

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Всероссийский институт научной и технической информации
Российской академии наук
(ВИНИТИ РАН)**

**Тенденции развития чёрной
металлургии в третьем десятилетии
XXI века**

Информационно-аналитический обзор

Обзор подготовлен ОНИ по металлургии ВИНИТИ РАН

докт. техн. наук Б.Н.Матвеев

**Москва
2022**

Тенденции развития чёрной металлургии в третьем десятилетии XXI века

Определяющим фактором запроса на устойчивое развитие стало завершение эпохи экономики «индустриального» типа, произошедшее в экономически развитых странах в конце XX века. Благодаря ключевым инновациям, в первую очередь – развитию информационно-коммуникационных технологий и стандартизации глобальных грузоперевозок, у бизнеса появилась возможность формирования глобальных цепочек поставок. Результатом этого стал переход от «индустриальной» экономики, где главным был рост производства, зачастую в ущерб окружающей среде, к «постиндустриальной» парадигме. При этом промышленное производство частично сменило географическое положение, и появились регионы, где оно осталось лишь в минимально необходимых объёмах. Люди, живущие в этих регионах, превратились в новое «средство производства», формирующее значительную часть мирового ВВП, а их запрос на качество жизни стал новым фактором, определяющим мировую повестку.

В чёрной металлургии этот процесс совпал по времени с исчерпанием сырьевой базы в ряде европейских стран, долгое время являвшихся лидерами по производству чугуна и стали. Многие европейские страны существенно сократили производство чёрных металлов, став их нетто-импортёрами. Ярким примером описанного выше процесса является ситуация в Люксембурге и Бельгии. Эти страны, бывшие совсем недавно (по историческим меркам) мировыми лидерами по производству чугуна и стали, сейчас известны исключительно своими банками и музеями [1].

Общая трансформация мировой постиндустриальной экономики определяет и вектор развития российской чёрной металлургии, крупные холдинги которой встроились в мировые цепочки поставок сырья и полуфабрикатов. Поскольку участники современной цепочки поставок являются в известной степени частью «распределённого предприятия», потребители предъявляют определённые требования к технологиям производства. Ещё более существенным фактором являются требования инвесторов к эффективности инновационных технологий, для внедрения которых необходимы существенные инвестиции [1-3].

В XXI веке сталь остается наиболее распространенным конструкционным материалом благодаря относительной дешевизне и возможности регулировать механические и физические свойства в широких пределах. Из всех конкурирующих материалов она имеет наиболее приемлемую комбинацию таких важных свойств, как прочность, штампуемость, свариваемость и окрашиваемость. Преимуществом стали является также возможность легко ремонтировать конструкции и эффективно

использовать стальной лом.

Мировое производство чугуна с 2010 по 2019 годы выросло на 248 млн тонн (+24%). Основными драйверами роста производства чугуна были страны Азии. Китай за десятилетие прибавил 214 млн тонн (+36%), Индия – 35млн тонн (+87%), Южная Корея – 13 млн тонн (+36%). Дополнительные данные представлены на рис.1 [1].



Рисунок - 1

За этот же период мировое производство железа прямого восстановления (DRI, ПВЖ) прибавило 39 млн тонн (+54% к 2010 году). Основной прирост имел место за счёт Ирана (+19 млн тонн или +205% к 2010 году), Индии (12 млн тонн или 48%), России (+3 млн тонн, +71%). Дополнительные данные представлены на рис.2 и 3 [1].

Внедрение установок производства железа прямого восстановления на протяжении последних десятилетий демонстрирует положительную динамику как по количеству модулей, так и по их единичной мощности.

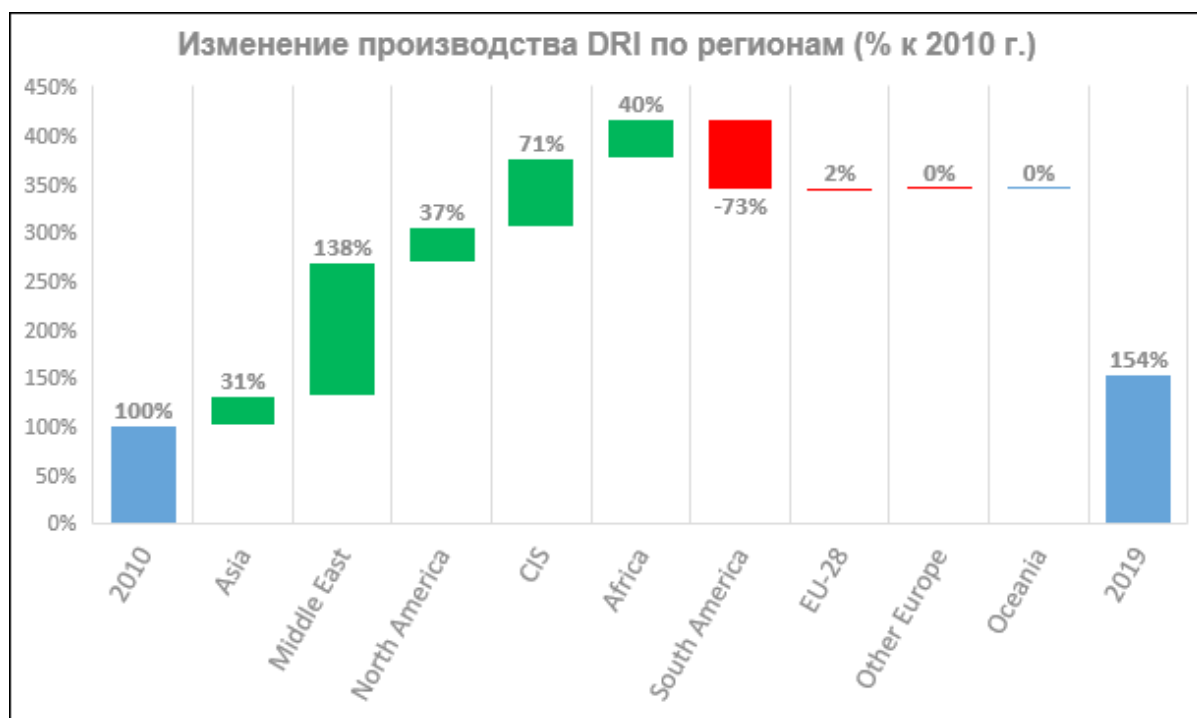


Рисунок – 2

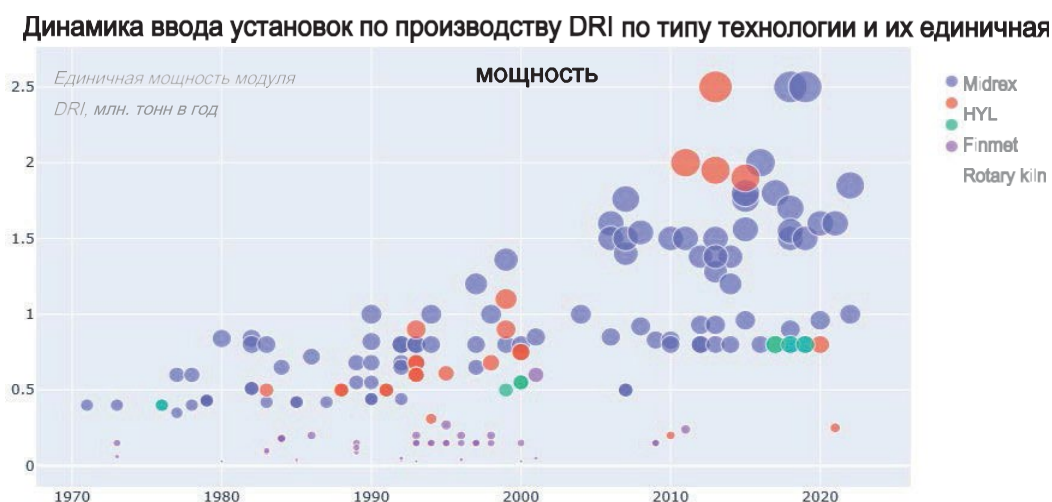


Рисунок – 3

Прогнозируется, что в ближайшее десятилетие темпы внедрения технологии DRI увеличатся. Это произойдёт, прежде всего, за счёт прироста в странах Европы, где до сих пор данная технология не была распространена из-за экономической нецелесообразности, вследствие отсутствия доступного и дешёвого восстановителя и богатого по содержанию железа сырья. Тенденция смещения европейских производителей в сторону электросталеплавильного производства и технологии DRI уже обозначена и будет реализовываться в ближайшее десятилетие. К каким последствиям она может привести?

– Во-первых, смещение в сторону электрометаллургии потребует увеличения потребления металлолома. Это превратит Евросоюз в нетто-импортёра стального скрапа.

Предложение об ограничении экспорта металлолома уже высказал европейский союз Eurofer.

– Во-вторых, сокращение доменных мощностей в Европе приведёт к снижению потребления железорудного сырья, прежде всего – доменных окатышей. Текущие объёмы импорта железорудных окатышей в Европу составляют около 45 млн тонн в год. Сокращение этого объёма приведёт к перераспределению окатышей доменного качества в другие регионы, прежде всего – в Китай.

- В-третьих, производство DRI напрямую связано с потреблением окатышей высокого качества. По рекомендации фирмы Midrex содержание железа в окатышах для прямого восстановления должно находиться на уровне не менее 67%, а сумма оксидов пустой породы – на уровне 3%. Только сырьё такого качества гарантирует эффективное производство стали по схеме DRI – EAF (ПВЖ-ДСП). К 2030 году ожидается увеличение новых мощностей по производству DRI на 14 млн тонн.

Ниже указаны агрегаты прямого восстановления, которые планируется вводить в это десятилетие с указанием мощности в млн т в год (рис. 4) [1].

Project	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Location
HBIS Group	0.3	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	China
Salzgitter			0.8	1.6	2	2.0	2.0	2.0	2.0	Germany
TKS				0.6	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	Germany
EU1					1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	Italy, Romania, France
MENA 1					1.0	2.0	2.0	2.0	2.0	North Africa
MENA 2						1.0	2.0	2.0	2.0	North Africa
EU2							1.0	2.0	2.0	Italy, Romania, Germany, France
Asia								1.0	2.0	ASEAN, China
Total	0.3	0.6	1.4	2.8	5.8	8.8	10.8	12.8	13.8	

Источник: ИМА

Рисунок – 4

Глобальное потепление климата становится все более серьезной проблемой и нуждается в фундаментальной перестройке производственного потенциала из-за высокого уровня выбросов CO₂. Сегодня мы сталкиваемся с беспрецедентным вызовом, который требует перехода к углеродно-нейтральному развитию производства с нулевыми выбросами CO₂.

Вклад сектора чёрной металлургии в объём образования парниковых выбросов по разным оценкам составляет от 7% до 9%. Многие ведущие металлургические компании ставят своей целью достижение «углеродной нейтральности» к 2030 или 2050 году. Для достижения этой цели, особенно в такой энергоемкой отрасли промышленности как

черная металлургия, необходимо коренным образом перестроить структуру производственных переделов путём использования прорывных технологических инноваций.

К настоящему времени обозначены следующие тенденции в развитии технологий сокращения «углеродного следа» [4-7]:

- производство железа прямого восстановления (Direct Reduced Iron, DRI) и горяче-брикетированного железа (Hot Briquetted Iron, HBI);
- увеличение доли металлолома в структуре сталеплавильной шихты;
- использование водорода вместо углеродсодержащих восстановителей и энергетиков;
- улавливание, связывание и депонирование CO₂.

Среди них приоритетную роль играет водородная технология производства черных металлов. Кто освоит ее первым, тот и станет лидером глобальной перестройки всей мировой черной металлургии в направлении перевода ее в углеродно-нейтральную отрасль с нулевыми выбросами CO₂.

Первыми такую заявку сделали руководители ЕС в рамках «Зелёной сделки» в 2020г., в которой они обозначили возможности замены ископаемого топлива (природного газа, угля, нефти) водородом. Здесь сразу же возникли серьезные проблемы. Все дело в том, что в природе не существует чистого водорода. Его можно получить только искусственным путем из пресной воды или из тех же ископаемых видов топлива. Виды водорода и доли их производства представлены в таблице 1 [8].

Таблица 1 – Виды водорода и доли их производства в мировом объеме выпуска

п/п	Показатели	Технологии производства водорода				
		Паровая конверсия метана на основе природного газа	Газификация энергетического угля	Паровая конверсия метана с улавливанием CO ₂	Электролиз воды	
					С применением атомной энергии	с ВИЭ
1	Доля технологии в мировом производстве, %	72,7	24,2	2,0	1,0	0,1
2	Затраты на производство водорода, \$/кг	2,2	1,9	2,8	2,5 – 11,0	3,3–17,3

ЕС не обладает достаточными запасами ископаемых видов топлива и пресной воды и может приобретать их в основном путем торговли. В то же время ЕС имеет значительные достижения в сфере производства и использования электролизеров для получения водорода с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Поэтому ЕС через структуры Парижского соглашения по климату предлагает странам развивающимся и с переходной экономикой не рыночные методы товарообмена: обложить ископаемые виды топлива в международной торговле углеродным налогом, обеспечив приоритет в развитии ВИЭ (ветер, солнце, вода).

Главный лозунг ЕС – сохранить ископаемые виды топлива в земле, перейти на водородное топливо, а повышенные расходы на его производство компенсировать производителю через механизм трансграничного углеродного налогообложения.

Российские металлурги предлагают альтернативные разработки энергосбережения и обеспечения энергетической безопасности производимых энергоресурсов [5-11].

В комплексе с водородом рассматриваются другие энергосберегающие технологии:

- брикетирование железорудного концентрата с энергетическим углем (замена агломерата, окатышей и кокса);
- производство чугуна и стали в электросталеплавильном агрегате вместо схемы производства: домна-конвертор;
- газификация энергетического угля в газогенераторе с получением восстановительных газов (бурого водорода $\text{CO}+\text{H}_2$) и использование его на ТЭЦ вместо покупного природного газа для выработки собственной электроэнергии и теплоты;
- рециклинг углекислого газа путем его конверсии в $\text{CO}+\text{O}$, с использованием CO и O для продувки ванны вместо молекулярного кислорода.

Применение двухваннных электросталеплавильных печей позволяет уменьшить расход топлива за счет подогрева лома отходящими газами во второй ванне [8].

Выплавка стали в мире в 2020 г. по данным World Steel Association (WSA) составила 1860 млн т, с превалированием технологической цепочки аглодомное производство плюс выплавка в кислородном конвертере. Всего работа мировой чёрной металлургии привела к прямым выбросам CO_2 в размере около 2,6 млрд т или 1,85 т CO_2 на т стали, что составляет 7–9% от общей антропогенной эмиссии CO_2 [8].

Согласно директивной политики ЕС, выбросы парникового газа CO_2 предприятиями чёрной металлургии должны быть существенно снижены с выходом к 2050г. Желательно сокращение этих выбросов на 95% относительно базового уровня

1990 г. Требования по сокращению «углеродного следа» стали возможно выполнить при переходе к применению водорода в качестве топлива и восстановителя в чёрной металлургии и энергетике. Но, по мнению Lakshmi Mittal, инвестиции в энергетическую инфраструктуру в размере 450 – 700 млрд евро повысят себестоимость «углеродно-нейтральной» стали на 30–80% по сравнению с современной. При этом следует отметить, что строительство станций ВИЭ должно сопровождаться созданием большого резерва их мощности для снижения риска отказа от поставки энергии по климатическим условиям [10].

Основным источником выбросов CO₂ при производстве стали является связка аглодоменного и конвертерного производств (ДП+КП) – 1921 кг на т проката, в то время, как работа ДСП на ломе сопровождается эмиссией CO₂ 410 кг на т проката с учётом выбросов 300 г CO₂ на 1 кВт·ч электроэнергии. Использование прямо восстановленного железа (ПВЖ), полученного с применением природного газа (ПГ), сопровождается выбросами 1098 кг CO₂ на т проката, а с применением водорода на прямое восстановление железа – 339кг на т проката [7,10,11]. Рисунок 5 [10] иллюстрирует данные по удельным выбросам (в кг/т) CO₂ при различных, в том числе прогнозируемых, технологиях.

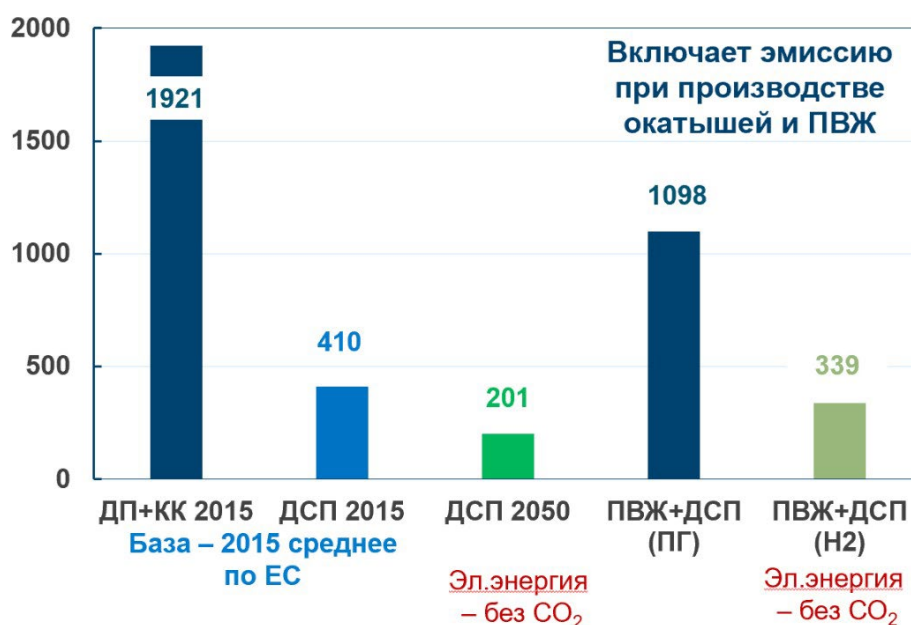


Рисунок – 5

Интересно отметить, что установленная оплата выбросов CO₂ стимулирует европейские заводы бороться за их снижение уже в настоящее время без перехода на водородный путь. Так, ещё в 2017 г. выбросы CO₂ на заводе BSW были всего 54 кг на тонну непрерывнолитой заготовки, а давно применяемый на заводе горячий посад на

прокатных станах позволял держать выбросы CO_2 на прокатном переделе на низком уровне.

Утилизация металлолома является ключевым фактором в снижении эмиссии парникового газа. Каждая тонна лома обеспечивает снижение выбросов CO_2 на 1,5 т при экономии 1,4 т железной руды, 740 кг кокса и 120 кг известняка [7,11].

Использование водорода в шахтных восстановительных печах для получения ПВЖ представляется легко осуществимым процессом, но требуется использование электролизёров, работающих на «зелёной» электроэнергии, получаемой из возобновляемых источников. Но таких ВИЭ даже в Германии недостаточно. ПВЖ далее перерабатывается в сталь в дуговых печах (ДСП). Процесс будет экономически целесообразным, если стоимость водорода, применяемого для восстановления руды, будет на уровне 2 евро/кг. Стоимость перехода чёрной металлургии Германии на такой способ выплавки стали на сегодняшний день составляет 0,6–0,8 млрд евро на 1 млн т стали, включая расходы на электролизёр для получения водорода, но без учета затрат на «зелёную» энергетику.

Получать губчатое железо из руды можно с применением печи с кипящим слоем, но этот процесс отработан существенно слабее, чем применение шахтных печей, хотя обеспечивает более высокую степень металлизации (до 95%).

Известны опытные наработки по применению плазменного прямого восстановления железа и электролитические процессы извлечения железа из руды.

На экономическую целесообразность применения водорода в чёрной металлургии сильным и непосредственным образом влияет стоимость водорода, которая зависит от способа его производства. В настоящий момент использование электролиза на базе ВИЭ весьма дорого, для массового применения этого способа выработки водорода стоимость газа должна быть снижена не менее, чем в 5 раз.

В структуре топлива при наиболее распространенной схеме производства чугуна и стали (домна - кислородный конвертер) 75% составляют кокс, доменный газ, коксовый газ; 25% - это природный газ и другие энергодобавки. Эти виды топлива дают основной уровень выбросов парниковых газов (96,7%) [8].

Замена трех наиболее «грязных» переделов (агломерат, кокс и чугун) в схеме: домна – конвертер на один чистый передел – электросталеплавильное производство, с получением в нем чугуна и стали на основе рудоугольных брикетов с использованием бурого водорода (H_2+CO) обеспечивает: снижение расхода топлива на 72,7%, выбросов парниковых газов на 100,0%, выбросов вредных загрязняющих веществ (ВЗВ) на 73,5%. Разработана технология улавливания газа CO_2 и его рециклинг с конверсией CO_2 в $\text{CO}+\text{O}$

с исключением выбросов CO_2 в атмосферу [14-18].

Бурый водород производится и используется полностью в черной металлургии с оптимальным соотношением $\text{CO}/\text{H}_2 = 50/50$. Использование покупного чистого (зеленого) водорода в черной металлургии нецелесообразно в виду высокой его стоимости (в 5 раз дороже кокса). Кроме того, использование водорода в черной металлургии сопровождается поглощением тепла и приводит к увеличению расхода кокса на 3-5%. Как восстановитель бурый водород может использоваться в электросталеплавильном агрегате при производстве чугуна², обеспечивая снижение расхода топлива на 50% по сравнению с доменным процессом. При производстве электростали бурый водород не используется (продувка ванны осуществляется атомарным или молекулярным кислородом). При этом обеспечивается высокое качество стали за счет использования первородной шихты (исключается попадание водорода в сталь) [5-9].

В результате реализации водородного проекта в черной металлургии России образуется единая энерготехнологическая цепочка непрерывного производства металлопродукции: добыча руды, ее обогащение, использование обогащенного железорудного концентрата и стального лома вместе с энергетическим углем в электросталеплавильном агрегате с получением в нем чугуна и стали, а также бурого водорода, передачей стали в прокатное производство, а бурого водорода (в том числе и из газогенераторов) на ТЭЦ для выработки электроэнергии и тепловой энергии. Такой проект, который пока не реализован в мировой черной металлургии, обеспечит в черной металлургии России снижение энергозатрат на 38,2% и высвобождение 20–30% производственных площадей, на которых можно посадить деревья и начать активную абсорбцию CO_2 из атмосферы воздуха (срок сохранения CO_2 в атмосфере – 100 лет) [7].

50% производственных мощностей по производству железа сосредоточено в Китае. При этом более 80% производственных мощностей имеет возраст менее 15 лет и может эффективно эксплуатироваться в течение ещё двух десятилетий. Преимущественная доля мощностей (свыше 90%) по производству железа основана на использовании угля. При этом возможность полного замещения угля водородом имеет место только для технологии DRI, в то время как по отношению к доменному производству речь может идти только о частичной замене углерода на водород. Таким образом, доменные печи остаются доминирующим агрегатом по производству первичного металла в мировой черной металлургии [12,14-16].

Размеры эксплуатируемых в настоящее время доменных печей варьируются по основным параметрам в следующих пределах: по годовой производительности – от 0,3

до 5,5 млн т, по диаметру горна – от 4,6 до 16,1 м, по полезному объему – от 400 до 6400 м³ [11].

Из многочисленных общих физических и термодинамических характеристик доменного процесса определяющее влияние на результаты доменной плавки оказывают следующие:

- состав железосодержащей шихты (агломерат, окатыши, кусковая руда, железо прямого восстановления, горяче-брикетированное железо, металлодобавки;
- вдувание восстановителей (уголь, нефть, природный газ, коксовый газ и др.);
- обогащение доменного дутья кислородом;
- параметры горячего комбинированного доменного дутья.

При использовании горячего комбинированного дутья в настоящее время актуальными являются два характерных режима доменной плавки – с применением пылеугольного топлива (ПУТ) и природного газа (ПГ). Вдувание порошкообразного угля используют почти на всех доменных печах Китая, Европы (ЕС), Японии, Южной Кореи, Бразилии и отчасти Северной Америки. Природный газ вдувают преимущественно в доменных печах Аргентины, России, Украины и частично Северной Америки [11,13,14].

Ещё одной тенденцией является применение систем непрерывного контроля выбросов (СНКВ, СЕМС - Continues emissions monitoring systems) [12].

В Республике Корея данные непрерывного контроля выбросов в воздух собираются Корейской экологической корпорацией с 2002 г. Контролем охвачены 1500 дымовых труб, замеры производятся каждые 5 минут. Контролируются: тринатрийфосфат, NO_x, SO_x, СО и расход газа. Индийская программа СЕМС была принята в 2014 году и в настоящее время находится в стадии внедрения. Непрерывный контроль с передачей данных в режиме реального времени требуется для всех объектов (включающих более 20 тыс. установок) 17 отраслей - загрязнителей, в т.ч. черной металлургии.

Все требования к выбросам в окружающую среду и их мониторинг определяются, в основном, национальными законодательными и нормативными актами с учётом европейских норм. В Германии вопросы автоматического контроля выбросов в атмосферу регулируются и оформляются не только законами, постановлениями и техническим руководством ТР «Воздух» (TALuft), но и конкретизирующими нормами, циркулярными письмами, решениями комиссий федеральных земель и различными методическими материалами.

Согласно Техническому Регламенту «Воздух», необходимость непрерывного

контроля выбросов возникает при превышении валовых выбросов (в час) определённого порогового значения. Контролируются: пыль, SO₂, NO_x, CO, HF, Cl, H₂S, ΣC, Hg, некоторые другие, в т.ч. особо опасные вещества.

В России с 1 января 2018г. на объектах I категории (куда относится и черная металлургия) стационарные источники выбросов должны быть оснащены автоматическими средствами измерения и учета объема выбросов загрязняющих веществ, а также средствами фиксации и передачи информации об объеме и концентрациях выбросов в государственный фонд данных государственного экологического мониторинга.

Однако к настоящему времени в этой области реализованы только единицы проектов, а на штрафные санкции практически наложен мораторий в рамках поддержки бизнеса в период сложной экономической обстановки. Отсутствие прогресса в этой области обусловлено тем, что техническая реализация проекта создания системы национального мониторинга эмиссий требует формирования нормативной базы в области методологии измерений, стандартизации и сертификации средств измерений, аккредитации организаций, формата предоставления данных и т.п.

Соображения представителей отрасли по поводу внедрения непрерывных измерений выбросов в атмосферу на предприятиях черной металлургии изложены, в частности, в ИТС 22.1-2016 «Общие принципы производственного экологического контроля и его метрологического обеспечения». По всей видимости, в ближайшие годы этот вопрос будет урегулирован, и принятые нормы будут постепенно внедряться на металлургических комбинатах, тем более что они являются источником дополнительной информации о ходе процессов [1].

Процессы цифровизации являются продуктом эволюционного развития технологий автоматизации, математического аппарата моделирования процессов и электронных средств обработки и хранения информации. Процесс цифровизации настолько изменяет облик современной промышленности, что философия науки и техники даже сформулировала несколько лет назад концепции «Новой индустриальной революции» и «Индустрии 4.0», которые тут же взяли на вооружение маркетологи и публицисты [1,15-17]. Что касается доменного производства, как, впрочем, и многих других промышленных процессов, то в ходе развития средств автоматизации постоянно увеличивалось количество информации, получаемой в режиме реального времени с многочисленных датчиков. Часть этих данных традиционно используется в системах автоматизации и поддержки принятия решений. Гораздо больший массив данных в «сыром», необработанном виде может быть направлен на хранение в так называемое

Data Lake («озеро данных») – высокопроизводительный центр обработки данных (ЦОД), способный по запросу предоставить их для использования в математических моделях на основе машинного обучения (Machine Learning). В нашей стране ЦОД класса Data Lake в последние годы введены в строй крупными металлургическими холдингами – НЛМК и Северсталь. По всей видимости, уже в скором времени «инсайты», полученные с помощью моделей машинного обучения на больших данных, собранных в ходе работы доменных печей, будут широко использоваться в качестве источника данных для систем управления доменными печами, дополняя классические модели, основанные на математическом описании доменного процесса [1,15].

Достижения в области получения, хранения и обработки данных, получаемых при работе промышленного и иного (в первую очередь, транспортного) оборудования, привели к появлению концепции «цифрового двойника» (Digital Tween, ЦД). Цифровой двойник реального оборудования представляет собой комплекс моделей, которые обрабатывают данные, постоянно поступающие от встроенных в реальный объект датчиков. Модель учитывает изменения, происходящие с физическим объектом, накапливает информацию о его поведении, и может адекватно описывать и прогнозировать поведение физического объекта. На основе актуализированной модели формулируются рекомендации по оптимизации режима эксплуатации и обслуживания реального объекта [1,16].

Важнейшей особенностью цифрового двойника является необходимость интеграции уже имеющихся на доменных печах цифровых систем с тем, чтобы обеспечить максимальную полноту информации о работе агрегата. Это позволяет повысить качество прогноза и экономическую эффективность работы печи, а в случае интеграции в информационные системы предприятия – и всей логистической цепочки создания ценности в целом. Именно в этом направлении будет в ближайшей перспективе развиваться цифровизация доменного производства [1,15,16].

Актуальными являются проблемы качества металлопродукции и производительности оборудования. Важные составляющие в производстве «чистой стали» охватывают не только вопросы технологии и протекающих физико-химических процессов, но и организационные и логистические вопросы. Анализ технологических блоков производства «чистой стали» от выплавки до разливки и прокатки с внедрением мониторинга и контроля ключевых технологических параметров, позволяют поднять общий уровень технологии до показателей лучших мировых стандартов. На практике возможно осуществлять корректировку технологии производства стали, связанной со снижением содержания в металле неметаллических включений на всей технологической

цепочке, а также учитывать и обосновывать дополнительные мероприятия, которые могут исключать нежелательные элементы производства «чистой стали». Разработан алгоритм корректировки технологии производства «чистой стали», учитывающий негативные элементы: вторичное окисление металла во время разливки, попадание ковшевого шлака в промежуточный ковш, ухудшение технологических свойств при непрерывной разливке. Корректировка технологии производства «чистой стали» должна охватывать все переделы, весь технологический процесс, а результаты, получаемые с применением информации от дополнительных инструментов, можно считать прообразом новых технологий [5,6, 18-21].

В г. Выксе (Нижегородская обл.) ведется сооружение нового завода черной металлургии Объединенной металлургической компании (ОМК). На 2025 г. намечен пуск электрометаллургического комплекса Эколант, способного выпускать 1,8 млн т литых слябов и круглых заготовок с использованием технологии прямого восстановления железа и выплавки стали в ДСП из металлизированных окатышей DRI (Direct Reduced Iron) и непрерывной разливки на двух МНЛЗ. Для получения DRI (2,5 млн т в год) используются железорудные окатыши и природный газ. Металлизированные окатыши в горячем состоянии загружаются в ДСП. Непрерывнолитой металл будет перерабатываться на агрегатах ОМК. Из толстых слябов на стане 5000 можно получать листовые заготовки для труб большого диаметра. Круглые заготовки необходимы для производства ж/д колес и бесшовных труб. С точки зрения требований экологии использование технологии Эколанта позволяет снизить влияние черной металлургии на окружающую среду, сократив выделение CO₂. Отсутствуют выбросы, связанные с производством кокса, агломерата и чугуна. Новое производство соответствует требованиям законодательства России и ЕС в области экологии и климата. Удельное потребление электроэнергии сокращается до 140 кВт·ч/т. Будет собственная генерация с мощностью 24 МВт с использованием теплоты отходящих газов, осуществлен сбор вод с подпиткой водооборотных циклов. В поставках наиболее современного оборудования принимают участие компании Danieli и Primetals Technologies. Это будет одно из самых экологически чистых производств черной металлургии [11,22].

Подводя итоги, можно отметить следующие тенденции развития чёрной металлургии в третьем десятилетии XXI века:

1. Изменение региональной структуры производства первичного железа ведёт к изменению структуры логистических потоков. Прогнозируется дальнейшее смещение центров производства железа и потребления сырья в сторону Азии при сокращении производства чугуна, конвертерной стали и потребления аглодоменного

сырья в Европе. Увеличение производства железа прямого восстановления и потребления высококачественных окатышей в Европе потребует аналогичного увеличения предложения качественного сырья на мировом рынке. Увеличение доли электрометаллургии в Европе и США будет сопровождаться ростом потребления в этих регионах металлолома и сокращением предложения лома из этих регионов на мировой рынок.

2. Условия развития технологий в чёрной металлургии РФ, определяются необходимостью обеспечения конкурентоспособности продукции и требуют

- внедрения эффективных технологий для снижения издержек и повышения рентабельности;

- соблюдения требований национального законодательства в области воздействия на окружающую среду;

- соблюдения технологических требований партнёров по цепочкам поставок;

- соблюдение требований инвесторов и национальных законодательств государств - импортёров продукции.

3. Общие направления развития металлургически технологий, существенным образом затрагивающие металлургию железа РФ:

- Цифровизация.

- Минимизация «углеродного следа» (выбросов парниковых газов).

- Минимизация выбросов в окружающую среду вредных соединений.

- Снижение образования депонируемых отходов, повышение степени их использования; обеспечение безопасности размещения.

Список использованной литературы

1. Торохов Г.В., Травянов А.Я., Голубев О.В. Черноусов П.И. Современное состояние и перспективы металлургии железа // Сб. трудов 16 Меж. Конгресса сталеплавателей. Екатеринбург, 24-28 мая 2021. С. 26-37.

2. Alisha Giglio. Recent Sustainability Developments in the Iron and Steel Industry // Iron&Steel Technology. March 2021. P.44–54.

3. Капелюшин Ю.Е. Тенденция развития производства чугуна и стали в мире // I Международная конференция «Чистая сталь от руды до проката». Москва. 24-25 ноября, 2020. С. 224-235.

4. Казакова Н.А., Когденко В.Г. Методика исследования экологических рисков крупнейших российских компаний черной металлургии // Черные металлы. 2021. №4.

C.69-75.

5. Ботников С.А. Корректировка технологии производства «чистой стали» на базе комплексного учета повышенных требований к качеству металлопродукции // Сб. трудов 16 Меж. Конгресса сталеплавильщиков. Екатеринбург, 24-28 мая 2021. С. 45-52.

6. Ботников С.А. Базовые элементы технологии производства «чистой стали» в современном электрометаллургическом комплексе // I Международная конференция «Чистая сталь от руды до проката». Москва. 24-25 ноября, 2020. С. 174-179.

7. Неделин С.В. «Углеродный след» российской металлургии: вызовы и возможности по снижению // I Международная конференция «Чистая сталь от руды до проката». Москва. 2020. С. 224-235.

8. Шевелев Л.Н. Концепция развития водородной технологии в черной металлургии России // Сб. трудов 16 Меж. Конгресса сталеплавильщиков. Екатеринбург, 24-28 мая 2021. С. 22-25.

9. Семин А.Н., Шевелев Л.Н., Бродов А.А. Структурная перестройка черной металлургии для обеспечения углеродно-нейтральных выбросов парниковых газов на основе применения водорода // Сталь. 2022. №5. С.50-55.

10. Еланский Д.Г. Безуглеродная черная металлургия – пути и стоимость. // Сб. трудов 16 Меж. Конгресса сталеплавильщиков. Екатеринбург, 24-28 мая 2021. С. 22-25. С. 52-57.

11. Неделин С.В. Перспективы развития черной металлургии с учетом экологических ограничений // Сб. трудов 16 Меж. Конгресса сталеплавильщиков. Екатеринбург, 24-28 мая 2021. С. 38-44.

12. Takasu H., Maruyama Y., Kato Y. Development of metal supported SOEC for carbon recycling iron making system // ISIJ Int. Vol. 60 (2020). P. 2870-2875.

13. Stark A. Green Steel: This is how tool and mould making becomes climate-neutral // ETMM: Eur.Tool and Mould Mak. – 2022.-24, N1. P.44-47

14. Люнген, Х.Б. Сравнение рабочих характеристик доменных печей в мире / Х.Б. Люнген, П. Шмёле // Черные металлы». 2019. № 3. С.13–18.

15. Дмитриев, А. Н. Совершенствование аглококсодоменного производства с использованием цифровых технологий в рамках

«Индустрии 4.0» / А.Н. Дмитриев, М.О. Золотых, Г.Ю. Витькина // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2020. Т. 76. № 4. С.339–345.

16. Zhang Y. Industrial Perspective of Digital Twin Development and Applications for Iron and Steel / Y.Zhang, M.Sukhram, I.Cameron, J.Bolen, A.Rozo // Processes / 2020 AISTech Conference Proceedings.
17. Weyer S. Digital Solutions for Modern and Efficient Ironmaking / S. Weyer, J.-P.Simoes, F. Hansen, Y. Reuter, C. Meisch and A. Schmitz // Iron & Steel Technology Conference (AISTech), Pittsburgh, USA, 2019.
18. Овчинников А.И. Модернизация оборудования и реконструкция заводов черной металлургии // Чер. Металлургия 2020. №2. С.178-183. №3. С.276-281. №7. С.740-746.
19. Зинягин Г.А., Дорофеев Г.А. Технология производства и качество железа прямого восстановления // Сб. трудов. I Международная конференция «Чистая сталь от руды до проката». Москва. 24-25 ноября, 2020. С. 11-21.
20. Ruscio E., Martinis A., Gorza M. The new DRI-based integrated minimill complex in Abu Dhabi // MPT International.-2007. N3. P.94-101.
21. Мини-завод с полным циклом: короткий путь от железной руды до тонкой горячекатаной полосы / Й.Кемпкен и др. // Металлургическое производство и технология. 2009. №2. С.8-15.
22. Андреева А. Цвет металлургии – зеленый // Металлоснабжение и сбыт. 2021. №4. С. 35-36.