

Методологические аспекты проектирования горнотехнических систем с учетом многофункциональности и развития цифровых платформ

О.Ю. Козлова¹✉, В.В. Агафонов², А.С. Оганесян²

¹ МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Российская Федерация

² Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация

✉ kozlova_ou@mail.ru

Резюме: В статье актуализируются стратегические направления в области развития горнодобывающих и перерабатывающих производств, на которых предусматривается использование комплекса экологически чистых угольных технологий и инновационных цифровых технологических платформ. В горнодобывающем секторе экономики преобладающая роль инноваций остается весьма незначительной и направлена в основном на поддержание жизнеспособного и конкурентоспособного уровня операционной рентабельности. Это связано с отдельными негативными составляющими использования устаревших технологий осуществления проектной деятельности. Актуальным является вопрос развития, трансформации и адаптации методологии проектирования высокопроизводительных и высокорентабельных угледобывающих предприятий в сложившихся макроэкономических условиях. В статье рассматриваются отдельные методологические аспекты проектирования инновационных угольных производств-кластеров с полным циклом комплексного освоения угольных месторождений. Одним из актуальных аспектов теории проектирования освоения недр является разработка методик расчета производственной мощности многофункциональных шахтосистем, определения рациональной интенсивности освоения месторождения, рациональных схем и способов управления качеством основных и вспомогательных потоков добычи и переработки продукции на угольной основе, обоснования продуктивных альтернативных нетрадиционных источников повышения технико-экономической эффективности угледобывающих предприятий, которые наряду с основными угольными потоками являются основой, предназначенной для получения необходимого объема товарной продукции. Одной из основополагающих составляющих повышения технико-экономической эффективности угледобывающих производств являются цифровые технологические платформы.

Ключевые слова: горнотехническая система, угольная шахта, многофункциональная шахтосистема, цифровизация, комплексное освоение георесурсов, цифровые технологии, цифровые платформы

Для цитирования: Козлова О.Ю., Агафонов В.В., Оганесян А.С. Методологические аспекты проектирования горнотехнических систем с учетом многофункциональности и развития цифровых платформ. *Горная промышленность*. 2025;(4):97–102. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-97-102>

Methodological aspects of designing mining engineering systems with account of the versatility and development of digital platforms

O.Y. Kozlova¹✉, V.V. Agafonov², A.S. Oganessian²

¹ MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation

² National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russian Federation

✉ kozlova_ou@mail.ru

Abstract: The paper reviews strategic trends in mining and processing industries with account of the ongoing globalization processes in the world markets for end products, as well as the sanctioned components and increased technological competition. During the current period of subsurface use, these trends should ensure application of complex environmentally friendly coal technologies and innovative digital technology platforms linked to the concept of sustainable development. Despite the presence of a number of positive developments in the mining sector, the predominant role of innovations in the stated form remains very small and they are mainly aimed at maintaining a viable and competitive level of the operating margin. All of this is definitely related to certain negative aspects of using outdated technologies in the project activities. A topical issue is the development,

transformation and adaptation of the design methodology of high-performance and highly profitable coal mining operations in the current macroeconomic conditions. The article discusses certain methodological aspects of designing innovative coal production clusters with a complete cycle of integrated development of coal deposits. It is stated that one of the relevant aspects in the theory of designing subsurface development as a fundamental branch of mining sciences is the development of methods for calculating the production capacity of multifunctional mining systems, determining the rational intensity of field development, rational schemes and methods of quality management of the main and auxiliary streams of coal-based production and processing, justification of the productive alternative non-traditional sources to enhance the technical and economic efficiency of coal mining enterprises, which, along with the main coal streams, are the basis for obtaining the necessary volume of marketable products. Digital technology platforms are claimed to be one of the fundamental components of improving the technical and economic efficiency of coal mining operations.

Keywords: mining engineering system, coal mine, multifunctional mining system, digitalization, integrated development of geo-resources, digital technologies, digital platforms

For citation: Kozlova O.Y., Agafonov V.V., Oganessian A.S. Methodological aspects of designing mining engineering systems with account of the versatility and development of digital platforms. *Russian Mining Industry*. 2025;(4):97–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-4-97-102>

Введение

В современных условиях функционирования угольной отрасли, которые характеризуются активным трансфертом высокопроизводительных угледобывающих технологий и горнодобывающей техники, резко возросла роль повышения качества технологической подготовки горного производства, что напрямую связано с аспектами развития, трансформации и адаптации методологии проектирования высокопроизводительных и высокорентабельных угледобывающих предприятий. Данная постановка диктует необходимость проектирования угольных производств на основе принципа многофункциональности с привлечением экологически чистых угольных технологий [1–4].

Следует отметить, что необходимость проектирования инновационных угольных производств-кластеров и, естественно, создания методологии их проектирования диктуется как исчерпанными возможностями логистики, ограничениями финансовых инвестиций, так и возросшими требованиями в экологической и социально-экономической сферах и области промышленной безопасности.

В связи с этим актуальной задачей является создание теоретической базы проектирования многофункциональных шахтосистем с полным циклом комплексного освоения угольных месторождений. Для этого полный цикл комплексного освоения недр должен включать не только добычу и обогащение угля, но и попутное извлечение и глубокую переработку газа метана с обязательной утилизацией всех отходов производства в выработанном пространстве. В этой сфере задействуются технологии когенерации и тригенерации, термококсы и др. Это позволяет обеспечить рационализацию природопользования и получить эколого-экономический эффект.

Результаты

Установлено, что шахтосистемы с полным циклом добычи и переработки характеризуются особыми качественно-количественными параметрами, установление которых требует обоснования соответствующей функциональной структуры, ее производственной мощности, условий реализации специфических технологических процессов для достижения большего синергетического эффекта.

Так как наиболее значимым количественным параметром многофункциональной шахтосистемы является производственная мощность, то одним из актуальных аспектов задачи теории проектирования освоения недр

как основополагающего раздела горных наук является создание методик расчета производственной мощности многофункциональных шахтосистем при комплексном освоении угольных месторождений.

Далее для обеспечения соответствующей эффективности использования дополнительных нетрадиционных структурно-технологических решений, обеспечивающих вовлечение технологий когенерации, тригенерации, термококсы и др., требуется определение условий их реализации во взаимосвязи с основными процессами угольного производства. Для установления закономерностей взаимодействия технологических процессов в части их интенсивности и взаимосвязи требуется разработка математического аппарата и выполнение экономико-математического моделирования для различных типов многофункциональных шахтосистем. В рамках этого блока исследований требуется обоснование интегрального показателя интенсивности, подходящего для всех технологических процессов (способы расчета различных показателей интенсивности). В этой связи в дальнейшем должна быть обоснована оптимальная по экономическим критериям система управления интенсивностью добычи и переработки продукции на угольной основе. При этом полученные закономерности ложатся в основу методики определения рациональной интенсивности освоения месторождения, а следовательно, и производственной мощности многофункциональной шахтосистемы как по добыче, так и по переработке угля. Компенсация мощностей за счет альтернативных источников весьма важна в период сложной макроэкономической обстановки и возникновения на угледобывающих предприятиях ситуаций, связанных с неопределенностью горно-геологического и горнотехнического характера при одновременном требовании увеличения производственной мощности.

В основу методики определения рациональных условий формирования основных и вспомогательных потоков продукции на угольной основе положена классификация, позволяющая определить направления их использования на различных этапах освоения угольных месторождений. На основе проведенных исследований выявлены источники формирования и локализации основных направлений перспективного использования этих потоков, формирующихся в ходе использования различных геотехнологий для добычи и переработки продукции на угольной основе. В ходе реализации методики получены зависимости

качественно-количественных показателей основных и вспомогательных потоков продукции на угольной основе от основных влияющих факторов – сроков освоения месторождения, применяемых технологий добычи и переработки продукции на угольной основе. Данные зависимости положены в основу обоснования рациональных схем и способов управления качеством основных и вспомогательных потоков добычи и переработки продукции на угольной основе в полном цикле комплексного освоения угольных месторождений. Доказано, что при освоении угольных месторождений возможна реализация полного цикла комплексного освоения запасов угля и сопутствующих нетрадиционных источников полезных компонентов при сочетании различных геотехнологий. Обоснованы продуктивные альтернативные нетрадиционные источники повышения технико-экономической эффективности угледобывающих предприятий, которые наряду с основными угольными потоками являются основой, предназначенной для получения необходимого объема товарной продукции.

Проектирование и реализация полного цикла комплексного освоения угольных месторождений невозможны без установления закономерностей процесса закладки выработанного пространства в его взаимосвязи с процессами добычи и переработки продукции на угольной основе. В этой связи требуются специальные исследования, направленные на выявление своевременности закладки вслед за фронтом перемещения горных работ в пределах шахтного поля, исключающие возникновение диспропорций в этой сфере и временное размещение хранилищ отходов на поверхности. В этой связи не менее актуальной задачей является установление закономерностей для эффективного использования технологического подземного пространства и размещения отходов производства различного назначения, причем каждый условный объем сформированного в

недрах оперативного и стратегического технологического подземного пространства должен учитываться и эффективно использоваться в различных функциональных назначениях, а условия формирования и направления использования должны определяться на стадии проектирования разработки участка недр. В этом аспекте должны быть проведены систематизация принятых в мировой горной практике методов и подходов к использованию технологического подземного пространства и оценка фундаментальных закономерностей, которые являлись основой для их создания.

Не менее значимой составляющей повышения технико-экономической эффективности угледобывающих производств являются цифровые технологические платформы [5–8].

На рис. 1 представлена рейтинговая оценка тенденций развития мировых цифровых технологических платформ более чем в 60 странах. В ее основу заложены исследования корпорации Digital Evolution Index с использованием 170 оценочных показателей-индикаторов различной направленности. По результатам оценки все страны разделились на четыре ранжированных кластера: 1-й – лидирующий, 2-й – замедляющийся, 3-й – перспективный и 4-й – проблемный. Россия представлена третьим кластером.

В рамках этих исследований отмечается, что внедрение цифровых технологий в производственные процессы и операции открывает возможность экспоненциального роста их эффективности (рис. 2). В отчете консалтингового агентства McKinsey в области цифровизации применительно к российскому промышленному сектору указывается прирост объема ВВП на сумму от 1,3 до 4,1 трлн руб. в год.

В рамках горнодобывающей и горноперерабатывающей отраслей в современных условиях недропользования наиболее рациональным представляется формирование индустриальных цифровых платформ в областях



Рис. 1
Рейтингование стран по развитию и внедрению элементов цифровой экономики

Составлен по данным отчета Digital Evolution Index

Fig. 1
Ranking of countries in terms of the development and implementation of the digital economy elements
Compiled based on the data from the Digital Evolution Index report

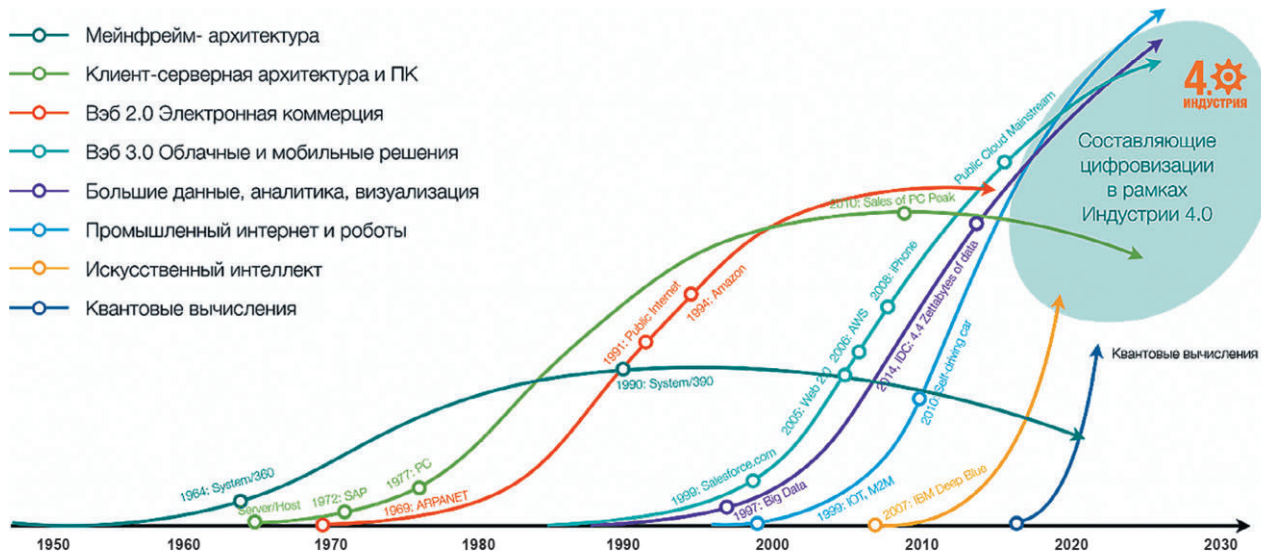


Рис. 2
Основные составляющие повышения технико-экономической эффективности производства и повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции в рамках использования цифровых платформ
Составлен по данным отчета консалтингового агентства McKinsey

Fig. 2
The main components of enhancing the technical and economic efficiency of production and increasing the competitiveness of products using digital platforms
Compiled based on the data from the McKinsey consulting agency report

транспорта-подъема, вентиляции, ведения очистных и подготовительных работ, водоотлива, дегазации, энергетики, обработки данных, телекоммуникаций и др. В их границах формируется инфраструктурный базис для реализации сопутствующих технологий угледобычи с учетом многофункциональности и развития цифровых парадигм. Основные промышленные цифровые платформы, которые могут быть задействованы в настоящее время в рамках стейкхолдерского подхода цифровой экосистемы с API

(Application Program ming Interface) применительно к цифровому угледобывающему предприятию, представлены на рис. 3. Цифровые технологии в рамках организационных преобразований данной концептуальной постановки представлены на рис. 4. Основные элементы информационного обеспечения заявленной проектной стратегии представлены на рис. 5.

Основными критериями эффективности многофункциональных шахтосистем с полным циклом являются



Рис. 3
Индустриальные цифровые платформы

Fig. 3
Industrial digital platforms



Рис. 4
Необходимые цифровые технологии в рамках цифрового угледобывающего предприятия

Fig.4
Digital technologies required within the framework of a digital coal mining enterprise



Рис. 5
Укрупненное информационное обеспечение цифровых платформ

Fig. 5
Integrated information support for digital platforms

ся комплексность использования георесурсов, экономические результаты и безопасность. Для развития теоретической базы проектирования многофункциональных шахтосистем на основе полного цикла необходимо решение таких задач, как:

- прогноз и обоснование на стадии проектирования возможностей комплексного освоения различных видов георесурсов на осваиваемом участке недр;
- определение видов применяемых геотехнологий и их сочетаний в конкретный период эксплуатации и функционирования многофункциональной шахтосистемы;
- управление объемами и качеством основных и вспомогательных потоков на угольной основе, формирующихся на различных участках угольного производства;
- обеспечение в заданный период времени необходимого объема товарной продукции, получаемой в основном и вспомогательном производстве угольной продукции;
- обеспечение замкнутого цикла производства путем

обязательной утилизации отходов производства в выработанном пространстве;

- оптимизация проектных решений, дающих максимальные технико-экономический, эколого-экономический и социальный эффекты.

Закключение

Таким образом, развитие теоретической базы проектирования горнотехнических систем с учетом многофункциональности и развития цифровых платформ должно отвечать современным научным и технологическим тенденциям. Проведение фундаментальных и прикладных исследований по актуальным направлениям позволит обеспечить улучшение состояния окружающей среды, снизить риск техногенных катастроф, расширить экономически доступную природно-ресурсную базу, внедрить в практику бережное использование минерального сырья и рационализацию природопользования.

Список литературы / References

1. Якунчиков Е.Н., Агафонов В.В. Оптимизация функциональных структур угольных кластеров (многофункциональных шахтосистем). *Уголь*. 2018;(9):64–69. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-9-64-69>
Iakunchikov E.N., Agafonov V.V. Optimization of coal clusters functional structures (multifunctional mine systems). *Ugol'*. 2018;(9):64–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2018-9-64-69>

2. Малкин А.С., Агафонов В.В. Предпосылки создания методологии концептуального проектирования многофункциональных шахтосистем. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013;(6):32–37.
Malkin A.S., Agafonov V.V. Background of the conceptual design methodology for multi-function mine systems. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2013;(6):32–37. (In Russ.)
3. Харитонов В.Г., Ремезов А.В., Новоселов С.В. Предпосылки генезиса инновационных проектов горнотехнических систем типа: SDS, RTS, MFMS. *Уголь*. 2011;(10):48–52.
Kharitonov V.G., Remezov A.V., Novoselov S.V. Prerequisites for the genesis of innovative projects of mining engineering systems such as: SDS, RTS, MFMS. *Ugol'*. 2011;(10):48–52. (In Russ.)
4. Харитонов В.Г., Ремезов А.В., Новоселов С.В. Обоснование основных параметров функционирования шахтосистем типа: SDS, RTS, MFMS на различных этапах жизненного цикла развития отрасли. *Уголь*. 2011;(7):41–42.
Kharitonov V.G., Remezov A.V., Novoselov S.V. Substantiation of the main parameters of the functioning of mining systems such as SDS, RTS, MFMS at various stages of the life cycle of the industry. *Ugol'*. 2011;(7):41–42. (In Russ.)
5. Плаkitкин Ю.А., Плаkitкина Л.С. Цифровизация экономики угольной промышленности России – от «Индустрии 4.0» до «Общества 5.0». *Горная промышленность*. 2018;(4):22–30.
Plakitkin Yu.A., Plakitkina L.S. Digitization of the Russian coal sector economy – from Industry 4.0 to Society 5.0. *Russian Mining Industry*. 2018;(4):22–30. (In Russ.)
6. Жданев О.В., Власова И.М. Вызовы и приоритеты цифровой трансформации угольной отрасли. *Уголь*. 2023;(1):62–69. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-1-62-69>
Zhdanov O.V., Vlasova I.M. Digital transformation of the coal industry. *Ugol'*. 2023;(1):62–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-1-62-69>
7. Ксенофонов А.А., Иванов М.А. Повышение конкурентных преимуществ предприятий угледобывающей отрасли в условиях цифровизации экономики. *Инновации и инвестиции*. 2019;(6):328–334.
Ksenofontov A.A., Ivanov M.A. Increasing competitive advantages of coal mining enterprises in the context of the economy digitalization. *Innovation & Investment*. 2019;(6):328–334. (In Russ.)
8. Власюк Л.И., Сиземов Д.Н., Дмитриева О.В. Стратегические приоритеты цифровой трансформации угольной отрасли Кузбасса. *Экономика промышленности*. 2020;13(3):328–338. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2020-3-328-338>
Vlasyuk L.I., Sizemov D.N., Dmitrieva O.V. Strategic priorities of digital transformation of coal industry of Kuzbass. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2020;13(3):328–338. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2020-3-328-338>

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

Агафонов Валерий Владимирович – доктор технических наук, профессор кафедры геотехнологии освоения недр горного института, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: agafonovvv@yandex.ru

Оганесян Армине Сейрановна – доктор технических наук, профессор, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: oganesyan.as@isis.ru

Information about the authors

Olga Yu. Kozlova – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Higher Mathematics – 3, a MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation; e-mail: 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: agafonovvv@yandex.ru

Armine S. Oganessian – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Mining Institute, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; e-mail: oganesyan.as@isis.ru

Article info

Received: 13.05.2025

Revised: 10.06.2025

Accepted: 16.06.2025

Информация о статье

Поступила в редакцию: 13.05.2025

Поступила после рецензирования: 10.06.2025

Принята к публикации: 16.06.2025