

ГЛАВА 11 УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ В КОНТЕКСТЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Шатоха В. И., Рогоза М. В.

Аннотация. В работе рассмотрены тенденции развития металлургии в Украине и в мире; анализируется техническое состояние, энергоэффективность и конкурентоспособность черной металлургии Украины; оцениваются экономические риски в условиях ограничений выбросов парниковых газов; изучаются возможные модели развития черной металлургии, обеспечивающие смягчение изменения климата.

Ключевые слова: устойчивое развитие, черная металлургия, модели развития черной металлургии, энергоэффективность и конкурентоспособность черной металлургии.

11.1. Введение

Черная металлургия является одной из наиболее энергозатратных отраслей промышленности. Применение угля в качестве основного энергоносителя делает ее крупным источником выбросов CO₂. Решение глобальных проблем предотвращения изменения климата невозможно без сокращения выбросов парниковых газов предприятиями черной металлургии. Вместе с тем, данная отрасль является базовой для социально-экономического развития и повышения уровня жизни, особенно в развивающихся странах. Эффективное решение задач экологически устойчивого промышленного развития черной металлургии имеет ключевое значение в контексте всего комплекса глобальных и региональных аспектов социально, экономически и экологически устойчивого развития.

Цель сокращения глобальных выбросов парниковых газов на 50% к 2050 году относительно 2000 года для сдерживания глобального потепления в пределах 2°C, поставленная Межправительственной группой экспертов по изменению климата (Intergovernmental Panel for Climate Change, IPCC), закреплена законодательно в некоторых странах [1]. Рамочный документ Евросоюза, регламентирующий вопросы совместной политики стран-членов в сфере климата и энергетики [2], ставит задачу сокращения выбросов парниковых газов к 2030 году на 40% по отношению к уровню 1990 года. В декабре 2015 года на конференции сторон Рамочной конвенции ООН по изменению климата (далее COP21) данная задача подтверждена в качестве INDC (Intended Nationally Determined Contribution) для ЕС. В ранее принятых документах намечено сократить выбросы CO₂ европейскими промышленными предприятиями на 34-40% к 2030 году (в зависимости от отрасли, динамики спроса и ожидаемых цен на ископаемые топлива) и на 83-87% к 2050 году [3]. Украиной в преддверии COP21 принят INDC, предусматривающий снижение выбросов парниковых газов

Шатоха Владимир Иванович – д-р техн. наук, профессор, проректор по научно-педагогической работе в Национальной металлургической академии Украины. ✉ Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, к. 333, г. Днепропетровск, 49600, Украина. E-mail: shatokha@metal.nmetau.edu.ua; **Рогоза Михаил Валентинович** – канд. техн. наук, профессор кафедры систем электроснабжения, директор Научно-образовательного центра международного сотрудничества, заместитель проректора по международным связям Национального горного университета (г. Днепропетровск, Украина). ✉ ГВУЗ «Национальный горный университет», пр. Карла Маркса, 19, к. 4/31, 49600, Днепропетровск, Украина. E-mail: rogozat@ntu.org.ua.

к 2030 году по отношению к уровню 1990 года на 40% (фактические выбросы по состоянию на 2012 год составляли 43% по отношению к 1990 году).

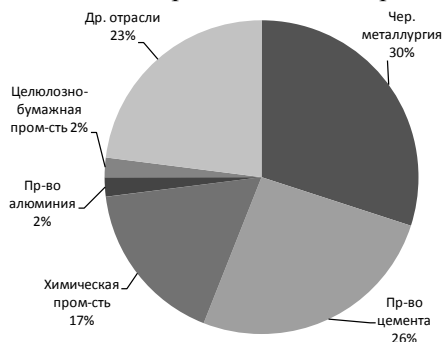
Целями настоящей главы являются оценка потенциала устойчивого развития черной металлургии в Украине, а также анализ возможных моделей развития черной металлургии, обеспечивающих смягчение изменения климата.

11.2. Тенденции развития металлургии в Украине и в мире

По данным International Energy Agency (далее - IEA) [4], доля черной металлургии в мировых промышленных выбросах CO₂ составляет 30% (рис.11.1).

В общих антропогенных выбросах парниковых газов ее доля в 2014 году составила 6,7% [5]. Динамика производства стали в XX веке показана на рис.11.2 по данным World Steel Association [6]. Длительный роста после второй мировой войны сменился стагнацией во времена нефтяных кризисов 1973 и 1980 годов. Однако, всего за 12 лет XXI века производство стали удвоилось, превысив в 2013 году 1,6 млрд т, что связано с экономическим ростом в Китае, доля которого выросла с 15% в 2000 году до 49,5% в 2015. В 2015 году мировое производство стали сократилось на 2,8% - главным образом, в связи с замедлением экономического роста и спадом производства и потребления в Китае.

Рис. 11.1. Распределение выбросов CO₂ по отраслям промышленности. 2014 г. (Источник: по данным IEA [4])



Динамика производства стали в XX веке показана на рис.11.2 по данным World Steel Association [6]. Длительный роста после второй мировой войны сменился стагнацией во времена нефтяных кризисов 1973 и 1980 годов. Однако, всего за 12 лет XXI века производство стали удвоилось, превысив в 2013 году 1,6 млрд т, что связано с экономическим ростом в Китае, доля которого выросла с 15% в 2000 году до 49,5% в 2015. В 2015 году мировое производство стали сократилось на 2,8% - главным образом, в связи с замедлением экономического роста и спадом производства и потребления в Китае.

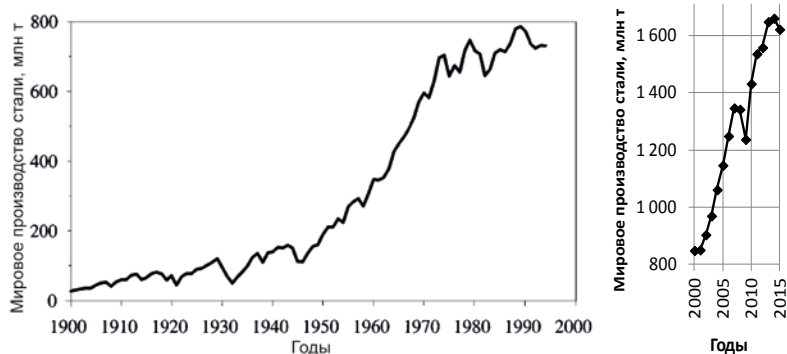


Рис. 11.2. Мировое производство стали в XX веке и в начале XXI века (Источник: по данным World Steel Association [6])

Производство стали в Украине за последние сто лет показано на рис. 11.3. Достигнув максимума на уровне почти 60 млн т в год в середине 80-х годов, после распада СССР производство стали упало ниже 16 млн т, восстановившись на уровне около 43 млн т накануне мирового кризиса 2008-09 годов. К 2013 году выплавка стабилизировалась на уровне около 33 млн т, однако в 2014-2015 годах производство стали снижалось в связи с военными действиями на Востоке,

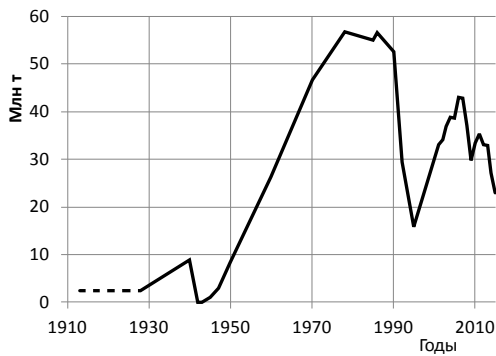


Рис. 11.3. Производство стали в Украине в период 1913-2015 годов (Источник: [6])

выплавке стали в странах, входящих в первую десятку производителей (см. таблицу 11.1). В частности, следует обратить внимание на низкий уровень производства стали на душу населения в Индии. Практически неизбежный рост производства стали, как минимум, до среднемирового уровня 220 кг на душу населения в Индии эквивалентен дополнительной выплавке свыше 200 млн стали – даже без учета увеличения численности населения.

Таблица 11.1. Выплавка стали странами, входящими в первую десятку производителей (Источник: [6])

№	Страна	Производство стали			
		2015 год, млн т	2014 год, млн т	2015/2014, %	кг на душу населения (2015 год)
1	Китай	803,8	822,8	-2,3	581,5
2	Япония	105,2	110,7	-5,0	832,8
3	Индия	89,6	87,3	2,6	67,5
4	США	78,9	88,2	-10,5	243,4
5	Российская Федерация	71,1	71,5	-0,5	495,7
6	Южная Корея	69,7	71,5	-2,6	1380,1
7	Германия	42,7	42,9	-0,6	529,2
8	Бразилия	33,2	33,9	-1,9	158,4
9	Турция	31,5	34,0	-7,4	395,6
10	Украина	22,9	27,2	-15,6	513,2

В работе [7] выполнен прогноз производства стали в различных странах, основанный на методе анализа материальных потоков и данных о статистических трендах, свидетельствующих о примерно равном уровне насыщения для показателя количества материалов на душу населения в виде тех или иных потребительских товаров в зависимости от величины валового внутреннего продукта. Показано, что максимум производства стали в Индии на уровне 400 млн т в год может быть достигнут к 2075 году с дальнейшим снижением до 300 млн т в год к концу XXI века. Более существенный рост производства стали прогнозируется в странах Африки с достижением уровня в 500 млн т в год к 2100 году и максимумом за пределами XXI века.

достигнув 22,9 млн т в год. Тем не менее, Украина пока остается в десятке крупнейших мировых производителей стали.

Данные рис.11.2-11.3, говорят о сложности прогноза выплавки стали, особенно из-за малопредсказуемых социально-политических событий, существенно влияющих на процессы в экономике. Значительный потенциал роста мирового производства стали вполне очевиден из данных о

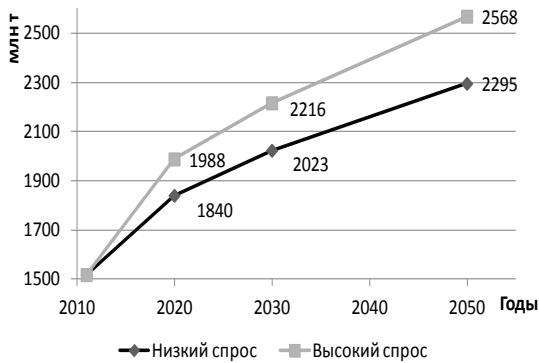


Рис. 11.4. Мировое производство стали согласно сценарию 2DS для вариантов низкого и высокого спроса (Источник:[4])

стальную продукцию будет расти не столь быстро, производство может достигнуть 2295 млн т/год. Выбросы CO₂ в обоих сценариях должны сократиться на 28%. Естественно, в случае сценария высокого спроса требуется более значительное сокращение удельных выбросов CO₂ на тонну стали.

11.3. Конкуренентоспособность черной металлургии Украины

Обеспечение конкурентоспособности, как одного из факторов устойчивого развития металлургии Украины, требует модернизации основного фонда и внедрения передовых технологий. В нынешних условиях проблемной прибыльности возможности инвестирования в модернизацию оборудования существенно сокращаются, что видно из данных рис.11.5, где показаны объемы инвестиций за последние 15 лет. Даже в 2007 г., когда объем инвестиций

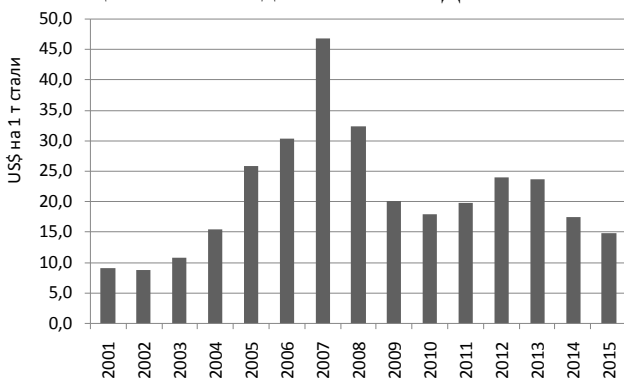


Рис. 11.5. Инвестиции в модернизацию предприятий черной металлургии Украины (Источник:[8])

батарей – 54%, доменные печи – 89%, мартеновские печи – 87%, кислородные конвертеры – 26%, прокатные станы – 90%.

Ситуация с амортизацией основных фондов в других отраслях промышленности и в коммунальном хозяйстве в Украине аналогична имеющей место в металлургии. По данным [9] общая потребность в замене оборудования

IEA, моделируя развитие экономики в целом и отдельных отраслей в условиях ограничения выбросов парниковых газов, предложил прогнозный сценарий 2DS [4], призванный обеспечить сдерживание глобального потепления в пределах 2°C к концу столетия.

Согласно сценарию 2DS мировое производство стали к 2050 г. должно находиться в пределах 2568 млн т/год для варианта высокого спроса (см. рис.11.4). Если в силу различных факторов спрос на

достигал максимума – 47,88 долл. США на 1 т стали, это было явно недостаточно, учитывая уровень износа основных фондов. Возможности модернизации, имевшиеся до периода глобальной рецессии, когда уровень доходности был высок, в украинской черной металлургии были упущены. Сегодня в

отрасли стопроцентный износ имеют: коксовые

эквивалентна свыше 300 млн т стали, которая должна быть произведена и использована на отечественном рынке. Это является позитивным фактором экономически устойчивого развития черной металлургии в Украине, в том числе, в контексте снижения зависимости от экспорта.

В 2014-2015 годах свыше 85% продукции черной металлургии Украины экспортировано. Экспортозависимость является серьезной проблемой экономически устойчивого развития отрасли – особенно, в условиях наличия огромных избыточных производственных мощностей в мире: резервные мощности Китая превышают производство стали в России и Японии вместе взятых. Превращение Китая из импортера стали в экспортера уже привело к сокращению тысяч рабочих мест в Евросоюзе. В декабре 2015 года средний уровень использования металлургических агрегатов в мире снизился до 64,6% [10], что связано со снижением спроса. Это повышает конкуренцию на мировом рынке стали, о чем свидетельствует сокращение производства в странах, входящих в десятку крупнейших производителей, за исключением Индии.

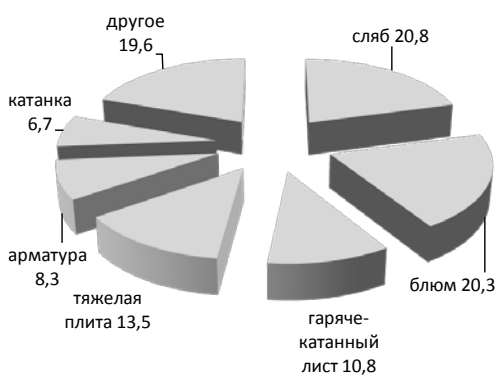


Рис. 11.6. Структура экспорта стали из Украины по видам продукции, %. 2013 г. (Источник: [8])

Структура экспорта из Украины показана на рис.11.6 и остается стабильной на протяжении длительного времени, причем в первом полугодии 2015 года свыше 46% экспорта составили полуфабрикаты. Географический состав импортеров украинской стали подвержен изменениям. Например, экспорт в Саудовскую Аравию в 2011-2013 годах вырос почти в 7 раз. В первом полугодии 2015 года около 28% стальной заготовки было экспортировано в Египет, 27% в Турцию и 19% в Италию.

При этом доля СНГ в структуре экспорта уменьшилась с 13% до 10%, в т.ч. доля России — с 10% до 6% [11]. Важным фактором повышения конкурентоспособности черной металлургии Украины и диверсификации рынков сбыта является изменение структуры экспорта в пользу продукции с высокой добавленной стоимостью.

Энергоэффективность в черной металлургии зависит от состояния оборудования, применяемых технологий и качества сырья. В зависимости от цены энергоносителей и структуры энергобаланса доля энергии в себестоимости продукции в разных странах составляет 20-40%. В среднем в мире около 95% первичных энергозатрат интегрированного металлургического предприятия составляет твердое, 3-4% - газообразное и 1-2% - жидкое топлива. Примерно 75% энергии расходуется при выплавке чугуна в доменном производстве [12].

На рис.11.7 сравниваются энергозатраты на разных участках производства металла для ЕС и Украины, а также Китая и Индии. С учетом уровня амортизации оборудования, а также проблем с качеством сырья (трудно-обогатимая руда, высокосернистые угли), не удивительно, что украинская черная

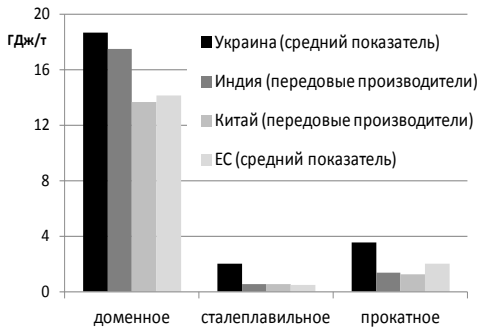


Рис. 11.7. Энергозатраты в разных секторах производства (Источник: [9])

металлургия заметно отстает по энергоэффективности от лучших мировых стандартов.

На рис.11.8 по данным IEA [4] представлена оценка потенциального снижения энергозатрат при производстве стали за счет внедрения лучших доступных технологий (Best Available Technologies, далее BAT). Возможности сокращения выбросов CO₂ в Украине за счет внедрения BAT превышают среднемировой показатель более чем вдвое. В то же

время, например, в Японии и Южной Корее потенциал сокращения выбросов парниковых газов за счет внедрения BAT практически исчерпан. Поскольку выбросы CO₂ в черной металлургии примерно на 95% обусловлены применением углеродсодержащих топлив, данные рис.8 практически эквивалентны потенциалу снижения выбросов CO₂.

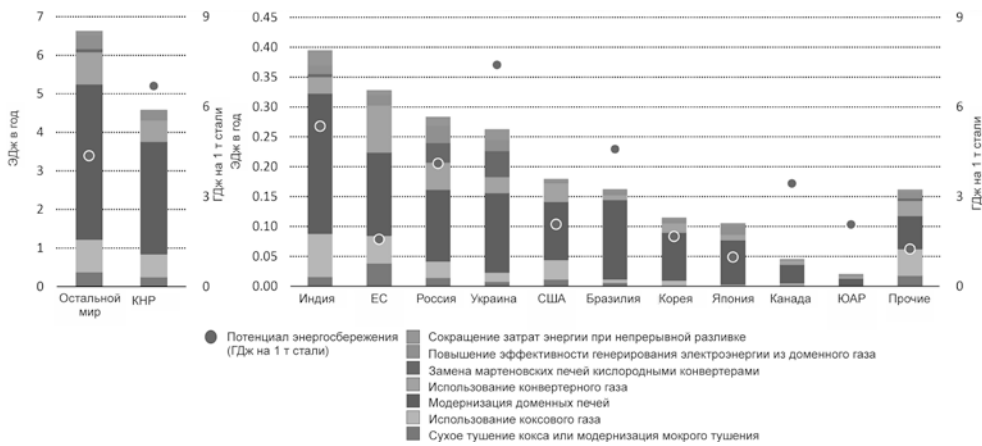


Рис. 11.8. Потенциал сокращения выбросов путем внедрения лучших доступных технологий для разных стран (Источник: [4])

В докризисный период ситуация с применением энергоэффективных технологий в Украине улучшалась (рис.11.9): с 2005 по 2013 доля мартеновского производства сократилась в 2,7 раза, а доля стали, отлитой на машинах непрерывного литья, выросла с более чем вдвое. Такой результат достигнут как в результате модернизации, так и за счет вывода из эксплуатации устаревших агрегатов: в период 2008-2013 годов мощности производства стали в Украине сократились на 10% при их использовании на 75,9%. Эти структурные изменения способствовали снижению удельных выбросов вредных веществ в атмосферу (таблица 11.2). Ранее опубликованные планы модернизации предприятий предусматривали увеличение доли непрерывнолитой стали и практически полный вывод из эксплуатации мартеновских печей к 2017 году, однако, в связи с текущим состоянием экономики, реалистичность этих планов не ясна. Более того, в 2015 году доля мартеновской стали выросла примерно на 3%.

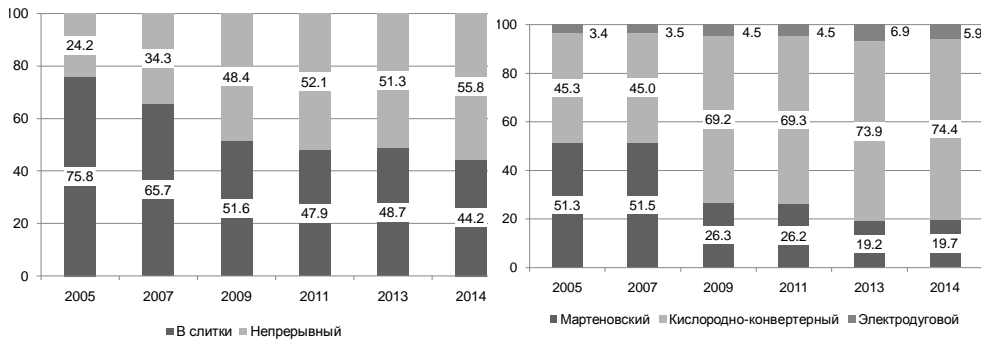


Рис. 11.9. Структура производства стали в Украине по способам выплавки и разливки, % (Источник: [8])

Показатели выбросов CO₂ предприятиями черной металлургии Украины по данным [13] показаны в таблице 11.2, а их распределение по источникам в горно-металлургическом комплексе по данным [14] представлено на рис.11.10. Выбросы CO₂ выросли вследствие сокращения использования природного газа с 9,5 млрд м³ в 2007 году до 2,01 млрд м³ в 2014. Многие предприятия внедрили технологию вдувания пылеугольного топлива в фурмы доменных печей взамен природного газа, что сопровождается увеличением содержания CO₂ в колошниковом газе, а следовательно и увеличением выбросов CO₂ при его использовании в качестве топлива в прокатном производстве и на ТЭЦ.

Таблица 11.2. Показатели выбросов вредных веществ и CO₂ предприятиями черной металлургии Украины (Источник: по данным государственной статистики [13])

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Выбросы вредных веществ в атмосферу, тыс т	1150	927	1077	1102	1016	1005	802
Доля в загрязнении атмосферы промышленными предприятиями, %	25,4	23,6	26,1	25,2	23,4	23,4	26,4
Удельные выбросы вредных веществ в атмосферу, кг на 1 т стали	31,0	31,1	32,2	31,2	30,4	30,6	29,4
Выбросы CO ₂ , тыс т	38207	34348	39234	64073	59188	60520	н.д.
Доля в выбросах CO ₂ промышленными предприятиями, %	21,9	22,5	23,8	31,7	29,9	30,6	н.д.
Удельные выбросы CO ₂ , т на 1 т стали	1,0	1,1	1,2	1,8	1,8	1,8	н.д.

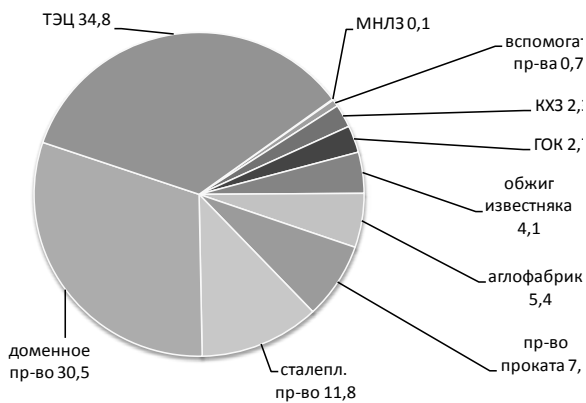


Рис. 11.10. Распределение выбросов парниковых газов по источникам образования в горно-металлургическом комплексе Украины. 2013 г (Источник: УкрГНТЦ «Энергосталь» [14])

11.3 Устойчивое развитие и экономические риски в условиях ограничений выбросов парниковых газов

В настоящее время разрабатываются многочисленные сценарии, моделирующие развитие отраслей промышленности в контексте предотвращения изменения климата. Интерес представляет разработанная IEA модель развития черной металлургии в контексте сценария 2DS [4]. Ее реализация требует решения таких проблем как повышение энерго-технологической эффективности при ухудшении качества сырья, общественное восприятие складирования CO₂, дефицит скрапа и т.п. Согласно модели, выбросы CO₂ в черной металлургии до 2050 года должны сократиться на 28% при росте производства на 51%. Основным результатом планируется достичь путем сокращения затрат энергии. Большой потенциал имеет вывод из эксплуатации мартеновских печей в Украине и России, а также модернизация доменного производства в Индии, Китае и Украине. Ожидается, что в 2050 году 40% выбросов CO₂ (812 млн т в год) будет улавливаться средствами CCS (carbon capture and storage).

Решающую роль должна сыграть коммерциализация, начиная с 2020 года, технологий, относящихся сегодня к числу радикально инновационных. Сценарий предполагает успешную реализацию проектов ULCOS (Евросоюз) [15] и COURSE50 [16] (Япония), а также прогресс в дальнейшей разработке технологий HIs melt (Австралия, Китай) [17] и Finex [18] (Корея). Ожидается, что внедрение этих технологий в 2025 году обеспечит сокращение среднего мирового удельного расхода энергии до 18,9 ГДж/т стали, то есть на 10% относительно 2011 года.

На наш взгляд, реалистичность сценария IEA для металлургии неоднозначна, поскольку он не отвечает текущим тенденциям развития. С 2000 по 2011 год фактическое суммарное потребление энергии при производстве стали выросло на 6,2% при увеличении производства на 7,1%. Сценарий предусматривает увеличение затрат энергии в 2025 году по сравнению с 2011 на 1,2% при росте производства на 27%. Т.е. в течение ближайших десяти лет должно произойти радикальное изменение существующего соотношения между производством стали и энергопотреблением.

С 1960 по 2014 год средние мировые энергозатраты при производстве стали сократились на 60%, после чего возможности дальнейшего сокращения этого показателя в рамках известных технологий практически исчерпались [19]. Доля стали, выплавленной из металлолома, в мире снизилась с 47% в 2000 до 29% в 2011 году. Поскольку при производстве стали из металлолома затраты энергии в среднем втрое ниже по сравнению со схемой «доменная печь – конвертер», указанное сокращение потребления лома негативно отразилось на общих затратах энергии. Это произошло в связи с тем, что производство стали в Китае преимущественно развивается именно поданной схеме. Однако, краткосрочная часть сценария 2DS предусматривает увеличение доли стали, выплавленной из лома до 37% к 2025 году. Таким образом, эта часть прогноза также противоречит тенденциям, имевшим место на протяжении последнего десятилетия.

Согласно иному сценарию развития черной металлургии, учитывающему тенденции рынка металлолома [20], глобальное производство стали, полученной из доменного чугуна, достигнет максимума к 2025 году с дальнейшим ее сокращением. Это будет сопровождаться появлением избыточных доменных печей. Производство стали из скрапа вырастет более чем вдвое к 2050 году и превысит производство первородной стали между 2050 и 2060 годами.

Такой сценарий ведет к серьезным проблемам для интегрированных предприятий. Значительная часть сталеплавильных мощностей станет ненужной

для удовлетворения внутренних потребностей в Западной Европе и в развитых странах Азии. Однако если к этому времени Индия, страны Африки, Латинской Америки и Ближнего Востока, где спрос продолжит расти, еще не будут в состоянии удовлетворять собственную потребность в стали, то экспорт стали в эти регионы может продлить срок существования предприятий в развитых странах. Исходя из этого, в работе [20] рассмотрены следующие два сценария.

В первом сценарии потребности отдельных стран удовлетворяются на глобальном рынке: производство размещается на имеющихся предприятиях, независимо от того, где возник спрос, а стальная продукция поставляется туда, где она необходима. Несмотря на уменьшение спроса на первородную сталь, после 2025 года большая часть существующих интегрированных предприятий достигнет 60-летнего «возрастного» предела и будет выведена из эксплуатации естественным путем. Однако, даже по этому сценарию между 2040 и 2060 годами доменные печи общим объемом производства около 200 млн т в год будут выведены из эксплуатации, не достигнув конечной амортизации. Более того, в период между 2020 и 2070 годами не будет потребности в строительстве новых доменных печей. Все же, открытые внутренние рынки для импорта стали и скрапа могут способствовать более-менее рациональному использованию существующих производств в глобальном масштабе.

Согласно иному сценарию, производственные мощности следуют за спросом. В этом - на наш взгляд, более реалистичном - сценарии, развивающиеся страны из соображений ресурсной безопасности и экономической независимости создают собственную металлургическую инфраструктуру, невзирая на наличие избыточных мощностей в экономически развитых странах. Тогда продолжится строительство новых мощностей в Индии, в странах Ближнего Востока, Латинской Америки и Африки. Следствием станет преждевременный вывод из эксплуатации в развитых странах производств мощностью около 500 млн т в год, в придачу к еще 100 млн т мощностей, которые достигнут времени полной амортизации. Размещение производства исходя из локальных и региональных потребностей с большой степенью вероятности ведет к избытку мощностей, падению цен и развитию кризисов. К сожалению, именно этот сценарий развития черной металлургии фактически уже реализуется сегодня в мире.

В основе сценариев устойчивого развития лежат политические решения и механизмы экономического стимулирования. Возможность прибыльности черной металлургии в условиях ограничений на выбросы парниковых газов не вполне очевидна. Стоимость разрешений на выбросы CO₂ в Европе в период 2021-2030 годов в среднем прогнозируется на уровне 25 € за тонну CO₂ [21]. Поскольку производство тонны стали сопровождается выбросами около 2 т CO₂, это может стать серьезной проблемой для европейской металлургии. Известны планы правительства Германии ограничить бесплатные выбросы CO₂ для черной металлургии на уровне текущего производства, что ставит под угрозу возможность роста отрасли в стране, где большинство предприятий уже работает на уровне максимально возможной энерго-технологической эффективности. Проблемы будущей конкурентоспособности европейской металлургии детально рассмотрены в соответствующем Плане действий [22].

Условия участия в Киотском протоколе были выгодны для Украины и ряда других стран, открывая возможность иностранных инвестиций. В частности, по данным работы [23], применение Киотским протоколом "нулевого" варианта по отношению к 1990 году для России, с учетом сокращения промышленного производства в этой стране, фактически стало инвестицией в ее экономику в размере до 10 млрд дол США.

Взятые Украиной обязательства INDC по ограничению выбросов CO₂ сегодня не выглядят обременительными, но в дальнейшем, при модернизации

промышленной, транспортной, коммунальной инфраструктуры, внедрение новых технологий, обеспечивающих сокращение выбросов парниковых газов, будет иметь решающее значение для конкурентоспособности и экологически устойчивого промышленного развития отечественной металлургии.

Несмотря на усилия ООН и других организаций, сценарии устойчивого развития пока остаются скорее пожеланием, нежели руководством к действию. Более того, мир движется в прямо противоположном направлении, чем необходимо для обеспечения устойчивого развития, причем – в ускоренном темпе. В феврале 2016 года Верховный Суд США приостановил "План чистой энергии", что ставит под сомнение возможность выполнения США INDC по сокращению выбросов CO₂ на 32% к 2030 году по отношению к 2005 году [24].

Наряду с экономическими и политическими механизмами, важную роль в обеспечении устойчивого развития должно играть образование. В рамках программы Jean Monnet Modules (проект 564689-EPP-1-2015-1-UAЕPPJMO-MODULE) [25] в Национальной металлургической академии Украины внедряется дисциплина "Европейское лидерство в предотвращении изменения климата". Знание европейского опыта формирования промышленной политики и научных приоритетов в контексте устойчивого развития является необходимым атрибутом современного инженера.

12.1. Выводы и рекомендации

Решение задач экологически устойчивого промышленного развития в металлургии имеет ключевое значение в контексте социальных, экономических и экологических аспектов устойчивого развития. Анализ проблем, факторов и сценариев устойчивого развития позволяет прийти к следующим выводам:

- Экологически устойчивое промышленного развития в металлургии требует скоординированных усилий для повышения энерго-технологической эффективности в условиях ухудшения качества сырья и наличия значительного количества неиспользуемых производственных мощностей.
- Обеспечение устойчивого развития украинской металлургии, особенно в условиях будущих ограничений на объемы выбросов CO₂, требует радикальной модернизации отрасли.
- Высокий уровень амортизации металлоемкого оборудования во всех сферах экономики в Украине создает большой потенциал развития внутреннего рынка потребления стали. Доступность отечественного скрапа позволит снизить выбросы парниковых газов при производстве стали и повысить конкурентоспособность продукции на мировом рынке.
- Большой потенциал снижения энергопотребления и выбросов CO₂, по сравнению со странами, где металлургические агрегаты работают на грани современных технологических возможностей, делает Украину привлекательной для трансфера технологий в рамках финансовых механизмов рынка выбросов парниковых газов.

Литература

1. Fisher B., Nakicenovic N. Issues related to mitigation in the long-term context // Climate Change 2007: Mitigation: Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the IPCC; Metz B. et al. Eds. – Cambridge Univ. Press: Cambridge, UK, 2007.

2. A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030: Brussels, COM(2014) 15. – 18 p.

3. A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050: Brussels, COM(2011) 112. - 16 p.
4. International Energy Agency. Energy Technology Perspectives 2015 - Mobilising Innovation to Accelerate Climate Action: IEA. – 2015. – 382 p.
5. Steel's contribution to a low carbon future and climate resilient societies. Worldsteel position paper. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.worldsteel.org/publications/position-papers/Steel-s-contribution-to-a-low-carbon-future.html> (дата обращения 01.03.2016).
6. Statistics archive [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.worldsteel.org/statistics/statistics-archive.html> (дата обращения 01.03.2016).
7. The steel scrap age/ Pauliuk S., Milford R.L., Müller D.B., Allwood J.M.// Environ Sci Technol. 2013. - №7 (Vol.47). – P.3448-3454
8. Shatokha V. The Sustainability of the Iron and Steel Industries in Ukraine: Challenges and Opportunities: *Journal of Sustainable Metallurgy*. DOI: 10.1007/s40831-015-0036-2 (First online: 10 December 2015)
9. Украинская металлургия: современные вызовы и перспективы развития: монография / А. И. Амоша, В. И. Большаков, А. А. Минаев и др. /Ин-т экономики пром-сти. – Донецк, 2013. – 114 с.
10. Worldsteel press release 25.01.2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/press-release-downloads/2016/2015-World-Crude-Steel-Production-Press-Release-25Jan2016/document/2015%20World%20Crude%20Steel%20Production%20Press%20Release-25Jan2016.pdf> (дата обращения 01.03.2016).
11. Производство чугуна и стали в Украине в июле 2015 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ukrudprom.com/digest/Proizvodstvo_chuguna_i_stali_v_Ukraine_v_iyuле_2015_goda.html (дата обращения 01.03.2016).
12. Energy use in the steel industry [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.worldsteel.org/publications/fact-sheets/content/02/text_files/file0/document/fact_energy_2014.pdf (дата обращения 01.03.2016).
13. Государственная служба статистики Украины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ukrstat.gov.ua (дата обращения 01.03.2016)
14. Спирин В. Ю. Инвентаризация и мониторинг выбросов ПГ на предприятиях горно-металлургического комплекса. Проблемы и перспективы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: journal.esco.co.ua/2009_8/art003.ppt (дата обращения 01.03.2016)
15. Wins T. The Low Carbon Future of the European Steel Sector: Presentation for the EU Parliament, September 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ccar.org/resource/the-low-carbon-future-of-the-european-steel-sector/> (дата обращения 01.03.2016)
16. Tonomura S. Outline of Course 50 // Energy Procedia. – 2013. – Vol 37. – P.7160- 7167
17. Hismelt process - Rio Tinto [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.riotinto.com/ironore/hismelt-process-10659.aspx>(дата обращения 01.03.2016).
18. FINEX Technology. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.posco.com> (дата обращения 01.03.2016).
19. Sustainable steel: Policy and indicators 2014. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/bookshop/2014/Sustainable-indicators-2014/document/Sustainable%20indicators%202014.pdf> (дата обращения 01.03.2016)
20. Allwood J. M., Cullen J. M., Milford R. L. Options for achieving a 50% cut in industrial carbon emissions by 2050 / Environ. Sci. Technol. – 2010. – №7 (Vol. 44). – P.1888–1894.
21. Proposal for a DIRECTIVE OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL Brussels, 15.7.2015 COM(2015) 337. - 41 p.
22. Action Plan for a competitive and sustainable steel industry in Europe: Brussels, COM(2013) 407. – 23 p.
23. Liverman D. M. Conventions of climate change: constructions of danger and the dispossession of the atmosphere/ *Journal of Historical Geography*. – 2009 (35). – P. 279-296.
24. Supreme shock: Has US court holed Paris climate deal? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bbc.com/news/science-environment-35541323> (дата обращения 01.03.2016).
25. EU Leadership in Climate Change Mitigation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://euclim.com/> (дата обращения 01.03.2016).

SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF STEEL INDUSTRY IN THE CLIMATE CHANGE MITIGATION CONTEXT

Volodymyr Shatokha, Michael Rogoza

Keywords: Sustainable Development, Ferrous Metallurgy, Ferrous Metallurgy Development Model, Energy Efficiency and Competitiveness of the Steel Industry.

The purpose. Reduction of greenhouse gases (GHG) emissions in the steel industry is indispensable for reaching the climate targets. Sustainability of this industry is also critical for the socio-economic development, notably in the emerging countries. The problems, factors and scenarios of sustainable development for steel industry in Ukraine and worldwide have been analyzed in climate change mitigation context.

Methodology. Research methods applied are based on the decisions of Paris Climate Change Conference, findings of 5th Assessment Report of the Intergovernmental Panel for Climate Change, statistic data provided by WorldSteel Association and Ukrainian official sources. Analytic materials of the International Energy Agency and OECD, and studies by some independent scholars have been analysed to retrieve plausible scenarios aimed at reaching the global warming mitigation target of 2°C by the end of the 21st century and the carbon dioxide reduction targets established for 2030 and 2050.

Findings. Deployment of the best available iron- and steelmaking technologies is not sufficient to reach sustainability targets. Breakthrough technologies shall be successfully commercialized after 2020 and carbon capture and sequestration technologies shall also be deployed in a large scale by 2050. Sustainable energy efficiency improvement pathways for the steel industry largely contradict the current development trends. If the current development trends continue, essential number of production capacities in the currently developed countries shall be eliminated by the middle of century before they even reach a lifetime limit, whereas new capacities will continue to be erected in emerging countries. New flexible financial carbon investment mechanisms shall be developed to ensure technology transfer and harmonized industrial development worldwide with respect to climate change mitigation targets.

Conclusions and Recommendations. 1. Coordinated efforts must be applied by the international community worldwide to ensure improvement of technological and energy efficiency under conditions when the quality of raw materials declines and production overcapacity grows. 2. Sustainable development of Ukraine's steel industry, especially under carbon-constrained economy conditions, requires radical modernization. 3. Depreciated metal-intensive infrastructure in Ukraine constitutes great potential for sustainable domestic steel market. 4. Great potential in reducing energy and carbon intensity makes Ukraine attractive playground for technology transfer in the frames of financial carbon investment mechanisms.

Volodymyr Shatokha – Dr. Sc. (Eng) Habilitate, Professor, Academician of the Academy Engineer Science of Ukraine, Vice-Rector on scientific-pedagogical work at the National Metallurgical Academy of Ukraine (NMetAU). ✉ National Metallurgical Academy of Ukraine (NMetAU), Gagarin Av., 4, Room 333, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: shatokha@metal.nmetau.edu.ua; **Michael Rogoza** – Dr. Sc. (Eng), Professor of the Department of Electric Power Supply Systems at the National Mining University (Dnipropetrovsk, Ukraine). ✉ National Mining University, Karl Marx Av., 19, Room 4/31, 49600, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: rogozam@nmu.org.ua.