

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

ECONOMIC EFFICIENCY
OF METALLURGICAL PRODUCTION



УДК 338.2

DOI 10.17073/0368-0797-2025-1-90-97



Оригинальная статья
Original article

НАПРАВЛЕНИЯ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ РОССИЙСКОЙ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

О. П. Черникова[✉], О. В. Афанасьева, Е. Г. Афанасьев

Сибирский государственный индустриальный университет (Россия, 654007, Кемеровская обл. – Кузбасс, Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

chernikovaop@yandex.ru

Аннотация. Черная металлургия – колоссальная отрасль с большим количеством промышленных объектов и оборудования, построенных на века. На нее приходится примерно 8 % текущих глобальных антропогенных выбросов оксида углерода CO₂. Будущее декарбонизации этих активов зависит от инвестиций крупных игроков рынка в разработку и внедрение прорывных технологий производства стали и от работы рынка углеродных единиц. При грамотном и ответственном управлении климатической повесткой компаний даже на фоне постоянно растущего спроса на сталь у металлургии есть все шансы снизить выбросы парниковых газов в 2,5 раза уже через 25 лет. При этом реализация производственно-экологических инноваций на предприятиях требует комплексного подхода. В рамках проведенного исследования изучали нормативные документы Правительства РФ, регламентирующие снижение углеродоемкости продукции, рост энергосбережения и уменьшение воздействия на климат металлургической отрасли. Выявлены критерии проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития для производителей стали. Проведен анализ климатических инициатив EVRAZ Group, проводимых в рамках реализации принятой в компании стратегии декарбонизации. Определены климатические проекты российских промышленников, разработанных с целью выпуска и продажи углеродных единиц. Сформулированные ключевые направления декарбонизации отечественной черной металлургии включают операционные методы снижения прямых и косвенных выбросов парниковых газов, переход к экологически чистым технологиям, применение низкоуглеродных энергетических источников, внедрение замкнутых сырьевых циклов черных металлов, оптимизацию суммарной углеродоемкости портфеля активов. Реализация экологических и климатических проектов обеспечит устойчивое развитие металлургической отрасли, оптимизацию показателей комплексной эффективности, а также определит занимаемую нишу в конкурентной бизнес-среде.

Ключевые слова: черная металлургия, углеродоемкость стали, энергоэффективность, климатический проект, декарбонизация металлургии, выбросы парниковых газов, климатическая повестка

Для цитирования: Черникова О.П., Афанасьева О.В., Афанасьев Е.Г. Направления декарбонизации Российской черной металлургии. *Известия вузов. Черная металлургия.* 2025;68(1):90–97. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2025-1-90-97>

DIRECTIONS OF DECARBONIZATION OF RUSSIAN FERROUS METALLURGY

O. P. Chernikova[✉], O. V. Afanas'eva, E. G. Afanas'ev

Siberian State Industrial University (42 Kirova Str., Novokuznetsk, Kemerovo Region – Kuzbass 654007, Russian Federation)

chernikovaop@yandex.ru

Abstract. Ferrous metallurgy is a colossal industry with a huge number of industrial facilities and equipment built for centuries. It accounts for approximately 8 % of current global anthropogenic emissions of CO₂ oxides. The future of decarbonization of these assets depends on investments by major market players in the development and implementation of breakthrough steel production technologies and operation of the carbon units market. With careful and responsible management of companies' climate agenda, even against the backdrop of ever-growing demand for steel, metallurgy has every chance of reducing greenhouse gas emissions by 2.5 times in 25 years. At the same time, the implementation of industrial and environmental innovations at enterprises requires an integrated approach. As part of the research, we studied the regulatory documents of the Government of the Russian Federation regulating reduction of carbon intensity of products, growth of energy conservation and reduction of the impact on climate of the metallurgical industry. Criteria for sustainable (including green) development projects for steel producers were identified. The analysis of EVRAZ Group's climate initiatives, carried out as part of the implementation of the company's decarbonization strategy, was conducted. The identified climatic projects of the Russian industrialists were developed with the aim of producing and selling coal units. The formulated key directions of decarbonization of domestic ferrous metallurgy include operational methods for reducing direct and indirect

greenhouse gas emissions, transition to environmentally friendly technologies, the use of low-carbon energy sources, introduction of closed crude cycles of ferrous metals, and optimization of the total carbon intensity of the asset portfolio. The implementation of environmental and climate projects will ensure the sustainable development of the metallurgical industry, optimize integrated efficiency indicators, and identify a niche in the competitive business environment.

Keywords: ferrous metallurgy, carbon intensity of steel, energy efficiency, climate project, decarbonization of metallurgy, greenhouse gas emissions, climate agenda

For citation: Chernikova O.P., Afanas'eva O.V., Afanas'ev E.G. Directions of decarbonization of Russian ferrous metallurgy. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2025;68(1):90–97. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2025-1-90-97>

ВВЕДЕНИЕ

Мировая металлургия – консолидированная отрасль, производящая полуфабрикаты для других секторов экономики, имеющая высокий уровень переработки и нуждающаяся в высоких температурах, обеспечивающих работу технологических процессов [1–3]. Это масштабная социотехническая система, в которой занято более 6 млн человек и дополнительно по всей цепочке поставок создано 40 млн косвенных рабочих мест [4]. Мировая выручка отрасли составляет около 2,5 трлн долларов (3 % мирового ВВП) [5]. Растущий показатель отдачи от масштабов производства приводит к тому, что большая часть чугуна и стали производится несколькими крупными игроками (странами) [6–8].

По итогам 2023 г. по рейтингу World Steel Association Россия вошла в пятерку лидеров производителей стали с объемами производства 76 млн т (4 % от общемировой выплавки 1888 млн т), уступив позиции Китаю (54 %, 1019 млн т), Индии (7 %, 140 млн т), Японии (5 %, 87 млн т) и США (4 %, 81 млн т)¹. Доля экспорта продукции российской черной металлургии составила 40 % общего объема. Это, в основном, полуфабрикаты для производства глубокого передела (листа, проката и другой продукции).

Проблема изменения климата заставляет мировое сообщество стремиться к углеродной нейтральности и декарбонизации отраслей промышленности. Энерго- и углеродоемкий характер черной металлургии находится в фокусе внимания ученых разных стран (Китая [9; 10], Японии [11], Великобритании [12; 13], Тайланда [14], Швеции [15; 16], России [17–20], Украины [21], Кореи [22] и др.).

В конце 2022 г. Правительством утверждена Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 г., в которой обозначена цель перехода к декарбонизации отрасли, включающая развитие низкоуглеродных технологий, модернизацию производственных мощностей, а также меры государственной поддержки разработки и внедрения прорывных технологий [23].

Как правило, продукция черной металлургии поставляется промышленным потребителям (машино-

строению, металлообработке, строительной индустрии, железнодорожному транспорту и т. п.). Следовательно, декарбонизация металлургической отрасли имеет большой потенциал сокращения косвенных выбросов и в других секторах экономики [24].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование базируется на общенаучной методологии с использованием методов научной абстракции, диалектического развития, абстрактной логики, сравнительного анализа и обобщения информации, полученной из различных отечественных и зарубежных изданий за последнее время.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

За последние четыре года в России принят ряд нормативных документов, регламентирующих снижение углеродоемкости продукции, рост энергосбережения и уменьшение воздействия на климат: Стратегия социально-экономического развития РФ с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.; федеральный закон «О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах РФ»; постановление Правительства РФ от 24.03.2022 г. № 455 «Об утверждении Правил верификации результатов реализации климатических проектов», постановление Правительства РФ от 24.03.2022 г. № 449 «Об утверждении Правил оценки достижения целевых показателей сокращения выбросов парниковых газов...» и др.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 11.03.2023 г. № 373 был выпущен документ «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 21.09.2021 г. № 1587», согласно которому определены критерии проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития для производителей стали:

- соответствие нижнему порогу индикатора удельных выбросов парниковых газов для различных переделов предприятий черной металлургии в соответствии со справочником наилучших доступных технологий;

- снижение фактических показателей загрязняющих выбросов и сбросов на 10 % и более;

¹ World Steel in Figures 2023. – URL: <https://worldsteel.org/data/world-steel-in-figures-2023/> (дата обращения 10.01.2025).

- повышение ресурсо- и энергоэффективности на 10 % и более;
- наличие замкнутого цикла водооборота без сброса производственных сточных вод;
- производство углеродистой и высоколегированной стали;
- применение перспективных технологий;
- использование технологии улавливания и хранения парниковых газов (CCS).

На фоне актуализации карбоновой повестки в EVRAZ Group разработана стратегия декарбонизации, предусматривающая реализацию с 2020 по 2060 гг. в соответствии с целями краткосрочными (до 2027 г.); среднесрочными (на период с 2030 – 2045 гг.); долгосрочными (до 2060 г.).

На этапе реализации краткосрочных целевых установок рассматриваются инициативы, направленные на снижение выбросов CO₂ в рамках проектов повышения энергоэффективности. Программа заполнена на ближайшие два года. Далее установлен целевой уровень снижения выбросов на 1 % в год. План-график проработки мер по декарбонизации производства на ближайшую перспективу приведен на рис. 1.

На этапе реализации среднесрочных проектов рассматриваются инициативы, направленные на снижение содержания CO₂ в «промежуточных решениях». В настоящее время сформирован перечень технологий для проработки возможностей для внедрения в дивизионах «Урал» и «Сибирь» (использование синтез-газа, холодного брикетирования, замена агломерата окатышами и пр.).

В рамках реализации долгосрочного видения наиболее целесообразной является конфигурация электроплавильного производства и холодно-брикетированного железа (DRI) к 2050 г. Ключевые факторы для проработки решений следующие: технологическая доступность, объем инвестирования, уровень операционных затрат.

В АО «ЕВРАЗ Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (АО «ЕВРАЗ ЗСМК») уже реализован пилотный российский проект «Зеленые рельсы». Под «зелеными рельсами» понимают продукцию, на производство которой приходится в 4 раза меньше выбросов CO₂ по сравнению с доменно-конвертерной выплавкой стали. Углеродоемкость стали для проката рельсов составила около 0,5 т CO₂-экв. на т. Достижение низкого углеродного следа обеспечивается за счет электрометаллургического способа производства, использования возобновляемой энергетики и оптимальной технологии с увеличением доли металлолома в шихте.

Исследуются возможности внедрения инновационной технологии снижения углеродного следа за счет применения DRI, которое получают в результате прямого восстановления из железной руды (в виде кусков, окатышей или мелкой фракции) железа газом, который

содержит элементарный углерод или водород. Схема технологического процесса холодного брикетирования представлена на рис. 2.

К основным преимуществам DRI относятся однородность химического состава; низкое содержание вредных примесей; энергоэффективный и экологически чистый процесс производства; отсутствие зависимости поставок от сезонности; легкость в транспортировке и использовании.

В целях повышения прозрачности и обоснованности принимаемых производственно-экологических решений выполняется расчет углеродоемкости производства и углеродного следа продукции: обрабатываются запросы от клиентов по стальной, ванадиевой и коксохимической продукции с предоставлением необходимой информации; идет работа над расчетом углеродного следа по цепочке поставок.

Менеджмент компании проводит работу с площадками Российского союза промышленников и предпринимателей и ассоциации «Русская сталь» для митигации рисков углеродного регулирования и транслирования позиции предприятий черной металлургии. Проведен отраслевой бенчмаркинг выбросов CO₂ по предприятиям ассоциации для создания единой расчетной методики оценки углеродоемкости производства стали для формирования позиции отраслевого сообщества относительно рисков для черной металлургии при введении механизма взимания платы на углерод.

Оценить положение компании на соответствие статусу регулируемой организации по Постановлению Правительства РФ № 355 от 14.03.2022 г. «О критериях отнесения юридических лиц и индивидуальных предпринимателей к регулируемым организациям» в связи с требованиями закона № 296-ФЗ от 02.07.2021 г. «Об ограничении выбросов парниковых газов» в настоящее время можно на сайте Государственной информационной системы в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Калькулятор расчета выбросов CO₂ по предприятиям черной металлургии предусматривает заполнение показателей, приведенных в табл. 1.

В настоящее время в дивизионе «Сибирь» реализуется проект по автоматизации расчетов выбросов парниковых газов в целях подготовки обязательной отчетности и, особенно, CBAM (*Carbon Border Adjustment Mechanism*), а также идет работа по автоматизации сбора данных для расчетов выбросов Score 3 (разрабатывается техническое задание и проводится инвестиционная оценка инициативы).

В дальнейшем полученный опыт будет транслироваться на предприятия Урала.

На предприятиях EVRAZ Group ответственно относятся к повестке снижения углеродного следа, в связи с чем, вопросы влияния на климат и устойчивое развитие компании отражаются в регулярно разрабатываемой документации:

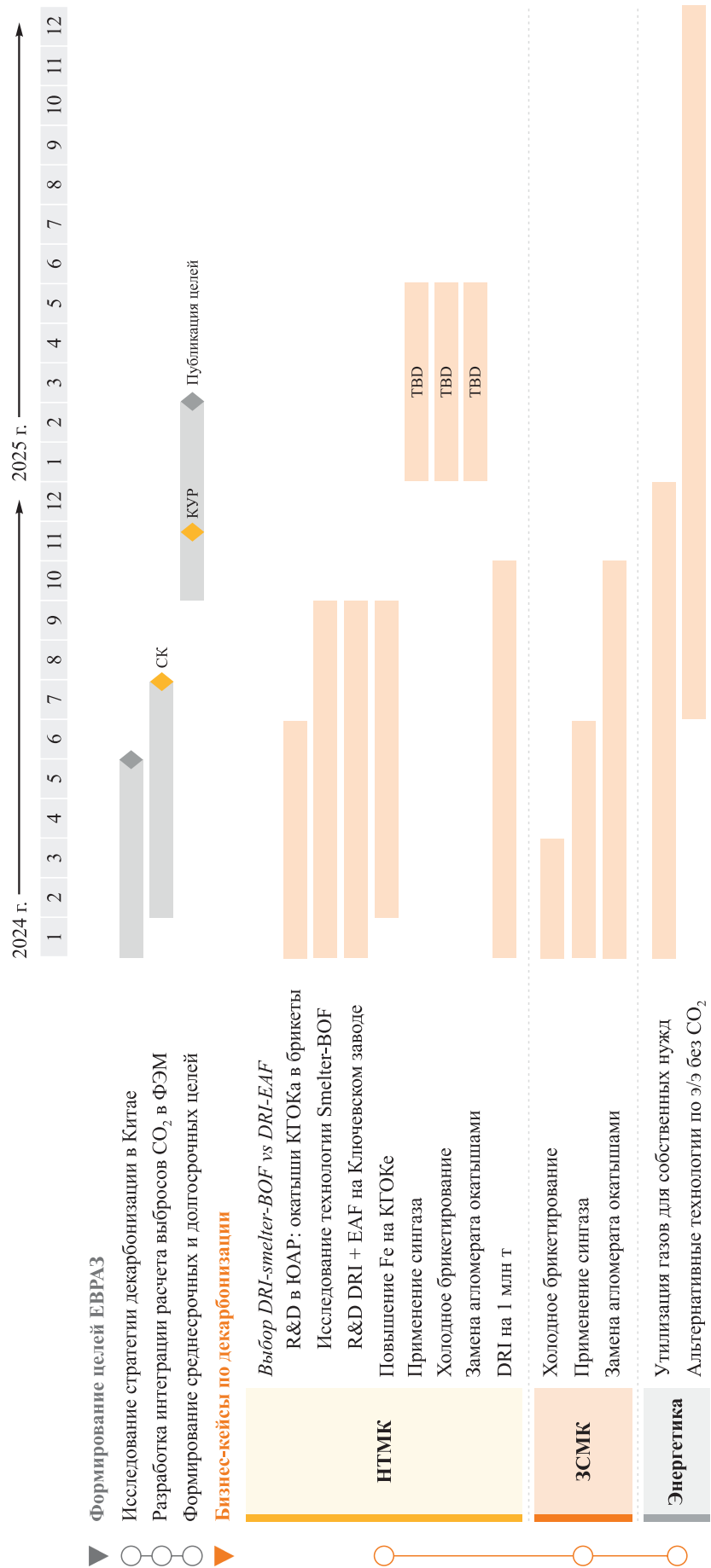


Рис. 1. План-график проработки мер по декарбонизации производства EVRAZ Group

Fig. 1. Schedule for working out decarbonization measures for EVRAZ Group

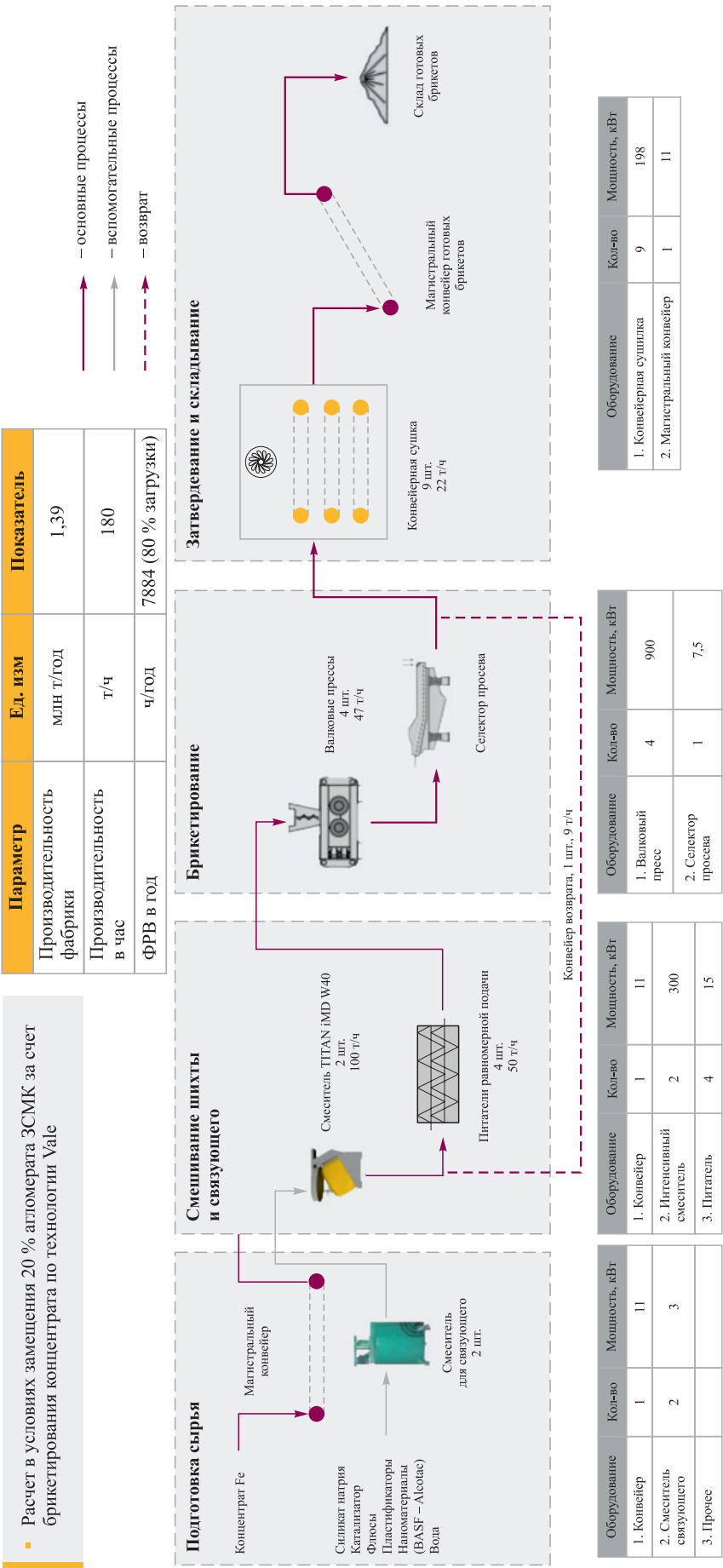


Рис. 2. Схема технологического процесса холодного брикетирования

Fig. 2. Diagram of technological process of cold briquetting

Таблица 1. Показатели производственных процессов предприятий черной металлургии

Table 1. Indicators of production processes of ferrous metallurgy enterprises

Производственный процесс	Парниковые газы, выделяемые в производственном процессе	Масса CO ₂ -экв на ед. показателя производственного процесса (коэффициент пересчета), тыс. т	Масса выбросов парникового газа в CO ₂ -экв, тыс. т
Производство кокса	CO ₂ , CH ₄	0,56	Расчетная величина
Производство агломерата	CO ₂ , CH ₄	0,20	Расчетная величина
Производство железорудных окатышей	CO ₂	0,03	Расчетная величина
Производство железа прямого восстановления	CO ₂ , CH ₄	0,53	Расчетная величина
Производство чугуна	CO ₂	1,50	Расчетная величина
Производство кислородно-конвертерной и мартеновской стали	CO ₂	0,13	Расчетная величина
Производство электростали	CO ₂	0,05	Расчетная величина
Производство феррохрома	CO ₂	1,30	Расчетная величина
Производство металлического кремния	CO ₂ , CH ₄	5,03	Расчетная величина
Производство ферросилиция	CO ₂ , CH ₄	4,83	Расчетная величина
Производство силикомарганца	CO ₂	1,40	Расчетная величина

– комплексном экологическом разрешении (с 2024 г. введено обязательное требование о включении информации по выбросам парниковых газов);

– обязательной государственной отчетности, заполняемой ежегодно через Государственную информационную систему в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности (с 01.01.2025 г. обязательство всех предприятий с выбросами свыше 50 тыс. т CO₂);

– отчете об импортируемых товарах и их выбросах за последний квартал СВМ, составляемом на ежеквартальной основе;

– годовой корпоративной отчетности по устойчивому развитию.

Российские компании разных видов деятельности в современных условиях разрабатывают климатические проекты. Примеры самых крупных из них по объему выпуска углеродных единиц приведены в табл. 2. Среди всех представленных в российском реестре углеродных единиц проектов металлургия представлена только бизнес-структурами алюминиевой компании «РУСАЛ». Ни одного проекта от компаний отрасли черной металлургии в реестре нет, но есть предложение углеродных единиц (у.е.) для металлургов (80 824 742 у.е. планируемых к выпуску по результатам реализации 31 климатического проекта).

Выводы

В качестве ключевых направлений декарбонизации черной металлургии исследованием определены:

1. Операционные методы декарбонизации, предусматривающие повышение операционной эффективности деятельности; рост энергоэффективности производственных процессов; снижение косвенных выбросов от производства сырья и комплектующих (Score 3).

2. Переход к экологически чистым технологиям: DRI (*Direct Reduced Iron* – восстановление железа из руды или окатышей с использованием газов (CO, H₂, NH₃) и твердого углерода); Green H₂ DRI-EAF – использование в качестве восстановителя железной руды экологически чистого водорода; CCUS (*Carbon Capture, Use and Storage* – технологии улавливания, хранения и использования углерода) и т. п.

3. Применение низкоуглеродных энергетических источников (природного газа; водорода; биотоплива; возобновимых ресурсов).

4. Внедрение принципов циркулярной экономики: повторное использование и утилизация материальных и вторичных энергетических ресурсов, переработка, переход на вторичное сырье (лом).

5. Оптимизация суммарной углеродоемкости портфеля активов (вывод за периметр компании углеродоемкого производства, создание карбоновых ферм, приобретение углеродных единиц).

При формировании инвестиционного портфеля компаниям следует обратить внимание на проекты, которые потенциально можно оформить как климатические при соблюдении условий критерия дополняемости.

Происходящие процессы декарбонизации на предприятиях черной металлургии позволяют повышать

Таблица 2. Климатические проекты российских компаний

Table 2. Climate projects of the Russian companies

Компания	Климатический проект	Выпуск углеродных единиц, у.е.	Срок реализации
АО «РУСАЛ Красноярск»	Авиационная охрана от пожаров лесного участка на территории Нижне-Енисейского лесничества, Сымского участкового лесничества, поселок Ярцево, Красноярский край, Россия	5 152 843	19.07.2019 – 19.10.2033 гг.
ПАО «Нижнекамскнефтехим»	Энергоэффективное перевооружение на ПАО «Нижнекамскнефтехим»	5 647 684	01.11.2022 – 31.10.2032 гг.
АО «РУСАЛ Урал»	Повышение энергоэффективности при производстве тепловой энергии на Красногорской ТЭЦ Уральского алюминиевого завода	800 152	08.06.2023 – 31.12.2036 гг.
ООО «Газпром МКС»	Предотвращение выбросов ПГ (метана) с использованием мобильных компрессорных станций при подготовке участков магистральных трубопроводов к проведению ремонтных работ	49 928 002	01.10.2019 – 31.12.2029 гг.
АО «Полус Красноярск»	Замещение выработки электроэнергии от угольных и нефтяных электростанций АО «Полус Красноярск	4 122 439	01.05.2018 – 30.04.2028 гг.
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина	Реконструкция криогенной установки по глубокой переработке сухого отбензиненного газа с выпуском новых продуктов Управление «Татнефтегазпереработка» ПАО «Татнефть»	1 963 434	01.01.2021 – 31.12.2034 гг.
АО «Делфин Групп»	Сокращение выбросов парниковых газов за счет использования технологии регенерации отработанного смазочного масла	6 187 316	01.03.2024 – 28.02.2039 гг.

показатели энергоэффективности, обновлять технологию производства стали в электросталеплавильных дуговых печах, увеличивают использование вторичного металла, ведут к развитию водородных технологий, развивают технологии прямого улавливания CO₂. Реализация таких проектов предопределяет дальнейшее устойчивое развитие металлургической отрасли, динамику показателей эффективности, а также занимаемую нишу в конкурентной бизнес-среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Worldsteel Association, World Steel in Figures 2019. Brussels; 2019:30.
- Donskoi E., Poliakov A., Manuel J.R. Automated optical image analysis of natural and sintered iron ore. In: *Iron Ore*. Woodhead Publishing; 2015:101–159.
<https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-156-6.00004-6>
- Carpenter A. CO₂ Abatement in the Iron and Steel Industry. IEA Clean Coal Cent; 2012:119.
- Gleich A., Ayres R.U., Gossling-Reisemann S. Sustainable Metals Management: Securing Our Future-steps Towards a Closed Loop Economy 19. Springer Science & Business Media; 2007:395.
<https://doi.org/10.1007/1-4020-4539-5>
- IEA, Iron and Steel Technology Roadmap. Paris; 2020:187.
- Industrial Decarbonisation and Energy Efficiency Roadmaps to 2050 – Iron and Steel. Montreal; 2015:106.
- Crompton P., Lesourd J.-B. Economies of scale in global iron-making. *Resources Policy*. 2008;33(2):74–82.
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2007.10.005>
- 2020 World Steel in Figures. Brussels: Worldsteel Association, 2020:30.
- Xu W., Wan B., Zhu T., Shao M. CO₂ emissions from China's iron and steel industry. *Journal of Cleaner Production*. 2016;139:1504–1511.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.107>
- Jing R., Yasir M.W., Qian J., Zhang Z. Assessments of greenhouse gas (GHG) emissions from stainless steel production in China using two evaluation approaches. *Environment Progress & Sustainable Energy*. 2019;38(1):47–55.
<https://doi.org/10.1002/ep.13125>
- Kuramochi T. Assessment of midterm CO₂ emissions reduction potential in the iron and steel industry: a case of Japan. *Journal of Cleaner Production*. 2016;132:81–97.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.055>
- Griffin P.W., Hammond G.P. Analysis of the potential for energy demand and carbon emissions reduction in the iron and steel sector. *Energy Procedia*. 2019;158:3915–3922.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.852>
- Griffin P.W., Hammond G.P. Industrial energy use and carbon emissions reduction in the iron and steel sector: A UK perspective. *Applied Energy*. 2019;249:109–125.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.148>
- Juntueng S., Towprayoon S., Chiarakorn S. Energy and carbon dioxide intensity of Thailand's steel industry and greenhouse gas emission projection toward the year 2050. *Resources, Conservation and Recycling*. 2014;87:46–56.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.03.014>
- Larsson M., Dahl J. Reduction of the specific energy use in an integrated steel plant – The effect of an optimisation

- model. *ISIJ International*. 2003;43(10):1664–1673.
<https://doi.org/10.2355/isijinternational.43.1664>
16. Wang Ch., Ryman Ch., Dahl J. Potential CO₂ emission reduction for BF – BOF steelmaking based on optimised use of ferrous burden materials. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2009;3(1):29–38.
<https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2008.06.005>
 17. Глушакова О.В., Черникова О.П. Институционализация ESG-принципов на международном уровне и в Российской Федерации, их влияние на деятельность предприятий черной металлургии. Часть 1. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2023;66(2):253–264.
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-2-253-264>
 Glushakova O.V., Chernikova O.P. Institutionalization of ESG principles at the international level and in the Russian Federation, their impact on the activities of ferrous metallurgy enterprises. Part 1. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2023;66(2):253–264. (In Russ.).
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2023-2-253-264>
 18. Буторина И.В., Буторина М.В., Власов А.А., Семенча А.В. Оценка возможности декарбонизации черной металлургии. *Черные металлы*. 2022;(3):71–77.
<https://doi.org/10.17580/chm.2022.03.13>
 Butorina I.V., Butorina M.V., Vlasov A.A., Semench A.V. Assessment of the possibility of ferrous metallurgy decarbonization. *Chernye metally*. 2022;(3):71–77. (In Russ.).
<https://doi.org/10.17580/chm.2022.03.13>
 19. Клименко А.В., Терешин А.Г., Прун О.Е. Пути снижения выбросов парниковых газов в черной металлургии России. *Промышленная энергетика*. 2023;(9):8–19.
<https://doi.org/10.34831/EP.2023.67.59.002>
 - Klimenko A.V., Tereshin A.G., Prun O.E. Ways to reduce greenhouse gas emissions in the ferrous metallurgy of Russia. *Promyshlennaya energetika*. 2023;(9):8–19. (In Russ.).
<https://doi.org/10.34831/EP.2023.67.59.002>
 20. Черникова О.П., Златицкая Ю.А. Ресурсоэффективность металлургического производства. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2022;65(6):390–398.
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2022-6-390-398>
 Chernikova O.P., Zlatitskaya Yu.A. Resource efficiency of metallurgical production. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2022;65(6):390–398. (In Russ.).
<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2022-6-390-398>
 21. Glushchenko A.M. Decarbonization of the steel industry: The role of state economic policy. *The Problems of Economy*. 2020;(1(43)):340–347.
<https://doi.org/10.32983/2222-0712-2020-1-340-347>
 22. Yoon Y., Kim Y.-K., Kim J. Embodied CO₂ emission changes in manufacturing trade: Structural decomposition analysis of China, Japan, and Korea. *Atmosphere*. 2020;11(6):597.
<https://doi.org/10.3390/atmos11060597>
 23. Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 года утверждена распоряжением Правительства РФ от 28 декабря 2022 г. № 4260-р. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202212300019> (дата обращения 10.01.2025).
 24. Skelton A.C.H., Allwood J.M. The incentives for supply chain collaboration to improve material efficiency in the use of steel: An analysis using input output techniques. *Ecological Economics*. 2013;89:33–42.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.01.021>

Сведения об авторах

Information about the Authors

Оксана Петровна Черникова, к.э.н., доцент, заведующий кафедрой экономики, учета и финансов, Сибирский государственный индустриальный университет
ORCID: 0000-0002-5410-6623
E-mail: chernikovaop@yandex.ru

Oksana P. Chernikova, Cand. Sci. (Economics), Assist. Prof., Head of the Chair of Economics, Accounting and Finance, Siberian State Industrial University
ORCID: 0000-0002-5410-6623
E-mail: chernikovaop@yandex.ru

Ольга Владимировна Афанасьева, магистрант, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: ova-75@mail.ru

Ol'ga V. Afanas'eva, MA Student, Siberian State Industrial University
E-mail: ova-75@mail.ru

Евгений Геннадьевич Афанасьев, магистрант, Сибирский государственный индустриальный университет
E-mail: evggen2475@gmail.com

Evgenii G. Afanas'ev, MA Student, Siberian State Industrial University
E-mail: evggen2475@gmail.com

Вклад авторов

Contribution of the Authors

О. П. Черникова – концепция работы, анализ результатов, написание статьи.
О. В. Афанасьева – обзор литературы, написание статьи.
Е. Г. Афанасьев – обзор литературы, написание статьи.

O. P. Chernikova – conceptualization, analysis of results, writing the article.
O. V. Afanas'eva – literature review, writing the article.
E. G. Afanas'ev – literature review, writing the article.

Поступила в редакцию 12.08.2024
 После доработки 26.08.2024
 Принята к публикации 28.10.2024

Received 12.08.2024