Оригинальная статья / Original Paper

https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-6-58-62

Обоснование проектных решений в области диверсификации основной деятельности угольных шахт

В.В. Агафонов[1], О.Ю. Козлова[2] ✉
[1] *Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация*
[2] *МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Российская Федерация*
✉ kozlova_ou@mail.ru

Резюме: В статье актуализируется назревшая необходимость трансформации и диверсификации основной деятельности угольных шахт с вовлечением в их функциональную структуру когенерационных и тригенерационных технологических платформ с ресурсным обеспечением такой составляющей, как сопутствующий осуществляемым технологическим процессам угледобычи газ метан. Внедрение подобных технологий в производственно-хозяйственный цикл угледобывающих предприятий позволяет создать дополнительные цепочки добавленной стоимости в технолого-экономической модели повышения уровня их технико-экономической эффективности. Предлагается блок научно-методического и соответствующего алгоритмического обеспечения разработанных концептуальных составляющих, в основу которых заложено использование оптимизационных геолого-гидродинамических модельных представлений программных комплексов Shlumberge Petrel, Tempest Roxar и Micromine, который реализует процедуру подсчета объема используемых метановых ресурсов, обоснования отдельных составляющих технологических платформ гидрорасчленения с выбором технологических модификаций и конструктивных решений метанодобычных скважин. Используемые конфигураторы программного обеспечения заявляются в режиме использования изотермы сорбции Лэнгмюра с построением ряда присущих им гридов с динамическим насыщением.

Ключевые слова: угольная шахта, диверсификация, метановые ресурсы, когенерация, тригенерация, цепочка добавленной стоимости, теплоэнергетические платформы

Для цитирования: Агафонов В.В., Козлова О.Ю. Обоснование проектных решений в области диверсификации основной деятельности угольных шахт. *Горная промышленность.* 2025;(6):58–62. https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-6-58-62

Justification of design solutions as applicable to diversification of the main activities of coal mines

V.V. Agafonov[1], O.Y. Kozlova[2] ✉
[1] *National University of Science and Technology "MISIS", Moscow, Russian Federation*
[2] *MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation*
✉ kozlova_ou@mail.ru

Abstract: The article highlights the urgent need for transformation and diversification of the main activities of coal mines, involving introduction of cogeneration and trigeneration technological platforms into their functional structure, with the provision of resources such as methane gas, which is an integral part of the coal mining process. Implementation of such technologies in the production and economic cycle of coal mining companies allows creation of additional value chains in the technological and economic model of improving their technical and economic efficiency. A block of scientific and methodological as well as corresponding algorithmic support is proposed for the developed conceptual components, which is based on the use of optimization geological and hydrodynamic model representations of the Shlumberge Petrel, Tempest Roxar, and Micromine software suites, which implements a procedure for calculating the volume of methane resources used, justifying the individual components of hydro-dissection technological platforms, and selecting technological modifications and design solutions for methane extraction wells. The applied software configuration tools are based on the Langmuir sorption isotherm, which allows for the construction of a series of grids with dynamic saturation.

Keywords: coal mine, diversification, methane resources, cogeneration, trigeneration, value chain, thermal energy platforms

For citation: Agafonov V.V., Kozlova O.Y. Justification of design solutions as applicable to diversification of the main activities of coal mines. *Russian Mining Industry.* 2025;(6):58–62. (In Russ.) https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-6-58-62

Введение

Основные негативные составляющие и последствия глобализации мировых рынков энергоносителей и высокий уровень волатильности цен предопределяют необходимость поиска нетрадиционных технико-технологических решений в области переориентирования функционирования угледобывающих предприятий, направленных на изыскание составляющих диверсификации их основной деятельности.

Данная процедура реализуется на базе использования технологических платформ, которые в своей основе имеют возможности реализации составляющих с созданием цепочки добавленной стоимости и обязательной направленности на улучшение уровня промышленно-экологической безопасности, что имеет стратегическое значение в рамках реализации «Энергетической стратегии развития РФ до 2035 года» с учетом рационализации и упорядочения природопользования.

Учитывая стремительное развитие теплоэнергетических технологий на базе использования когенерационных технологических платформ и тот факт, что около 85% угольных месторождений РФ имеют одну отличительную особенность присутствия в угольной массе сопутствующего газа метана в пропорциях промышленного вовлечения в процесс утилизации и переработки, это является инвестиционно привлекательной предпосылкой для реализации проектов в данной сфере [1–4].

Результаты

В связи с вышеизложенным особую значимость приобретает научно обоснованный выбор мероприятий по диверсификации технологии подземной угледобычи с учетом составляющей сопутствующего газа метана, которые адаптируются под конкретные условия месторождения, и далее окончательный выбор технологической платформы производится путем сравнения экономических показателей приемлемых систем.

По итогам исследований основными первоначальными составляющими научно-методического и алгоритмического обеспечения выбора мероприятий по диверсификации технологии подземной угледобычи заявлены геолого-гидродинамические модели, входящие в программное наполнение вычислительных комплексов Tempest Roxar, Shlumberge Petrel, для кластеризации угленосной площади месторождения метаноугольного типа на подзоны подсчета метановых ресурсов, выбора технологической платформы гидрорасчленения угольного массива с учетом конструктивных особенностей и моделей метанодобычных скважин, участвующих в оптимизационных процедурах, и выбора рациональных технических средств, обслуживающих когенерационные теплоэнергетические платформы.

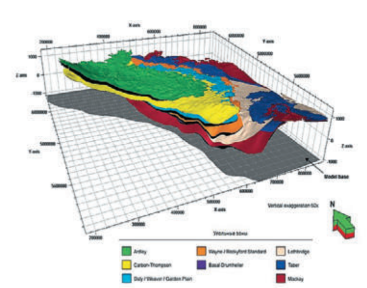
В качестве объекта проведения исследований и проектирования теплоэнергетической платформы выбрано Элегестское метаноугольное месторождение.

Сравнение уровней концентрации метановых ресурсов с учетом эксплуатационных дебитов метана позволило выделить первоначальный эксплуатационный блок для утилизации метана.

Как указывалось выше, первая итерация алгоритмического обеспечения предусматривает кластеризацию подсчетных блоков по объемам метановых ресурсов. В этих целях задействовалась соответствующая утилита программного обеспечения Shlumberger Petrel [5] (рис. 1). Предлагаемая утилита предусматривала комплексный учёт формы, характера залегания и структурной сложности угольных пластов.

ЭЛЕГЕСТСКОЕ МЕТАНОУГОЛЬНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

MISIS UNIVERSITY



Угольные подзоны	Объем угля (млрд м3)	Объем метана (млрд м3)
1	6	31
2	44	222
3	32	165
4	22	110
5	25	115
6	28	152
7	14	87
8	9	54
Всего	180	936

Рис. 1
Кластеризация угленосной площади месторождения метаноугольного типа на подзоны подсчета угольных и метановых ресурсов

Fig. 1
Clustering of the coal-bearing area of a methane coal deposit into subzones to calculate the coal and methane resources

Сопоставительный ситуационный анализ и сравнение технологических платформ извлечения метановых ресурсов показали предпочтительность использования в условиях Элегестского месторождения технологии гидроразрыва угольного массива.

Далее в рамках и границах эксплуатационных секторов устанавливалась его газопроницаемость, которая закладывалась в алгоритм проведения базовых расчетов прогнозных метановых дебитов с использованием OLAP- моделирования [6].

Конструктивные особенности и модели метанодобычных скважин, участвующие в оптимизационных процедурах, отображены на рис. 2.

Стратиграфические данные, объединенные в единую

Рис. 2
Конструктивные особенности и модели метанодобычных скважин, участвующие в оптимизационных процедурах

Fig. 2
Design features and models of methane extraction wells involved in the optimization procedures

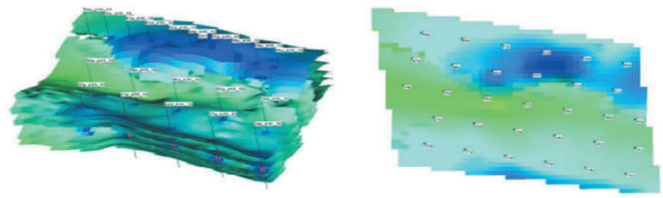


Рис. 3
Построение изотермы сорбции Лэнгмюра с визуальной интерпретацией в виде соответствующих гридов с учетом их временного насыщения

Fig. 3
Construction of the Langmuir sorption isotherm with visual interpretation as respective grids with account of their temporal saturation

ХАРАКТЕРИСТИКИ СКВАЖИН

	Petrel Вертикальная скважина	Micromine Вертикальная скважина	Petrel Наклонно-направленая скважина	Micromine Наклонно-направленая скважина	Petrel Горизонтальная скважина	Micromine Горизонтальная скважина
Диаметр, мм	178	178	178	178	178	178
Длина скважины, м	781,5	792,0	1032,5	1039,2	1524,4	1531,2
Длина продуктивной зоны, м	132,3	132,5	153,9	154,1	702,1	704,3
Средняя депрессия, МПа	4,32	4,51	4,52	4,64	4,23	4,37
Начальный дебит, м3/сут	45,2	47,1	51,2	53,7	90,5	92,1
Добыто за 10 лет, тыс. м3	55,87	56,32	62,42	63,21	87,28	92,41

Рис. 4
Численное сравнение конечных результатов реализации программных пакетов Shlumberger Petrel и Micromine

Fig. 4
A numerical comparison of the final results of implementing the Shlumberger Petrel and Micromine software suites

сеть с литологической моделью шахтного поля, были обработаны с использованием программных блоков РИГИС, утилитные составляющие которых позволили идентифицировать коллекторские свойства пластов с численными значениями проницаемости ($К_{пр}$) и пористости (Кп) (PERM Y, PERM X, NTG (net-to-gross)).

Заданный конфигуратор программного обеспечения Tempest (Roxar) и Shlumberger Petrel предусматривал построение изотермы сорбции Лэнгмюра [7] с визуальной интерпретацией в виде соответствующих гридов с учетом их временного насыщения (рис. 3).

Соответствующие точность и надежность процесса моделирования обеспечивались путем сравнения конечных результатов реализации программных пакетов Shlumberger Petrel и Micromine, рис. 4.

Результаты численного моделирования с использованием программных пакетов Micromine, Tempest (Roxar) и Shlumberger Petrel напрямую предопределяют приоритет использования при реализации технологий гидрорасчленения угольного массива горизонтальных скважин. Проведённый анализ показывает, что выбор в пользу этого не был случайным, а представлял собой результат многокритериального отбора и исключения других вариантов, не соответствующих условиям месторождения.

Результаты моделирования динамического распределения дебитов метана с учетом этапов их освоения, графически представленных на рис. 5, показывают, что их значения могут формировать довольно устойчивую эксплуатационную надежность использования в когенерационных технологиях газопоршневых двигателей с циклом работы Стирлинга [8], что подтверждается соответствующей концентрацией метановоздушной смеси ≥ 40% и стабильным выходом ≥ 45м³/мин.

Заключение

В современных условиях недропользования особое значение приобретает научное обоснование выбора эффективной технолого-экономической модели поддержания приемлемого уровня общей рентабельности горнодобывающих предприятий по добыче угля, обеспечивающей

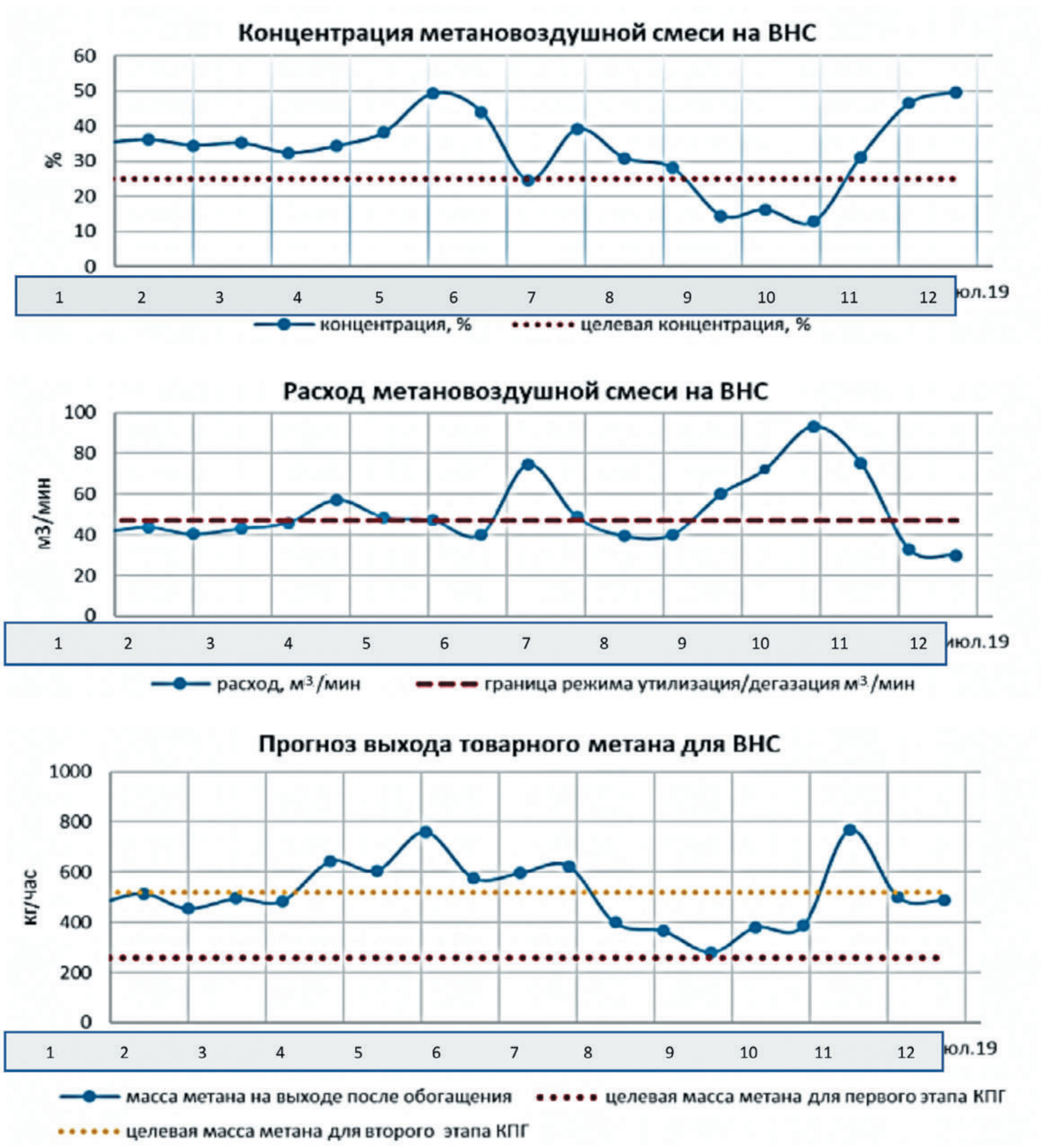


Рис. 5
Результаты моделирования динамического распределения дебитов метана с учетом этапов их освоения

Fig. 5
Results of modeling the dynamic distribution of methane rates with account of their development stages

минимизацию техногенного воздействия на окружающую среду, а также повышенного требования к промышленной и экологической безопасности, что приводит к необходимости рассмотрения и введения в их функциональную структуру элементов диверсификации их основной производственно-хозяйственной деятельности. Специфика разработки метаноугольных месторождений при этом предопределяет поэтапное изменение технологических процессов, предусматривающих привлечение в этих целях теплоэнергетических платформ когенерационного типа, которые формируют и обеспечивают получение цепочки добавленной стоимости и основаны на утилизации метана, который вносит значительный вклад в создание «парникового эффекта».

В представленной научной статье акцент сделан на использовании комплексного подхода, основными составляющими которого являются оптимизационные гидродинамические модели с программными пакетами Tempest Roxar, Shlumberge Petrel с дополненными элементными составляющими построения изотермы сорбции Лэнгмюра с визуальной интерпретацией в виде соответствующих гридов с учетом их временного насыщения и учета динамических трендов распределения дебитов метана, основанных на принципах системности, комплексности и инновационной направленности.

В основу организационно-управленческого механизма при этом должны быть заложены технические решения с использованием в когенерационных технологиях газопоршневых двигателей с циклом работы Стирлинга с соответствующими концентрациями метановоздушной смеси и стабильным выходом, что, в конечном итоге, позволяет сформировать должный уровень экономического синергетического эффекта.

Список литературы / References

1. Чжан Л., Пономаренко Т.В., Сидоров Д.В. Оценка чистых угольных технологий с применением технологии улавливания, утилизации и хранения углерода в угольной промышленности Китая. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2024;(2):105–128. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_2_0_105
Zhang L., Ponomarenko T.V., Sidorov D.V. Clean coal technologies with carbon capture, utilization and storage in China's coal industry. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2024;(2):105–128. (In Russ.). https://doi.org/10.25018/0236_1493_2024_2_0_105
2. Гоосен Е.В., Никитенко С.М., Каган Е.С., Рада А.О., Никитина О.И. Трансформация производственных цепочек в угольной отрасли: организационно-технологические аспекты. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(3):163–179. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_3_0_163
Goosen E.V., Nikitenko S.M., Kagan E.S., Rada A.O., Nikitina O.I. Production chain transformation in the coal industry: engineering and organization. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(3):163–179. (In Russ.). https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_3_0_163
3. Саббаган А., Фролов В.Я., Кожубаев Ю.Н., Милицын А.А., Ершов Р.В. Методы утилизации шахтных газов для производства электроэнергии и тепла. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2025;(2):97–109.
Sabbagan A., Frolov V.Ya., Kozhubaev Yu.N., Militsyn A.A., Ershov R.V. Methods of utilizing mine gases for producing electricity and heat. *Izvestiya Tulskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Tekhnicheskie Nauki*. 2025;(2):97–109. (In Russ.).
4. Непша Ф.С., Воронин В.А., Ливен А.С., Корнеев А.С. Оценка целесообразности применения когенерационных установок на угольных шахтах Кузбасса. *Записки Горного института*. 2023;259:141–150. https://doi.org/10.31897/PMI.2023.2
Nepsha F.S., Voronin V.A., Liven A.S., Korneev A.S. Feasibility study of using cogeneration plants at Kuzbass coal mines. *Journal of Mining Institute*. 2023;259:141–150. https://doi.org/10.31897/PMI.2023.2
5. Khashman M.A., Shirazi H. *3D Geological Modeling with Petrel Software: Estimating Original Oil in Place of Lower Cretaceous Y-Formation: A Case Study in a Selected Oilfield*. 25 September 2023, PREPRINT (Version 1). https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3345863/v1
6. Носов А.П., Ахрем А.А., Рахманкулов В.З. Анализ эффективности декомпозиции OLAP-гиперкубов данных для методов экспоненциальной вычислительной сложности. *Математика и математическое моделирование*. 2021;(3):29–45.
Nosov A.P., Akhrem A.A., Rakhmankulov V.Z. Efficiency analysis of OLAP-data hypercube decomposition for exponential computational complexity methods. *Mathematics and Mathematical Modelling*. 2021;(3):29–45. (In Russ.).
7. Бутырская Е.В. Графический способ определения параметров однослойной кластерной адсорбции. *Успехи в химии и химической технологии*. 2024;38(3):22–24.
Butyrskaya E.V. Graphical method for determining parameters of monolayer cluster adsorption. *Uspekhi v Khimii i Khimicheskoy Tekhnologii*. 2024;38(3):22–24. (In Russ.).
8. Оганесян А.С., Агафонов В.В., Маскаев К.В., Бычков А.С., Алимов В.А. Сравнительный анализ разных типов технических средств для реализации когенерационных технологий в угольном производстве. *Уголь*. 2023;(5):96–98. https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-5-96-98
Oganesyan A.S., Agafonov V.V., Maskaev K.V., Bychkov A.S., Alimov V.A. Comparative analysis of different types of technical means for the implementation of cogeneration technologies in coal production. *Ugol'*. 2023;(5):96–98. (In Russ.). https://doi.org/10.18796/0041-5790-2023-5-96-98

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

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: agafonofvv@yandex.ru
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

Информация о статье
Поступила в редакцию: 09.09.2025
Поступила после рецензирования: 27.10.2025
Принята к публикации: 14.11.2025

Article info
Received: 09.09.2025
Revised: 27.10.2025
Accepted: 14.11.2025