Оригинальная статья

УДК 622.279.5:662.74:504.064 © Н.В. Сергеева✉[1], А.Н. Боротов[2], Б.Ф. Каршиева[3], У.Ч. Джураева[3], И.А. Панфилов[4,5,6], О.А. Антамошкин[5,6], 2025

[1] ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Москва, Россия
[2] Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», 100000, г. Ташкент, Узбекистан
[3] Термезский государственный университет, 190100, г. Термез, Узбекистан
[4] ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», 105005, г. Москва, Россия
[5] ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», 660041, г. Красноярск, Россия
[6] Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, 660037, г. Красноярск, Россия
✉ e-mail: sergeewanv78@mail.ru

Original Paper

UDC 622.279.5:662.74:504.064 © N.V. Sergeyeva✉[1], A.N. Borotov[2], B.F. Karshieva[3], U.Ch. Djurayeva[3], I.A. Panfilov[4,5,6], O.A. Antamoshkin[5,6], 2025

[1] Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, 127550, Russian Federation
[2] "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" National Research University, Tashkent, 100000, Uzbekistan
[3] Termez state university, Termez, 190100, Uzbekistan
[4] Bauman Moscow State Technical University, Э oscow, 105005, Russian Federation
[5] Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
[6] Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
✉ e-mail: sergeewanv78@mail.ru

Стратегическое освоение угольных месторождений посредством подземной газификации угля

Strategic development of coal deposits through underground coal gasification

DOI: http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2025-6-119-123

В статье рассматривается перспективность подработки газоносных угольных пластов методом подземной газификации угля (ПГУ) как эффективного подхода к комплексному освоению угольных месторождений. Авторы подчеркивают, что энергетическая безопасность и доступность ресурсов диктуют необходимость поиска новых и экологически приемлемых способов добычи энергии. Традиционные методы разработки сопряжены с рисками и негативным воздействием на окружающую среду. ПГУ, предлагающая преобразование угля в газ непосредственно в недрах, может стать альтернативой. Предложенная технология подразумевает управляемое перемещение точки подачи дутья для равномерного выгазовывания пластов, что обеспечивает более полное извлечение энергии. В зоне влияния горных работ газопроницаемость угольного пласта существенно возрастает, что является ключевым фактором для эффективной дегазации. Исследования показали, что зона трещин при ПГУ меньше, чем при шахтной разработке, что позволяет эффективно дегазировать пласты и безопасно отрабатывать их шахтным способом. Важным аспектом является утилизация тепловой энергии, выделяющейся при газификации, что позволяет использовать нагретые подземные воды для теплового воздействия на пласты и увеличения метаноотдачи. Результаты работы подтверждают перспективность метода ПГУ для комплексного освоения угольных месторождений.

СЕРГЕЕВА Н.В.
Канд. экон. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, Россия, e-mail: sergeewanv78@mail.ru

БОРОТОВ А.Н.
PhD, доцент, Национальный исследовательский университет «Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства», 100000, г. Ташкент, Узбекистан, e-mail: atxamborotov@mail.ru

КАРШИЕВА Б.Ф.
Канд. пед. наук, доцент, Термезский государственный университет, 190100, г. Термез, Узбекистан, e-mail: bkarshieva@mail.ru

ДЖУРАЕВА У.Ч.
Канд. истор. наук, доцент, Термезский государственный университет,
190100, г. Термез, Узбекистан,
e-mail: ulmasdjurayeva23@gmail.ru

ПАНФИЛОВ И.А.
Канд. техн. наук, доцент,
ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
105005, г. Москва, Россия,
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
660041, г. Красноярск, Россия,
Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф Решетнева,
660037, г. Красноярск, Россия,
e-mail: crook_80@mail.ru

АНТАМОШКИН О.А.
Доктор техн. наук, доцент, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»,
660041, г. Красноярск, Россия,
Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева,
660037, г. Красноярск, Россия,
e-mail: oleslav@mail.ru

Ключевые слова: *подземная газификация угля, угольные месторождения, энергетическая безопасность, газопроницаемость, дегазация, утилизация тепловой энергии, комплексное освоение, управляемое перемещение.*
Для цитирования: Стратегическое освоение угольных месторождений посредством подземной газификации угля / Н.В. Сергеева, А.Н. Боротов, Б.Ф. Каршиева и др. // Уголь. 2025;(6):119-123. DOI: 10.18796/0041-5790-2025-6-119-123.

Abstract
The article discusses the prospects of mining of gas-bearing coal seams by the method of underground coal gasification (UCG) as an effective approach to the integrated development of coal deposits. The authors emphasise that energy security and availability of resources dictate the need to search for new and environmentally acceptable methods of energy extraction. Traditional methods of development are associated with risks and negative environmental impact. UCG, which offers the conversion of coal into gas directly in the subsurface, could be an alternative. The proposed technology involves controlled movement of the blast point for uniform gasification of the seams, which ensures more complete energy recovery. In the zone of mining influence, the gas permeability of the coal seam increases significantly, which is a key factor for effective degassing. Studies have shown that the fracture zone at UCG is smaller than at shaft mining, which allows effective degasification of seams and safe mining. An important aspect is the utilisation of thermal energy released during gasification, which makes it possible to use heated groundwater for thermal effect on formations and increase methane production. The results of the work confirm the prospectivity of the UCG method for integrated development of coal deposits.
Keywords
Underground coal gasification, coal deposits, energy security, gas permeability, degasification, thermal energy utilisation, integrated development, controlled displacement.
For citation
Sergeyeva N.V., Borotov A.N., Karshieva B.F., Djurayeva U.Ch., Panfilov I.A., Antamoshkin O.A. Strategic development of coal deposits through underground coal gasification. *Ugol'*. 2025;(6):119-123. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2025-6-119-123.

ВВЕДЕНИЕ

Энергетическая безопасность и доступность ресурсов являются одними из ключевых вызовов, стоящих перед мировым сообществом. Поиск новых, эффективных и экологически приемлемых способов добычи и использования энергии становится все более актуальным [1, 2, 3]. Одним из перспективных направлений является освоение газоносных угольных месторождений с комплексным использованием недр [4]. Существующие методы разработки угольных месторождений, включая традиционную шахтную добычу, часто сопряжены с высокими рисками, значительными экономическими затратами и негативным воздействием на окружающую среду. Альтернативные способы, такие как разработка скважинами, гидроразрыв пласта, имеют свои ограничения, связанные с низкой газопроницаемостью угольных пластов, неравномерностью воздействия и экологическими последствиями [5, 6, 7, 8].

Подземная газификация угля (ПГУ) представляется одним из многообещающих подходов к решению проблемы эффективного освоения газоносных угольных месторождений. Этот метод предполагает преобразование угля в горючий газ непосредственно в недрах, что позволяет избежать дорогостоящей и опасной шахтной добычи. Однако

традиционная технология ПГУ имеет ряд недостатков, в частности неравномерное выгазовывание угольных пластов. Для решения этой проблемы предлагается подработка нерабочих пластов методом ПГУ [9, 10, 11, 12, 13]. Данный подход позволяет комплексно использовать недра, включая добычу угля и метана, а также эффективную отработку нерабочих и опасных пластов, применение инновационных технических решений, таких как управляемое перемещение разработки.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В зоне влияния горных работ газопроницаемость угольного пласта возрастает в десятки, сотни и даже тысячи раз [14, 15]. Например, если проницаемость нетронутого угольного пласта обычно колеблется в пределах от сотых долей миллидарси до единиц миллидарси, то в зоне влияния горных работ она может достигать единиц дарси. Это существенное увеличение проницаемости, достигаемое за счет раскрытия кливажных и тектонических трещин под влиянием горного давления, является ключевым фактором, определяющим эффективность дегазации угольного пласта [16]. Стоит отметить, что традиционные методы увеличения проницаемости пласта, такие как увеличение сечений выработок или интенсификация дренажа метана, часто оказываются недостаточно эффективными или экономически нецелесообразными. Одним из ключевых элементов предложенной технологии ПГУ является управляемое перемещение точки подачи дутья в огневой забой по мере выгазовывания угольного пласта. Экспериментально подтверждено, что применение этого подхода позволяет производить выемку маломощного угольного пласта методом ПГУ на воздушном дутье равномерно по площади и на всю мощность, обеспечивая более полное извлечение энергии из угольного массива. Этот результат особенно важен для отработки тонких и труднодоступных пластов, экономическая целесообразность разработки которых традиционными методами ограничена (*рис. 1*).

Исследования деформации породной толщи при ПГУ показали, что зона сквозных трещин при выемке пласта методом ПГУ в 2-3 раза меньше, чем при шахтных разработках. Это объясняется уменьшением кривизны при изгибе слоев толщи над выгазованным пространством за счет опережения выгазовывания пласта у кровли относительно почвы (послойная выемка). Кроме того, на крутых пластах самозакладка нижней части выгазованного пространства также способствует уменьшению зоны трещиноватости. Данный факт позволяет выбирать защитный пласт таким образом, чтобы подрабатываемый пласт находился в зоне плавного прогиба пород, что обеспечивает его полную дегазацию и дальнейшую эффективную выемку шахтным способом.

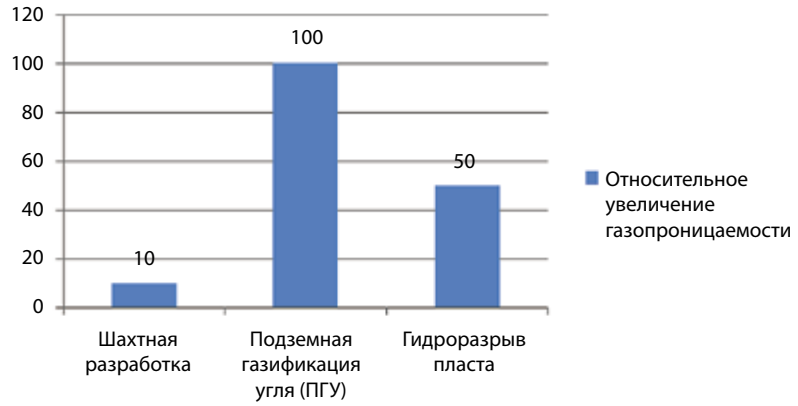

Рис. 1. Сравнительные характеристики дегазации угольных пластов при различных методах разработки

Fig. 1. Comparative characteristics of coal seam degassing under different mining methods

Таким образом, технология ПГУ не только обеспечивает эффективную дегазацию угольных пластов, но и создает благоприятные условия для их последующей отработки шахтным способом, снижая риски и затраты на добычу. Дополнительным преимуществом предлагаемого подхода является возможность утилизации тепловой энергии, выделяющейся в процессе газификации. Для работы газоотводящей скважины-утилизатора в режиме получения горячей воды и перегретого пара необходимо определить оптимальные параметры работы (*рис. 2*).

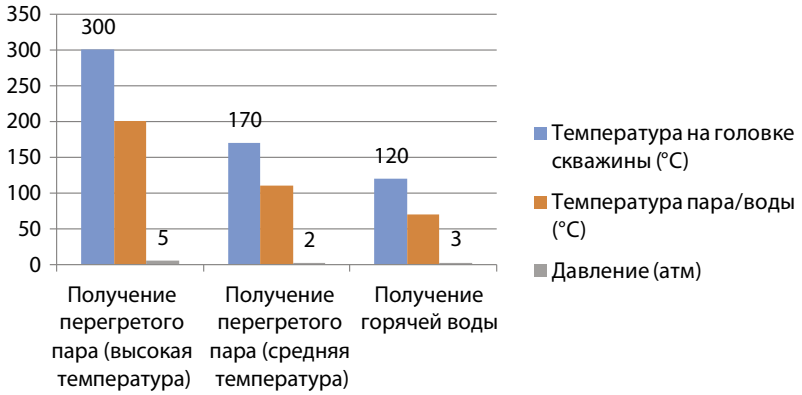

Рис. 2. Параметры работы газоотводящей скважины-утилизатора

Fig. 2. Operating parameters of a gas-removal and utilization borehole

Так, при температуре на головке скважины порядка 300°C получалось 0,45 т/ч пара с температурой 200°C и давлением 5 атм. При температуре на головке скважины свыше 170°C производилось пара 0,10 т/ч с температурой 110°C и давлением 2 атм, а при температуре на головке скважины 120°C получалась горячая вода с расходом 0,5-1,8 т/ч при температуре 50-90°C и давлении 3 атм. Важно отметить, что глубина прогрева подземных вод при газификации пластов составляет от 30 до 40 м в сторону кровли и от 8 до 13 м в сторону почвы пласта, а по простиранию угольного пласта достигает 100 м. Данные результаты свидетельствуют о возможно-

сти использования нагретых при газификации подземных вод для теплового воздействия на подрабатываемые угольные пласты и увеличения метаноотдачи.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные в рамках данного исследования результаты подтверждают перспективность технологии подработки газоносных угольных пластов методом подземной газификации угля (ПГУ) в качестве эффективного способа комплексного освоения угольных месторождений. Анализ представленных данных выявляет ряд важных закономерностей, которые позволяют оценить преимущества и особенности данного метода.

Прежде всего, наблюдается значительное увеличение газопроницаемости угольных пластов в зоне влияния горных работ, проводимых в рамках ПГУ. Это объясняется перераспределением горного давления, которое приводит к раскрытию существующих трещин и образованию новых. Газопроницаемость играет ключевую роль в процессе дегазации угольного пласта и определяет эффективность извлечения метана. Сравнение с традиционными методами разработки, такими как шахтная добыча, показывает, что ПГУ позволяет добиться более интенсивной дегазации за счет создания более благоприятных условий для фильтрации газа.

Важным аспектом является управляемое перемещение точки подачи дутья в огневой забой, что позволяет равномерно выгазовывать маломощные угольные пласты. Это достигается благодаря специально разработанной конструкции подземного газогенератора и применению направленного бурения. Анализ деформации породной толщи при ПГУ выявляет, что зона сквозных трещин значительно меньше, чем при шахтных разработках. Это объясняется особенностями процесса выемки угля, при котором происходит послойное выгазовывание пласта с опережением у кровли. Данный эффект позволяет выбирать защитный пласт таким образом, чтобы подрабатываемый пласт находился в зоне плавного прогиба пород, что способствует его полной дегазации и последующей эффективной выемке шахтным способом. Этот аспект особенно важен при разработке месторождений со сложной геологической структурой, где традиционные методы могут быть сопряжены с повышенными рисками и затратами.

Утилизация тепловой энергии, выделяющейся в процессе газификации, является важным преимуществом предлагаемого метода. Полученные данные о параметрах работы газоотводящей скважины могут быть применены для создания технологии подработки газоносных угольных пластов методом ПГУ для комплексного освоения угольных месторождений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование подтверждает перспективность технологии подработки газоносных угольных пластов методом подземной газификации угля (ПГУ) как эффективного способа комплексного освоения угольных месторождений. В ходе работы было установлено, что ПГУ обеспечивает существенное увеличение газопроницаемости угольных пластов в зоне влияния горных работ, что является ключевым фактором для эффективной дегазации и извлечения метана. Важным аспектом является возможность управляемого перемещения точки подачи дутья, позволяющая равномерно выгазовывать даже маломощные угольные пласты, что расширяет горизонты для разработки труднодоступных месторождений.

Анализ деформации породной толщи показал, что зона сквозных трещин при ПГУ значительно меньше, чем при традиционной шахтной добыче, что снижает риски и повышает безопасность работ. Это позволяет более эффективно управлять процессом дегазации и подготовить пласты к последующей отработке шахтным способом. Также одним из важных преимуществ технологии является возможность утилизации тепловой энергии, выделяющейся в процессе газификации. Анализ параметров работы газоотводящей скважины-утилизатора показал возможность получения горячей воды и перегретого пара, что открывает перспективы для теплового воздействия на подрабатываемые угольные пласты и увеличения метаноотдачи.

Список литературы • References

1. Moiseeva K., Kuimova O., Orlov V., Kukartsev V., Lesnyak T. The Impact of Coal Generation on the Ecology of City Areas 2023. 22nd International Symposium INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2023. DOI: 10.1109/INFOTEH57020.2023.10094117.
2. Kolenchukov O.A., Mikhaulov A.Y., Bashmur K.A., Tynchenko V.S., Sergienko R.B., Kukartsev V.V., Tynchenko V.V. Forecasting the technical condition of thermochemical reactor systems. *SOCAR Proceedings*. 2023;2023(1):123-130. DOI: 10.5510/OGP20230100814.
3. Al-Sharo Y.M., Al Smadi K., Al Smadi T., Yasameen Kamil N. Optimization of Stable Energy PV Systems Using the Internet of Things (IoT). *Tikrit Journal of Engineering Sciences*. 2024;31(1):127-137. DOI: 10.25130/tjes.31.1.11.
4. Kukartsev V.V., Dalisova N., Muzyka P., Yarkova S.A., Degtyareva K.V. Control system for personnel, fuel and boilers in the boiler house. *E3S Web of Conferences*. 2023;(458):01010. DOI: 10.1051/e3sconf/202345801010.
5. Malozyomov B.V., Golik V.I., Brigida V., Kukartsev V.V., Tynchenko Y.A., Boyko A.A., Tynchenko S.V. Substantiation of Drilling Parameters for Undermined Drainage Boreholes for Increasing Methane Production from Unconventional Coal-Gas Collectors. *Energies*. 2023;16(11):4276. DOI: 10.3390/en16114276.
6. Adigamov R.R., Baraboshkin K.A., Mishnev P.A., Karlina A.I. Development of rolling procedures for pipes of K55 strength class at the laboratorial mill. *CIS Iron and Steel Review.* 2022;(24):60-66. DOI: 10.17580/cisisr.2022.02.09.
7. Kozenkova G.L., Talamanov V.N., Kozenkov V.A., Khekert E.V., Modina M.A. Study of pneumatic sources of elastic waves for marine seismic exploration. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;2061(1):012068. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012068.
8. Tynchenko V.S., Tynchenko Y.A., Rogova D.V., Leonteva A.A., Seregin Y.N., Bocharov A.N. Energy distribution computation for induction soldered construction elements. *AIP Conference Proceedings*. 2023;(2700):070017. DOI: 10.1063/5.0125008.
9. Volneikina E., Kukartseva O., Menshenin A., Tynchenko V., Degtyareva K. Simulation-Dynamic Modeling Of Supply Chains Based On

Big Data 2023. 22nd International Symposium INFOTEH-JAHORINA, INFOTEH 2023. DOI: 10.1109/INFOTEH57020.2023.10094168.

10. Gozbenko V.E., Kargapoltsev S.K., Kornilov D.N., Minaev N.V., Karlina A.I. Definition of the main coordinates of the car with two-level spring suspension. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016;11(20): 10367-10373.
11. Podoprigora D.G., Byazrov R.R., Lagutina M.A., Arabov D.V., Galimov V.V., Ermolin D.S. A novel integrated methodology for screening, assessment and ranking of promising oilfields for polymer floods. *Advances in Geo-Energy Research*. 2024;12(1):8-21. DOI: 10.46690/ager.2024.04.02.
12. Orlov V., Kukartsev V., Suprun E., Gek D., Ageev D. Designing an information system to automate service management at the enterprise. *E3S Web of Conferences*. 2023;(458):09019. DOI: 10.1051/e3sconf/202345809019.
13. Rogova D., Kurashkin S., Tynchenko V., Seregin Y., Privalov A., Kukartsev V. Comprehensive review of state-of-the-art intelligent methods for videosequences analysis. *AIP Conference Proceedings*. 2023;(2700):040046. DOI: 10.1063/5.0124865.
14. Podoprigora D.G., Sabukevich V.S., Korobov G.Y., Nguen V.T. Justification of Developed System Measures to Increase Productivity of Wells in Eastern Part of Pechora Sea Oil Field. *International Journal of Engineering*. 2024;37(11):2303-2313. DOI: 10.5829/ije.2024.37.11b.15.
15. Dash L., Pattanayak B.K., Laha S.R., Pattnaik S., Mohanty B., Habboush A.K., Al Smadi T. Energy Efficient Localization Technique Using Multilateration for Reduction of Spatially and Temporally Correlated Data in RFID System. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*. 2024;31(1):101-112. DOI: 10.25130/tjes.31.1.9.
16. Gladkov A., Kukartsev V., Yarkova A., Kuzmich R., Nizameeva A. Development of an automation system for personnel monitoring and control of ordered products. *E3S Web of Conferences*. 2023;(458):01007. DOI: 10.1051/e3sconf/202345801007.

Authors Information

Sergeyeva N.V. – PhD (Economic), Associate Professor, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail:sergeewanv78@mail.ru

Borotov A.N. – PhD, Associate Professor, "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers" National Research University, Tashkent, 100000, Uzbekistan, e-mail: atxamborotov@mail.ru

Karshieva B.F. – PhD (Pedagogical), Associate Professor, Termez State University, Termez, 190100, Uzbekistan, e-mail: bkarshieva@mail.ru

Djurayeva U.Ch. – PhD (Historical), Associate Professor, Termez State University, Termez, 190100, Uzbekistan, e-mail: ulmasdjurayeva23@gmail.ru

Panfilov I.A. – PhD (Engineering), Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation, e-mail: crook_80@mail.ru

Antamoshkin O.A. – Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation, e-mail: oleslav@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.04.2025
Поступила после рецензирования: 16.05.2025
Принята к публикации: 26.05.2025

Paper info

Received April 15, 2025
Reviewed May16, 2025
Accepted May 26, 2025

Якутуголь начал отгрузку угля в рамках северного завоза

Компания «Якутуголь» (АО ХК «Якутуголь», входит в Группу «Мечел») в связи с началом сезона летней навигации приступила к отгрузке угля с разреза «Джебарики-Хая».

Первые поставки пойдут в Амгинский и Верхневилюйский улусы – отправка грузов в эти районы возможна только в период паводка. Всего в соответствии с утвержденным графиком в навигационный период для выполнения государственного заказа Республики Саха (Якутия) по обеспечению северного завоза потребителям планируется направить 110 тыс. тонн топлива.

Запасы угля на складах разреза «Джебарики-Хая» позволят в полном объеме обеспечить потребности навигационного периода, который продлится до октября.

«Для Якутугля северный завоз – особенно ответственный участок работы, поскольку от своевременной доставки топлива зависит качество жизни тысячи людей. Мы выполним свои обязательства в полном объеме», – сказал ***управляющий директор АО ХК «Якутуголь» Олег Михайлов***.

Пресс-служба АО ХК «Якутуголь»