

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.62.10.007

УДК 551.583; 662.764; 504.054

© Е.А. Уткаев, Е.С. Снетова, А.В. Логинова, Д.С. Михалев, 2022

Е.А. УТКАЕВ

канд. техн. наук,
старший научный сотрудник
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
e-mail: utkaev@mail.ru

Е.С. СНЕТОВА

старший инженер
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
e-mail: katya.snetova.97@mail.ru

А.В. ЛОГИНОВА

старший инженер
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
e-mail: loginova.annett.21@yandex.ru

Д.С. МИХАЛЕВ

лаборант
ИУ ФИЦ УУХ СО РАН, г. Кемерово
e-mail: mikhalev@mail.ru

ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА ОЦЕНКИ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПРИ УГЛЕДОБЫЧЕ

Обсуждается влияние выбросов парниковых газов на глобальные климатические изменения. Представлены основные категории выбросов парниковых газов при угледобыче. Отмечается, что большие объемы этой эмиссии приходятся на шахтный метан. Приведены количественные оценки выбросов углекислого газа и метана, сопровождающие угледобычу, для шахт Кузбасса. Представлена структура и основные компоненты цифровой платформы оценки фугитивных выбросов при добыче угля. Рассмотрены использование специализированного программного обеспечения для разработки платформы и возможность ее применения для выбора и обоснования рациональных технологий переработки шахтного метана.

Ключевые слова: ПАРНИКОВЫЕ ГАЗЫ, ИСТОЧНИКИ ВЫБРОСОВ, МЕТАН, УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ, ЭНЕРГЕТИКА, УГЛЕДОБЫЧА, ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА, ФУГИТИВНЫЕ ВЫБРОСЫ.

Парниковые газы (ПГ) являются одной из причин того, что тепловое излучение земной поверхности задерживается в приземных слоях атмосферы и вызывает повышение ее средней температуры. При этом перегрев планеты напрямую зависит от количественного содер-

жания ПГ. Антропогенные выбросы парниковых газов в атмосферу регулируются международными соглашениями, последнее из которых — Парижское, ратифицировано Россией в 2019 г. В соответствии с этим документом правительство страны взяло обязатель-

ство на 30 % к 2050 г. (относительно уровня базового 1990 г.) сократить эмиссии диоксида углерода, метана, оксида диазота, перфторуглеродов, гексафторида серы, которые выбрасываются в атмосферу в результате производственной деятельности [1–3].

Основную роль в общем объеме эмиссии углекислого газа играют выбросы в энергетическом секторе, причем к 2020-му году они сократились на 35 % по сравнению с базовым 1990 г. Также уменьшился вклад сельского хозяйства (на 53 %) и вклад промышленного сектора (на 16 %) по сравнению с базовым 1990 г. В отличие от других секторов, выбросы, связанные с отходами, постоянно растут и значительно превышают уровень базового года (на 69 %). Ввиду ресурсодобывающей ориентированности экономики России больший объем выбросов парниковых газов приходится на процессы, связанные с добычей, транспортировкой, переработкой и сжиганием углеводородов [4–7], включая уголь, который добывается открытым и подземным способами на 107 разрезах и 53 угольных шахтах. Крупнейшим угледобывающим ре-

гионом Российской Федерации является Кузбасс (Кузнецкий угольный бассейн), на который приходится 70 % от общей добычи угля в стране [8].

Основными категориями выбросов парниковых газов при угледобыче являются эмиссия угольного метана, который содержится в угольных пластах и при извлечении угля выделяется в атмосферу, а также эмиссия углекислого газа, образующегося при работе автотранспорта и сжигании угля для производственных нужд. Учитывая более высокую газоносность угольных месторождений, разрабатываемых подземным способом, по сравнению с месторождениями, на которых применяется открытый способ добычи угля, существенные объемы метана выделяются на угольных шахтах. В табл. 1 приведены усредненные значения выбросов метана для нескольких угольных шахт Кузбасса с производственной мощностью 2 500–3 000 тыс. т угля в год. При этом до 95 % от общих выбросов ПГ на угольных предприятиях Кузбасса составляет шахтный метан (рис. 1) [9, 10].

Таблица 1

Ежегодные выбросы парниковых газов кузбасских шахт

Категория выбросов	Эмиссия, т CO ₂ -экв.		
	Шахта А	Шахта Б	Шахта В
Выбросы шахтного метана	1 276 000	777 000	54 500
Стационарное сжигание угля	14	-	15 000
Использование моторного топлива	1 035	-	344
Всего	1 277 049	777 000	69 844

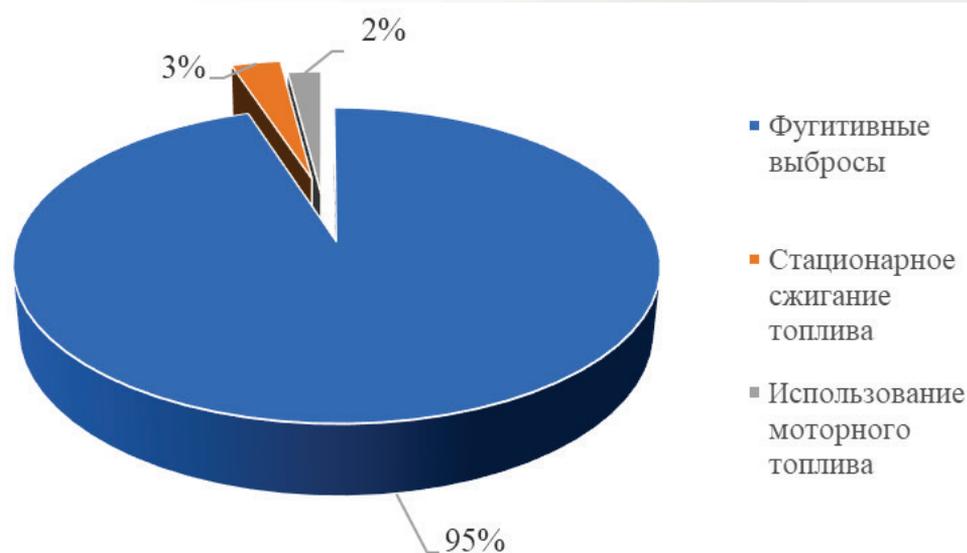


Рис. 1. Структура эмиссии парниковых газов на кузбасских угольных шахтах

К мероприятиям по сокращению фугитивных выбросов ПГ на угольных шахтах относится внедрение технологий утилизации дегазационного и вентиляционного метана для выработки энергии на собственные нужды предприятия. При этом сокращаются выбросы при производстве тепла и электроэнергии, полученной от внешних источников. Сокращение выбросов шахтного метана в атмосферу за счет его использования в качестве нетрадиционного источника энергии является важной задачей при подземной разработке углегазовых месторождений.

Для количественного учета выбросов парниковых газов, образующихся при угледобыче, разработана структура цифровой платформы, позволяющая автоматизировать расчеты по категориям: фугитивные выбросы, выбросы от сжигания топлива на стационарных объектах, выбросы от сжигания транспортного топлива. Цифровая платформа реализована в виде настольного приложения, обеспечивающего визуализацию выполненных оценок, составление отчетов

и их хранение. При этом на клиентском персональном компьютере пользователя устанавливается разработанное программное обеспечение и запускается настольное приложение, из которого вызываются клиентская и серверная части платформы. На рис. 2 приведена диаграмма компонентов цифровой платформы, которые являются основными функциональными частями объектов размещения. Диаграмма компонентов цифровой платформы отображает основные элементы платформы и их взаимосвязи между собой. Клиентское приложение состоит из 2 процессов, необходимых для обработки данных и их визуализации. «Основной процесс» обеспечивает функционирование кода и поддержку внутренних механизмов javascript для клиентского приложения. «Процесс визуализации» предназначен для обработки, хранения и визуализации вводимых и результирующих данных. Взаимодействие с серверным приложением происходит по протоколу HTTP через REST API контроллер.

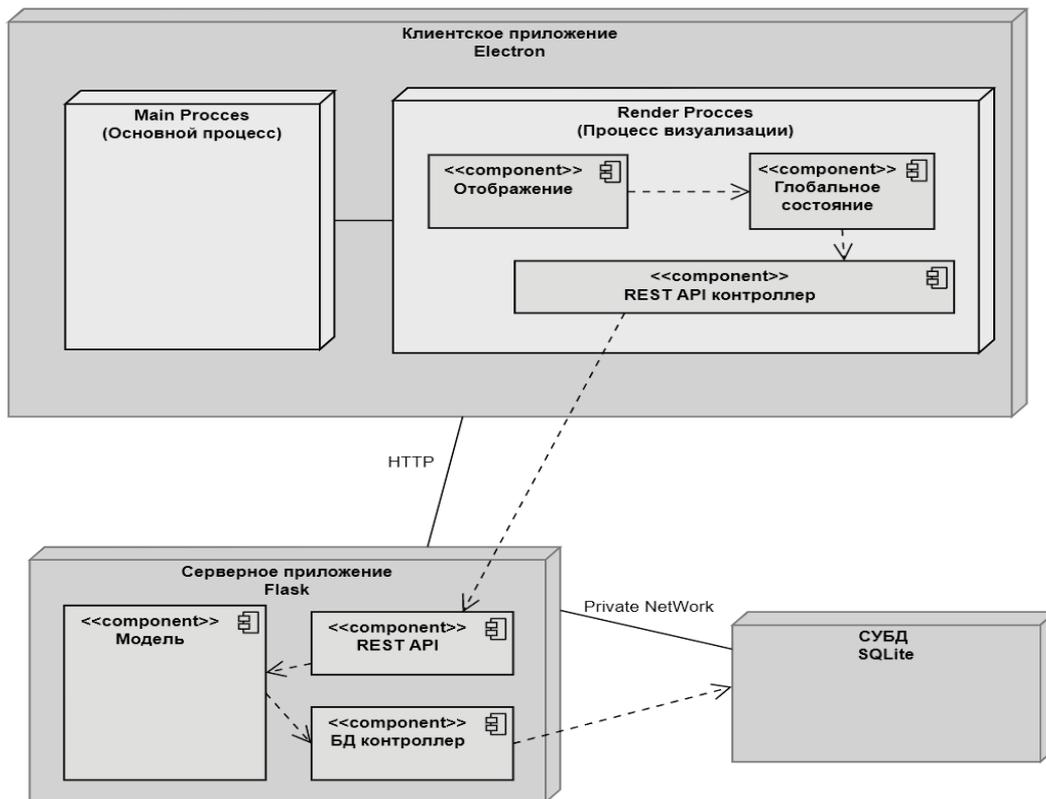


Рис. 2. Диаграмма компонентов цифровой платформы оценки фугитивных выбросов парниковых газов при угледобыче

При разработке цифровой платформы будет использован фреймворк Flask — специализированное программное обеспечение для разработки и объединения компонентов про-

граммного проекта [11]. Взаимосвязь между моделями, контроллерами и сервисами представлена на диаграмме классов (рис. 3).

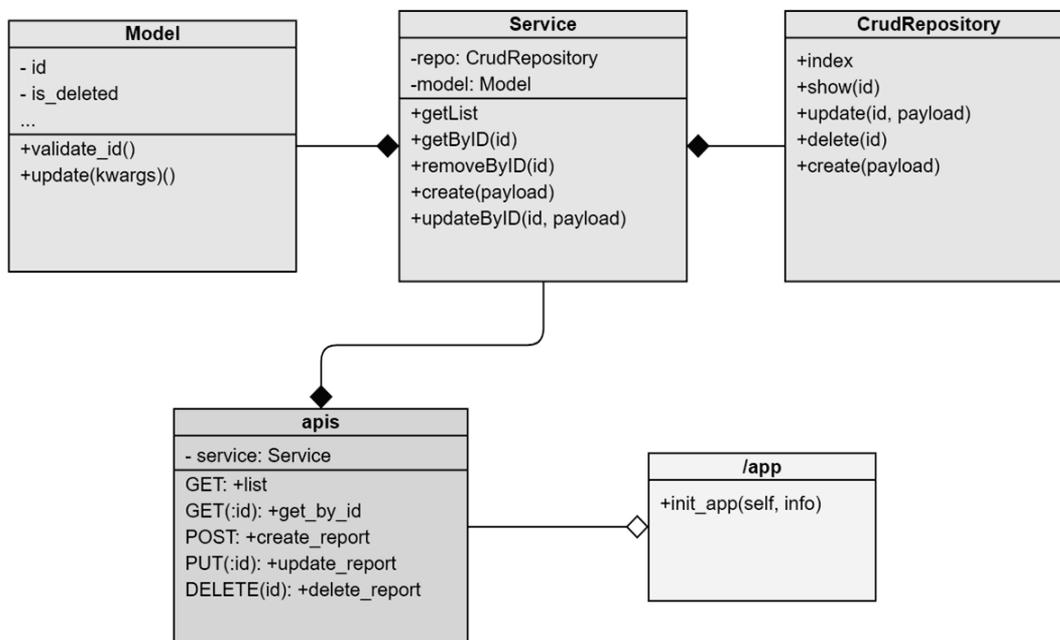


Рис. 3. Диаграмма классов серверной части цифровой платформы

Серверное приложение содержит 3 главных процесса для реализации расчетов и анализа. Процесс «REST API» предназначен для приема и первичной обработки данных. С помощью компонента «Модель» данные обрабатываются. Процесс «БД контроллер» обеспечивает отправку инструкций и обработанных данных для базы данных и прием хранящихся в ней данных. Взаимодействие с базой данных происходит по внутренней защищенной сети.

Разработанная структура внутреннего взаимодействия серверной части представляет взаимосвязи внутри набора модулей. При этом модуль «Apis» обеспечивает взаимодействие с внешними клиентами по REST API (архитектурный стиль взаимодействия компонентов распределённого приложения в сети). Базовые операции CRUD (создание, чтение, модификация, удаление) работы с базой данных размещены в модуле «Services» и дополнены общими методами, которые реализуют часть логических операций в нескольких моделях одновременно, а также методами обработки данных и их форматирования.

Механизм, реализованный в модуле «Models», позволяет представлять структуру данных таблиц из базы данных и их объектно-реляционное отображение — Object Relational Mapping (ORM). Механизм ORM обеспечивает форматирование данных в объектно-ориентированной парадигме, формируя виртуальную объектную базу данных в памяти, что позволяет управлять данными

используя возможности языка программирования.

Компьютерная реализация цифровой платформы обеспечит возможность выбора и обоснования рациональных технологических решений по снижению выбросов шахтного метана и углекислого газа при угледобыче и последующем обращении с углем, включая расширение программ экологического мониторинга и внедрение инновационных решений [12–15], направленных на переработку шахтного метана, например, путем его использования для производства тепловой и электрической энергии в комплектных теплоэлектростанциях, получения тепла в блочно-модульных котельных, утилизации низкоконцентрированного вентиляционного метана в установках каталитического дожигания обедненной метановоздушной смеси.

Исследование выполнено в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 г. №1144-р (Соглашение № 075-15-2022-1196).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малинин В.Н. Глобальный экологический кризис и климат // Ученые записки РГГМУ. 2017. № 48. С. 11–32.
2. Марьин Е. В. Парижское соглашение: международный поиск климатического компромисса // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. № 10–2 (61). С. 212–214.
3. Салиева Р.Н. Государственное регулирование в сфере ограничения выбросов парниковых газов в условиях перехода к низкоуглеродной энергетике в Российской Федерации // Правовой энергетический форум. 2022. № 3. С. 17–26.
4. Гордеева Г.Е., Ильиных Г.В. Выбросы парниковых газов при добыче углеводородного сырья // Экология. Риск. безопасность: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2020. С. 53–55.

5. Бердин В.Х., Дыган М.М., Посысаев Ю.Ю., Юлкин Г.М. Вклад России в достижение целей устойчивого развития ООН в области энергетики и климата // Энергетическая политика. 2017. № 4. С. 55–61.

6. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006. [Электронный ресурс]: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), официальный портал. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html> (дата обращения 06.04.2022).

7. Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации, утвержденные распоряжением Минприроды России от 16 апреля 2015 г. № 15-р. [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256422/e223a74aba21265dfc5770abb00457ecbc27ca85/ (дата обращения 11.04.2022).

8. Петренко И.Е., Шинкин В.К. Итоги работы угольной промышленности России за январь–март 2022 года // Уголь. 2022. № 6. С. 6–16.

9. Грачев В.А., Плямина О.В., Волкова И.И., Курышева Н.И. Институциональные меры по адаптации к изменениям климата посредством внедрения наилучших доступных технологий // Вестник НИЦ МИСИ: актуальные вопросы современной науки. 2019. № 20. С. 68–89.

10. Тайлаков О.В., Застрелов Д.Н., Смыслов А.И., Самусь В.Л. Количественное определение объемов выбросов парниковых газов на угольных предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. Специальный выпуск 49. С. 507–514.

11. Васильев П.А. Web-программирование на языке Python. Фреймворки Django, Flask // Наука, техника и образование. 2016. № 8 (26). С. 38–39.

12. Тайлаков О.В., Застрелов Д.Н., Смыслов А.И., Уткаев Е.А. Переработка дегазационного метана в энергетических установках на угледобывающих предприятиях // Горный Информационно-аналитический бюллетень. 2013. Отдельный выпуск № 6. С. 170–176.

13. Tailakov O.V., Zastrelov D.N., Utkayev E.A., Smyslov A.I., Kormin A.N. Experience for Coal Mine Methane Utilization to Generate Thermal and Electric Power // Taishan Academic Forum – Project on mine Disaster Prevention and Control – Mining 2014. Qingdao, China, 2014. P. 450–454.

14. Садов А.П., Костеренко В.Н., Тайлаков О.В., Уткаев Е.А., Застрелов Д.Н., Смыслов А.И. Опыт использования вентиляционного метана в качестве дополнительного топлива для двигателей внутреннего сгорания // Уголь. 2015. № 12. С. 61–68.

15. Артемьев В.Б., Костеренко В.Н., Садов А.П., Тайлаков О.В., Застрелов Д.Н., Уткаев Е.А. Извлечение и переработка угольного метана. М.: Издательство «Горное дело», 2016. 208 с.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.62.10.007

UDC 551.583; 662.764; 504.054

© Е.А. Utkayev, E.S. Snetkova, A.V. Loginova, D.S. Mikhalev, 2022

Е.А. УТКАЕВ

Candidate of Engineering Sciences,

Senior Researcher

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo

e-mail: utkayev@mail.ru

Е.С. СНЕТКОВА

Senior Engineer

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo
e-mail: katya.snetova.97@mail.ru

A.V. LOGINOVA

Senior Engineer

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo
e-mail: loginova.annett.21@yandex.ru

D.S. MIKHALEV

Laboratory Assistant

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo
e-mail: mikhalev@mail.ru

DIGITAL PLATFORM FOR ESTIMATING GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM COAL MINING

The impact of greenhouse gas emissions on global climate change is being discussed. The main categories of greenhouse gas emissions from coal mining are presented. It is noted that large volumes of this emission fall on mine methane. Quantitative estimates of carbon dioxide and methane emissions accompanying coal mining are given for Kuzbass mines. The structure and main components of the digital platform for estimating fugitive emissions from coal mining are presented. We considered the use of specialized software for platform development and the possibility of its use to select and justify rational technologies for processing mine methane.

Keywords: GREENHOUSE GASES, EMISSION SOURCES, METHANE, CARBON DIOXIDE, ENERGY, COAL MINING, DIGITAL PLATFORM, FUGITIVE EMISSIONS.

REFERENCES

1. Malinin V.N. Global ecological crisis and climate // Scientific notes of the RSMU [Uchenye zapiski RGGMU]. 2017. No. 48. P. 11–32. [In Russ.].
2. Maryin E. V. Paris Agreement: international search for a climate compromise // International Journal of Humanities and Natural Sciences [Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk]. 2021. No. 10-2 (61). P. 212–214. [In Russ.].
3. Salieva R.N. State regulation in the field of limiting greenhouse gas emissions in the conditions of transition to low-carbon energy in the Russian Federation // Legal Energy Forum [Pravovoj energeticheskij forum]. 2022. No. 3. P. 17–26. [In Russ.].
4. Gordeeva G.E., Ilyinykh G.V. Greenhouse gas emissions from the extraction of hydrocarbon raw materials // Ecology. Risk. Safety: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference [Ekologiya. Risk. bezopasnost: Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii]. 2020. P. 53–55. [In Russ.].
5. Berdin V.H., Dogan M.M., Posysaev Yu.Yu., Elkin G.M. Russia's contribution to achieving the UN Sustainable Development Goals in the field of energy and climate // Energy policy [Energeticheskaya politika]. 2017. No. 4. P. 55–61. [In Russ.].
6. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006. [Electronic resource]: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), the official portal. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html> (date of application 06.04.2022). [In Russ.].
7. Methodological recommendations for conducting a voluntary inventory of greenhouse gas emissions in the subjects of the Russian Federation, approved by the Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated April 16, 2015 No. 15-R. [Electronic resource]: The official website of the Consultant Plus company. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256422/e223a74aba21265dfc5770abb00457ecbc27ca85/ (date of application 11.04.2022). [In Russ.].

8. Petrenko I.E., Shishkin V.K. The results of the work of the coal industry of Russia for January-March 2022 // Coal [Ugol]. 2022. No. 6. P. 6–16. [In Russ.].

9. Grachev V.A., Lyamina O.V., Volkova I.I., Kurysheva N.I. Institutional measures for adaptation to climate change through the introduction of the best available technologies // Bulletin of the MISI Research Center: current issues of modern science [Vestnik NIC MISI: aktualnye voprosy sovremennoj nauki]. 2019. No. 20. P. 68–89. [In Russ.].

10. Tailakov O.V., Strellov D.N., Smyslov A.I., Samus V.L. Quantitative determination of greenhouse gas emissions at coal enterprises // Mining Information and Analytical Bulletin [Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten]. 2018. Special Issue 49. P. 507–514. [In Russ.].

11. Vasiliev P.A. Web programming in Python. Django, Flask frameworks // Science, technology and education [Nauka, tekhnika i obrazovanie]. 2016. No. 8 (26). P. 38–39. [In Russ.].

12. Tailakov O.V., Strellov D.N., Smyslov A.I., Utkaeв E.A. Processing of degassing methane in power plants at coal-mining enterprises // Mining Information and Analytical Bulletin [Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten]. 2013. Separate issue No. 6. P. 170–176. [In Russ.].

13. Tailakov O.V., Zastrelov D.N., Utkaeв E.A., Smyslov A.I., Kormin A.N. Experience for Coal Mine Methane Utilization to Generate Thermal and Electric Power // Taishan Academic Forum – Project on mine Disaster Prevention and Control – Mining 2014. Qingdao, China, 2014. P. 450–454.

14. Sadov A.P., Kosterenko V.N., Tailakov O.V., Utkaeв E.A., Strellov D.N., Smyslov A.I. The experience of using ventilation methane as an additional fuel for internal combustion engines // Coal [Ugol]. 2015. No. 12. P. 61–68. [In Russ.].

15. Artemyev V.B., Kosterenko V.N., Sadov A.P., Tailakov O.V., Strellov D.N., Utkaeв E.A. Extraction and processing of coal methane. Moscow: Publishing House «Mining», 2016. 208 p. [In Russ.].