

www.rudmet.ru

ISSN 0017-2278

ГОРНЫЙ ЖУРНАЛ

197 лет

Издается с 1825 года
(№ 2300)

7.2022



ДИЗЕЛЬ-ТРОЛЛЕЙВОЗ
БЕЛАЗ-7530Е
ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ
220 ТОНН


ЕСО
БЕЛАЗ

ЭКОЛОГИЧНЫЙ И ЭФФЕКТИВНЫЙ

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ

ЗАО «МАНСУРОВСКОЕ КАРЬЕРОУПРАВЛЕНИЕ»

Виноградов О. М. ЗАО «Мансуровское карьероуправление»: 40 лет эффективной работы **4**

Горноспасательная служба МЧС России отмечает 100-летний юбилей **8**

НАУКА И ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Плавиткин Ю. А., Плавиткина Л. С., Дьяченко К. И. Основные тенденции развития угольной промышленности мира и России в условиях низкоуглеродной энергетики. Часть I. Анализ темпов и пропорций развития угольной отрасли, сформированных под воздействием стран – лидеров угольного рынка **10**

СЫРЬЕВАЯ БАЗА

Игнатов П. А., Еременко Р. У., Толстов А. В., Овчинников И. М. Перспективы выявления месторождений скандия в Якутской алмазонасной провинции **17**

Мирзеханов Г. С., Мирзеханова З. Г. Влияние тяжелых минералов на технологические потери золота при отработке россыпных месторождений Дальневосточного региона **22**

ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД И ПРОЦЕССОВ

Цой Б. В., Мырзахметов С. С., Бекботаева А. А., Юсупов Х. А. Новые геофизические методы исследования скважин для решения практических задач отработки сложных гидрогенных месторождений урана **27**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ГОРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Плешко М. С., Лобанов Е. А., Муштекинов Т. С., Волков Д. С. Опыт проходки и крепления сверхглубоких горных выработок рудника «Скалистый» ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель» **32**

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Боярко Г. Ю., Хатьков В. Ю. Оценка импортозависимости России по йодным продуктам **38**

Мырзахмет М. К., Мырзахмет Ж. К. Горнодобывающие кластеры с участием региональных университетов **42**

РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Еременко В. А., Хажыылай Ч. В., Янбеков А. М., Умаров А. Р. Анализ рынка крепей в России **50**

Струков К. И. Кочкарское золоторудное месторождение: проблемы освоения и пути их решения **57**

Башилова Е. С., Байбатша А. Б. Геологические и геотехнологические особенности разработки гидрогенного месторождения урана Семизбай **61**

Викторов С. Д., Франтов А. Е., Лапиков И. Н. Результаты сравнительных испытаний гранулитов разного рецептурного состава **67**

ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

Юнгмейстер Д. А., Исаев А. И., Гасымов З. Э. Обоснование параметров погружного пневмоударника бурового станка для регулирования скорости бурения потоком воздуха **72**

Печенкин В. Г., Печенкина А. В., Еремеева О. С.

Влияние климатических условий на производительность шагающих экскаваторов и бульдозеров при производстве вскрышных работ на россыпных месторождениях золота **77**

Мырзахметов Б. А., Нуркас Ж. Б., Султабаев А. Е.

Защита скважинного насосного оборудования в условиях высокого пескопроявления **82**

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА

Чукин Б. А., Чукин Р. Б. Анализ причин обрушений борта карьера рудника «Кумтор» **89**

ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Овчинников Н. П., Зырянов И. В. Комплексная оценка последствий влияния загрязненных шахтных вод на эффективность системы водоотведения из рудника «Удачный» **95**

ПРИРОДНЫЕ ГОРНЫЕ ПРОСТРАНСТВА

Красиков А. В. Оценка устойчивости кровли гротов и стен в пределах экскурсионной зоны Кунгурской Ледяной пещеры **100**

К 200-ЛЕТИЮ «ГОРНОГО ЖУРНАЛА»

Карпинец А. Ю. Исследования Афонинского каменноугольного месторождения в период второй половины 1820-х – 1850-х годов **105**

Каменева Е. Е., Каменев Е. В. История горнозаводского дела на Александровском пушечном заводе (по материалам публикаций «Горного журнала» за 1825–1845 гг.) **110**

ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Горно-геологический форум «Мингео Сибирь» завершил свою работу **87**

Церемония награждения финалистов отраслевой программы признания «Человек года Росатома-2021» **128**

РЕКЛАМА

На обложке:

ООО «Промтехснаб»

АО «Гидромашсервис»

«МАЙНЕКС-2022» – 18-й Горнопромышленный форум

На цветной вкладке:

Буровые штанги и демпфирующие адаптеры высокого давления сжатого воздуха для открытых горных работ производства АО «Машиностроительный холдинг»

Белов С. В. Мобильная станция солнечного питания аппаратуры связи

Потемкин А. А., Стрельцова А. Д. Извлечение благородных и цветных металлов технологией Halogen Leaching Solution

Гусаков Г. Б. БЕЛАЗ реализует идеи

по созданию экологичного транспорта

«МИНГЕО Евразия-2022» – горногеологический форум

Символы сотрудничества Издательского

дома «Руда и Металлы» и Тверского

государственного технического университета

АО «ВНИПИпромтехнологии» – VII научно-

техническая конференция «Экологические аспекты

горного и перерабатывающего производства»

MONTHLY SCIENTIFIC-TECHNICAL AND INDUSTRIAL JOURNAL

The basic edition of the Intergovernmental council of CIS countries in exploration, usage and protection of the earth bowels

With participation of “ALROSA” PJSC, “Apatit” JSC, PJSC “MMC “NORILSK NICKEL”, “Mekhanobr-Technica” JSC
With assistance of IPKON RAN, Ural State Mining University, State enterprise Navoi mining and metallurgical works, “Gornopromyshlenniki Rossii” non-commercial partnership, State Hermitage Museum

Information coordinator in the area of mineral mining technologies – VNIIPromtekhologii (National Research and Design Institute for Industrial Technology) – Engineering Center of Rosatom State Atomic Energy Corporations’ Mining Division

Founders: “Ore & Metals” Publishing house, National University of Science and Technology “MISIS”, Autonomous Noncommercial Organization “TV News Channel “Khibiny TV”

Chairman of the managing board, Acting Chief Editor: Alexander Vorobiev

Actual address: Moscow, Leninsky prospekt 6 bld. 2, office 619
Mailing address: Russia, 119049, Moscow, P.O. Box # 71
Phone/fax: +7 (499) 236-10-62, +7 (499) 236-11-86
E-mail: gornjournal@rudmet.com
Internet: www.rudmet.com

The journal has been published since 1825 at Mining military school

Publisher: “Ore & Metals” publishing house
Phone/fax: +7 (495) 638-45-18
E-mail: rim@rudmet.com

Leading editor: Lyudmila Kostina
Editor: Vera Elistratova
Junior editor: Margarita Matveeva
Advertising manager: Natalia Kolykhalova
Responsible for pre-printing work: Daria Vorobyeva

Printed in “Kancler” printing house

CONTENTS

SCIENCE AND INDUSTRY

Plakitkin Yu. A., Plakitkina L. S., Dyachenko K. I. Major trends shaping development of coal industry in the world and in Russia under conditions of low-carbon energy economy: Major trends. Part I. Coal sector development ratio and rates under the influence of major coal market countries 10

RAW MATERIAL BASE

Ignatov P. A., Eremenko R. U., Tolstov A. V., Ovchinnikov I. M. Scandium prospects in the Yakutian Diamond Province 17
Mirzekhanov G. S., Mirzekhanova Z. G. Influence of heavy minerals on in-process loss of gold in placer mining in Russian Far East 22

PHYSICS OF ROCKS AND PROCESSES

Tsoy B. V., Myrzakhmetov S. S., Bekbotaeva A. A., Yusupov Kh. A. New geophysical logging techniques for practical problem solving at complex hydrogenetic uranium deposits 27

DESIGNING AND MINING-CONSTRUCTIONS WORK

Pleshko M. S., Lobanov E. A., Mushtekenov T. S., Volkov D. S. Experience of heading and support in super-deep openings in Skalisty Mine of Nor Nickel’s Polar Division 32

ECONOMY, ORGANIZATION AND MANAGEMENT

Boyarko G. Yu., Khatkov V. Yu. Russia’s dependence on iodine imports 38
Myrzakhmet M. K., Myrzakhmet Zh. K. Mining clusters with the participation of regional universities 42

DEVELOPMENT OF DEPOSITS

Eremenko V. A., Khazhyylai Ch. V., Yanbekov A. M., Umarov A. R. Analysis of the market of mine support systems in Russia 50
Strukov K. I. Kochkar gold deposit: Development problems and solutions 57

Bashilova E. S., Baibatsha A. B. Geological and geotechnical specifics of uranium production at hydrogenetic deposit Semizbay 61
Viktorov S. D., Frantov A. E., Lapikov I. N. Comparative testing of various composition granulites 67

EQUIPMENT AND MATERIALS

Yungmeyster D. A., Isaev A. I., Gasymov E. E. Substantiation of dth air drill hammer parameters for penetration rate adjustment using air flow 72
Pechenkin V. G., Pechenkina A. V. Climatic influence on productivity of walking excavators and bulldozers in stripping in gold placer mining 77
Myrzakhmetov B. A., Nurkas Zh. B., Sultabaev A. E. Protection of downhole pumping equipment in case of high sand production 82

INDUSTRY SAFETY AND LABOUR PROTECTION

Chukin B. A., Chukin R. B. Cause analysis of pit wall collapses in Kumtor Mine 89

ENVIRONMENTAL PROTECTION

Ovchinnikov N. P., Zyryanov I. V. Integrated assessment of mine water pollution influence on water removal efficiency in Udachny Mine 95

NATURAL UNDERGROUND SPACES

Krasikov A. V. Roof and sidewall stability assessment in caverns in the touristic zone in the Kungur Ice Cave 100

TO THE 200TH ANNIVERSARY OF GORNYYI ZHURNAL

Karpinets A. Yu. Afonino coal deposit in the second half of the period from the 1820s through the 1850s 105
Kameneva E. E., Kamenev E. V. History of mining engineering at the Alexandrovsky Cannon Factory (based on the publications in the Gornyy Zhurnal in 1825–1845) 110

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ МИРА И РОССИИ В УСЛОВИЯХ НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ. ЧАСТЬ I. АНАЛИЗ ТЕМПОВ И ПРОПОРЦИЙ РАЗВИТИЯ УГОЛЬНОЙ ОТРАСЛИ, СФОРМИРОВАННЫХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ СТРАН – ЛИДЕРОВ УГОЛЬНОГО РЫНКА

Ю. А. ПЛАКИТКИН, руководитель Центра анализа и инноваций в энергетике, проф., д-р экон. наук, академик РАЕН, академик АГН

Л. С. ПЛАКИТКИНА, руководитель Центра исследования угольной промышленности мира и России, канд. техн. наук, чл.-корр. РАЕН, luplak@rambler.ru

К. И. ДЬЯЧЕНКО, старший научный сотрудник Центра исследования угольной промышленности мира и России, канд. техн. наук

Институт энергетических исследований РАН, Москва, Россия

Введение

В процессе добычи и потребления угля происходят значительные выбросы углекислого газа и других примесей, что оказывает негативное влияние на экологию и является фактором растущего глобального потепления в мире. Начавшаяся весной 2020 г. пандемия, вызванная коронавирусом SARS-CoV-2, подписанное и ратифицированное большинством стран мира Парижское соглашение по климату и вводимые в связи с ними ограничения привели к активизации работ по декарбонизации экономики и переводу мировой энергетики на возобновляемые источники энергии (ВИЭ) и водород. По этой причине многие страны закрыли свои угольные теплоэлектростанции (ТЭС), перешли на «зеленые» источники энергии и утвердили концепции по декарбонизации экономики в период до 2050 г.

В связи с этим перед отечественной угольной отраслью возникли риски не только ускоренного сокращения объемов добычи и экспорта угля, но и возможного полного закрытия предприятий.

Основные страны – лидеры мирового рынка по добыче угля

По итогам 2020 г. добыча угля в мире относительно предыдущего года снизилась на 4,9 % – до 7,4 млрд т [1–3] (рис. 1).

По сравнению с уровнем 2013 г., когда был достигнут пик добычи угля в мире – около 7,8 млрд т, на фоне ухудшения конъюнктуры угольного рынка в последующие годы в 2016 г. произошло падение ее объема до 7,1 млрд т, или на 8,7 %. В период с 2016 г. до середины 2019 г. цены на нефть, а за

Приведен анализ добычи угля в основных угледобывающих странах мира, включая Россию, проанализированы структурные изменения в мировой угольной промышленности под воздействием ценовых трендов и разрабатываемых планов по декарбонизации экономики. Детально рассмотрено современное положение России на мировых рынках коксующегося и энергетического угля. Выявлены основные факторы, влияющие на развитие добычи угля в перспективном периоде.

Ключевые слова: угольная промышленность, низкоуглеродное развитие, Парижское соглашение по климату, декарбонизация экономики, тенденции развития угольной отрасли, климатические ограничения, углеродная нейтральность, водородная энергетика

DOI: 10.17580/gzh.2022.07.01

ними и цены на уголь начали расти, что привело к возобновлению спроса и росту добычи угля в мире. Но начиная со второй половины 2019 г. ситуация в угольной промышленности многих стран мира начала ухудшаться. В 2020 г. цены на уголь на европейском рынке находились в диапазоне 54–59 долл. США за 1 т в порту импортеров в зависимости от контрактов и сроков поставок. Низкими оставались и цены угля на рынке стран

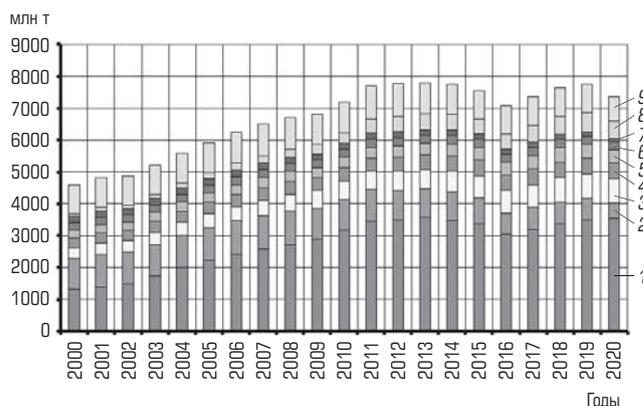


Рис. 1. Добыча угля в основных странах мира в период с 2000 по 2020 г. (по данным МЭА, ИНЗИ РАН)
1 – Китай; 2 – США; 3 – Индия; 4 – Австралия; 5 – Россия; 6 – ЮАР; 7 – Германия; 8 – Индонезия; 9 – Другие страны

Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР). Контракты на отгрузку энергетического угля (калорийностью 6300 ккал за 1 кг) в австралийском порту Ньюкасл заключали по цене 50 долл. США за 1 т. Поэтому объем добычи угля в мире в 2020 г. снизился до 7,4 млрд т.

Однако в 2021 г. на фоне роста цен на нефть спрос на уголь возобновился, и цены на него стали расти [3, 4]. В Китае, который не может справиться с дефицитом этого вида топлива после запрета австралийских поставок угля, на бирже в Даляне январский фьючерс на коксующийся уголь 11 октября 2021 г., по данным агентства Reuters, достигал 532,8 долл. США за 1 т. В течение 2021 г. внутренние потребители в Китае закупили уголь на спотовом рынке по цене 510–520 долл. США за 1 т (CFR, Китай). Осенью 2021 г. цены на энергетический уголь в КНР достигали 192 долл. США за 1 т, поэтому, согласно данным Национального бюро статистики Китая, добыча угля в 2021 г., по предварительным данным, составила 4,07 млрд т, что на 14,3 % больше, чем в 2020 г.

Россия сохранила 6-е место в мире по объему добываемого угля, который в 2020 г. составил 401,6 млн т (прирост к уровню 2000 г. – 155,4 %) [5–7]. Доля России в общемировой добыче угля в 2020 г. составила 5,5 % (рис. 2).

По итогам 2021 г. объем добычи угля в России после падения в 2020 г. почти восстановился, составив 438,1 млн т (+8,9 % к уровню 2020 г.).

В соответствии с продолжающимися трендами большую часть угля в России в настоящее время добывают в Кузнецком бассейне, а также на месторождениях Восточной Сибири и Дальнего Востока [8]. Суммарная доля Печорского, Донецкого, Подмосковного бассейнов и других месторождений в последние годы системно снижалась, и в настоящее время на долю этих бассейнов, как менее рентабельных, приходится около 7 % от всего объема добываемого угля в РФ. Следует отметить, что в последние годы в угольной промышленности России стал формироваться устойчивый тренд пространственного развития отрасли: производство энергетических углей стало уходить из европейских и некоторых восточных регионов страны и все больше концентрироваться в Кузнецком бассейне. Коксующиеся же угли приняли вектор «движения» в сторону восточных границ России, все в большей мере приближаясь к азиатским рынкам. Кроме территориального движения, в России происходит уверенный переход от подземной разработки угольных пластов к открытым горным работам, где отмечается более высокая производительность и меньшая травматичность для персонала. Использование современных роботизированных технологий позволяет сократить до минимума численность непосредственно занятых в производстве сотрудников [9].

В период с 2000 по 2020 г. в мировой угольной промышленности произошли следующие структурные изменения:

в Китае, Индии, Австралии, Индонезии добыча угля в анализируемый период времени росла высокими темпами, что позволило к концу периода этим странам занять суммарно долю на мировом рынке, равную 72,9 % (+29,3 % к уровню 2000 г., +3,4 % к 2019 г.); рост производства угля в этих странах был

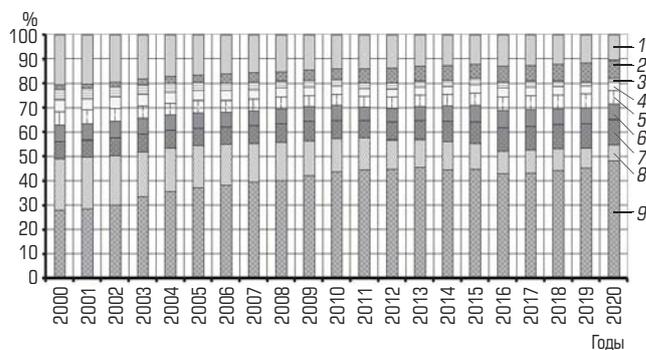


Рис. 2. Доля основных стран мира в общемировой добыче угля в период с 2000 по 2020 г. (по данным МЭА, ИНЭИ РАН)

1 – Другие страны; 2 – Индонезия; 3 – Германия; 4 – ЮАР; 5 – Россия; 6 – Австралия; 7 – Индия; 8 – США; 9 – Китай

обеспечен в основном за счет увеличения внутреннего спроса, в частности в электро- и теплоэнергетике, а также в машиностроении;

в США, Германии, ЮАР и России объем добычи угля в 2020 г. суммарно снизился на 19,1 % по сравнению с уровнем 2000 г. (–2,2 % к уровню 2019 г.); объясняется это решением о сокращении доли использования угля в электроэнергетике и переходом к «зеленым» видам энергоресурсов; при этом доля этих стран на мировом рынке угля суммарно сократилась в 2020 г. в 2,1 раза по сравнению с уровнем 2000 г. и составила 16,8 %.

В 2020 г. во многих развитых странах мира снижение объема добычи угля намного превысило среднеотраслевой показатель. В частности, США сократили объем добычи угля в 3,2 раза по сравнению с уровнем 2000 г. и на 24,4 % к уровню 2019 г.

Тем не менее крупными игроками на мировом рынке по добыче угля в настоящее время остаются Китай, Индия, Индонезия, Австралия, США и Россия.

Современное положение России на мировом рынке коксующегося угля

Объем мировой добычи коксующегося угля в 2020 г. составил около 1 млрд т. Страны – лидеры по добыче коксующихся углей по итогам 2020 г.: Китай – 553,7 млн т (доля в мировом производстве 54,6 %); Австралия – 183,7 млн т (18,1 %), Россия – 88,7 млн т (8,7 %), США – 49,8 млн т (4,9 %) и Индия – 42 млн т (4,1 %) [1, 2].

По итогам 2020 г. РФ находилась на 3-м месте в мире по добыче коксующихся углей (после Китая и Австралии) [1–3]. При этом добыча коксующегося угля в России в 2020 г. возросла в 1,5 раза по сравнению с уровнем 2000 г., но упала на 10 % по сравнению с 2019 г. до 88,7 млн т (рис. 3).

Доля России в общемировом объеме добываемых коксующихся углей в 2020 г. сократилась до 8,7 % по сравнению с 12,3 % в 2000 г.

Основными бассейнами по добыче коксующихся углей в России по итогам 2020 г. остаются Кузнецкий (62,8 млн т), Южно-Якутский (15,4 млн т) и Печорский (10,3 млн т). При этом набирают «силу» новые месторождения: Межегейское (Республика Тыва) – 0,05 млн т; Эльгинское (Республика Саха (Якутия)) – 7 млн т; Элегестское (Республика Тыва), Апсатское (Забайкальский край) – 0,1 млн т [5, 6] (однако в октябре 2020 г. «СУЭК» остановил добычу угля на этом месторождении из-за нерентабельности).

Современное положение России на мировом рынке энергетического угля

Объем добычи энергетического угля в мире в 2020 г. превысил объем добычи коксующихся углей в 6,3 раза. Это объясняется тем, что около 70 % всего объема добываемого в мире угля востребовано и потребляется в электроэнергетике, коммунально-бытовом секторе, и только незначительная его часть используется для нужд черной металлургии [6, 7]. Большинство угледобывающих стран располагают крупными запасами энергетических углей, а излишки его активно реализуют на внешнем рынке.

Мировое производство энергетического угля в 2020 г. составило 6,35 млрд т (прирост к уровню 2000 г. 154 %). Однако уровень добычи энергетического угля в мире в 2020 г. по сравнению с 2012 г. снизился на 6,4 %, что может свидетельствовать о начале смены «повышательного» тренда мировой добычи энергетического угля на «понижательный».

Основными странами по добыче энергетического угля в мире являются Китай, Индия, Индонезия, Россия, Австралия (рис. 4).

В России в 2020 г. добыто 312,9 млн т энергетического угля (темп роста к уровню 2000 г. 157,5 %) [6, 7]. РФ находится на 5-м месте в мире по объему производимого энергетического угля (после Китая, Индии, Индонезии и США). Доля российского энергетического угля в общемировой его добыче в 2020 г. составила 4,9 % (в 2000 г. 4,8 %).

Основные факторы, влияющие на развитие добычи угля в перспективном периоде

На развитие добычи угля в перспективном периоде большое влияние оказывает современная климатическая «повестка», в частности необходимость выполнения Парижского Соглашения по климату, подписанного 195 странами мира и ратифицированного 186 государствами, включая ЕС и РФ. К 2030 г. в рамках реализации Парижского соглашения по климату предусматривается сокращение выбросов CO₂ всеми участниками Соглашения вне зависимости от уровня экономического развития на 25–40 % от уровня 2005 г., а к 2050 г. – на 70 %. Япония, Южная Корея, Китай, а также большинство стран ЕС, являющихся основными импортерами российского угля, приняли национальные программы развития ВИЭ и планируют ввод значительных мощностей в электроэнергетике за счет строительства ветровых и солнечных электростанций (ВЭС и СЭС) [10, 11].

Так, в Китае компания Huaneng Power International ввела в эксплуатацию плавучую солнечную электростанцию

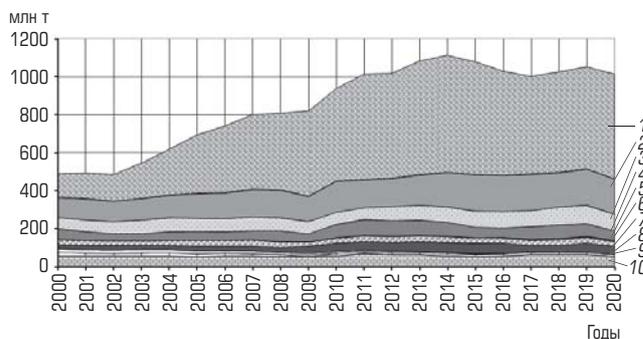


Рис. 3. Добыча коксующегося угля в основных странах мира в период с 2000 по 2020 г. (по данным МЭА, ИНЗИ РАН):
1 – Китай; 2 – Австралия; 3 – Россия; 4 – США; 5 – Индонезия; 6 – Канада; 7 – Индия; 8 – Германия; 9 – Польша; 10 – Другие страны

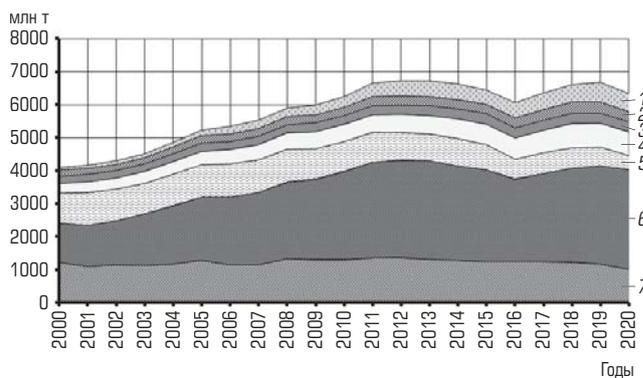


Рис. 4. Добыча энергетического угля в основных странах мира в период с 2000 по 2020 г. (по данным МЭА, ИНЗИ РАН)
1 – Индонезия; 2 – Россия; 3 – Австралия; 4 – Индия; 5 – США; 6 – Китай; 7 – Другие страны

мощностью 320 МВт в провинции Шаньдун. Фотоэлектрические модули были установлены на поверхности водохранилища рядом с угольной электростанцией Дэчжоу мощностью 2,65 ГВт. Особенности проекта является интеграция с близлежащей наземной ветровой электростанцией мощностью 100 МВт и наличие системы накопления энергии на 8 Вт·ч. Кроме того, в конце 2021 г. в Китае введена в эксплуатацию крупнейшая в мире гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС) мощностью 3,6 ГВт в провинции Хэбэй. На объекте установлены 12 реверсивных насосных агрегатов мощностью 300 МВт каждый. Емкость хранения составляет 6,612 млрд кВт·ч. Объем инвестиций составил около 3 млрд долл. США. Согласно опубликованному средне- и долгосрочному плану развертывания ГАЭС на период 2021–2035 гг., к 2025 г. установленная мощность введенных в эксплуатацию ГАЭС должна увеличиться до 62 ГВт, а к 2030 г. – до 120 ГВт.

Несмотря на то, что в Испании уже в 2021 г. доля ВИЭ в производстве электроэнергии достигла 46,6 %, подразделение компании Endesa по возобновляемым источникам энергии в конце декабря 2021 г. начало строительство ветряного кластера Кампильо, состоящего из трех ветропарков общей мощностью 259,2 МВт. Инвестиции в проект составят 256 млн евро. Следует отметить, что с учетом атомной энергетики доля низкоуглеродных источников в производстве электроэнергии в Испании в 2021 г. составила 67,4 %.

В Германии, которая является мировым лидером солнечной энергетики, планируют довести ее мощность до 200 ГВт к 2030 г. [12].

Крупнейшая в мире офшорная ветровая электростанция Hornsea 2 начала выработку электроэнергии у берегов Великобритании, ее суммарная мощность составляет 1,3 ГВт. В полную силу ветропарк датской компании Orsted заработает в конце 2022 г., после завершения установки всех 165 ВЭУ мощностью 8 МВт каждая. Кроме того, в 2023 г. у берегов Нидерландов планируется реализация ветровых проектов компаниями Hollandse Kust South (мощностью 1,5 ГВт) и британской Dogger Bank (мощностью 3,6 ГВт).

В Индии в течение ближайших 10–15 лет намерены построить электростанцию на ВИЭ мощностью 100 ГВт и водородную «экосистему» при ней. Индия провозгласила, что станет углероднейтральной к 2070 г., а к 2030 г. будет удовлетворять 50 % своих потребностей в энергии за счет ВИЭ. При этом мощности энергетики, не связанные с ископаемым топливом, вырастут до 500 ГВт. Уже летом 2021 г. установленная мощность ВИЭ в Индии (без учета крупных ГЭС) превысила 100 ГВт. Следует отметить, что в июне 2021 г. Индийская государственная энергетическая компания NTPC, крупнейший производитель электроэнергии в стране, получила разрешение правительства на строительство крупнейшего в мире солнечного парка мощностью 4,75 ГВт в шт. Гуджарат.

В США в 2022 г. планируется ввести дополнительно 46,1 ГВт новых электрогенерирующих мощностей промышленного масштаба (utility-scale), из них 46 %, или 21,5 ГВт – крупные солнечные электростанции. При этом мощности систем накопления энергии (батарей) вырастут на 5,1 ГВт, или на 84 %. Доля солнечной энергетики в США может увеличиться с 3 % в настоящее время до 40 % к 2035 г. Этому будет способствовать ввод 462 ГВт мощностей солнечных электростанций. В то же время строительство новых угольных ТЭС в США не планируется. Наоборот, в 2022 г. ожидается, что будут выведены из эксплуатации угольные электростанции общей мощностью 12,6 ГВт, газовые станции мощностью 1,2 ГВт и атомная электростанция мощностью 0,8 ГВт.

По прогнозам ведущих аналитических и консалтинговых компаний, продажи солнечных модулей в мире в 2022 г. впервые превысят 200 ГВт. При этом продажи в КНР могут составить 74–76 ГВт.

Достижение углеродной нейтральности в России ожидается к 2060 г. Строительству солнечных и ветровых электростанций в Российской Федерации также уделяется большое

внимание. Так, Оренбургская область в настоящее время является лидером в стране по объемам солнечной генерации и развитию альтернативной энергетики в целом. В 2021 г. в регионе была запущена в эксплуатацию 18-я солнечная электростанция (СЭС) – Новопереволоцкая (мощностью 15 МВт), что обеспечило в Оренбургской области наличие 370 МВт мощностей солнечной генерации. Кроме того, Светлинская СЭС (мощностью 25 МВт) в начале 2022 г. начала поставку солнечной электроэнергии в этом регионе.

В регионах присутствия компании «Россети Юг» в 2023–2027 гг. ожидается ввод ветровых и солнечных электростанций суммарной мощностью более 1,7 ГВт. Основную часть мощностей ветрогенерации (порядка 1 ГВт) планируется разместить в Волгоградской области. В Астраханской и Ростовской областях построят ВЭС на 324 и 155 МВт соответственно. Новые солнечные электростанции появятся в Республике Калмыкия (120 МВт) и Астраханской области (60 МВт). В результате реализации этих проектов доля ВИЭ в общем объеме производимой в объединенной энергосистеме юга электроэнергии может вырасти с нынешних 15 % до 28 % в 2027 г.

Компания «Солар Системс» построила 20 солнечных парков мощностью 365 МВт в 5 регионах России, а с учетом строящихся солнечных электростанций ее общий портфель проектов превышает 600 МВт.

С 1 января 2022 г. АО «Атомэнергопромсбыт» (входит в АО «НовоВинд», дивизион Госкорпорации «Росатом» по ветроэнергетике) начало поставки электроэнергии на основе ветра. Проект «зеленый порт» продолжает развиваться в России, а на терминалах КСК и НУТЭП полностью перешли на использование электрической энергии, вырабатываемой с помощью ВИЭ.

Тем не менее в докладе о развитии мировой энергетики (Electricity Market Report), подготовленном МЭА, говорится, что вытеснение угля нетрадиционными источниками энергии в 2021 г. приостановилось. На фоне продолжающегося роста китайской и индийской экономик, которые потребляют соответственно 53 и 12 % мирового объема угля, произошел резкий рост спроса на энергию, включая и угольные источники. При этом выработка электричества на угле в 2021 г. достигла исторически рекордного уровня, увеличившись на 9 %, что является самым быстрым темпом с 2011 г. Этому способствовал чрезвычайно высокий спрос на электричество и конкурентоспособность на некоторых рынках по сравнению с природным газом.

Выработка электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии на ГЭС, СЭС и ВЭС по итогам 2021 г. возросла значительно, на 6 %, несмотря на то, что рост был ограничен неблагоприятными погодными условиями (в частности, для гидроэнергетики). Газовая генерация увеличилась почти на 2 %, атомная – на 3,5 %. При этом выбросы CO₂ в электроэнергетике выросли почти на 7 %, достигнув рекордного уровня.

Ожидаемое МЭА замедление роста спроса на электроэнергию и значительное расширение мощностей возобновляемой энергетики в 2022–2024 гг. приведут к тому, что производство электроэнергии на основе ископаемого топлива в целом останется

на прежнем уровне. В свою очередь, угольная генерация в этот период сократится, но незначительно, поскольку поэтапный отказ от угля и снижение его конкурентоспособности по сравнению с природным газом на таких рынках, как США и Европа, будет компенсировано ростом в Китае и Индии.

Ввиду того, что в ближайшее время в странах ЕС вводят углеродные квоты на выбрасываемый теплоэлектростанциями углекислый газ, а при сгорании угля на киловатт-час электроэнергии образуетсякратно больше CO_2 , чем при сжигании газа, то уже в ближайшие годы в странах ЕС скорее всего сжигание угля на ТЭС постараются снизить до минимума, вплоть до полного отказа от него. Китай же собирается строго контролировать проекты по производству электроэнергии на основе угля и ограничить потребление угля в течение 14-й пятилетки (2021–2025 гг.), постепенно сокращая его долю в период 15-й пятилетки (2026–2030 гг.).

Одной из эффективных мер по снижению выбросов парниковых газов в атмосферу является декарбонизация экономики, позволяющая сократить углеродный след, т. е. выбросы диоксидов углерода за счет применения источников энергии с низким содержанием углерода. Водород обладает огромным потенциалом как средство декарбонизации экономики, поскольку при его использовании в качестве энергоносителя в атмосферу не выбрасывается углекислый газ. Акцент на водород как основной элемент декарбонизации энергетики формирует новый подход к финансированию.

В настоящее время Европейский Инвестиционный Банк уже не финансирует угольные проекты, а в конце 2021 г. страны G7 объявили о прекращении финансирования строительства угольных электростанций [12]. К 2025 г. половину своих активов страны ЕС решили ориентировать на «зеленую» энергетику. Суммарная стоимость всех проектов, реализуемых в настоящее время в области водородной энергетики, уже достигла 90 млрд долл. США, а к 2030 г. на «зеленые» проекты планируют выделить около 1 трлн евро, из них страны ЕС – 470 млрд евро.

В соответствии с политикой Евросоюза, к 2030 г. ископаемые виды топлива должны быть в основном выведены из баланса по производству электроэнергии и заменены ВИЭ и водородом. Водород как средство декарбонизации обладает большим потенциалом. Теплотворная способность водорода достаточно высокая: при сжигании 1 кг водорода выделяется порядка 140 МДж энергии, а угля – около 20–25 МДж, что в 7 раз меньше.

В связи с этим страны ЕС, Китай, США, Япония и многие другие, снижая объемы потребления угля, делают ставку на компенсацию его водородом и принимают национальные водородные стратегии развития на перспективу. 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 [10, 12]. Кроме того, создаются так называемые водородные содружества по развитию водородной энергетики между отдельными странами. Так, Германия и Австралия создали «водородный альянс», направленный на обеспечение импорта в ФРГ водорода, «производимого экологически

безопасным способом» в больших количествах. В августе 2021 г. Германия и Намибия подписали совместное коммюнике о намерениях установить германо-намибийское водородное партнерство. Лидер по реализации водородной энергетики Германия объявила о полной декарбонизации по оптимистическому сценарию к 2038 г. (пессимистическому – к 2045 г.).

По данным института Экономике энергетического сектора и финансового анализа (IEEFA), в настоящее время насчитываются десятки строящихся установок электролиза на базе ВИЭ, суммарная мощность которых 50 ГВт и стоимость 75 млрд долл. США. Возобновляемая энергетика превратилась в единственный источник энергии, спрос на который в 2020 г. увеличился, несмотря на пандемию. При этом потребление всех других видов топлива, включая уголь, снизилось. В 2020 г. ввод новых мощностей ВИЭ увеличился более чем на 45 % по сравнению с 2019 г. и достиг почти 280 ГВт, что стало рекордным приростом в энергетике начиная с 1999 г. Прирост мощностей СЭС составил 135 ГВт, ВЭС – 114 ГВт.

В 2022 г. доля ВИЭ, по некоторым оценкам, может составить около 90 % от общего объема введенных мощностей в целом в мире. В частности, в 2022 г. ожидается ввод в эксплуатацию 280 ГВт мощностей ВИЭ. В то же время ввод мощностей ВИЭ приводит к нецелесообразности использования электростанций на угле и отказу от их финансирования. Так, на саммите в Риме в 2021 г. лидеры G20 провозгласили отказ от финансирования строительства новых угольных электростанций за рубежом к концу 2021 г.

В соответствии с принятыми решениями проведенной климатической конференции в Глазго (ноябрь 2021 г.), участвующие в ней страны приняли решение о том, что «государства будут постепенно сокращать использование угля» [13]. При этом было уточнено: «не любого угля, а только такого, который не предусматривает нивелирования вредных выбросов через технологии улавливания углекислого газа», т. е. призыв «ускорить усилия» по сокращению использования угля в энергогенерации не распространяется на уголь, совмещенный с технологией улавливания и хранения углерода. Кроме того, 50 стран-участниц договорились о переходе от использования энергии угольных электростанций к чистой энергии, а также о прекращении выдачи разрешений на новые угольные проекты по производству электроэнергии, вырабатываемой на угле (Россия и Китай не подписали данное соглашение). В итоговом заявлении по завершении конференции в Глазго было констатировано, что «уголь будут использовать только в течение следующего десятилетия или около того».

Учитывая эти факторы, основные угледобывающие и углепотребляющие страны мира объявили о постепенном отказе от угольной энергетики. Так, ФРГ планирует отказаться от угольной энергетики к 2030 г., ЮАР, которая в настоящее время 90 % электроэнергии получает из угля, также заявила, что постепенно откажется от производства энергии на основе угля. Аналогичные планы у США, Великобритании, Франции и стран ЕС [12].

В качестве альтернативы угольной энергетике многие страны заявили о своих намерениях развивать водородную энергетику.

Среди азиатских стран в плане реализации водородной энергетики существенно продвинулись Япония, Южная Корея и Китай, которые являются также основными импортерами российского угля.

Это значительно увеличивает риски для развития российской угольной промышленности, обладающей в настоящее время высоким потенциалом экспортных поставок. Поэтому можно констатировать, что сложившаяся ситуация является крайне опасной для российских производителей и экспортеров угля, особенно нацеленных на длительное сохранение «повышательного» тренда объемов экспортных поставок.

Таким образом, реализация национальных стратегий по развитию водородной энергетики в странах ЕС и АТР, а также выполнение ими условий Парижского соглашения по климату вносят кардинальные изменения в планы и прогнозы развития угольной промышленности [10] и черной металлургии России. Декарбонизация экономики как средство достижения углеродной нейтральности предполагает отказ от использования угля и углеводородов в пользу развития ВИЭ и водородной энергетики. Политика декарбонизации экономики, активно реализуемая многими странами, может стать существенным фактором сдерживания добычи коксующихся и энергетических углей и сокращения их поставок на внутренний и внешний рынок.

Кроме того, правительства многих развитых стран мира считают, что негативные экологические последствия от сжигания угля в настоящее время значительно выше, чем от использования альтернативных источников энергии. В связи с этим они ужесточают свои требования к чистоте окружающей среды и вводят углеродные платежи, или так называемое трансграничное углеродное регулирование (ТУР). Суть последнего состоит в следующем: в зависимости от роста стоимости выбросов CO_2 бесплатные квоты будут сокращаться. Это, с одной стороны, будет стимулировать бизнес снижать выбросы CO_2 , а с другой — сделает энергоемкие отрасли ЕС (нефтепереработку, химическую промышленность и металлургию) неконкурентоспособными по сравнению со странами, где производители подобных налогов не платят. Такой эффект получил название «утечка углерода», так как приводит не к абсолютному сокращению выбросов парниковых газов в мире, а лишь к переносу их из стран с жесткой климатической политикой в страны, где плата за выбросы ниже или вообще не взимается. Это нивелирует все усилия, предпринимаемые для борьбы с парниковыми газами в ЕС.

Нагрузка на российских производителей энергетического угля может достичь значительных масштабов. По состоянию на конец апреля 2021 г. цена квот на выбросы углерода в ЕС выросла до 50 долл. США/т CO_2 , в Калифорнии — 17 долл., в Китае — 6 долл. При этом цены продолжают расти. Происходит беспрецедентное экономическое давление на углеродные технологии: плата за выбросы CO_2 с нынешних 40 долл. США за 1 т выбросов CO_2 может вырасти до 110 долл. США, а к 2050 г. размер трансграничного сбора может увеличиться в 11 раз, т. е. до 444 евро за 1 т CO_2 -экв. Следует отметить, что Еврокомиссия (ЕК) 14 июля 2021 г. внесла пакет законов о трансграничном углеродном регулировании в Европарламент. При этом сбор

на импорт определенных товаров, таких как нефтепродукты, уголь и металлы, в зависимости от углеродного следа ЕК предложила вводить постепенно — с 2023 по 2026 г. По проекту регламента ЕС по трансграничному корректирующему углеродному механизму при ввозе в ЕС цемента, удобрений, электроэнергии, железа, стали и алюминия через несколько лет необходимо будет покупать специальные сертификаты, которые и будут аналогом углеродного налога.

Россия считает, что новый трансграничный углеродный налог ЕС противоречит нормам ВТО, пытаясь уравнивать продукцию, произведенную в ЕС с минимальными выбросами CO_2 , с продукцией других стран, где используют технологии с высокими выбросами CO_2 . Тем не менее многие участники COP26 подчеркнули, что ТУР в ближайшие годы может стать нормой и существенно повлияет на рынки углеводородов и торговые потоки.

В связи с этим некоторые российские компании уже начали включать в свои затраты расходы на углеродный налог. В частности, российская нефтегазохимическая компания «Сибур» стала учитывать в своих проектах расходы на углеродный налог ЕС. В настоящее время при различных сценариях развития событий компания оптимизирует баланс: как приобретать более дорогое оборудование, которое при этом приводит к уменьшению выбросов. Теперь этот показатель в Сибуре «обязательно» учитывают при принятии того или иного технического решения [14].

Следует отметить, что объявленные механизмы сбора углеродного налога заставляют многие компании отказываться от реализации ранее объявленных проектов. Так, по причине высокого углеродного следа руководство компании «Сибур» отказалось от предложения Правительства России создать углекислотное производство в районе Канска, одном из пяти намеченных к строительству новых городов-миллионников в Сибири.

Еще одна крупная российская компания — «Северсталь», много лет владеющая угольной компанией «Воркутауголь», ввиду высокого углеродного следа и необходимости уплаты углеродного налога совершила сделку по продаже принадлежащих ей угольных активов.

Анализ приведенных основных факторов, а также сложившиеся темпы и пропорции в добыче энергетических углей послужили основой для дальнейших прогнозных расчетов объемов их добычи в условиях развития низкоуглеродной энергетики.

Заключение

Необходимость выполнения решений Парижского соглашения по климату, а также эмбарго на поставки российского угля ЕС предусматривает сокращение выбросов CO_2 всеми участниками соглашения к 2050 г. на 70 %, а также активизацию работ по декарбонизации экономики и переводу энергетики многих стран мира на нетрадиционные источники энергии и водород. Во многих странах мира, включая и Россию, были утверждены концепции низкоуглеродного развития на период до 2050 (2060) г.

Политика декарбонизации экономики, активно реализуемая многими странами, может стать существенным фактором сдерживания добычи коксующихся и энергетических углей и сокращения их поставок на внутренний и внешний рынок. При этом

ископаемые виды топлива должны быть в основном выведены из баланса по производству электроэнергии и заменены ВИЭ и водородом.

После решения ЕС ввести эмбарго на российский уголь с августа 2022 г. мировой рынок угля ожидает очередное крупное изменение экспортных потоков. Запрет ЕС на покупку российского угля и вызванная этим ребалансировка экспортных

потоков могут привести к очередному росту цен на уголь в мире. Россия вынуждена искать новые рынки сбыта своего сырья и продукции. Россия, хотя и с дисконтом, скорее всего будет увеличивать поставки угля в Индию, а европейцы могут заместить уголь из РФ колумбийским и американским импортом.

(Окончание в следующем номере)

Библиографический список

1. Coal Information 2020: Overview. – Paris : OECD Publishing, 2021. – 28 p.
2. Annual Coal Report 2020. – Washington : U.S. Department of Energy, 2021. – 86 p.
3. Key World Energy Statistics 2020 : Statistics report / OECD/IEA, 2021. – 81 p.
4. BP Statistical Review of World Energy. 2020. 69th ed. / BP, 2020. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf> (дата обращения: 15.04.2022).
5. Добыча угля / ЦДУ ТЭК. URL: <https://www.cdu.ru/catalog/statistic/dobycha-uglya/> (дата обращения: 15.04.2022).
6. Таразанов И. Г., Губанов Д. А. Итоги работы угольной промышленности России за январь–декабрь 2020 года // Уголь. 2021. № 3. С. 27–43.
7. Статистические и аналитические информационные материалы по основным показателям производственной деятельности организаций угольной отрасли России, ЦДУ ТЭК, с 2000 г. по 2020 г.
8. Яновский А. Б. Уголь: битва за будущее // Уголь. 2020. № 8. С. 9–14.
9. Ефимов В. И., Абрамкин Н. И., Ефимова Н. В. Применение безлюдных технологий на открытых горных работах // Устойчивое развитие горных территорий. 2021. Т. 13. № 3(49). С. 449–456.
10. Плакиткин Ю. А., Плакиткина Л. С. Парижское соглашение как фактор ускорения «энергетического перехода»: меры по адаптации угольной отрасли к новым вызовам // Уголь. 2021. № 10. С. 19–23.
11. Renewables Information 2021 ed. : Database documentation / IEA, 2021. – 84 p.
12. Плакиткина Л. С., Плакиткин Ю. А., Дьяченко К. И. Водород против угля: как повлияет развитие водородной энергетики на угольную промышленность // Горный журнал. 2021. № 7. С. 14–21. DOI: 10.17580/gzh.2021.07.02
13. Деготькова И., Ткачев И. О чем 200 стран договорились по итогам климатической саммита в Глазго. 2021. URL: <https://www.rbc.ru/economics/15/11/2021/618e742f9a794783e59910b8> (дата обращения: 15.04.2022).
14. «Сибур» начал учитывать в проектах расходы на углеродный налог. 2021. URL: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/6142030c9a79473b91ef3bf8> (дата обращения: 15.04.2022). **БК**

«GORNYY ZHURNAL», 2022, № 7, pp. 10–16
DOI: 10.17580/gzh.2022.07.01

Major trends shaping development of coal industry in the world and in Russia under conditions of low-carbon energy economy: Major trends

Part I. Coal sector development ratio and rates under the influence of major coal market countries

Information about authors

Yu. A. Plakitkin¹, Head of the Center for Analysis and Innovation in Energy, Professor, Doctor of Economic Sciences, Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, Academician of the Academy of Mining Sciences

L. S. Plakitkina¹, Head of the Research Center for Coal Industry in the World and in Russia, Candidate of Engineering Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, luplak@rambler.ru

K. I. Dyachenko¹, Senior Researcher of the Center for Coal Industry in the World and in Russia, Candidate of Engineering Science

¹Energy Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract

The Paris climate agreement and the restrictions introduced in connection with them boosted the decarbonization efforts and the global energy transition to renewable energy sources and hydrogen. For this reason, many countries have closed their coal-fired thermal power plants, switched to green energy sources and approved the concept of low-carbon development in the period up to 2050 (2060). In this regard, the domestic coal industry faced the risks of not only an accelerated reduction in coal production and exports, but also the risk of a possible complete closure of coal mines.

In 2020, coal production in the world decreased by 4.9%, to 7.4 billion tons compared to the previous year. Russia remained the world's 6th coal producer with 401.6 million tons of coal produced, including 312.9 million tons of power-generating coal. Russia's share in the global coal production in 2020 was 5.5%. In connection with the introduction of cross-border carbon regulation, the burden on the Russian coal producers may reach significant proportions. Russia believes the EU's new cross-border carbon tax is contrary to WTO rules in terms of trying to equalize products made in the EU with minimal CO₂ emissions with products from other countries that use technologies with high CO₂ emissions. However, many COP26 participants stressed that trans-carbon regulation could become the norm in the coming years and have a significant impact on hydrocarbon markets and trade flows.

The analysis of these major factors and the current ratio and rates in production of power-generating coal makes the framework for the coal production prediction under conditions of low-carbon energy economy.

Keywords: coal industry, low-carbon development, Paris climate agreement, decarbonization of economy, trends shaping development of coal industry, climate restrictions, carbon neutrality, hydrogen energy.

References

1. Coal Information 2020: Overview. Paris : OECD Publishing, 2021. 28 p.
2. Annual Coal Report 2020. Washington : U.S. Department of Energy, 2021. 86 p.
3. Key World Energy Statistics 2020 : Statistics report. OECD/IEA, 2021. 81 p.
4. BP Statistical Review of World Energy. 2020. 69th ed. BP, 2020. Available at: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf> (accessed: 15.04.2022).
5. Coal production. Central Dispatching Department of Fuel and Energy Complex. Available at: <https://www.cdu.ru/catalog/statistic/dobycha-uglya/> (accessed: 15.04.2022).
6. Tarazanov I. G., Gubanov D. A. Russia's coal industry performance for January–December, 2020. *Ugol*. 2021. No. 3. pp. 27–43.
7. Statistical and analytic informational materials about the main indicators of manufacturing activity of Russian coal industry organizations, Central Dispatching Department of Fuel Energy Complex, from 2000 to 2020.
8. Yanovsky A. B. Coal: the battle for the future. *Ugol*. 2020. No. 8. pp. 9–14.
9. Efimov V. I., Abramkin N. I., Efimova N. V. The use of unpopulated technologies in open-pit mining. *Ustoychivoe razvitiye gornyykh territoriy*. 2021. Vol. 13, No. 3(49). pp. 449–456.
10. Plakitkin Yu. A., Plakitkina L. S. Paris agreement on Climate Change as a driver to accelerate energy transition: measures to adapt the coal sector to new challenges. *Ugol*. 2021. No. 10. pp. 19–23.
11. Renewables Information 2021 ed. : Database documentation. IEA, 2021. 84 p.
12. Plakitkina L. S., Plakitkin Yu. A., Dyachenko K. I. Hydrogen versus coal: Implications of the hydrogen energy engineering advance for the coal industry. *Gornyy Zhurnal*. 2021. No. 7. pp. 14–21. DOI: 10.17580/gzh.2021.07.02
13. Degotkova I., Tkachev I. Where have 200 countries come at the Glasgow Climate Summit? 2021. Available at: <https://www.rbc.ru/economics/15/11/2021/618e742f9a794783e59910b8> (accessed: 15.04.2022).
14. Sibur is including the carbon tax in the coal projects. 2021. Available at: <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/6142030c9a79473b91ef3bf8> (accessed: 15.04.2022).