

Обзорная статья
УДК 662.62/662.613.1
DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-3-38-48

Перспективы угольной генерации

Галина Петровна Сидорова¹, Павел Михайлович Маниковский²,
Татьяна Олеговна Гущина³

^{1,2}Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия

³Управление по надзору в угольной промышленности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), г. Москва, Россия

¹druja@inbox.ru, ²manikovskiy@yandex.ru, ³tanyshkaguchina@inbox.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию
07.07.2024

Одобрена после рецензирования
11.07.2024

Принята к публикации
06.08.2024

Ключевые слова:

угольная генерация, энергопотребление угольного топлива, тепловая электростанция, выбросы, золошлаковые отходы, качество, анализ, экологическая безопасность, доминирующие источники электроэнергии, альтернативные источники энергии

В статье представлена обзорная информация о состоянии и проблемах угольной генерации в России и мире. Основной проблемой угольной энергетики является экологическая безопасность отрасли. Ужесточение экологических требований к чистоте воздуха от загрязнителей, выделяемых угольными тепловыми электростанциями, привело к тому, что многие страны начали отказываться от угольной генерации в пользу альтернативных источников энергии. Стали сокращаться объёмы инвестиций в проекты угольной промышленности, а в ряде стран планируется полный отказ от неё в среднесрочной перспективе. Перспектива развития угольной генерации в России и мире является одной из самых актуальных тем для дискуссий, которую неоднократно обсуждали на различных информационных площадках, в том числе и в международном контексте. Эксперты из многих стран России и мира регулярно представляют свои исследования о значимости угольной генерации, запасах угля и энергопотреблении угольного топлива, экологической безопасности отрасли. Объект исследования – проблемы угольной генерации в России и мире. Цель исследования – анализ и количественная оценка распределения мощностей угольной энергетики, оценка экологических проблем, связанных с угольной генерацией. Задача исследования – получение достоверной информации для оценки количественных характеристик энергопотребления и экологической безопасности отрасли. Метод исследования – анализ информационных данных аналитических агентств и имеющихся в открытом доступе материалов. Результаты аналитических исследований, представленные в статье, свидетельствуют о том, что в ближайшей перспективе тепловая энергетика будет оставаться преобладающей в энергетическом балансе отдельных стран мира. Однако решение проблем экологической безопасности топливной энергетики требует централизованного подхода, значительных финансовых вложений и создания соответствующей нормативной базы.

Благодарности: исследование выполнено при поддержке Программы развития Забайкальского государственного университета «Приоритет-2030. Дальний Восток», проект № НП-1.

Review article

Prospects for Coal Generation

Galina P. Sidorova¹, Pavel M. Manikovsky², Tatyana O. Gushchina³

^{1,2}Transbaikal State University, Chita, Russia

³Directorate for Supervision in the Coal Industry of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision (Rostekhnadzor), Moscow, Russia

¹druja@inbox.ru, ²manikovskiy@yandex.ru, ³tanyshkaguchina@inbox.ru

Information about the article

Received 7 July 2024

Approved after review
11 July 2024

Accepted for publication
6 August 2024

The article provides overview information on the state and problems of coal generation in Russia and the world. The main problem of coal energy is the environmental safety of the industry. Tightening environmental requirements for air purity from pollutants emitted by coal-fired thermal power plants has led to many countries beginning to abandon coal-fired generation in favor of alternative energy sources. The volume of investments in coal industry projects began to decline, and in a number of countries they planned to completely abandon it in the medium term. The prospect

Keywords:

coal generation, energy consumption of coal fuel, thermal power plants, emissions, ash and slag waste, quality, analysis, environmental safety, dominant sources of electricity, alternative energy sources

for the development of coal generation in Russia and the world is one of the most pressing topics for discussion, which has been repeatedly discussed on various information platforms, including in the international context. Experts from many countries in Russia and the world regularly present their researches on the importance of coal generation, coal reserves and energy consumption of coal fuel, and the environmental safety of the industry. The object of the study is the problems of coal generation in Russia and the world. The purpose of the work is to analyze and quantify the distribution of coal power generation capacity, assess the environmental problems associated with coal generation. The objective of the research is to obtain reliable information to assess the quantitative characteristics of energy consumption and environmental safety of the industry. The methods in the study consisted in analyzing information data from analytical agencies and publicly available materials. The results of analytical studies presented in the article indicate that in the near future, thermal energy will remain predominant in the energy balance of individual countries of the world. However, solving problems of environmental safety of fuel energy requires a centralized approach, significant financial investments and the creation of an appropriate regulatory framework.

Acknowledgment. The study was carried out with the support of the Development Program of the Transbaikal State University "Priority-2030. FarEast", project No. NP-1.

Введение. До известных событий 2020–2022 гг. перспективы угольной энергетики обсуждались постоянно на различных информационных площадках. В спорах и полемике решалась судьба отрасли. В 2018 г. в центре энергетики Московской школы управления «Сколково» состоялся Международный энергетический диалог на тему «Роль угольной генерации в эпоху энергетического перехода», на котором представлены предварительные результаты исследований, посвящённых перспективам угольной генерации в России и мире [17]. В ходе обсуждений отмечалась значимость угольной генерации из-за её низкой стоимости, значительных запасов угля, позволяющих обеспечить энергобезопасность многих регионов России и мира.

Актуальность исследования. Основной проблемой угольной энергетики является экологическая безопасность отрасли. Ужесточение экологических требований к чистоте воздуха от загрязнителей, выделяемых угольными тепловыми электростанциями (далее – ТЭС), привело к тому, что многие страны начали отказываться от угольной генерации в пользу альтернативных источников энергии. Стали сокращаться объёмы инвестиций в проекты угольной промышленности, а в ряде стран планируется полный отказ от неё в среднесрочной перспективе.

С 2021 г. на фоне энергетического кризиса страны мира делают некоторый разворот в сторону угольной энергетики, что объясняется несколькими причинами: резко возросший спрос на электроэнергию из-за восстановления мировой экономики после пандемии коронавируса; нехватка энергии и проблема её

выработки ветроэлектростанциями из-за продолжительных периодов безветренной погоды; недостаток газа в газовых хранилищах Европы. Всё это заставило энергокомпании вновь обратиться к более дешёвому, хотя и менее экологичному топливу – углю.

В статье авторы проанализировали существующее в настоящее время положение на рынке угольной генерации в России и мире, оценить перспективу развития отрасли.

Объект исследования – проблемы угольной генерации в России и мире.

Предмет исследования – перспектива развития угольной генерации в России и мире, являющаяся одной из самых актуальных тем для дискуссий, которая неоднократно обсуждалась на различных информационных площадках, в том числе и в международном контексте.

Цель исследования – анализ и количественная оценка распределения мощностей угольной энергетики, оценка экологических проблем, связанных с угольной генерацией.

Задача исследования – получение достоверной информации для оценки количественных характеристик энергопотребления и экологической безопасности отрасли.

Методы исследования. Метод исследования – анализ информационных данных аналитических агентств и имеющихся в открытом доступе материалов.

Разработанность темы исследования.

Угольная генерация в мире. Антироссийские санкции заставили мир несколько переосмотреть основные принципы ESG («экология, социальная политика и корпоративное управление»), ставшие популярными в некоторых

странах в 2020–2021 гг. В России данные принципы были менее распространены, но широко обсуждались на Петербургском международном экономическом форуме в 2021 г.

Доминирующим источником электроэнергии Китая, Индии и многих стран Юго-Восточной Азии (Индонезии, Вьетнама, Малайзии,

Таиланда) является угольная генерация. По имеющейся в открытом доступе информации аналитических агентств, занимающихся стратегическим консалтингом, вклад угля в первичное энергопотребление Китая достигнет максимума в 2025 г., затем начнёт снижаться, к 2050 г. сократившись почти в 2 раза [17] (рис. 1).



Рис. 1. Прогноз потребления энергетического угля в Китае до 2050 г. / **Fig. 1.** Forecast of thermal coal consumption in China until 2050

Китай активно разрабатывает программы по ограничению ввода новых угольных ТЭС и постепенной замене их на альтернативные источники энергии.

По данным тех же источников, максимум потребления энергетического угля в Индии будет достигнут к 2040 г. Планируется к 2030 г. увеличение мощностей угольных электростанций примерно на 20 %. Снижение угольной генерации в стране прогнозируется после 2040 г.

Сложный прогноз энергопотребления фиксируется в странах Евросоюза (ЕС). Многие аналитики предсказывают падение энергопотребления в ЕС уже к 2030 г. Уголь при этом уже не планируется к использованию для энергогенерации.

В настоящее время отказ ЕС от российского газа замедлил вывод угольных мощностей из общего энергобаланса и даже привёл к тому, что в некоторых странах ЕС начинают восстанавливать выведенные ранее из эксплуатации угольные ТЭС. Данная динамика наблюдается в Германии, Италии, Австрии,

Франции, Нидерландах¹ [3; 17]. Предполагается, что в ближайшие несколько лет потребление угля в данных странах может вырасти, несмотря на то что отказ от угольной генерации ЕС является одним из приоритетных экологических направлений. К 2050 г. прогнозируется иметь долю угля в качестве источника энергии не более 1 %.

Сценарии использования энергетического угля до 2050 г. по прогнозам консалтинговой компании «Яков и Партнёры» в рамках анализа ситуации в угольной отрасли в настоящее время² приведены на рис. 2.

Рейтинговое агентство АКРА в начале 2021 г. отмечало, что уголь останется одним из ключевых источников энергии в мире в разрезе 5–10 лет. Это топливо имеет наибольшую долю (47 %) в энергобалансе быстро

¹ IEA (2021e). Coal 2021 – analysis and forecast to 2024. – URL: <https://www.iea.org/reports/coal-2021> (дата обращения: 12.05.2024). – Текст: электронный.

² Будущее угольной индустрии: мировой рынок до 2050 г. – URL: https://yakov.partners/upload/iblock/ee5/hc32c9nsgb59mdchy1qj6l68pfa3ikv1/Budushchee-ugolnoy-industrii_mirovoy-rynok-do-2050-goda.pdf (дата обращения: 12.06.2024). – Текст: электронный.

растущих стран Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР), на которые приходится 44 % потребляемой энергии в мире, и значительный вес в выработке электроэнергии в таких регионах, как Африка (22 %), СНГ (14 %), ЕС (13 %), что отмечалось в обзоре [7].

По данным экспертов, падение спроса на энергетический уголь ожидается в Японии, Южной Корее к 2030 г. Рост спроса на уголь возрастёт в Индонезии и Африке.

В перспективе доля угля в энергобалансе в странах мира к 2050 г. будет составлять 1–15 % [7; 17].

Угольная генерация в России. В последние годы в России отмечаются уменьшение доли угольной генерации и увеличение перехода энергетических компаний на газ. В 2020 г. на угольные ТЭС приходилось около 16 % всей мощности электростанций.

Россия находится на втором месте после США по доказанным запасам угля, которые составляют 15,2 % мировых запасов, и на шестом месте по добыче – 5,6 % уровня добычи угля в мире. Больше половины добытого угля до 2022 г. уходило на экспорт. Крупнейшими импортёрами являлись Китай, Южная Корея и Япония. В настоящее время ситуация несколько изменилась, а перспективными импортёрами российского

угля могут стать страны Азии и Африки. Из-за отказа от импорта российского угля угольным компаниям, расположенным в странах, поддерживавших санкции против России, приходится переориентировать поставки на других потребителей, что создаёт определённые сложности в логистике и, по прогнозам экспертов, может влиять на снижение добычи угля.

Доля угольной генерации в России росла до 2000 г. и составляла около 20 %, затем началось её снижение в связи с переходом энергетических компаний на газ. Ужесточение экологических требований к выбросам угольных электростанций и усиление конкуренции на рынке энергетического топлива с природным газом привели к тому, что в настоящее время доля угля в структуре энергобаланса России составляет всего 12 % [7].

Наиболее значительная доля мощности угольных ТЭС имеется в Дальневосточном, Уральском и Сибирском федеральных округах (21–50 %) [16; 18].

В России имеется ряд регионов, в которых угольная генерация является основной или обладает значительной долей в общем объёме энергобаланса региона. Одним из таких регионов является Забайкальский край¹.

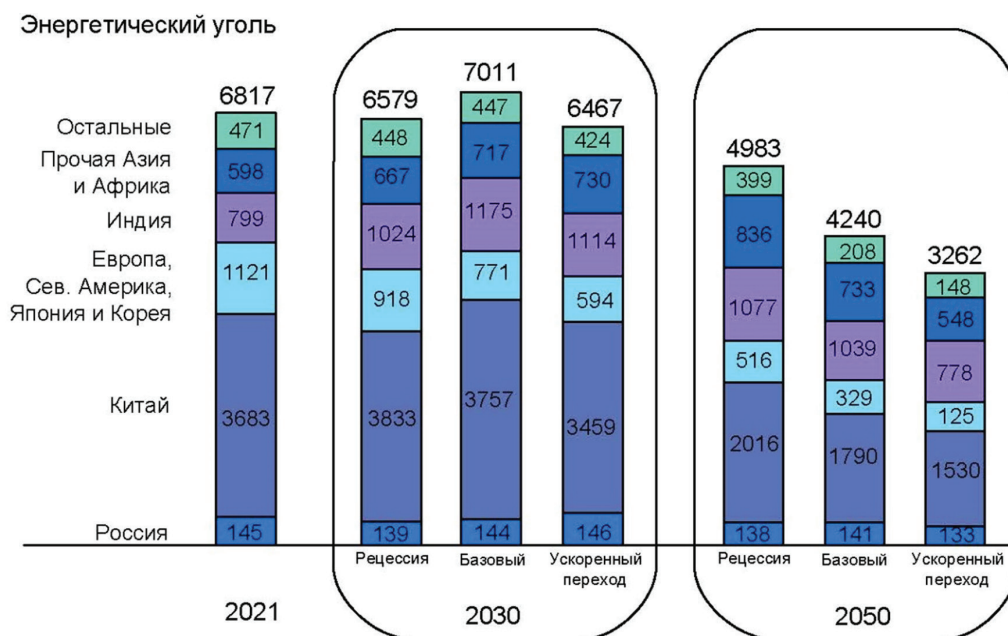


Рис. 2. Сценарии использования энергетического угля до 2050 г. по прогнозам консалтинговой компании «Яков и Партнеры», 2022 г. / **Fig. 2.** Scenarios for the use of thermal coal until 2050 according to forecasts of the consulting company Yakov and Partners, 2022¹

¹ Схема и программа развития электроэнергетики Забайкальского края на 2023–2027 г. – Чита, 2022. – С. 131. – URL: <https://minenergo.75.ru/deyatel-nost/toplivo-energeticheskij-kompleks/elektroenergetika> (дата обращения: 12.06.2024). – Текст: электронный.

Забайкальский край – субъект Российской Федерации, который входит в состав Дальневосточного федерального округа. Территория края – 431,9 тыс. км². Среднегодовая численность постоянного населения Забайкальского края согласно официальной статистике на 1 января 2022 г. составила 1 043,0 тыс. чел.

Энергосистема Забайкальского края входит в Объединённую энергосистему Сибири (ОЭС Сибири). Централизованным электроснабжением охвачено 97 % населённых пунктов.

По данным на 1 января 2022 г., в операционной зоне Забайкальского регионального диспетчерского управления находятся 10 объектов генерации суммарной установленной электрической мощностью 1643,8 МВт. Наиболее крупными из них являются «Харанорская ГРЭС» с установленной мощностью 665 МВт (АО «ИНТЕР РАО – Электрогенерация»), «Читинская ТЭЦ-1» – 452,8 МВт (ПАО «ТГК-14»), станция промышленного

предприятия ТЭЦ ПАО «ППГХО» – 410 МВт (ПАО «ППГХО»).

Основным видом топлива для ТЭС энергосистемы Забайкальского края являются бурые угли, добываемые открытым способом на местных угольных разрезах. Другие виды топлива, ввиду удалённости региона от мест добычи, являются неконкурентоспособными.

В последние годы, т. е. в 2019–2021 гг., расход топлива на электростанциях на производство электрической и тепловой энергии менялся незначительно и составил около 3221 тыс. т. Доля угля в топливном балансе электростанций края составляет 99,8 %, мазута – 0,2 %. В структуре расхода угля на электростанциях края доля «Харанорской ГРЭС» составила 38,9 %, «Читинской ТЭЦ-1» – 35,8 %, ТЭЦ ПАО «ППГХО» – 24,5 %.

Фактическая и прогнозная динамика добычи и структура потребления угля на территории Забайкальского края за 2022–2027 гг. представлены в таблице.

Фактическая и прогнозная динамика добычи и структура потребления угля на территории Забайкальского края за 2022–2027 гг. / Actual and forecast dynamics of coal production and consumption structure in the territory of the Transbaikal Territory for the period 2022–2027

№ п/п	Показатели, тыс. т угля / Indicators, thousand tons of coal	Год / Year					
		2022	2023	2024	2025	2026	2027
1	Добыча, всего, в том числе: / Production, total, including:	16380,7	16443,4	16788,5	16594,3	16509,9	16545,9
	Разрез Харанорский / Kharanorsky section	4794,9	4790,7	5027,5	5031,3	4866,7	4866,7
	Разрез Татауровский (Восточный) / Tataurovsky open-pit mine (Eastern)	1462,1	1463,8	1465,6	1467,3	1469,1	1470,9
	Разрез Уртуйский / Urtuisky open-pit mine	3042,7	3106,4	3211,3	3010,1	3086,9	3119,5
	Разрез Тугнуйский / Tugnuisky section	5791,3	5791,3	5791,3	5791,3	5791,3	5791,3
	Апсатское месторождение / Apsatskoeye field	130,3	130,4	130,6	130,7	130,9	131,1
	Разрез Тигнинский / Tigninsky section	179,4	179,6	179,8	180,0	180,2	180,5
Малые предприятия / Small businesses	980,1	981,2	982,4	983,6	984,8	985,9	
2.	Потребление всего, в том числе: / Consumption of everything, including:	9337,1	9505,4	9569,8	9667,4	9667,9	9811,5
	Всего ТЭС, ГРЭС / Total thermal power plants, state district power plants	6846,7	6910,9	7197,6	7080,2	7125,6	7231,0
	Филиал ПАО «ТГК-14» «Читинская генерация» / Branch of PJSC "TGC-14" "Chita Generation"	2482,8	2513,0	2510,1	2512,3	2509,9	2595,3
	Харанорский / Kharanorsky	1999,0	2023,5	2022,7	2024,4	1992,1	2059,9
	Татауровский / Tataurovsky	483,8	489,5	487,4	487,9	517,7	532,3
	Уртуйский / Urtuisky	2602,7	2597,4	2832,2	2836,1	2836,9	2836,9
	Тигнинский / Tigninsky	2497,2	2492,1	2717,4	2721,2	2722,0	2722,0
	Из других регионов / From other regions	105,5	105,3	114,8	114,9	115,0	115,0
	Харанорская ГРЭС / Kharanorskaya GRES	1705,0	1744,0	1799,0	1678,0	1724,0	1744,0
	Харанорский / Kharanorsky	1705,0	1744,0	1799,0	1678,0	1724,0	1744,0
	Татауровский / Tataurovsky	56,2	56,5	56,3	53,7	54,8	54,8
	Уртуйский / Urtuisky	56,2	56,5	56,3	53,7	54,8	54,8
	Тигнинский / Tigninsky	2490,4	2594,5	2372,2	2587,2	2542,3	2580,5
	Из других регионов / From other regions	6747,8	6671,3	6940,6	6651,0	6727,0	6704,8

Окончание таблицы / End the table

№ п/п	Показатели, тыс. т угля / Indicators, thousand tons of coal	Год / Year					
		2022	2023	2024	2025	2026	2027
2	ТЭЦ ППГХО (АО «РИР») / ТТР PIMCU (JSC RIR)	9337,1	9505,4	9569,8	9667,4	9667,9	9811,5
	Уртуйский / Urtuisky	6846,7	6910,9	7197,6	7080,2	7125,6	7231,0
	Первомайская ТЭЦ / Pervomaiskaya TPP	2482,8	2513,0	2510,1	2512,3	2509,9	2595,3
	Харанорский / Kharanorsky	1999,0	2023,5	2022,7	2024,4	1992,1	2059,9
	Из других регионов / From other regions	483,8	489,5	487,4	487,9	517,7	535,3
	Объекты ЖКХ / Housing and communal services objects	2602,7	2597,4	2832,2	2836,1	2836,9	2836,9
3	Отгрузка за пределы края / Shipping outside the region	2497,2	2492,1	2717,4	2721,2	2722,0	2722,0

Структура потребления топлива на прогнозируемый период 2024–2027 гг. существенно не меняется, основную его долю составляет уголь (более 99 %). Среднегодовой расход угля электростанциями Забайкальского края составит около 7 млн т.

Из всего изложенного следует, что основным видом топлива объектов генерации энергосистемы Забайкальского края являются Харанорский и Уртуйский бурые угли.

В силу отсутствия в крае газо- и нефте-транспортной инфраструктуры объёмы использования таких видов топлива, как нефть и газ, в регионе не значительны. Мазут используется в качестве вспомогательного топлива для растопки котлов «Харанорской ГРЭС» и «Читинской ТЭЦ-2».

Экологические проблемы угольной генерации. Одно из наиболее уязвимых мест в угольной энергетике – экологическое воздействие предприятий угольного топливного цикла на окружающую среду.

Анализ влияния выбросов в атмосферу, связанных с энергетикой, по регионам мира, выполненный Международным институтом прикладного системного анализа (IIASA), показал, что главными загрязнителями воздуха являются промышленность, автотранспорт, мелкие источники тепловой энергии, но не угольные ТЭС¹ [2; 4; 7].

Тем не менее общественное мнение склонно приписывать именно находящимся на виду угольным ТЭС основную роль в загрязнении, считая, что они создают чуть ли не все экологические проблемы на земле. Регуляторы, следуя этим настроениям, ужесточают требования к угольной генерации. Хотя практически на всех ТЭС, как в России, так и за её пределами, существуют хорошо обоснованные системы экологиче-

ского мониторинга, которые контролируют концентрацию не только вредных веществ в дымовых газах, вылетающих через трубу в атмосферу, но и вредных веществ в почвах, водоёмах на территориях, прилегающих к действующим ТЭС.

Конечно, нельзя утверждать, что экологические проблемы, связанные с угольной генерацией, полностью решены, но они решаются с помощью применения новейших разработок и технологий по сжиганию углей и очистке выбросов угольных ТЭС² [23].

Важнейшим фактором ограничений в работе угольных ТЭС являются золошлакоотвалы. Например, один из самых крупных источников промышленных отходов в США – угольные электростанции, которые производят около 110 млн т золошлаковых отходов, но почти 70 % из них используются [6; 12; 13; 21].

За рубежом понятия «золошлаковые отходы» (далее – ЗШО) уже нет, но есть понимание того, что это материал строительный либо иной. В качестве примера можно привести следующие данные: в Великобритании, Польше, Индии используется 50–70 % годового выхода ЗШО. В Китае перерабатывают свыше 80 % золошлаков. В Германии, Дании и в Нидерландах запрещено иметь ЗШО. Такому положению способствует экологическое законодательство ЕС, которое устанавливает экологический штраф за размещение ЗШО, составляющий в среднем 100 евро за тонну (284 евро – в Чехии, 120 евро – в Германии, 90 евро – в Италии) [19; 20–22]. Для сравнения: в России штраф за складирование ЗШО до недавнего времени составлял около 20 р. за тонну. Россия практически на 20 лет отстала с освоением современных угольных

¹ IPCC (2021). Climate change 2021 – the physical science basis. – URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf (дата обращения: 05.06.2024). – Текст: электронный.

² Beneficial use of coal combustion products (2019). American Coal Ash Association (ACAA). – URL: <https://aca-a-usa.org/wp-content/uploads/coalcombustion-products-use/ACAA-Brochure-Web> (дата обращения: 05.06.2024). – Текст: электронный.

технологий в электроэнергетике. Показатели российских ТЭС уступают достигнутому в зарубежной энергетике не только передовых развитых стран, но и некоторых развивающихся стран. Коэффициент полезного действия (далее – КПД) лучших конденсационных энергоблоков на угле в мире составляет 46–48 %, а в России лучшие конденсационные энергоблоки имеют КПД 33–36 % и перерасходуют около 20 % топлива.

В России действует 172 ТЭС на угольном топливе, в золошлакоотвалах которых

накоплено порядка 1,5 млрд т отходов. Ежегодно утилизируется и используется порядка 8–10 % (2,0–2,5 млн т) годового выхода золошлаковых отходов (23–25 млн т), а 21–22 млн т ЗШО поступают в отвалы (рис. 3).

Базовый вариант предусматривает увеличение установленной мощности угольных ТЭС до 68,2 ГВт и рост объёма сжигаемого угля примерно в 1,5 раза по сравнению с 2010 г., что приведёт к 2030 г. к увеличению выхода ЗШО до 35–36 млн т ежегодно.

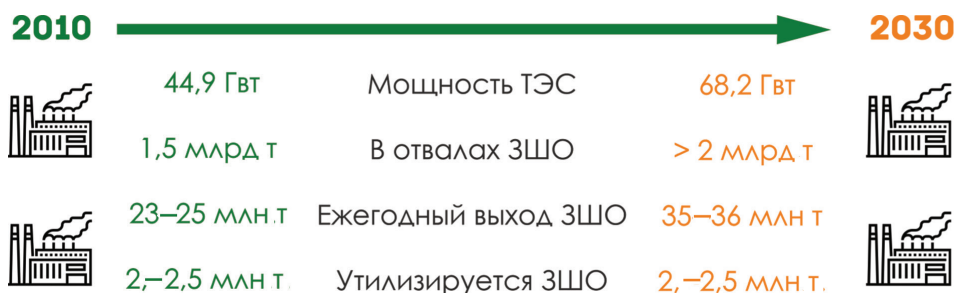


Рис. 3. Прогноз накопления ЗШО на угольных ТЭС по генеральной схеме размещения электроэнергетики до 2030 г. (базовый вариант) / **Fig. 3.** Forecast of accumulation of ash waste at coal-fired thermal power plants according to the general layout of the electric power industry until 2030 (base case)

Авторы статьи «От отходов угольных электростанций к производству строительных материалов» в журнале «Энергетическая политика» Виктор Анিকেев и Дмитрий Силка приводят данные о том, что в России ежегодно образуется 22 млн т угольных отходов, а на начало 2021 г. накоплено 1,4–1,8 млрд т ЗШО [1].

Золошлаковые хранилища на 30 % угольных электростанций практически заполнены. В России под хранение ЗШО выделено уже более 20 тыс. км².

Например, крупнейшая в Забайкальском крае «Харанорская ГРЭС», имеющая объект размещения отходов площадью 1 280 000 м² и вместимостью 7 524 000 м³, уже имеет заполнение 4 063 158 м³. Вопрос утилизации отходов является на предприятии весьма актуальным.

В России проблема утилизации ЗШО возникла не сегодня и не вчера. Практически ежегодно, начиная с 2008 г., проводятся конференции, совещания, симпозиумы по теме утилизации ЗШО. Издано множество книг, посвящённых проблеме рециклинга ЗШО. Доказаны полезные качества ЗШО и необходимость их использования в качестве вторичного минерального ресурса в различных отраслях промышленности, особенно в стро-

ительной индустрии, при строительстве автомобильных дорог, засыпке горных выработок, планировке территорий и др. [6; 10–13].

Выполненные исследования показали, что применение ЗШО в различных отраслях промышленности не только в разы экономит природные ресурсы и сохраняет природную среду, но и существенно повышает качество материалов, снижает себестоимость их производства, повышает долговечность эксплуатации (например, автомобильных дорог) [5; 8; 10; 14; 15].

В России действует государственная программа «Энергоэффективность и развитие энергетики» до 2030 г., в которой прописаны целевые показатели использования ЗШО, а также региональные программы, однако эффект от них пока незначительный. Только решение данных проблем позволит увеличить экологичность угольных ТЭС и повысить конкурентоспособность угольной генерации, имеющей большой потенциал¹ [9].

¹ Рекомендации «круглого стола» Комитета Государственной Думы по энергетике на тему «Законодательное регулирование использования золошлаковых отходов угольных ТЭС»: [утв. Решением Комитета Государственной Думы по энергетике №3.25-5/107 от 29 мая 2019 г.]. – URL: <http://komitet-energo.duma.gov.ru/dokumenty-i-materialy/Rekomendacii/8ee188ff-afad-477b-aef0-deeefb458d2f> (дата обращения: 12.05.2024). – Текст: электронный.

Выводы. Несомненно, в ближайшей перспективе тепловая энергетика будет оставаться преобладающей в энергетическом балансе мира и отдельных стран. Велика вероятность увеличения доли углей и других видов менее чистого топлива в получении энергии. В этой связи необходимо искать пути и способы, позволяющие существенно уменьшать отрицательное воздействие на окружающую среду, которые базируются в основном на совершенствовании технологий подготовки топлива и улавливания загрязняющих выбросов.

На каждой стадии проектирования новой ТЭС важно помнить о том, что взаимодействие энергетического предприятия с окружающей средой происходит на всех стадиях добычи и использования топлива, преобразования и передачи энергии.

Российские ТЭС являются потребителями в основном низкокачественных, небогатых углей (~90 % объема потребления). Поставка низкокачественного угля происходит из-за технических ограничений оборудования ТЭС по сжиганию качественных углей. ТЭС не нуждаются в высококачественном угле, они спроектированы и построены в расчёте на сжигание низкокачественного угля конкретных месторождений.

Потребность в высококачественном угле могла бы возникнуть при внедрении современных ТЭС, основанных на «чистых» уголь-

ных технологиях, которые в нашей энергетике отсутствуют.

Анализ результатов аналитических и практических исследований позволяет сделать выводы о том, что для снижения негативного воздействия от добычи угля, выбросов тепловых станций и ЗШО необходимы следующие меры:

1) введение в эксплуатацию современного оборудования на ТЭС и поставка на ТЭС обогащённых углей с зольностью, уровень которой отвечал бы мировым стандартам;

2) модернизация на угольных ТЭС систем золошлакоудаления с заменой преобладающего мокрого способа золоудаления на более технологичный сухой способ, что позволит решить проблему утилизации и использования золошлаковых отходов, снизит негативное воздействие ЗШО;

3) разработка нормативных документов по предельно допустимому выбросу и предельно допустимой концентрации на выбросы и отходы ТЭС с учётом современных экологических требований (токсичные и радиоактивные, которые в настоящее время не нормируются).

Соответственно, решение проблем экологической безопасности топливной энергетики требует централизованного подхода и значительных финансовых вложений, прежде всего создания соответствующей нормативной базы. Решать её необходимо на уровне Правительства РФ.

Список литературы

1. Анисеев В., Силка Д. Н. От отходов угольных электростанций к производству строительных материалов // Энергетическая политика. 2021. № 1. С. 48–55.
2. Батмунх С., Саломатов В. В., Стенников В. А., Энхжаргал Х. Экологическая чистая угольная ТЭС в концепции мультикомплекса с интеграцией в электроэнергетическую систему Монголии. Новосибирск: СО РАН: Гео, 2019. 253 с.
3. Бат-Эрдэнэ Б., Батмунх С., Драчёв П. С., Подковальников С. В. Развитие энергетического сектора Монголии: моделирование и оптимизация структуры ЕЭЭС Монголии // Энергетик. 2023. № 5. С. 26–35. URL: <http://www.energetik.energy-journals.ru/index.php/EN/article/view/2271> (дата обращения: 05.06.2024).
4. Золотова И. Ю. Бенчмаркинг зарубежного опыта утилизации продуктов сжигания твёрдого топлива угольных ТЭС // Инновации и инвестиции. 2020. № 7. 2020. С. 123–128. URL: <https://acaa-usa.org/wp-content/uploads/coalcombustion-products-use/ACAA-Brochure-Web.pdf> (дата обращения: 05.06.2024).
5. Киселева О. А., Иванова А. А., Мухина Т. Н., Кумпан Н. В. Разработка алгоритма выполнения требований по квотированию выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух // Энергетик. 2023. № 3. С. 39–41. <https://istina.msu.ru/journals/97525> (дата обращения: 05.06.2024).
6. Киселева С. П., Вишняков Я. Д., Пухов С. А., Разовский Ю. В., Маколова Л. В. Вовлечение отходов тепловых электростанций в эколого-ориентированное развитие экономики // Уголь. 2020. № 11. С. 64–66. URL: <http://www.ugolinfo.ru/Free/112020.pdf> (дата обращения: 05.06.2024).
7. Киселева С. П., Маравьев В. А., Смирнова Т. С. Переход к экономике замкнутого цикла – путь к улучшению экологической ситуации в России // Приоритетные и перспективные направления научно-технического развития Российской Федерации: материалы I Всерос. науч.-практ. конф. 2018. С. 240–245. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35341338> (дата обращения: 05.06.2024).
8. Кузьмин В. Р. Технология оценки загрязнений окружающей среды объектами энергетике с применением информационно вычислительной системы WICS // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2023. № 1. С. 111–122. URL: <https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=58066> (дата обращения: 05.06.2024).

9. Марьев В. А., Смирнова Т. С., Киселева С. П. Экотехнопарки как основа комплексной системы управления отходами и вторичными ресурсами (мировой опыт) // Эколого-ориентированное управление рисками и обеспечение безопасности социально-экономических и общественно-политических систем и природно-техногенных комплексов: сб. мат. круглого стола. М., 2017. С. 102–110.
10. Осокин А. Н., Золотова И. Ю., Никитушкина Ю. В. Снижение антропогенного воздействия дорожного строительства за счёт применения золошлаков ТЭС // Экономическая наука современной России (ЭНСР). 2022. № 1. С. 81–93. URL: <https://www.ecr-journal.ru/jour/article/view/748> (дата обращения: 05.06.2024).
11. Пичугин Е. А. Аналитический обзор накопленного в Российской Федерации опыта вовлечения в хозяйственный оборот золошлаковых отходов теплоэлектростанций // Проблемы региональной экологии. 2019. № 4. С. 77–87. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-othodov-ugledobychi-uglepererabotki-i-ugleobogascheniya-mestorozhdeniy-kuznetskogo-ugolnogo-basseyna> (дата обращения: 05.06.2024).
12. Подгородецкий Г. С., Горбунов В. Б., Агапов Е. А., Ерохов Т. В., Козлова О. Н. Проблемы и перспективы утилизации золошлаковых отходов ТЭС. Часть 1 // Известия высших учебных заведений. Чёрная металлургия. 2018. № 61. С. 439–446. URL: https://fermet.misis.ru/jour/article/view/1356?locale=ru_RU (дата обращения: 05.06.2024).
13. Пухов С. А., Киселева С. П. Вовлечение в хозяйственный оборот золошлаковых отходов тепловых электростанций в интересах экологоориентированного развития экономики // Отходы и ресурсы. 2020. № 4. С. 3–10. URL: <https://resources.today/PDF/10ECOR420.pdf> (дата обращения: 05.06.2024).
14. Рябов Г. А., Артемьева И. В. Роль угольных технологий с низкими выбросами в Азии // Энергетика за рубежом. 2023. № 3. С. 2–27. URL: <http://www.energetik.energy-journals.ru/ezr/index.php/EZR/article/view/435> (дата обращения: 05.06.2024).
15. Рябов Г. А. Совместное сжигание биомассы и ископаемых топлив – путь к декарбонизации производства тепла и электроэнергии // Теплоэнергетика. 2022. № 6. С. 3–15. URL: <https://sciencejournals.ru/viewarticle/?j=tepen&y=2022&v=0&n=6&a=ТепEn2206005Ryabov> (дата обращения: 05.06.2024).
16. Такайшвили Л. Уголь восточных регионов России в топливоснабжении электростанций // Энергетическая политика. 2023. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ugol-vostochnyh-renionov-rossii-v-toplivosnabzhenii-elektrostantsiy> (дата обращения: 05.06.2024).
17. Хохлов А., Мельников Ю. Угольная генерация: новые вызовы и возможности. М.: Сколково, 2019. 84 с. URL: <https://www.bigpowernews.ru/research/docs/document86983.phtml> (дата обращения: 05.06.2024). Текст: электронный.
18. Шамрай Е. И., Таскин А. В., Иванников С. И., Юдаков А. А. Исследование возможностей комплексной переработки отходов предприятий Приморского края // Современные наукоёмкие технологии. 2017. № 3. С. 68–75. URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=36618> (дата обращения: 05.06.2024).
19. Bruce C., Jacobs B., Giannaris S., Hardy B. Learning by doing: the cost reduction potential for CCUS at coal-fired power plants. URL: [https://CCUSknowledge.com/pub/CIAB_Report_LessonsByDoing_CCUS_onCoal_Nov2019\(1\).pdf](https://CCUSknowledge.com/pub/CIAB_Report_LessonsByDoing_CCUS_onCoal_Nov2019(1).pdf) (дата обращения: 05.06.2024).
20. Feron P., Cousins A., Jiang K. Towards Zero Emissions from Fossil Fuel Power Stations // International Journal of Greenhouse Gas Control. 2019. No. 5. P. 188–202. URL: https://www.researchgate.net/publication/334840646_Towards_Zero_Emissions_from_Fossil_Fuel_Power_Stations (дата обращения: 05.06.2024).
21. Janowczyk D., Giannaris S., Hill K., Jonathan Ruffinib J., Jacobsa B., FengaYu., Srisanga W., Bruce C. Derates and Outages Analysis – A Diagnostic Tool for Performance Monitoring of SaskPower’s Boundary Dam Unit 3 Carbon Capture Facility // 15th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies GHGT-15. Abu Dhabi, UAE, 2021. 13 p. URL: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3820207 (дата обращения: 05.06.2024).
22. Kelsall G., Baruya P. The role of low emission technologies in net zero Asia future, International Centre for Sustainable Carbon // IEA. 2022. URL: <https://sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo?journalid=363&paperId=10072825> (дата обращения: 05.06.2024).
23. Sharma V., Akhai S. Trends in utilization of coal fly ash in India: A review // Journal of Engineering Design and Analysis. 2019. No. 2. P. 12–16. URL: https://www.academia.edu/46689412/Trends_in_Utilization_of_Coal_Fly_Ash_in_India (дата обращения: 05.06.2024).

References

1. Anikeev V., Silka D. N. From waste from coal-fired power plants to the production of building materials. Energy Policy, no. 1, pp. 48–55, 2021. (In Rus.)
2. Batmunkh S., Salomatov V. V., Stennikov V. A., Enkhzhargal H. Ecological clean coal-fired thermal power plant in the concept of a multicomplex with integration into the electric power system of Mongolia. Novosibirsk: SB RAS: Geo, 2019. 253 p. (In Rus.)
3. Bat-Erdene B., Batmunkh S., Drachev P. S., Podkovalnikov S. V. Development of the energy sector of Mongolia: modeling and optimization of the structure of the Unified Energy System of Mongolia. The Power

Engineer, no. 5, pp. 26–35, 2023. Web. 05.06.2024. <http://www.energetik.energy-journals.ru/index.php/EN/article/view/2271>. (In Rus.)

4. Zolotova I. Yu. Benchmarking of foreign experience in utilization of solid fuel combustion products of coal-fired thermal power plants. *Innovations and Investments*, no. 7, pp. 123–128, 2020. Web. 05.06.2024. <https://acaa-usa.org/wp-content/uploads/coalcombustion-products-use/ACAA-Brochure-Web.pdf>. (In Rus.)

5. Kiseleva O. A., Ivanova A. A., Mukhina T. N., Kumpan N. V. Development of an algorithm for fulfilling requirements for quotas of emissions of pollutants into the atmospheric air. *Energetik*, no. 3, pp. 39–41, 2023. Web. 05.06.2024. <https://istina.msu.ru/journals/97525>. (In Rus.)

6. Kiseleva S. P., Vishnyakov Ya. D., Pukhov S. A., Razovsky Yu. V., Makolova L. V. Involving waste from thermal power plants in the environmentally oriented development of the economy. *Coal*, no. 11, pp. 64–66, 2020. Web. 05.06.2024. <http://www.ugolinfo.ru/Free/112020.pdf>. (In Rus.)

7. Kiseleva S. P., Maraviev V. A., Smirnova T. S. Transition to a closed-cycle economy – the way to improve the environmental situation in Russia. Priority and promising directions of scientific and technical development of the Russian Federation: materials of the I All-Russian Scientific and Practical Conference. 2018. P. 240–245. Web. 05.06.2024. <https://elibrary.ru/item.asp?id=35341338>. (In Rus.)

8. Kuzmin V. R. Technology for assessing environmental pollution by energy facilities using the WICS information computing system. *Information and Mathematical Technologies in Science and Management*, no. 1, pp. 111–122, 2023. Web. 05.06.2024. <https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=58066>. (In Rus.)

9. Maryev V. A., Smirnova T. S., Kiseleva S. P. Ecotechnoparks as the basis of an integrated waste and secondary resources management system (world experience). *Ecological-oriented risk management and ensuring the safety of socio-economic and socio-political systems and natural and man-made complexes: collection of the round table*. Moscow, 2017. P. 102–110. (In Rus.)

10. Osokin A. N., Zolotova I. Yu., Nikitushkina Yu. V. Reduction of anthropogenic impact of road construction through the use of TPP ash slag. *Economic Science of Modern Russia (ENSR)*, no. 1, pp. 81–93, 2022. Web. 05.06.2024. <https://www.ecr-journal.ru/jour/article/view/748>. (In Rus.)

11. Pichugin E. A. Analytical review of the experience accumulated in the Russian Federation of involving ash and slag waste from thermal power plants in economic turnover. *Problems of Regional Ecology*, no. 4, pp. 77–87, 2019. Web. 05.06.2024. <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-otvodov-ugledobychi-uglepererabotki-i-uglebogascheniya-mestorozhdeniy-kuznetskogo-ugolnogo-basseyna>. (In Rus.)

12. Podgorodetsky G. S., Gorbunov V. B., Agapov E. A., Erokhov T. V., Kozlova O. N. Problems and prospects of utilization of ash and slag waste from CHP plants. Part 1. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Ferrous Metallurgy*, No. 61, pp. 439–446, 2018. Web. 05.06.2024. https://fermet.misis.ru/jour/article/view/1356?locale=ru_RU. (In Rus.)

13. Pukhov S. A., Kiseleva S. P. Involvement in the economic turnover of ash and slag waste from thermal power plants in the interests of environmentally oriented economic development. *Waste and Resources*, no. 4, pp. 3–10, 2020. Web. 05.06.2024. <https://resources.today/PDF/10ECOR420.pdf>. (In Rus.)

14. Ryabov G. A., Artemyeva I. V. The role of low-emission coal technologies in Asia. *Energy Industry Abroad*, no. 3, pp. 2–27, 2023. Web. 05.06.2024. <http://www.energetik.energy-journals.ru/ezr/index.php/EZR/article/view/435>. (In Rus.)

15. Ryabov G. A. Co-combustion of biomass and fossil fuels – the way to decarbonization of heat and electricity production. *Thermal Power Engineering*, no. 6, pp. 3–15, 2022. Web. 05.06.2024. <https://sciencejournals.ru/viewarticle/?j=tepen&y=2022&v=0&n=6&a=TepEn2206005Ryabov>. (In Rus.)

16. Takaishvili L. Coal of the eastern regions of Russia in the fuel supply of power plants. *Energy Policy*, no. 3, 2023. Web. 05.06.2024. <https://cyberleninka.ru/article/n/ugol-vostochnyh-renionov-rossii-v-toplivosnabzhenii-elektrostantsiy>. (In Rus.)

17. Khokhlov A., Melnikov Yu. Coal generation: new challenges and opportunities. Moscow: Skolkovo, 2019. 84 p. Web. 05.06.2024. <https://www.bigpowernews.ru/research/docs/document86983.phtml>. (In Rus.)

18. Shamray E. I., Taskin A. V., Ivannikov S. I., Yudakov A. A. Investigation of the possibilities of integrated waste processing of enterprises of the Primorsky Territory. *Modern High-Tech Technologies*, no. 3, pp. 68–75, 2017. Web. 05.06.2024. <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=36618>. (In Rus.)

19. Bruce C., Jacobs B., Giannaris S., Hardy B. Learning by doing: the cost reduction potential for CCUS at coal-fired power plants. Web. 05.06.2024. [https://CCUSknowledge.com/pub/CIAB_Report_LessonsByDoing_CCUS_onCoal_Nov2019\(1\).pdf](https://CCUSknowledge.com/pub/CIAB_Report_LessonsByDoing_CCUS_onCoal_Nov2019(1).pdf). (In Eng.)

20. Feron P., Cousins A., Jiang K. Towards Zero Emissions from Fossil Fuel Power Stations. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, no. 5, pp. 188–202, 2019. Web. 05.06.2024. https://www.researchgate.net/publication/334840646_Towards_Zero_Emissions_from_Fossil_Fuel_Power_Stations. (In Eng.)

21. Janowczyk D., Giannaris S., Hill K., Jonathan Ruffinib J., Jacobsa B., Fenga Yu., Srisanga W., Bruce C. Derates and Outages Analysis – A Diagnostic Tool for Performance Monitoring of SaskPower's Boundary Dam Unit 3 Carbon Capture Facility. 15th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies GHGT-15. Abu Dhabi, UAE, 2021. 13 p. Web. 05.06.2024. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3820207. (In Eng.)

22. Kelsall G., Baruya P. The role of low emission technologies in net zero Asia future, International Centre for Sustainable Carbon. IEA. 2022. Web. 05.06.2024. <https://sciencepublishinggroup.com/journal/paperinfo?journalid=363&paperid=10072825>. (In Eng.)

23. Sharma V., Akhai S. Trends in utilization of coal fly ash in India: A review. Journal of Engineering Design and Analysis, no. 2, pp. 12–16, 2019. Web. 05.06.2024. https://www.academia.edu/46689412/Trends_in_Utilization_of_Coal_Fly_Ash_in_India. (In Eng.)

Информация об авторах

Сидорова Галина Петровна, д-р техн. наук, проф. каф. прикладной геологии и технологии геологической разведки, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; druja@inbox.ru. Область научных интересов: геоэкология и геотехнология горного производства.

Маниковский Павел Михайлович, канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры открытых горных работ, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия; manikovskiymp@yandex.ru. Область научных интересов: геотехнология и геоэкология, математическое моделирование месторождений ТПИ, моделирование угольных и рудных месторождений, ГИС, САПР, геологическое моделирование.

Гущина Татьяна Олеговна, канд. техн. наук, главный специалист-эксперт отдела по надзору за открытой угледобычей и обогащению углей, Управление по надзору в угольной промышленности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор), г. Москва, Россия; tanyshkaguchina@inbox.ru. Область научных интересов: геотехнология и геоэкология горного производства.

Information about the authors

Sidorova Galina P. – doctor of technical sciences, professor, Applied Geology and Geological Exploration Technology department, Transbaikal State University, Chita, Russia; druja@inbox.ru. Research interests: geoecology and geotechnology of mining.

Manikovsky Pavel M. – candidate of technical sciences, senior lecturer, Open-pit Mining department, Transbaikal State University, Chita, Russia; manikovskiymp@yandex.ru. Research interests: geotechnology and geoecology, mathematical modeling of solid mineral deposits, modeling of coal and ore deposits, GIS, CAD, geological modeling.

Gushchina Tatyana O. – candidate of technical sciences, chief specialist-expert, Supervision of Open-pit Coal Mining and Coal Preparation department, Directorate for Supervision in the Coal Industry of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision (Rostekhnadzor), Moscow, Russia; tanyshkaguchina@inbox.ru. Research interests: geotechnology and geoecology of mining.

Вклад авторов в статью

Сидорова Г. П. – сбор и обработка материалов, библиографии, анализ полученных в результате исследования материалов, разработка методологии исследования, написание текста.

Маниковский П. М. – сбор и обработка результатов исследований, построение схем и графиков, написание текста.

Гущина Т. О. – сбор и обработка результатов исследований, построение схем и графиков, написание текста.

Authors' contribution to the article

Sidorova G. P. – collection and processing of materials, bibliographies, analysis of materials obtained as a result of the research, development of research methodology, writing the text.

Manikovsky P. M. – collection and processing of research results, construction of diagrams and graphs, writing text.

Gushchina T. O. – collection and processing of research results, construction of diagrams and graphs, writing text.

Для цитирования

Сидорова Г. П., Маниковский П. М., Гущина Т. О. Перспективы угольной генерации // Вестник Забайкальского государственного университета. 2024. Т. 30, № 3. С. 38–48. DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-3-38-48.

For citation

Sidorova G. P., Manikovsky P. M., Gushchina T. O. Prospects for Coal Generation // Transbaikal State University Journal. 2024. Vol. 30, no. 3. P. 38–48. DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-3-38-48.