

ЭКОНОМИКА

ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

ECONOMY OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX

Экономические системы. 2023. Том 16, № 3 (62). С. 173–183.
Economic Systems. 2023;16(3(62)):173-183.

Научная статья
УДК 622
DOI 10.29030/2309-2076-2023-16-3-173-183

5.2.3 – Региональная и отраслевая экономика

Повышение эффективности утилизации метана из угольных пластов: мировой и российский опыт

Татьяна Дмитриевна Ушкац

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия, ushkats-td@rudn.ru

Аннотация. В статье проанализирован мировой и российский опыт оценки эффективности утилизации метана из угольных пластов и возможностей его использования для экономики страны. Отмечается, что важными сопутствующими преимуществами добычи и утилизации метана из угольных пластов являются значительное снижение риска неконтролируемых выбросов на поверхности земли, более эффективная эксплуатация газовых ресурсов (которые в противном случае становятся отходами) и сокращение выбросов парниковых газов.

Ключевые слова: выбросы метана, проекты утилизации, угольные пласты, потенциальная опасность

Для цитирования: Ушкац Т.Д. Повышение эффективности утилизации метана из угольных пластов: мировой и российский опыт // Экономические системы. 2023. Том 16, № 3 (62). С. 173–183. DOI 10.29030/2309-2076-2023-16-3-173-183.

Благодарность: статья подготовлена в рамках инициативной научно-исследовательской работы № 061611-0-000 на тему «Комплексное решение для повышения экономической эффективности угольной промышленности как условие укрепления энергетической безопасности России», выполняемой на базе кафедры национальной экономики экономического факультета РУДН.

© Ушкац Т.Д., 2023

Original article

Improving the efficiency of methane utilization from coal seams: world and Russian experience

Tatiana D. Ushkats

Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia, ushkats-td@rudn.ru

Abstract. The article analyzes the world experience in assessing the state of methane release from coal seams and the possibilities of its use for the country's economy in the development of gas resources. Significant co-benefits of CBM production and utilization include a significant reduction in the risk of fugitive emissions to the earth's surface, the exploitation of otherwise waste gas resources, and the reduction of greenhouse gas emissions.

Keywords: methane, utilization projects, coal seams, potential hazard

For citation: Ushkats T.D. Improving the efficiency of methane utilization from coal seams: world and Russian experience. *Economic Systems*. 2023;16(3(62)):173-183. (In Russ.). DOI 10.29030/2309-2076-2023-16-3-173-183.

Acknowledgments: the article was prepared as part of the initiative research work No. 0611-0-000 on the topic «A comprehensive solution for improving the economic efficiency of the coal industry as a condition for strengthening Russia's energy security», carried out on the basis of the Department of National Economics of the Faculty of Economics of the RUDN.

Введение

В последнее время большое количество стран, занимающихся угледобычей, показали повышенный интерес к метану угольных месторождений, который является сопутствующим полезным ископаемым. Это связано с рядом причин.

Во-первых, шахтный метан способствует опасным явлениям, значительно ухудшающим условия труда в горных выработках шахт. Высокая газоносность угольных пластов затрудняет ведение горных работ из-за несоответствия дебита газа вентиляционным возможностям шахт. Концентрации метана выше безопасного уровня, суфляры, внезапные выбросы и т. д. способствуют созданию внезапных газодинамических ситуаций в выработках. Все это свидетельствует о необходимости предварительно дегазировать опасные по содержанию газа участки угольных шахт.

Во-вторых, метан – газовая смесь, ценное углеводородное сырье и хорошо известный вид топлива. В случае если содержание данного углеводорода составляет более четверти от общего количества, необходимо вводить обязательную утилизацию метана. Таким образом, можно значительно повысить эффективность деятельности горнодобывающей промышленности.

В-третьих, с точки зрения экологии углеводород, который в процессе добычи выбрасывается в атмосферу, приводит к парниковому эффекту.

Таким образом, существует объективная потребность в добыче и утилизации газа в угольных месторождениях. Это позволит решить несколько важных проблем: создать безопасные условия при добыче угля, повысить эффективность использования природных ресурсов, а также улучшить экологическую ситуацию.

Основная часть

Как известно, метан – побочный продукт процесса добычи угля – накапливается в угольных слоях и выделяется во время и после выполнения горных работ. Этот газ ядовит и взрывоопасен уже при невысокой концентрации. При взрыве метан вызывает аварии со значительными человеческими потерями и нанесением ущерба инфраструктуре шахт. В среднем смертность на горнодобывающих предприятиях на 2021 год составила 56 человек на миллион тонн добытого угля [1].

Объемы выбросов метана в три раза меньше выбросов углекислого газа и составляют до 19% от общего количества парниковых газов. Однако метан является очень мощным парниковым газом, его потенциал в 21 раз превышает потенциал углекислого газа [1]. Поэтому его выбросы в земную атмосферу очень негативно влияют на климатическую систему Земли.

В последние два столетия концентрация метана в атмосферном воздухе увеличилась более чем вдвое. Преимущественно это произошло в результате человеческой деятельности (выращивание риса, накопление отходов, животноводство, крупномасштабная добыча и транспортировка нефти и природного газа и, конечно, добыча угля). По источникам выбросов метана в России угольная промышленность занимает второе место после нефтегазовой отрасли [2]. Структура источников выбросов метана в угольной отрасли представлена на рис. 1.

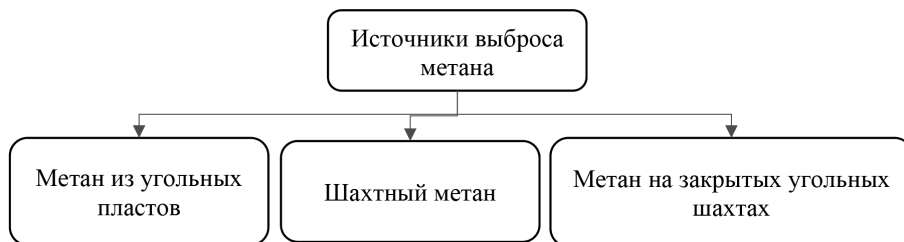


Рис. 1. Источники выбросов метана в угольной отрасли

Источник: составлено автором по данным [2].

Источником выбросов метана из угольных пластов является естественное выветривание, которое изучается с помощью 1) отбора проб угля в герметичные газокорнонаборники и вакуумные стаканы; 2) пластоэкзаменов в скважинах; 3) каротажа скважин в период бурения.

Шахтный метан выделяется еще в процессе угледобычи, причем на часть метана, поступающего через вентиляционный ствол, приходится около 70%, а из системы подземной дегазации – 20% [2]. Газоносность углесодержащих пород изучается путем испытания пластов пластовыделителями КИИ-65 и периодическими измерениями газоанализаторами выделений газа из суфляров и микросуфляров. В настоящее время большое внимание уделяется утилизации метана на угольных шахтах, в то время как задача сокращения выбросов и использования метана из угольных пластов отходит на второй план.

Помимо смягчения последствий изменения климата, утилизация метана из угольных пластов может также принести важные социальные выгоды, в частности обеспечить создание новых рабочих мест, что позволит улучшить ситуацию с безработицей в регионах страны. При наличии ресурсов возможно открытие технопарков для разработки более чистого топлива, что будет привлекательным для коммерческих предприятий. Новые технологии позволят улучшить и обезопасить способы добычи метана на угольных шахтах, что будет неоспоримым преимуществом в социально-экономической сфере и сфере экологической безопасности.

Для проектов по утилизации метана из угольных пластов имеются разные варианты. При выборе наиболее подходящего метода необходимо учитывать затраты на энергоносители, меры государственного регулирования и стимулирования, доступ к инфраструктуре, а также не упускать вопросы экологической безопасности.

Исходя из целей утилизации газа, угледобывающие предприятия могут использовать его следующим образом [4, 5]:

- генерация электроэнергии;
- производство комбинированной энергии и тепла;
- для поставки на рынок природного газа;
- обеспечение промышленных предприятий теплом;
- в химической промышленности (сырье);
- в качестве топлива для транспортных средств;
- для сокращения выбросов метана в атмосферу.

Наиболее распространенными вариантами утилизации метана являются производство энергии и продажа природного газа с использованием трубопроводов. Каждый технологический вариант утилизации имеет свои специальные ограничения, достоинства и недочеты (табл. 1).

Проект утилизации метана из угольных пластов может включать добычу и использование газа на одной или нескольких шахтах. Совместная реализация проектов утилизации метана из угольных пластов будет выгодна в горнодобывающей промышленности. В то время как утилизация метана из угольных пластов на закрытых шахтах может происходить по мере необходимости, на действующих угольных шахтах для обеспечения безопасности этот процесс должен быть непрерывным. При низком спросе шахта, не находящаяся в эксплуатации, может быть хранилищем газа. Это позволит поддерживать необходимый уровень чистоты метана и обеспечит потребность в газоснабжении при повышении спроса.

Таблица 1

Характеристики вариантов конечного потребления метана

Вариант конечного использования	Использование	Преимущества	Недостатки	Концентрация СН ₄ , %
Газотранспортная система	Очищенный метан	<ul style="list-style-type: none"> - Равнозначен природному газу; - подходит для экспорта на внешний рынок; - высокая стоимость 	<ul style="list-style-type: none"> - Необходим метан, очищенный от примесей; - источник должен находиться рядом с газотранспортной системой или иметь доступ; - если в составе газа существуют примеси, и он не надлежащего качества, то необходима очистка 	95-97
Использование природного газа	Низкокачественный метан	<ul style="list-style-type: none"> - Использование метана низкого качества без выбросов в атмосферу; - защита окружающей среды 	<ul style="list-style-type: none"> - Использование в ограниченном количестве в качестве примеси для природного газа, для соблюдения технических условий; - низкая стоимость; - взрывоопасен, необходима проверка качества в целях безопасности 	Более 25
Промышленные цели, производство тепла	Среднее качество метана	<ul style="list-style-type: none"> - Низкозатратный; - можно использовать в промышленных и коммерческих целях; - не нуждается в дополнительной очистке; - легко добываемый 	<ul style="list-style-type: none"> - Возможны проблемы с поставками при длительном использовании; - возможна необходимость прокладки дополнительного трубопровода или переключения к существующему 	Более 35

Окончание табл. 1

Вариант конечного использования	Использование	Преимущества	Недостатки	Концентрация СН ₄ , %
Производство энергии и использование отработанного тепла	Отработанный газ	<ul style="list-style-type: none"> - Использование современного оборудования; - возможность производства энергии в зависимости от спроса; - высокая производительность; - использование рециркуляции тепла 	<ul style="list-style-type: none"> - Значительное увеличение капитальных вложений; - увеличение цены на электроэнергию; - возможные проблемы с поставками, при длительном использовании; - возможна необходимость прокладки дополнительного трубопровода или переподключение к существующему 	Более 35
Другое использование	Химическая промышленность (сырье), топливо для тс и т. д.	Нишевый спрос	<ul style="list-style-type: none"> - Дорогостоящая очистка; - необходимо высокое качество газа 	Менее 35

Источник: составлено автором по данным [5, 6].

В табл. 2 представлены сведения о масштабе проектов сокращения выбросов природного газа в атмосферу в ведущих странах по добыче метана. Следует отметить, что выбросы газа на многих шахтах часто оцениваются по показателям качества, а не количественно, причем оценки производятся на основе принятых методик, в частности [5]. Эти данные значительно различаются от показателей, регистрируемых на действующих шахтах, на которых показатели выбросов замеряются чаще (для отслеживания изменений экологической и технологической безопасности, а также для мониторинга в области здравоохранения). Относительно зарегистрированных выбросов метана из угольных пластов информация достаточно неопределенная.

Таблица 2

Ведущие страны по добыче метана из угольных пластов

Страна	Количество проектов	Сокращение выбросов (млн т экв. CO₂)	Использование метана из угольных пластов
Китай	Данных нет	В незначительном количестве	Данных нет
Чехия	10	0,36	Производство энергии
Франция	5	10,6	Промышленность
Германия	40	5,71	Производство энергии
США	20	2,70	Продажа по сети

Источник: составлено автором по данным [6].

Проанализируем информацию об утилизации метана из угольных пластов в ведущих странах.

КНР. В 2017 г. были закрыты предприятия с общей производительностью 150 млн т угля, тем не менее Китай не перестал занимать первое место по его добыче и экспорту в другие страны. Выбросы метана в атмосферу на угольных шахтах в 2021 г. составили около 450 млн метрических тонн, что почти в три раза больше, чем в России [9].

Однако возможности по эффективному изъятию метана в стране ограничены в силу ряда факторов, таких как:

- затопления;
- интенсивность добычи метана;
- несовершенная нормативно-правовая база по отношению к собственности на землю и имущество, ресурсы и ответственности за их использование после закрытия шахты.

Правительство КНР в рамках 26-й Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (COP26) в Глазго пересмотрело долгосрочный план развития, в результате чего страна постепенно уменьшает долю потребления угля в пользу увеличения использования природного газа для производства энергии (рис. 3).

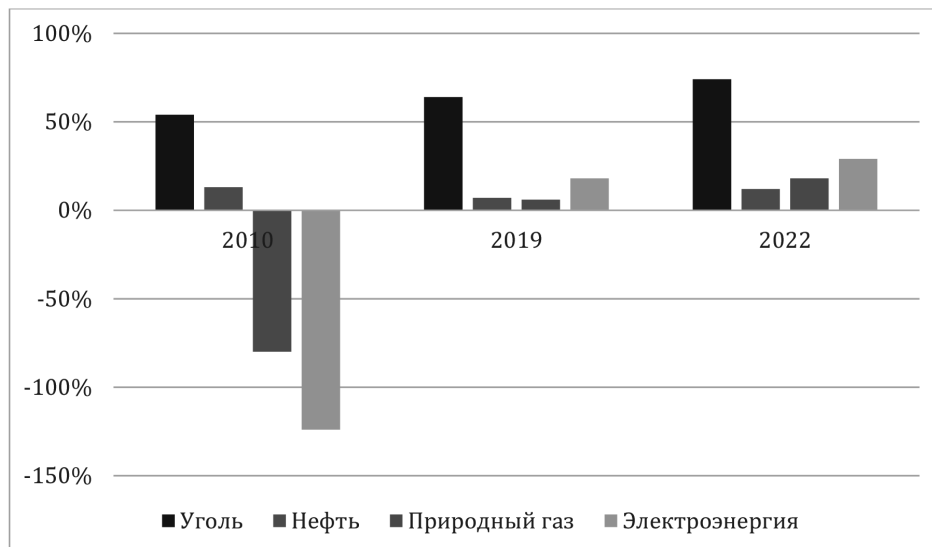


Рис. 3. Объемы производства топливно-энергетических ресурсов Китая, 2010–2022 гг., в %

Источник: составлено автором по данным [7].

В Китае планируется реализовать два ключевых проекта по использованию метана из угольных пластов с описанием двух потенциальных участков будущей деятельности. Первый проект основан на увеличении количества заводов по переработке метана и его использовании в качестве топлива, второй – на применении инновационных технологий по созданию кислотно-метанового двигателя, в основе которого – система факельного типа [8].

Германия. Согласно международной базе данных о проектах по добыче метана, в Германии реализовано более 35 проектов по утилизации метана из угольных пластов, и все они связаны с производством электроэнергии или комбинированным производством тепловой и электрической энергии. По состоянию на 2015 г. насчитывалось 94 установки для производства тепловой и электрической энергии, сжигающих метан; суммарная мощность, которую генерирует одна установка, – около 120 МВт. В рамках одного проекта по утилизации метана используются не меньше двух установок, производятся более 500 МВт электроэнергии и 75 МВт тепла в год, удается предотвратить 2,3 млн т выбросов метана в атмосферу [9].

Реализация большинства проектов в Германии началась в начале 2000-х годов, когда, согласно обновленной политике страны, при использовании альтернативных источников энергии был установлен льготный тариф на производство электроэнергии на основе сжигания метана. В 2015 г. в Германии в рамках действующих проектов по утилизации метана из угольных пластов, по оценкам, было утилизировано 99% совокупных выбросов метана на выведенных из эксплуатации шахтах [9].

США. В США насчитываются 7500 выведенных из эксплуатации шахт, 524 из которых числятся газовыми [10]. Все проекты по утилизации метана из угольных пластов реализуются в целях использования газа через существующие трубопроводы природного газа, количество энергетических проектов увеличилось в последние годы. Несмотря на то что частично угледобывающие предприятия подверглись реструктуризации в результате использования альтернативных видов топлива, добыча угля еще является важным элементом энергетического комплекса.

Заключение

Таким образом, мировой опыт и теоретические исследования эмиссии метана на поверхность пластов важны для анализа процессов выделения метана и соответствующей степени дальнейшего его использования в экономике России. При затоплении шахтного пространства газ мигрирует в остаточную пустоту, где происходит повышение давления свободного газа в выработках над уровнем грунтовых вод. Затопление закрытой шахты останавливает утечку метана в течение примерно пяти лет, концентрация метана при этом может достигать 19%. При сухой консервации утечка может происходить при концентрациях метана более 30% в течение 10 лет.

В России существует необходимость разработки проектов, которые должны реализовываться после прекращения добывающей деятельности шахт и направляться на сокращение выбросов в атмосферу метана путем оптимизации извлечения и утилизации газа [11]. Объединение малых и средних проектов по добыче метана из угольных пластов вместе с программами утилизации шахтного метана на действующих шахтах будет способствовать повышению гибкости и рентабельности их совместного применения за счет использования источника газа для непосредственного обеспечения потребностей энергетики или путем накопления и хранения его в газовом хранилище при низком уровне потребления в определенный период времени.

Решение проблемы утилизации эмиссии метана из угольных пластов на поверхность позволит решить неотложные проблемы безопасности в депрессивных шахтерских регионах при реструктуризации угольной отрасли.

Список источников

1. Statista. URL: <https://www.statista.com> (дата обращения: 24.07.2023).
2. Kumar S.S., Himabindu V. Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review // Materials Science for Energy Technologies. 2019. No. 2. P. 442–454.
3. Stoots C.M., O'Brien J.E., McKellar M.G., Hawkes G.L. Engineering process model for hightemperature electrolysis system performance evaluation. URL: <https://folk.ntnu.no/skoge/prost/proceedings/aiche-2005/nontopical/Non%20topical/papers/348a.pdf> (дата обращения: 24.07.2023).
4. Фам Дик Тханг, Фан Туан Ань, Коликов К.С. Зависимость метаноносности и относительной метанообильности угольных пластов на шахте Мао Хе от глубины их залегания // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 6-1. С. 26–37.
5. Руководство по наилучшей практике эффективного извлечения и утилизации метана на выведенных из эксплуатации угольных шахтах. URL: <https://unece.org/fileadmin/>

DAM/energy/images/CMM/CMM_CE/BPG_AMM_Case_Studies/1921351_R_ECE_ENERGY_128_WEB.pdf (дата обращения: 24.07.2023).

6. Best Practice Guidance for Effective Management of Coal Mine Methane at National Level: Monitoring, Reporting, Verification and Mitigation. URL: <https://unece.org/info/publications/pub/363202> (дата обращения: 24.07.2023).

7. China Energy Transition Status Report 2021. URL: <https://www.energypartnership.cn/home/china-energy-transition-status-report-2021> (дата обращения: 24.07.2023).

8. Liu Y, Zhu Y, Liu S, & Li, W.A. Hierarchical methane adsorption characterization through a multiscale approach by considering the macromolecular structure and pore size distribution // *Marine and Petroleum Geology*. 2018. No. 96. P. 304–314.

9. Backhaus C. Experience with the utilization of coal mine gas from abandoned mines in the region of North-Rhine Westphalia, Germany. 2017. URL: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/cmm/cmm12/Workshop_2017/7.Mr._Backhaus.pdf (дата обращения: 24.07.2023).

10. Legal and Regulatory Status of Abandoned Mine Methane in Selected Countries: Considerations for Decision Makers / A. Denysenko, M. Evans, N. Kholod [et al.]. URL: https://www.researchgate.net/publication/330090549_Legal_and_Regulatory_Status_of_Abandoned_Mine_Methane_in_Selected_Countries_Considerations_for_Decision (дата обращения: 24.07.2023).

11. Мазурчук Т.М., Черняев М.В. Экономическая эффективность заблаговременного извлечения метана из угольных пластов в современных условиях // *Экономические системы*. 2022. Т. 15, № 4 (59). С. 165–175.

References

1. Statista. URL: <https://www.statista.com>.

2. Kumar S.S., Himabindu V. Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review. *Materials Science for Energy Technologies*. 2019;(2):442-454.

3. Stoots C.M., O'Brien J.E., McKellar M.G., Hawkes G.L. Engineering process model for hightemperature electrolysis system performance evaluation. URL: <https://folk.ntnu.no/skoge/prost/proceedings/aiche-2005/nontopical/Non%20topical/papers/348a.pdf>.

4. Pham Duc Thang, Fan Tuan An, Kolikov K.S. Dependence of methane content and relative methane abundance of coal seams at the Mao He mine on the depth of their occurrence. *Gorniy informacionno-analiticheskij byulleten' = Mining information and analytical Bulletin*. 2020;(6-1):26-37. (In Russ.).

5. Guidelines for the best practice of efficient extraction and utilization of methane in decommissioned coal mines. URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/images/CMM/CMM_CE/BPG_AMM_Case_Studies/1921351_R_ECE_ENERGY_128_WEB.pdf. (In Russ.).

6. Best Practice Guidance for Effective Management of Coal Mine Methane at National Level: Monitoring, Reporting, Verification and Mitigation. URL: <https://unece.org/info/publications/pub/363202>.

7. China Energy Transition Status Report 2021. URL: <https://www.energypartnership.cn/home/china-energy-transition-status-report-2021>.

8. Liu Y, Zhu Y, Liu S, & Li, W.A. Hierarchical methane adsorption characterization through a multiscale approach by considering the macromolecular structure and pore size distribution. *Marine and Petroleum Geology*. 2018;(96):304-314.

9. Backhaus C. Experience with the utilization of coal mine gas from abandoned mines in the region of North-Rhine Westphalia, Germany. 2017. URL: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/cmm/cmm12/Workshop_2017/7.Mr._Backhaus.pdf.

10. Legal and Regulatory Status of Abandoned Mine Methane in Selected Countries: Considerations for Decision Makers / A. Denysenko, M. Evans, N. Kholod [et al.]. URL: https://www.researchgate.net/publication/330090549_Legal_and_Regulatory_Status_of_Abandoned_Mine_Methane_in_Selected_Countries_Considerations_for_Decision.

11. Mazurchuk T.M., Chernyaev M.V. Economic efficiency of early extraction of methane from coal seams in modern conditions. *Ekonomicheskie sistemy = Economic Systems*. 2022;15(4(59)):165-175. (In Russ.).

Информация об авторе / Information about the author

Т.Д. Ушкац – ассистент кафедры национальной экономики экономического факультета РУДН.

T.D. Ushkats – assistant of the Department of national economics of the faculty of economics of the RUDN University.

Статья поступила в редакцию 23.07.2023; одобрена после рецензирования 16.08.2023; принята к публикации 26.08.2023.

The article was submitted 23.07.2023; approved after reviewing 16.08.2023; accepted for publication 26.08.2023.