

Современные тренды и прогноз развития угольной промышленности мира и России в условиях трансформации мировой экономики

Часть II. Угрозы и вызовы российской и мировой добыче угля, долгосрочные прогнозы (до 2060 г.) ее развития с использованием нейронных сетей

Current trends and a forecast of coal industry development in Russia and worldwide in conditions of the world economy transformation

Part II. Threats and challenges to Russian and global coal mining, long-term forecasts (up to 2060) of its development using neural networks

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-8-130-139>

ПЛАКИТКИНА Л.С.

Канд. техн. наук, член-кор. РАЕН,
руководитель Центра исследования
угольной промышленности
мира и России ИНЭИ РАН,
117186, г. Москва, Россия,
e-mail: luplak@rambler.ru

ПЛАКИТКИН Ю.А.

Доктор экон. наук, профессор,
академик РАЕН, академик АГН,
руководитель Центра анализа
и инноваций в энергетике
ИНЭИ РАН,
117186, г. Москва, Россия,
e-mail: uplak@mail.ru

Проведенный в первой части статьи анализ развития добычи, экспорта, импорта и потребления угля в России и мире в период 2000-2022 гг. показал, что в настоящее время сложилась неоднозначная ситуация с развитием угольной отрасли. В этой связи во второй части статьи детально рассмотрены «сдерживающие» или так называемые «замыкающие» факторы, влияющие на развитие угольной промышленности мира и России в средне- и долгосрочной перспективе. Среди них: современная климатическая повестка, эмбарго стран ЕС и Великобритании, вступившее в силу с августа 2022 г., развитие солнечной, ветровой и водородной энергетики в основных странах мира и России. Сформулированы основные риск-факторы развития добычи и экспорта российского угля. Представлены прогнозы добычи угля в целом в мире, а также в Китае, Индии, России, США, Австралии в период до 2060 г. Прогнозные расчеты выполнены с помощью моделей, разработанных в ИНЭИ РАН с применением методов интеллектуального анализа и моделирования, основанного на построении нейронных сетей.

Ключевые слова: прогнозы добычи угля в целом в мире, в Китае, Индии, России, США, Австралии в период до 2060 г.; ВИЭ, климатическая повестка, углеродная нейтральность, развитие солнечной, ветровой и водородной энергетики, интеллектуальное моделирование, нейронные сети.

Для цитирования: Плакиткина Л.С., Плакиткин Ю.А., Дьяченко К.И. Современные тренды и прогноз развития угольной промышленности мира и России в условиях трансформации мировой экономики. Часть II. Угро-

зы и вызовы российской и мировой добыче угля, долгосрочные прогнозы (до 2060 г.) ее развития с использованием нейронных сетей // Уголь. 2024;(8):130-139. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-8-130-139.

Abstract

The analysis of the coal production, exports, imports and consumption trends in Russia and the world for the period of 2000-2022 presented in the first part of the article shows that the current situation with the development of the coal industry is ambiguous. In this connection, the second part of the article provides a detailed review of the “restraining” or the so-called “closing” factors affecting the development of the coal industry in the world and in Russia in the medium and long term. They include the current climate agenda, the embargo imposed by the EU and the UK, which came into force in August 2022, and the development of the solar, wind and hydrogen energy sectors in the main countries of the world and in the Russian Federation. The main risk factors for the development of the Russian coal production and export are defined. Forecasts of coal production are presented for the period up to 2060 for the world in general, as well as for China, India, Russia, USA, Australia. Forecast calculations are made with the help of models developed at the Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences (ERI RAS) using methods of intellectual analysis and modeling based on designing neural networks.

Keywords

Forecasts of coal production in the world in general, in China, India, Russia, USA, Australia for the period up to 2060, Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences (ERI RAS), climate agenda, carbon neutrality, development of the solar, wind and hydrogen energy sectors, intellectual modeling, neural networks.

For citation

Plakitkina L.S., Plakitkin Yu.A., Dyachenko K.I. Current trends and a forecast of coal industry development in Russia and worldwide in conditions of the world economy transformation. Part II. Threats and challenges to Russian and global coal mining, long-term forecasts (up to 2060) of its development using neural networks. *Ugol*. 2024;(8):130-139. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-8-130-139.

ДЬЯЧЕНКО К.И.

Канд. техн. наук,
старший научный сотрудник
Центра исследования
угольной промышленности
мира и России ИНЭИ РАН,
117186, г. Москва, Россия,
e-mail:eriras@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на развитие добычи и экспорта российского угля существенное влияние оказывают такие «отягощающие» факторы, как эмбарго стран ЕС и Великобритании; климатическая повестка и декарбонизация экономики, предполагающие необходимость снижения выбросов CO₂ и достижение углеродной нейтральности; использование солнечной, ветровой и водородной энергетики, которые во многих странах вытесняют газ и уголь в структуре энерго-теплобаланса; предстоящая газификация Сибири и Дальнего Востока, включая и регионы, где в настоящее время осуществляется добыча угля. Современные проекты в области возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и водородной энергетики, а также газификация субъектов азиатской части России «замыкают» развитие угольной промышленности России в перспективном периоде.

Поэтому встает вопрос оценки перспектив развития угольной промышленности в будущем периоде. В связи с этим проведение анализа «замыкающих» факторов и разработка прогнозов развития (до 2060 г.) угольной промышленности мира и России в условиях трансформации мировой экономики являются актуальной задачей. На первом этапе этого анализа целесообразно систематизировать актуальные угрозы и вызовы, влияющие на развитие угольной промышленности России.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ УГРОЗ И ВЫЗОВОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РАЗВИТИЕ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ

Следует отметить, что основные угрозы и вызовы формируются под воздействием геополитических, технологических, энергетических, экологических и других трансформаций, значительно обострившихся на современном этапе мирового развития. Эти трансформации реализуются через постоянно изменяющуюся систему угроз и вызовов, влияющих на развитие многих секторов российской экономики, включая сектор угледобычи.

Систематизация основных угроз и вызовов, влияющих на развитие угольной промышленности России

Systematization of the main threats and challenges affecting the development of the Russian coal industry

Угрозы	Вызовы
1. Введение эмбарго стран ЕС и Великобритании (к ним присоединились еще Япония и Канада) на покупку, импорт или транзитные перевозки угля из России, а также запрет на предоставление услуг, связанных с углем, в т.ч. страхованием морских перевозок	1. Декарбонизация мировой экономики и намерения многих стран, включая Россию, обеспечить «нулевую» нейтральность в 2040-2060 гг.
2. Высокая импортозависимость от поставок горнодобывающего оборудования на разрезах и шахтах России	2. Реализация мировой климатической повестки по сокращению выбросов углекислого газа
3. Ограниченные возможности собственного производства продукции угольного машиностроения и рост стоимости горношахтного оборудования	3. Усиление тенденций сокращения мирового потребления угля, обусловленного глобальным энергопереходом, и замещение угля в балансе традиционных ТЭР газом, солнечной и ветровой энергетикой
4. Блокировка внешнеторговых логистических каналов	4. Внедрение технологий производства и использования водорода для энергетических целей
5. Установление ценовых ограничений на продажу энергоресурсов на внешних рынках	5. Расширение использования возобновляемых источников генерирования энергии и более продуктивных ее накопителей и аккумуляторов
6. Ограничения доступности угольного бизнеса к международным заемным финансовым институтам	6. Успешное развитие технологий ядерной энергетикой, в т.ч. малых ядерных установок, а также с применением ториевых реакторов
	7. Высокие темпы реализации региональных программ газификации населения

Если угрозы порождают необходимость применения комплекса тактических мер противодействия, то вызовы, в силу своей специфики, определяют систему мер по адаптации стратегических секторов экономики к новым условиям долгосрочного развития. Так, для формирования долгосрочной стратегии угольной отрасли весьма важными являются такие вызовы, как ускорение технологического развития, энергопереход и смена традиционных источников энергии на альтернативные, декарбонизация экономики, обусловленная реализацией мировой «Климатической повестки».

В соответствии с этим на базе использования методов интеллектуального моделирования и анализа современных информационно-аналитических материалов получена научно-обоснованная систематизация наиболее актуальных угроз и вызовов, влияющих на развитие угольной промышленности России (табл. 1).

Рассмотрим основные из этих угроз и вызовов.

ВЛИЯНИЕ ЭМБАРГО НА УГОЛЬНУЮ ОТРАСЛЬ РФ И МИРА

В соответствии с принятым в апреле 2022 г. пятым пакетом санкций стран ЕС и Великобритании с 10.08.2022 вступило в силу эмбарго этих стран, предполагающее запрет на покупку, импорт или транзитные перевозки угля из России [1], а также запрет на предоставление услуг, связанных с углем, в т.ч. страхованием морских перевозок, после чего:

- в страны ЕС в основном прекратились поставки российского угля, объем которых ранее составлял более 22% от всего экспорта топлива, и компенсация их недопоставок происходит из Казахстана, США, Колумбии, Индонезии и ЮАР. Поставки угля из США в страны ЕС возросли на 48%, до 30 млн т [2];

- крупнейшими импортерами российского угля в 2023 г. стали страны Азии – Китай (в 2023 г. было поставлено 36,7% от всего объема экспорта угля из РФ), а также Ин-

дия (15,9%), Турция (15%), Гонконг (6,0%), Южная Корея (4,8%); совокупная отгрузка российского угля в эти страны в 2023 г. составила 78,4%; при этом угольные компании оказались вынуждены продавать сырье с большими скидками к международным бенчмаркам [3];

- возросли экспортные поставки российского угля в 2023 г. по сравнению с уровнем 2022 г. в: Египет (в 36 раз), Вьетнам (в 4,4 раза), Тайвань (на 3,9%), Малайзию (в 2,1 раза), Марокко (на 66,4%), Сингапур (на 52,6%);

- у российских углеэкспортеров появились также новые рынки сбыта своей продукции в 2023 г.: Бразилия, Иордания, Сенегал, Шри-Ланка, Бенин, Мьянма. Однако объемы поставленного угля в эти страны относительно невелики;

- сократили импорт российского угля (не считая стран ЕС и Великобритании) Кипр (-91,9%), Польша (-97,2%), Филиппины (-65,5%), Швейцария (-98,2%), Япония (-61,2%);

- в некоторых российских компаниях произошло падение объемов добычи угля в связи с сокращением спроса со стороны европейских потребителей и некоторых азиатских стран, в связи с чем существует угроза их банкротства;

- возврат Правительством России с 1 марта 2024 г. курсовых пошлин для экспорта угля, привязанных к курсу валюты, и продление срока их действия до 28 февраля 2025 г. являются дополнительной нагрузкой на российских углеэкспортеров и, скорее всего, приведут к сокращению их прибыли от экспорта [4]. На этом фоне не исключаются временные остановки отгрузок через западные порты и, соответственно, падение объемов экспорта и добычи угля;

- при наличии значительной импортозависимости от поставок горного оборудования (по отдельным видам – до 90-100%) произошел запрет их поставок, включая и комплектующие к ним;

- наблюдается сильная волатильность цен на уголь: от роста до 400 дол. США и более, а затем падения – в начале июля 2023 г. – до 95 дол. США/т, а в марте 2024 г. экспорт-

ные цены на российский энергетический уголь упали до минимальных значений за последние три года, причиной чего является низкий спрос на этот вид топлива в Индии и Китае;

– к апрелю 2024 г. российский уголь стал убыточным при поставках на экспорт через порты юга и северо-востока, а идущий через терминалы Дальнего Востока – балансирует на грани рентабельности.

СОВРЕМЕННАЯ КЛИМАТИЧЕСКАЯ ПОВЕСТКА КАК ФАКТОР СДЕРЖИВАНИЯ РАЗВИТИЯ ДОБЫЧИ И ЭКСПОРТА УГЛЯ

Общее выделение углекислого газа (CO_2) при добыче угля – незначительное по сравнению с теми объемами, которые выделяются при его горении. Кроме CO_2 в атмосферу выделяются окись серы, зола и сажа.

Общий объем эмиссии CO_2 от ископаемого топлива с территорий всех стран в 2022 г. составил 37,2 млрд т, в т.ч. от угля – 15,2 млрд т, или 41% [5].

Самое большое количество выбросов CO_2 наблюдается в КНР – 53,1% от всего объема выделяемого CO_2 (+4,6% к уровню 2020 г.). Доли выделения CO_2 от угля прочих стран следующие: Индия – 12% (+13,5% к 2020 г.), США – 6,7% (+14% к уровню 2020 г.), Япония – 2,8% (+ 5% к уровню 2020 г.), ЮАР – 2,5% (-0,9% к уровню 2020 г.), Россия – 2,5% (+ 3,5% к уровню 2020 г.). На последующих местах находятся: Индонезия, Южная Корея, Германия и Польша.

В РФ доля потребления угля в электроэнергетике ниже среднемировых значений – всего 23%.

Внутри страны значительная часть CO_2 образуется при использовании угля в энергетике и для коммунально-бытовых нужд (70%), оставшаяся часть – при коксовании. Так как доля экспорта российского угля значительная, то основная часть эмиссии CO_2 приходится на зарубежные территории его потребления.

С целью снижения выбросов CO_2 в мире принимаются соответствующие соглашения по климату. Так, согласно *Парижскому соглашению по климату* (2015 г.) предусмотрено сокращение выбросов CO_2 всеми участниками Соглашения, вне зависимости от уровня экономического развития, к 2030 г. – на 25–40% от уровня 2005 г., а к 2050 г. – на 70%.

Россия присоединилась к Парижскому соглашению по климату и представила Постановление Правительства РФ от 21 сентября 2019 г. № 1228 «О принятии Парижского соглашения» [6].

В Национальном плане мероприятий по снижению выбросов на период до 2022 г. Россия заявила о возможном сокращении выбросов на 30% к 2030 г. и до 70% – в масштабе всей экономики и с учетом максимально возможной поглощающей способности лесов и иных экосистем. Обязательства ЕС – сократить выбросы на 40%, Японии – на 20%, США – на 15%.

26 октября 2023 г. Президент РФ Владимир Путин утвердил в новой климатической доктрине достижение углеродной нейтральности в стране к 2060 г., в которой сформулирована система принципов и целей, направленных на реализацию единой государственной политики, связанной с изменением климата и его последствиями.

Декарбонизация экономики предполагает снижение выбросов CO_2 . Ужесточая свои требования к чистоте окружающей среды, многие европейские страны активно вводят *углеродные платежи* и заявляют о полном отказе от ископаемых энергоресурсов, включая добычу угля и закрытие угольных ТЭС.

В странах ЕС уже с 2023 г. действуют ограничительные правила по выбросу метана, которые предусматривают норматив в 5 т газа на 1 тыс. т добытого угля [7]. Регламент официально опубликован 16.05.2023 и вступил в силу. Согласно принятому Регламенту переходный период действия трансграничного углеродного налога начался с 1 октября 2023 г.

Глобальный энергетический переход предполагает в качестве альтернативы развитию угольной отрасли развитие солнечных и ветровых станций, а также производство водорода, плотность энергии которых (Солнца – 6 и Ветра – 4), что выше, чем у угля (0,7).

Согласно *28-й Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (COP28)*, проходившей в Дубае (ОАЭ, с 30.11.2023 по 12.12.2023), был одобрен итоговый документ, предписывающий отказ от использования ископаемого топлива к 2050 г.

В Соглашении содержится призыв к «ускорению усилий по постепенному сокращению использования угольной энергетики», а также к «утроению мощностей возобновляемых источников энергии во всем мире и удвоению глобальных среднегодовых темпов повышения энергоэффективности к 2030 г.».

Однако, чтобы достичь поставленной цели, по расчетам МЭА, потребуются инвестировать в энергетический переход около 4,5 трлн дол. США, начиная со следующего десятилетия. В 2023 г. расходы на энергетический переход составили 8 трлн дол. США [8].

Россия, согласно Климатической доктрине, утвержденной в октябре 2023 г., планирует достижение углеродной нейтральности не позднее 2060 г. В доктрине безопасное и устойчивое развитие страны названо стратегической целью, с одной стороны, ставящей во главу угла национальные интересы, а с другой, учитывающей одновременно международные интересы. Проблема изменения климата называется в ней одним из самых серьезных вызовов XXI века.

К 2030 г. Россия намерена удвоить мощности ВИЭ с 6 до 12 ГВт, а доля «зеленой энергетики» в стране может вырасти до 39,7% (с текущих 37,8%). Половину прироста планируется реализовать за счет удвоения производства из возобновляемых источников энергии [9].

НАМЕРЕНИЯ ПО ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ И НИЗКОУГЛЕРОДНОМУ РАЗВИТИЮ

Большинство стран мира с целью достижения углеродной нейтральности приняли решение снизить выбросы парниковых газов к 2050 г. (Испания, Япония, Южная Корея, Индия, Индонезия и др.). Некоторые страны намерены достичь заветной цели к 2060 г. (Великобритания, Китай, США, Россия и др.). Лидером является Германия, которая первоначально планировала достижение углеродной нейтральности к 2045 г., а затем было объявлено о приближении этой даты к 2038 г.

Все эти и другие страны вкладывают большие инвестиции в развитие ВИЭ, осуществляя значительные вводы новых мощностей солнечной и ветровой генерации (СЭС и ВЭС) и, таким образом, увеличивая долю ВИЭ в энергобалансе своих стран.

В 2023 г. доля ВИЭ в производстве электроэнергии в странах ЕС достигла 44,7%. Генерация электроэнергии на основе ВИЭ в странах ЕС в 2023 г. составила 1,21 млн ГВт×ч, что на 12,4% превысило показатель 2022 г. Выработка электроэнергии на атомных электростанциях выросла на 1,2%, до 0,62 млн ГВт×ч, что составляет 22,8% от общего производства электроэнергии.

Производство электроэнергии из ископаемого топлива сократилось на 19,7%, до 0,88 млн ГВт×ч, что составляет 22,8% от общего производства электроэнергии. При этом большинство стран закрывают угольные теплоэлектростанции (ТЭС), и только пока генерация на ВИЭ будет нестабильной, будут использовать действующие угольные ТЭС.

РАЗВИТИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ

В 2023 г. в мире было добавлено около 510 ГВт мощностей ВИЭ, что на 50% больше, чем в 2022 г. Такие высокие темпы роста были достигнуты благодаря солнечной фотоэлектрической энергетике, которая обеспечила три четверти прироста мощностей ВИЭ в 2023 г.

В целом в мире в 2024 г. планируется установить около 500 ГВт солнечных мощностей и 140 ГВт ветровых мощностей, из них более половины – в Азии, где намерены поскорее вытеснить угольную энергетику. Это приведет к тому, что глобальные капитальные затраты на солнечную энергию могут превысить в 2024 г. 600 млрд дол. США.

Согласно прогнозам DNV (*Energy Transition Outlook 2022*), установленная мощность солнечной энергетике к 2050 г. может вырасти в 22 раза от нынешнего уровня и достигнуть 14,5 ТВт, в том числе 5 ТВт будут представлены солнечными электростанциями, оснащенными накопителями энергии.

DNV прогнозирует, что глобальная средневзвешенная приведенная стоимость энергии (LCOE) для солнечных фотоэлектрических систем упадет с нынешнего уровня 50 дол. США за 1 МВт×ч до 30 дол. США за 1 МВт×ч к середине XXI века. В отдельных проектах стоимость может быть намного ниже 20 дол. США за 1 МВт×ч.

Одними из самых крупных производителей и потребителей угля в мире являются Китай и Индия. При этом эти же страны являются лидерами и в развитии ВИЭ.

В *Kumae* только в 2023 г. ввели в эксплуатацию рекордные 217 ГВт новых мощностей солнечной энергетике, что примерно равно вводу их в период с 2019 по 2022 г. [10]. В 2024 г. ожидается ввод в эксплуатацию до 240 ГВт новых солнечных мощностей, к 2030 г. мощности солнечных и ветровых мощностей в КНР могут возрасти до 1200 ГВт. Рост инвестиций в ВИЭ стал стратегическим приоритетом Китая.

Еще четверть новых мощностей солнечной энергетике в перспективном периоде могут обеспечить следующие четыре страны: *США, Бразилия, Индия и Австралия*.

Индия также активно развивает солнечную энергетику. Рынок солнечной энергии в Индии принес в 2023 финан-

совом году стране 15 ГВт новых мощностей. По состоянию на 31 марта 2024 г. общая мощность ВИЭ в Индии составила 144 ГВт, из которых, согласно данным *Hindu Business Line*, доля солнечной генерации – 55%, ветровой – 33%, биоэнергетики – 8%, гидроэнергетики (малые) – 4%. К 2030 г. в Индии 50% электроэнергии намечено получать за счет ВИЭ. В соответствии с Планом развития энергетике Индии на 2031-2032 финансовый год, прогнозируемая установленная мощность солнечной энергетике должна составить 339-365 ГВт, ветровой – 92-122 ГВт в зависимости от сценария.

США в значительной степени зависят от иностранных солнечных панелей, и в 2023 г. импортировали рекордные 54 ГВт. При этом американцы фактически запретили импорт китайских фотоэлектрических панелей, установив высокие таможенные («антидемпинговые») пошлины. В США в 2024 г. солнечная и ветровая энергетика впервые может обойти по выработке электроэнергии угольную и планируется добавить 36,4 ГВт солнечных электростанций. Это рекордный объем за всю историю страны.

В *Европе* к концу 2023 г. совокупная мощность солнечных электростанций составила 263 ГВт (+27% к 2022 г.). В 2023 г. в ЕС введены в эксплуатацию СЭС общей мощностью около 56 ГВт [11], в том числе: в *ФРГ* – 14,1 ГВт, *Испании* – 8,2 ГВт, *Венгрии* – 5,6 ГВт, *Италии* – 4,8 ГВт, *Польше* – 4,6 ГВт, *Нидерландах* – 4,1 ГВт.

Особо следует отметить *Францию*, где планируется использовать всю доступную землю для внедрения фотоэлектрических технологий, включая деградированные и заброшенные земли, участки вдоль железных дорог или рек, большие кровли и автостоянки. Планируются также строительство плавучих солнечных электростанций и применение *агровольтаики*. Согласно обновленной национальной стратегии в области энергетике и климата, во Франции планируют увеличить мощности солнечной энергетике до 54-60 ГВт к 2030 г. и до 75-100 ГВт – к 2035 г.

В 2023 г. цены на солнечные панели в Европе упали после того, как китайская продукция наводнила рынок. Несмотря на то, что ЕС предпочитает отдать приоритет отечественным чистым технологиям, лишь 2% спроса удовлетворяется за счет продукции для солнечных станций, произведенной в Евросоюзе, и около 90% компонентов поступает из Китая.

Комбинация солнечной и ветровой генерации становится все более популярным решением. Совместное размещение солнечных и ветровых установок обеспечивает рациональное использование земельных ресурсов, экономии на сетевой инфраструктуре и компонентах.

Переработка солнечных модулей

По данным *IEA PVPS*, переработка фотоэлектрических модулей является обязательной в Европе с 2012 г. Так, в Германии в 2022 г. изготовлен солнечный элемент из 100% вторичного сырья с эффективностью 19,7%. Американский стартап *We Recycle Solar* из Аризоны объявил о переработке 99% материалов старых солнечных панелей и извлечении до 99% ценных компонентов – серебра, меди, алюминия, стекла и силикона из солнечных батарей, срок службы которых истек.

РАЗВИТИЕ ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МИРЕ

В 2023 г. в мире, по данным *Всемирной ассоциации ветроэнергетики (WWEA)*, установленная мощность ветроэнергетики составила 2063 ГВт [12]. По прогнозу *DNV*, установленная мощность ветровых электростанций (ВЭС) в целом в мире к 2050 г. может возрасти в девять раз.

Лидерами по вводу мощностей ветроэнергетики являются *Китай, Индия и Бразилия*.

Чрезвычайно быстрое развитие технологий ветроэнергетики происходит в КНР, где в 2023 г. были установлены ветряные турбины общей мощностью 77,1 ГВт, из них в наземной ветроэнергетике – 90%, а в морской ветроэнергетике – 10%. Мощности солнечной и ветровой энергетики КНР обеспечили 88% общего прироста мощностей китайской электроэнергетики за январь-февраль 2024 г. Установленная мощность китайской энергосистемы вплотную приблизилась к отметке 3 ТВт, достигнув 2972 ГВт.

Развитие ВИЭ в Китае и Индии может привести к падению потребления угля и, соответственно, импорта угля [13].

В 2024 г. в *США* планируется ввести в эксплуатацию 8,2 ГВт мощностей ветровой энергетики. После рекордного прироста более чем на 14 ГВт как в 2020 г., так и в 2021 г. рост ветроэнергетики в последние два года замедлился.

С ветроиндустрией в ЕС связывают большие надежды в плане энергетического перехода. В Европе ветроэнергетика может вырабатывать около 50% всей мировой электроэнергии. Финансовые вложения в европейскую ветрогенерацию в 2023 г. возросли до 30 млрд евро по сравнению с 0,4 млрд евро в 2022 г. В 2023 г. в ЕС введены в эксплуатацию 16,2 ГВт новых ветрогенераторов, из которых 80% – наземные ветропарки. В 2023 г. ВЭС удовлетворяли 17% потребностей Европы в электроэнергии, а во многих странах – еще больше: в *Дании* – около 44%, *Ирландии* – 31%, *Португалии* – 26%, *Испании* – 24%, *Германии* – 23%.

По оценке МЭА, к 2030 г. ЕС планирует довести мощности ветроэнергетики до 510 ГВт, что означает, что в отрасли должно устанавливаться 39 ГВт новых ветряных турбин каждый год.

ОСНОВНЫЕ ПРОЕКТЫ В ОБЛАСТИ ВИЭ В РОССИИ

В настоящее время вся установленная мощность объектов генерации возобновляемых источников энергии в России – 6,12 ГВт, при этом суммарный объем ветрогенерации в России – 2,218 ГВт, солнечной – 2,19 ГВт [14].

В РФ в 2022 г. установлено 75 ВЭУ, что составляет 230 МВт мощности, 325 ВЭУ находятся на разных стадиях строительства, заморожено 286,1 МВт строящихся мощностей.

На Юге России (в *Оренбургской и Астраханской областях, Республиках Калмыкия, Бурятия и Башкирия*) еще в 2021 г. ввели в эксплуатацию 18-ую СЭС (мощностью 15 МВт), что обеспечило в Оренбургской области наличие 370 МВт мощностей солнечной генерации. В 2022 г. осуществлен ввод Светлинской СЭС (мощностью 15 МВт). В целом к 2027 г. доля ВИЭ в общем объеме производимой в объединенной энергосистеме Юга России электроэнергии может вырасти до 28%.

Ростовская область – лидер в области ВИЭ среди регионов России. В 2023 г. выработка электроэнергии ВЭС составила 1,828 млрд кВт·ч, а в 2024 г. планируется уве-

личить ее на 5,3%. В настоящее время в регионе – шесть ветропарков суммарной мощностью 610 МВт. Компании АО «НоваВинд» и ПАО «Форвард Энерго» планируют до 2029 г. построить ВЭС суммарной мощностью до 750 МВт.

В *Волгоградской области* в период 2027-2029 гг. планируется ввести несколько ВЭС суммарной мощностью 715,5 МВт, а к 2030 г. построить ВЭС мощностью 1 ГВт.

В *Ставропольском крае*, который входит в число лидеров по темпам развития ВИЭ на Юге России, работают уже несколько крупных ВЭС (Кочубеевская, Берестовская, Медвеженская, Кузьминская, строится Труновская). Общая выработка «зеленой энергетики» в 2023 г. составила более 1,2 ГВт, а в марте 2024 г. в регионе ввели в эксплуатацию вторую очередь Труновской ВЭС. Всего на Ставрополье в период до 2027 г. планируется нарастить мощности ВЭС до 2 ГВт.

В *Самарской области* происходит возрождение ветроэнергетического кластера суммарной мощностью 236,6 МВт. В кластер войдут: Гражданская ВЭС, Покровская ВЭС и Ивановская ВЭС.

Крупнейшую ветроэлектростанцию – Новолакскую ВЭС АО «НоваВинд» построит на территории *Дагестана* в период до июня 2026 г.

Знаковым проектом 2023 г. стал ввод в эксплуатацию крупнейшего ветропарка в *Мурманской области* (мощностью более 200 МВт).

Представляет интерес ввод крупных объектов ВИЭ в Сибири и на Дальнем Востоке в период до 2026 г. (табл. 2). Это регионы России, где активно добывается уголь. Поэтому строительство ВИЭ в этих регионах может оказать существенное влияние на перспективы развития добычи угля.

РАЗВИТИЕ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Существует большая угроза, что уголь будет замещаться как ВИЭ, так и водородом.

Водородная энергетика – основа экономики будущего, где чистый водород будет главным носителем для накопления, хранения и транспортировки энергии.

По данным *Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA)*, водород сможет внести 10% вклада на пути к «нулевому» уровню выбросов CO₂, снижая углеродный след в тяжелой промышленности и дальнемагистральном транспорте, а также обеспечивая сезонное хранение энергии.

В настоящее время *Европейский инвестиционный банк* уже не финансирует угольные проекты, с 2021 г. – проекты в нефтегазовой отрасли, сооружение аэропортов – с конца 2022 г. К 2025 г. половину своих активов ориентирует на «зеленые» проекты, а к 2030 г. на «зеленые» проекты планирует выделить 1 трлн евро.

В 2020 г. многие страны мира уже начали снижать потребление угля и разрабатывать стратегии развития водородной энергетики. Так, в марте 2020 г. утверждена водородная стратегия *Нидерландов*, в июне 2020 г. – «Национальная водородная стратегия ФРГ» и *Норвегии*, в июле 2020 г. – *Португалии* и *ЕС в целом*, в сентябре 2020 г. – *Франции*. *Германия* и *Австралия* создали «водородный альянс», направленный на обеспечение импорта в ФРГ водорода, «производимого экологически безопасным способом в больших количествах».

Ввод крупных объектов ВИЭ в Сибири и на Дальнем Востоке до 2026 г.

Commissioning of large-scale renewable energy facilities in Siberia and the Far East by 2026

Регион Сибири	Электростанции (солнечные – СЭС и ветровые – ВЭС)
Республика Бурятия	Хоринская СЭС, Кабанская СЭС, Тарбагатайская СЭС, Кеяхтинская СЭС, Торейская* СЭС, Джидинская* СЭС, Удинская* № 1 СЭС, Удинская* № 2 СЭС, Прибайкальская* СЭС
Забайкальский край	Кенонская (Балей) СЭС, Ингодинская (Огловский ГОК) СЭС, Черновская* СЭС, Читинская* СЭС
Республика Алтай	Кош-Агачская №1 СЭС, Кош-Агачская № 2 СЭС, Усть-Канская СЭС, Онгудайская СЭС, Майминская СЭС, Иниская СЭС, УстьКоксинская СЭС, Чемальская СЭС
Алтайский край	Славгородский* ветропарк, Алейская ВЭС*, Кулундинский* ветропарк, Рубцовская* ВЭС, Хабары ВЭС, Камень-на-Оби* ВЭС, Ключевская* ВЭС, Ребрихинская* ВЭС, Чарышская* МГЭС, Красногородская МГЭС, Сибирячихинская* МГЭС
Республика Хакасия	Абаканская СЭС
Амурская область	Строительство ветропарка мощностью 1 ГВт в 2025-2026 гг.
Камчатский край	Мутновская ГеоЭС, Паужетская ГеоЭС, Кававля* МГЭС, Белая* МГЭС, Кинкиль* МГЭС, Большая Хапица* МГЭС, Россошина* МГЭС, Толмаческая* МГЭС, Приливная электроподстанция в с. Манилы*
Сахалинская область	Менделеевская ГеоТЭС, Кунашир* ВЭС
Приморский край	Строительство ветропарка мощностью 1 ГВт
Красноярский край	Первую СЭС мощностью 1 ГВт построят в 2025 г.
Омская область	Нововаршавская СЭС, Русско-Полянская* СЭС, Газпром-Авангард* СЭС

Примечание: * энергообъекты, которые планируется построить до 2026 г. согласно прошедшим конкурсным отборам и схемам развития электроэнергетики 24 регионов Сибири на 2021-2026 гг.

Лидер по реализации водородной энергетики – Германия – объявила о полной декарбонизации к 2038 г. В 2023 г. в Германии в основном подготовлена вся необходимая инфраструктура для импорта водорода. Еще в августе 2021 г. Германия и Намибия подписали совместное коммюнике о намерениях установить германо-намибийское водородное партнерство, предполагающее поставку «зеленого» водорода в ФРГ. Рядом с побережьем Германии также построят терминал сжиженного природного газа (СПГ).

Поэтому сложившаяся ситуация является крайне опасной для российских производителей угля, нацеленных на продвижение растущего в последнее десятилетие экспорта угля.

Основные проекты производства водорода в мире

В Индии государственная газовая компания GAIL планирует ввести в эксплуатацию свою первую установку по производству «зеленого» водорода в 2024 г. Индия стремится довести производство чистого водорода до 5 млн т в ближайшее пятилетие. На эти цели из госбюджета страны будет ассигновано около 2,2 млрд дол. США. Планируется, что Индия станет глобальным центром производства, использования и экспорта экологически чистого водорода.

Япония уверенно идет к декарбонизации. По данным Reuters, Япония – пятый по величине источник выбросов CO₂ в мире, продвигает аммиак в качестве альтернативного топлива, помогающего сократить выбросы CO₂ на угольных электростанциях и заводах. Аммиак рассматривается как эффективный источник энергии будущего.

Минэнерго США выделило 750 млн дол. США на реализацию водородных проектов в 24 штатах. Новые гранты помогут США достичь целей Национальной стратегии чистого водорода, включая производство 10 млн т «зеленого» водорода к 2030 г.

Основные проекты в области водородной энергетики в России

Переход транспорта на водородную энергетику к 2030 г. существенно снизит зависимость от нефти и будет способствовать сохранению более чистой окружающей среды в будущем.

В связи с этим в России активно осуществляется создание отечественного электролизера. Водородная энергетика в РФ может получить налоговые стимулы. Правительство России в настоящий момент разрабатывает меры по стимулированию отраслей водородной энергетики и системы накопления энергии.

На Сахалине продолжается создание водородного кластера «Южно-Сахалинский», его запуск возможен в 2024 г. В рамках господдержки в 2022-2024 гг. Минпромторг РФ поддержал проекты в области водородной энергетики на сумму свыше 2,1 млрд руб. Госкорпорация «Росатом» планирует запуск завода по производству водорода на Сахалине в 2029 г. Мощность завода может составить до 36,5 тыс. т в год «голубого» водорода.

Таким образом, активно развивающиеся в настоящее время СЭС, ВЭС и водородная энергетика «выбивают» угольную энергетику и влияют на развитие добычи и экспорта угля.

ГАЗИФИКАЦИЯ СУБЪЕКТОВ АЗИАТСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Следует отметить нарастающее влияние газификации субъектов азиатской части России, связанное с размещением магистральных газовых коммуникаций вблизи крупных городов региона. Вследствие реализации программы газификации страны внутреннее потребление угля продолжит свой понижающий тренд. Текущий средний уровень газификации в настоящее время составляет около 73%. По расчетам Минэнерго РФ, уровень потен-

циальной (технически осуществимой) газификации составляет 82,9%, и он будет достигнут к 2030 г. Доступность «голубого» топлива выше в европейской части страны. В азиатской части ситуация заметно хуже. Так, уровень газификации Красноярского края оценивается в 15-17%, а основным видом топлива для большинства жителей региона остается уголь.

Повышение уровня газификации и переход на альтернативные источники энергии в регионах, не затронутых газификацией, потенциально могут снизить потребление угля в коммунально-бытовом секторе, по нашим расчетам, на 13,3 млн т. Кроме того, перевод угольных ТЭС на газ может высвободить еще около 72 млн т угля в период до 2050 г.

Таким образом, суммарное снижение внутреннего потребления энергетического угля к 2050 г. может составить 85,3 млн т, или около 20% от текущих значений его добычи. При этом доля угля в энергобалансе России может снизиться до 10%.

РИСК-ФАКТОРЫ РАЗВИТИЯ ДОБЫЧИ И ЭКСПОРТА УГЛЯ В РОССИИ:

- нестабильность мировых цен на первичные энергоресурсы, их зависимость не только от экономических, но и от политических факторов;
- эмбарго на поставки российского угля в страны ЕС и отказ (снижение) некоторых стран Азии от российского угля, которые сохранятся еще многие годы;
- обострение конкуренции между источниками энергии на мировом рынке;
- переход на безуглеродную экономику и перспектива введения «углеродного» налога, приводящие к падению доли производства электроэнергии, вырабатываемой на угле;
- постепенное вытеснение угля из энергобаланса с заменой его нетрадиционными источниками энергии, в особенности на солнечную и ветровую энергетику;
- ускоренный отказ от ископаемого топлива во многих странах мира;
- введение в странах ЕС ограничительных правил по выбросу метана, которые предусматривают с 2027 г. норму в 5 т газа на 1 тыс. т добытого угля, кроме коксующегося, а с 2031 г. – 3 т метана на 1 тыс. т угля, включая коксующийся;
- развитие водородной энергетики, особенно в странах, являющихся потребителями российского угля;
- «сужение» географии экспорта российского угля;
- газификация Сибири и Дальнего Востока России;
- «уход» от углеродоемких технологий в металлургии;
- импортозависимость от зарубежных поставок горношахтного оборудования (от 90 до 100%) и изношенность действующего оборудования и др.

ПРОГНОЗЫ РАЗВИТИЯ ДОБЫЧИ УГЛЯ В ОСНОВНЫХ СТРАНАХ МИРА

Прогнозируемое падение мирового спроса на уголь начиная с 2024 г., который в настоящее время является основным топливом для производства электроэнергии, стали и цемента, по мнению МЭА, «может стать историческим поворотным моментом, и на этот раз снижение спроса на уголь носит более структурный характер».

Объясняется это тем, что, с одной стороны, уголь является крупнейшим источником выбросов углекислого газа, увеличивающих антропогенную нагрузку на окружающую среду, а с другой – происходит структурное снижение этого вида топлива в основных странах мира и переход на другие источники энергии [15].

По прогнозам *Centre for Research on Energy and Clean Air (CREA)*, рекордное количество новых солнечных панелей и ветряных турбин, наряду с восстановлением гидроэнергетики и неуклонно растущей ядерной генерацией, означает, что низкоуглеродная энергетика, вероятно, перекроет рост потребления электроэнергии.

По мнению *Bloomberg*, развитию угольной промышленности будут препятствовать:

- достижения в области солнечной энергии и ветра, которые сделали эти технологии намного дешевле угольной в большинстве частей мира;
- аналогичные достижения в области аккумуляторов и систем хранения энергии могут, наконец, сделать круглосуточную возобновляемую энергию достаточно доступной;
- это преобразует энергетический баланс.

Со своей стороны, авторы данной статьи в ИНЭИ РАН также разработали прогнозы развития добычи угля в основных странах мира и России. Прогнозные расчеты выполнены с применением методов интеллектуального анализа и моделирования, основанного на построении нейронных сетей. Информационное наполнение нейронных сетей осуществлялось с помощью статистических рядов более чем за двадцатилетний ретроспективный период времени.

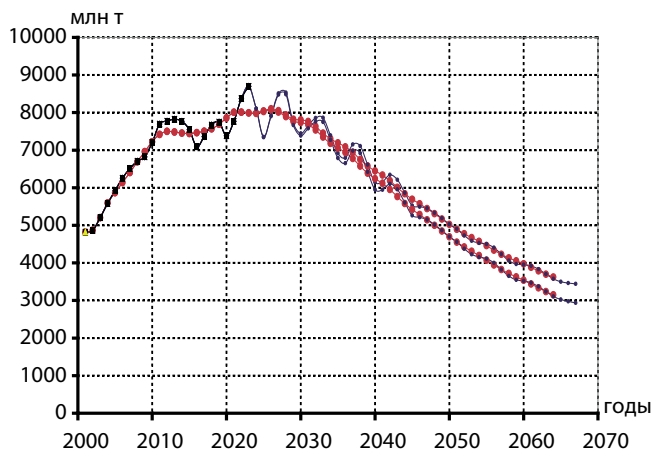
Разработанная модель предусматривает реализацию алгоритмов генерирования нейронной сетью прогнозной информации. При этом процесс генерирования этой информации сопровождался самообучением нейронной сети, основанном на применении метода «обратного» прогнозирования. Подобные методы позволяют осуществлять корректировку прогнозных результатов на основе их конверсии в разряд исходных параметров модели, а ретроспективных значений, наоборот – в разряд прогнозных. При этом методами имитационного моделирования достигалось максимальное соответствие конверсионных прогнозных параметров показателей их ретроспективным значениям.

Результаты прогнозов добычи угля в целом по миру и по основным странам в долгосрочной перспективе представлены на *рисунке*.

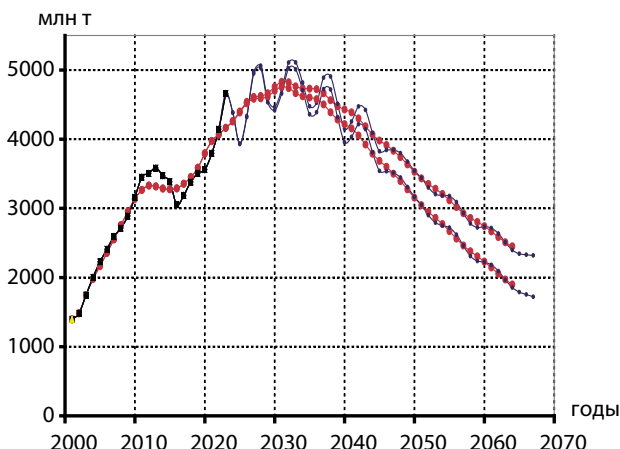
Расчетами установлены прогнозные коридоры добычи угля по странам мира, включая Россию, Китай, Индию, США, Австралию и в целом по миру. Красными линиями указаны границы прогнозного коридора, синими – возможные отклонения от этих границ. Результаты нейронного моделирования указывают на то, что *мировая добыча угля* практически выходит на «плато», которое будет продолжаться примерно до 2030 г. После этого периода, вероятнее всего, мировая добыча угля будет системно сокращаться и к 2060 г. может снизиться более чем в два раза.

Добыча угля в *Китае* и *Индии*, по всей вероятности, в ближайшем периоде времени будет нарастать. Однако на

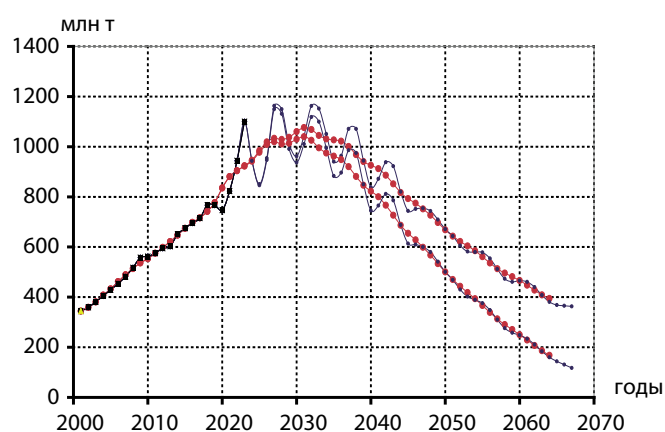
а) всего в мире



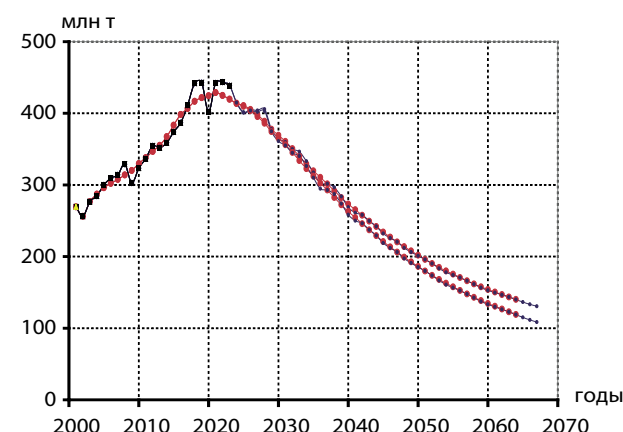
б) в Китае



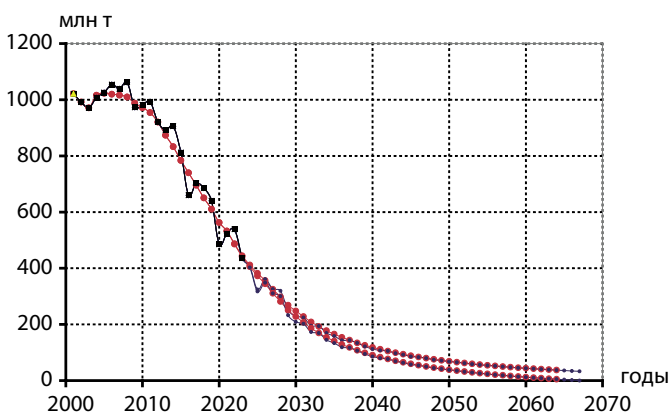
в) в Индии



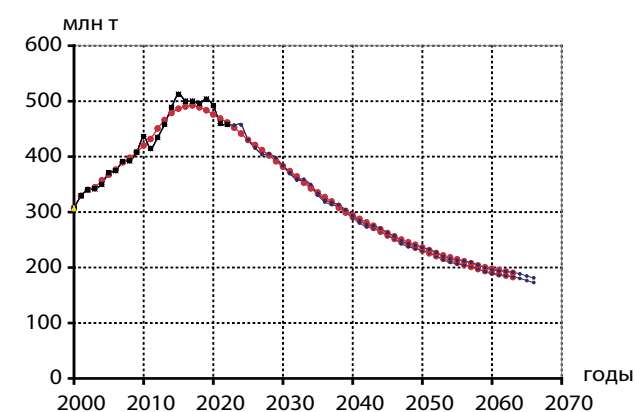
г) в России



д) в США



е) в Австралии



Прогнозы добычи угля в целом по миру и по основным странам в долгосрочной перспективе
Coal production forecasts for the world as a whole and for major countries in the long term

рубеже 2030-2035 гг. она достигнет своего максимума, после которого, в соответствии с общемировыми тенденциями, начнется процесс ее системного снижения.

Добыча угля в России и Австралии подчиняется почти одной и той же тенденции. В настоящем периоде она, фактически, вышла на «плато», и в перспективном периоде следует ожидать ее системное сокращение (более чем двукратное к 2060 г.).

Добыча угля в США демонстрирует резкое падение, вероятно, обусловленное переходом экономики к ускоренной ее декарбонизации и достижению минимальных значений уже в период 2045-2050 гг.

Полученные результаты являются точкой зрения авторов на развитие глобальной энергетики и отражают систему вызовов развитию традиционной энергетики, обсуждаемых на заседании Комитета старших должностных лиц БРИКС по энергетике в г. Кемерово со 2 по 4 июля 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный в первой части статьи анализ развития добычи и экспорта угля в России и мире показал, что отечественные угледобывающие компании с начала текущего века начали активно осваивать мировые рынки угля.

Однако в настоящее время сложилась неоднозначная ситуация с развитием угольной отрасли. На угольную отрасль стали влиять различные «сдерживающие» факторы: современная климатическая повестка, эмбарго стран ЕС и Великобритании, вступившее в силу с августа 2022 г., развитие солнечной, ветровой и водородной энергетики в основных странах мира, газификация субъектов азиатской части России и др.

Систематизация и детальный анализ этих риск-факторов выявили значительное их влияние на мировую угольную отрасль, а выполненные прогнозы развития добычи угля в основных странах мира показали ее изменение с повышающегося на снижающийся тренд в перспективном периоде.

Список литературы • References

1. Плакиткина Л.С., Плакиткин Ю.А., Дьяченко К.И. Современные тренды и прогноз развития угольной промышленности мира и России в условиях трансформации мировой экономики // Уголь. 2024;(3):44-51. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-44-51. Plakitkina L.S., Plakitkin Yu.A., Dyachenko K.I. Current trends and a forecast of coal industry development in Russia and worldwide in conditions of the world economy transformation. *Ugol'*. 2024;(3): 44-51. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-44-51.
2. Прирост добычи угля достиг рекордного за 40 лет значения. [Электронный ресурс]. Neftgaz.ru, 30 июня 2023 г.
3. Мешков Г.Б., Петренко И.Е., Губанов Д.А. Итоги работы угольной промышленности за 2023 год // Уголь. 2024. № 3. С. 18-29. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-18-29. Meshkov G.B., Petrenko I.E., Gubanov D.A. Russia's coal industry performance for 2023. *Ugol'*. 2024;(3):18-29. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-18-29.
4. Мингазов С. Правительство вернуло курсовую пошлину на экспорт угля после двухмесячной отмены. [Электронный ресурс]. Forbes, 1 марта 2024 г.
5. База данных: Выбросы CO₂ в мире. [Электронный ресурс]. URL: globalcarbonatlas.org (дата обращения: 15.07.2024).
6. О принятии Парижского соглашения. Постановление Правительства Российской Федерации № 1228 от 21 сентября 2019 г. [Электронный ресурс].
7. Shiryayevskaya A. EU Rules on Methane Curbs May Boost LNG Industry, Eхon Says. [Электронный ресурс]. Bloomberg, 16 ноября 2023 г.
8. Доля солнца и ветра в глобальной выработке электроэнергии может достичь 40% в 2030 г. [Электронный ресурс]. Renep.ru, 26 сентября 2023 г.
9. Плакиткина Л.С. Прогнозы развития угольной промышленности мира и России в зависимости от темпов декарбонизации мировой экономики. С. 33-42. В монографии: Технологическое развитие отраслей ТЭК для достижения углеродной нейтральности экономики России». М.: ИНЭИ РАН, 2023. 206 с.
10. Сидорович В. Китай ввел в эксплуатацию 216 ГВт мощностей солнечной энергетики в 2023 году. [Электронный ресурс]. Renep.ru, 23 января 2024 г.
11. Европа введет в эксплуатацию 56 ГВт мощностей солнечной энергетики. [Электронный ресурс]. in-power.ru, 17 января 2024 г.
12. Mureithi C. 2023 was a record year for wind installations as world ramps up clean energy, report says. [Электронный ресурс]. Independent, 17 апреля 2024 г.
13. Экономисты призывают страны Азии прекратить все инвестиции в уголь. [Электронный ресурс]. Plus-One, 27 апреля 2023 г.
14. Renewable Energy Capacity Statistics 2023. [Электронный ресурс]. Irena, 2024 г.
15. Плакиткин Ю.А., Плакиткина Л.С., Дьяченко К.И. Прогноз развития мирового и отечественного рынка угля под воздействием тенденций «зеленой» энергетики и санкционных ограничений // Уголь. 2023. № 8. С. 66-72. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-8-66-72. Plakitkin Yu.A., Plakitkina L.S., Dyachenko K.I. Forecast of global and domestic coal market development under the impact of green energy trends and sanctions restrictions. *Ugol'*. 2023;(8):66-72. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-8-66-72.

Authors Information

Plakitkina L.S. – PhD (Engineering), Corresponding member of the Russian Academy of Natural Sciences, Head of Center of Research of World and Russian Coal Industry, ERI RAS, Moscow, 117186, Russian Federation, e-mail: luplak@rambler.ru

Plakitkin Yu.A. – Doctor of Economic Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Academician of Academy of Mining Sciences, Head of Center of Innovative Development of Energy Branches, ERI RAS, Moscow, 117186, Russian Federation, e-mail: uplak@mail.ru

Dyachenko K.I. – PhD (Engineering), Senior Researcher of Center of Research of World and Russian Coal Industry, ERI RAS, Moscow, 117186, Russian Federation, e-mail: eriras@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 6.05.2024

Поступила после рецензирования: 15.07.2024

Принята к публикации: 26.07.2024

Paper info

Received May 6, 2024

Reviewed July 15, 2024

Accepted July 26, 2024