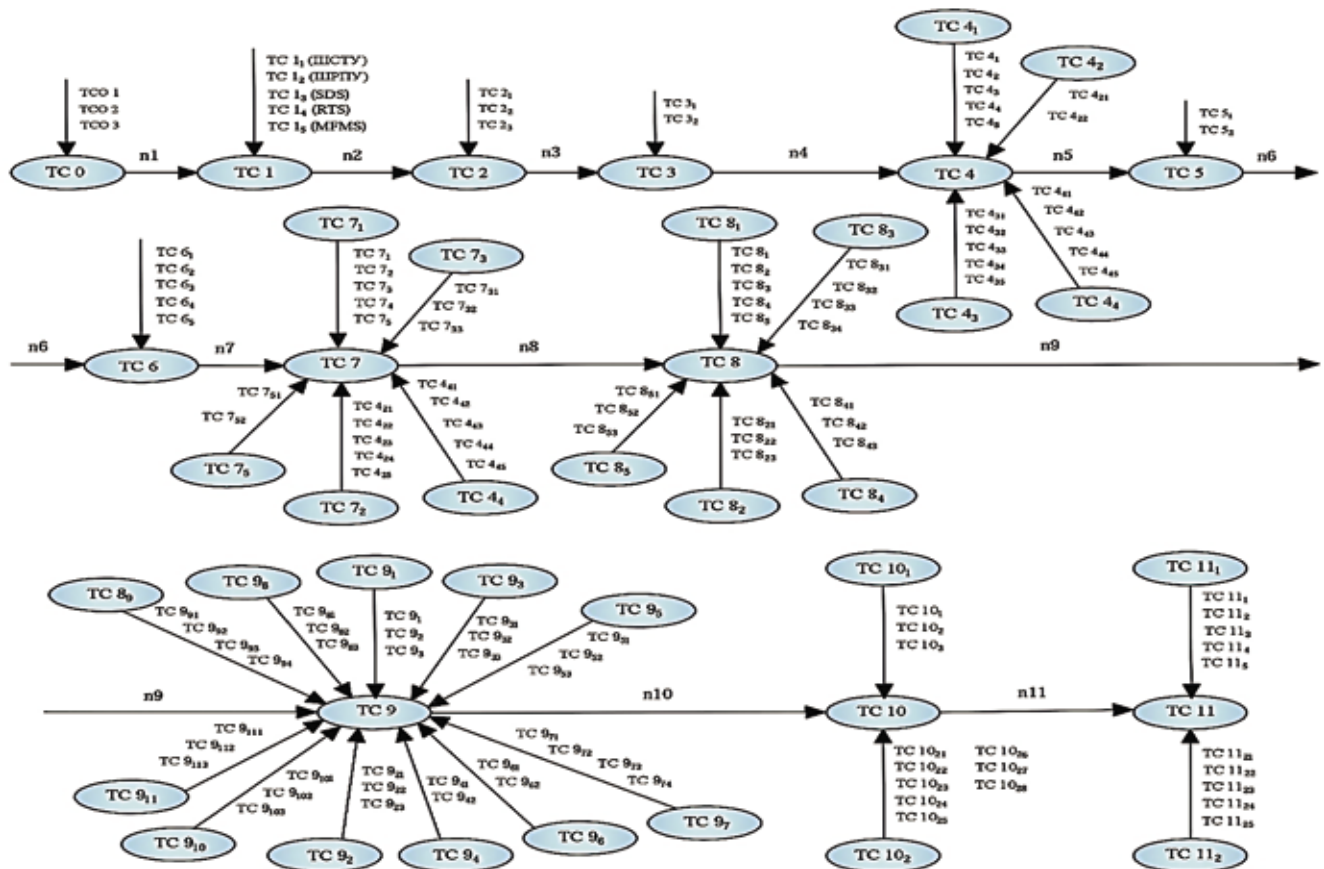
В целях обеспечения должной конкурентоспособности угледобывающих предприятий в Российской Федерации принята к использованию и успешно реализуется концепция постепенного перехода к инновационным составляющим технологий угледобычи. Одновременно отмечается, что данный процесс должен сопровождаться трансформацией технологических систем угольных шахт,

адаптированных в соответствии с заявленными целями. Естественными преобладающими предпосылками в этом случае выступают последние научные достижения в области технологий угледобычи и создания современных обслуживаемых технических средств.

Общепринятым мнением при этом являются минимизация простоев горнодобывающего оборудования, внедрение поточных технологий, соответствующая эксплуатационная устойчивость всей топологии сети горных выработок, обеспечение должного уровня промышленно-экологической безопасности и пр. Учитывая динамично-развивающиеся условия внутренней природной среды и макроэкономической обстановки на внешнем рынке, вопрос взаимоувязанного синтеза функциональных структур высокопроизводительных технологических систем угольных шахт в этих условиях начинает стремительно актуализироваться и переходить в разряд трудноформализуемых, так как во главу угла закладывается постулат устойчивого функционирования и развития на протяжении длительного времени.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Прогностический аспект поставленной задачи предопределяет рассмотрение множества возможных альтернативных вариантов функциональной структуры и формализацию определенной оптимизационной процедуры для выбора оптимального варианта. В данной работе в



Квазиупорядоченный характеристический потоковый граф обобщенной технологической системы угледобычи
 Quasi-ordered characteristic flow graph of a generalized technological system of coal mining

этих целях использовался эвристический подход с соответствующей трансформацией и дополнениями [1, 2, 3, 4, 5, 6].

В основу предлагаемого метода оптимизации закладывались следующие составляющие:

1. Формирование исходной базы данных, характеризующих технологичность и благонадежность отработки угольных запасов с соответствующими ограничениями.

2. Формирование топологии сети горных выработок различного функционального назначения.

3. Установление комплекса основных количественных и качественных характеристик и параметров угледобывающего предприятия.

4. Процедура выбора горнодобывающего оборудования, обслуживающего основные технологические процессы.

Данная процедура оптимизации потребовала формирования потокового характеристического графа технологической системы угледобычи в квазиупорядоченной форме и реализации эвристического алгоритма синтеза отдельных составляющих с использованием интегральной критериальной формы [7, 8, 9].

Предлагаемый алгоритм построен на использовании «потоковой матрицы смежности» и процедуры вариации отдельными технологическими элементами и причинно-следственными связями. Данная процедура продолжается до момента формирования оптимальных параметров функциональной структуры и горнодобывающего оборудования.

В этих целях была разработана пространственная технологическая система угледобычи с предельно возможным количеством взаимодействующих технологических элементов и предикативных связей между ними (варианты технологических структур отработки запасов, вскрытия, подготовки, систем разработки и пр.) (см. рисунок). Взаимодействие моделируемых блоков обеспечивается используемым контуром обратной связи [10].

Итоговая оценка различных сочетаний технологических систем предусматривает использование интегральных критериев технологической и экономической направленности с формированием компакт-вектора генерации лучших технологических элементов рациональной технологической системы угледобычи. В таблице представлены вышеописанные составляющие процедуры оптимизации с компакт-вектором и показателями эффективности применительно к Чертандинскому каменноугольному месторождению.

ВЫВОДЫ

На базе проведенных исследований установлено, что общий алгоритм синтеза функциональных структур угольных шахт эффективно реализуется на базе интеграции методологических эвристических подходов, иерархической структуры декомпозиции (классификационной структуры технологической системы) с учетом принципов совместимости элементов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных расчетов, реализации вариативного моделирования и эвристического подхода установлено: – разработанные методические положения для принятия, обоснования и синтеза проектных решений позволяют количественно оценивать технологическую, экономическую и совокупную эффективность проектных решений;

Сравнительная характеристика обобщенных коэффициентов эффективности альтернативных вариантов отработки запасов Чертандинского каменноугольного месторождения

Comparative characteristics of generalized efficiency coefficients of alternative options for developing reserves of the Chertandinsky coal deposit

Номер уровня и элемента	Рекомендуемый вариант
ТС0	ТС03 – 0,487
ТС1	ТС13 – 0,248 супердинамическая система
ТС2	ТС22 – 0,278
ТС3	ТС31 – 0,234
ТС4	ТС42 – 0,178
ТС42	ТС421 – 0,112
ТС43	ТС434 – 0,108
ТС44	ТС444 – 0,082
ТС5	ТС51 – 0,456
ТС6	ТС62 – 0,324
ТС7	ТС74 – 0,389
ТС72	ТС722 – 0,212
ТС73	ТС733 – 0,186
ТС74	ТС741 – 0,129
ТС75	ТС752 – 0,068
ТС8	ТС85 – 0,054
ТС82	ТС823 – 0,167
ТС83	ТС832 – 0,186
ТС84	ТС841 – 0,212
ТС85	ТС851 – 0,195
ТС9	ТС92 – 0,487
ТС92	ТС923 – 0,344
ТС93	ТС931 – 0,287
ТС94	ТС942 – 0,169
ТС95	ТС951 – 0,112
ТС96	ТС961 – 0,134
ТС97	ТС971 – 0,149
ТС98	ТС982 – 0,212
ТС99	ТС993 – 0,285
ТС910	ТС9101 – 0,189
ТС911	ТС9112 – 0,293
ТС10	ТС102 – 0,383 импортное
ТС1021	ТС1021 – 0,185 Джой
ТС1022	ТС1022 – 0,123 Джой КСП-33
ТС1024	ТС1024 – 0,098
ТС1023	ТС1023 – 0,085
ТС1025	ТС1025 – 0,075
ТС1026	ТС1026 – 0,064
ТС1027	ТС1027 – 0,000 дегазация отсутствует
ТС1028	ТС1028 – 0,056
ТС11	ТС1123 – 0,156 Многофункциональный комплексповерхности
Интегральный критерий эффективности ТС	8,191
Комплексный критерий технологической эффективности ТС	1,297
Комплексный критерий экономической эффективности ТС	1,112

– при синтезе технологических систем угольных шахт вариативность исходных данных статистически неустойчива – идеология эвристического подхода предполагает ориентирование проектных организаций на пошаговое осуществление оптимизации проектных решений, что предполагает гармонизацию целей элементов синтезированной технологической системы и расчетного синергетического эффекта [11, 12].

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. DOI: 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.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-8-108-111.
2. Волошин В.А., Безносов А.В. Цифровизация производственных процессов на примере угольных шахт // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2021. № 3(37). С. 31-36. Voloshin V.A., Beznosov A.V. Digitalization of production processes on the example of coal mines. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2021;3(37):31-36. (In Russ.).
3. Зонова Н.О., Сердюк В.С. Разработка алгоритма превентивного регулирования человеческого фактора на угледобывающих предприятиях // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2022. № 3. С. 43-53. Zonova N.O., Serdyuk V.S. Development of an algorithm for preventive regulation of the human factor at coal mining enterprises. *Bulletin of the Scientific Center for the safety of work in the coal industry*. 2022;(3):43-53. (In Russ.).
4. Куренков П.В. Симплициальные и мультиплициальные комплексы в мультимодальных транспортных системах // Интеллектуальные технологии на транспорте. 2021. № 1(25). С. 21-34. DOI: 10.24412/2413-2527-2021-125-21-34. Kurenkov P.V. Simplicial and multiplicial complexes in multimodal transport systems. *Intelligent technologies in transport*. 2021;1(25):21-34. (In Russ.).
5. Старостин А.М. Современные энвайроментальные проблемы в глобальном и локальном контексте // Наука и образование: хозяйство и экономика; предпринимательство; право и управление. 2020. № 4. С. 130-135. Starostin A.M. Modern environmental problems in a global and local context. *Science and education: economy and economics; entrepreneurship; law and management*. 2020;(4):130-135. (In Russ.). DOI: 10.24412/2413-2527-2021-125-21-34.
6. Рахимбеков С.М. Критерий адаптации горной технологии // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 3. С. 105-113. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-105-113. Rakhimbekov S.M. Criterion of adaptation of mining technology. *Mining information and analytical bulletin*. 2020;(3):105-113. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-105-113.
7. Захарова Е.Н., Иванова М.В. Когнитивное моделирование процесса обеспечения региональной конкурентоустойчивости // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2022. Т. 12. № 7-1. С. 55-64. DOI: 10.34670/AR.2022.12.29.005. Zakharova E.N., Ivanova M.V. Cognitive modeling of the process of ensuring regional competitiveness. *Economics: yesterday, today, tomorrow*. 2022;12(7-1):55-64. (In Russ.). DOI: 10.34670/AR.2022.12.29.005.
8. Петухова М.С. Когнитивное моделирование как инструмент сценарного прогнозирования отрасли растениеводства // Экономический обзор. 2020. № 1. С. 25-29. Petukhova M.S. Cognitive modeling as a tool for scenario forecasting of the crop industry. *Economic overview*. 2020;(1):25-29. (In Russ.).
9. Дышленко С.Г. Когнитивное моделирование в геоинформатике // Наука о Земле. 2020. № 1. С. 68-79. Dyshlenko S.G. Cognitive modeling in geoinformatics. *Earth Sciences*. 2020;(1):68-79. (In Russ.).
10. Фомченкова Л.В., Фомченков В.П. Применение когнитивного моделирования для обоснования выбора бизнес-модели экономической организации // Прикладная информатика. 2021. Т. 16. № 4. С. 6-20. DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-4-6-20. Fomchenkova L.V., Fomchenkov V.P. Application of cognitive modeling to justify the choice of a business model of an economic organization. *Applied Computer science*. 2021;16(4):6-20. (In Russ.). DOI: 10.37791/2687-0649-2021-16-4-6-20.
11. Массель А.Г., Пяткова Н.И. Применение методов когнитивного моделирования для анализа угроз энергетической безопасности // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 4(20). С. 24-33. DOI: 10.38028/ESI.2020.20.4.002. Massel A.G., Pyatkova N.I. Application of cognitive modeling methods for the analysis of threats to energy security. *Information and mathematical technologies in science and management*. 2020;4(20):24-33. (In Russ.). DOI: 10.38028/ESI.2020.20.4.002.
12. Васильев А.М., Черняховская Л.Р., Вульфин А.М. Моделирование процессов управления инновационной деятельностью в регионе с применением нечетких когнитивных карт // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. № 3. С. 15-25. DOI: 10.24143/2072-9502-2020-3-15-25. Vasiliev A.M., Chernyakhovskaya L.R., Vulfin A.M. Modeling of innovation management processes in the region using fuzzy cognitive maps. *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Engineering and Computer Science*. 2020;(3):15-25. (In Russ.). DOI: 10.24143/2072-9502-2020-3-15-25.

Authors Information

Kozlova O.Yu. – PhD (Engineering), Assistant Professor, Department of Higher Mathematics – 3, MIREA – Russian Technological University, Moscow, 119454, Russian Federation, e-mail: kozlova_ou@mail.ru

Agafonov V.V. – Professor at the Department of Geotechnology of Subsurface Development at the Mining Institute of the National University of Science and Technology MISIS (NUST MISIS), Moscow, 119049, Russian Federation, e-mail: agafonovvv@yandex.ru

Kozlov V.V. – Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Tuchkovsky Branch of Moscow Polytechnic University, urban-type settlement Tuchkovo, 143130, Russian Federation, e-mail: kozmaster@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 19.02.2026

Поступила после рецензирования: 16.03.2026

Принята к публикации: 30.03.2026

Paper info

Received February 19, 2026

Reviewed March 16, 2026

Accepted March 30, 2026