

УДК 669(091).013:504.604.36

АНАЛИЗ МЕТОДОЛОГИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫБРОСОВ CO₂ НА ТЕРРИТОРИИ РФ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Симомян Л.М., д.т.н., профессор кафедры металлургии стали, новых производственных технологий и защиты металлов (lmsimonyan@yandex.ru)

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»
(119049, Россия, Москва, Ленинский пр., 4)

Аннотация. Рассмотрены различные точки зрения о причине изменения глобального климата. Наблюдаемое в настоящее время потепление, по одной из версий, связано с парниковым эффектом, т. е. с ростом содержания парниковых газов (в основном диоксида углерода CO₂) в атмосфере. Считается, что неконтролируемый рост парниковых газов в атмосфере может привести к негативным последствиям. Показано, что Положение РКИК и предлагаемая МГЭИК методология учета парниковых газов носят рекомендательный характер. В частности, инвентаризацию парниковых газов можно производить с учетом особенностей национального развития. Основная цель инвентаризации парниковых газов – определение резервов их сокращения. Рассмотрены антропогенные источники формирования CO₂ в Российской Федерации. Приведены сравнительные показатели выбросов CO₂ в различных секторах производства. Проанализирована методология определения парниковых газов в Российской Федерации, в частности, применительно к черной металлургии. Анализ показал, что в официальных отчетах для оценки эмиссии CO₂ в атмосферу используются в основном Базовый и Секторный подходы и метод Уровня 2. Детальный подход и метод Уровня 3 используются для ограниченного числа металлургических переделов. Часть выбросов CO₂, образующихся в черной металлургии, в частности выбросы при производстве доменного кокса, учитывается в секторе «Энергетика». Согласно кадастровой оценке, суммарные антропогенные выбросы CO₂ на территории РФ снизились и составили в 2015 г. 75 % от уровня 1990 г. По сравнению с 1990 г. снизились также выбросы CO₂ в черной металлургии. Оценена доля черной металлургии в антропогенных выбросах CO₂, которая по сравнению с 1990 г. (4,0 %) возросла и составила 4,8 % в 2015 г. Анализ показал, что методология оценки эмиссии парниковых газов применительно к секторам промышленного производства, в частности к черной металлургии, должна быть прозрачной и способствовать поиску резервов для их сокращения. Государство могло бы стимулировать сокращение парниковых газов, предоставляя льготы тем предприятиям, которые успешно решают эти вопросы.

Ключевые слова: парниковые газы, эмиссия CO₂, черная металлургия, Киотский протокол, Положение РКИК, МГЭИК, инвентаризация парниковых газов.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-9-721-730

ВВЕДЕНИЕ

Диоксид углерода (CO₂) – естественный компонент атмосферы, содержащийся в небольшой концентрации (0,03 % (по массе)). Баланс углерода в природе регулируется естественным углеродным обменом между атмосферой, океаном и поверхностью континентов. В последнее столетие наблюдается увеличение концентрации CO₂ в атмосфере: темпы ежегодного прироста составляют 0,5 %. Поскольку источниками диоксида углерода являются как природные процессы, так и антропогенные (сжигание ископаемого топлива), возникает вопрос о роли каждого из них в увеличении содержания CO₂ в атмосфере.

В настоящее время концентрация CO₂ в атмосфере достигла 0,04 %, а к 2100 г., согласно демонстрационным сценариям, разработанным Межправительственной группой экспертов по изменению климата, она может достичь 540 – 970 млн⁻¹, т. е. концентрация будет на 90 – 250 % больше, чем в доиндустриальном периоде. Вопрос о том, каковы могут быть последствия увеличения концентрации CO₂ в атмосфере, широко дискутируется не только учеными, но и политиками,

экономистами и др. Многочисленные исследования выявили положительную связь между концентрацией CO₂ в атмосфере и глобальной температурой. И хотя нет достаточных оснований считать, что причиной потепления планеты является рост концентрации CO₂ и других газов, вызывающих парниковый эффект (или наоборот), наличие этой проблемы вызывает озабоченность мирового сообщества.

Главная проблема в понимании причин изменений климата связана с сохраняющейся до сих пор невозможностью достаточно надежного учета климатических обратных связей, инерционностью климатической системы, наличием многолетних естественных колебаний приземной температуры воздуха [1], неоднозначностью трактовки понятий «изменение климата», «глобальное потепление» и др.

Среди ученых нет единого мнения относительно вклада антропогенной составляющей в изменение климата. Одни считают, что антропогенные выбросы могут способствовать накоплению CO₂ в атмосфере [2 – 6], другие считают, что эти выбросы не могут играть роли в естественном ходе природных процессов [1, 7]. Ни одна из точек зрения на сегодняшний день не доказуе-

ма. Трудность выявления указанных связей состоит в том, что отсутствуют проверенные и достоверные методы количественной оценки естественной составляющей CO₂ и ее роли в изменении климата.

Следует отметить, что каковы бы ни были причинно-следственные связи между выбросами CO₂ и изменением глобального климата, этот вопрос требует пристального внимания и изучения.

Мировое сообщество на угрозу глобального изменения климата ответило подписанием в декабре 1997 г. в Киото (Япония) соглашения о сокращении эмиссии парниковых газов. Положение РКИК – Рамочная конвенция по изменению климата (ст. 4, п. 1а) гласит: «Все стороны, учитывая свою общую, но дифференцированную ответственность и свои конкретные национальные и региональные приоритеты, цели и условия развития... разрабатывают, периодически обновляют, публикуют и представляют национальные кадастры антропогенных выбросов всех парниковых газов, используя сопоставимые методологии...» [8]. Документ носит рекомендательный характер и предлагает, учитывая особенности национального развития, производить инвентаризацию парниковых газов с целью определения резервов их сокращения.

МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Главное требование к методологии расчетов парниковых газов – использование сопоставимой методологии. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) рекомендует использовать три подхода для инвентаризации парниковых газов:

1 – балансовый расчет по данным об общем производстве и ввозе/вывозе основных видов топлива в стране (области) – Базовый подход;

2 – расчет выбросов по категориям источников по данным о потреблении топлива в различных отраслях и секторах экономики (обязателен для России) – Секторный подход;

3 – оценка выбросов на основе конкретных данных по технологическим процессам и предприятиям (для ограниченного числа крупнейших объектов) – Детальный подход «снизу-вверх».

Согласно [9], в зависимости от наличия исходных данных, особенностей сжигаемых топлив и применяемых технологий, а так же вклада каждой из категорий источников в суммарный выброс парниковых газов в регионе, могут применяться три уровня расчетов:

– Уровень 1 основан на статистических данных о сжигании топливно-энергетических ресурсов по категориям источников и средних, рекомендуемых МГЭИК, коэффициентах выбросов;

– Уровень 2 основан на статистических данных о сжигании топливно-энергетических ресурсов, аналогичных используемым в подходе Уровня 1, но вместо рекомендуемых МГЭИК коэффициентов используются

региональные или национальные коэффициенты выбросов;

– Уровень 3 основан на использовании расчетных или измеренных данных по выбросам на уровне отдельных предприятий.

В Базовом подходе используется методология Уровня 1 для оценки региональных выбросов парниковых газов на основе потребляемых топливно-энергетических ресурсов. Таким образом, Базовый подход является подходом «сверху-вниз», и он сравнительно независим от Детального подхода «снизу-вверх».

Для ключевых категорий источников может применяться метод Уровня 2, если технологии производства, сжигания отличны по своим характеристикам от средних российских условий. Методы Уровня 3 используют подробные модели расчета выбросов или измерения и данные на уровне отдельных предприятий. При правильном применении эти модели и измерения должны обеспечивать более точные оценки выброса парниковых газов. При этом результаты, полученные разными методами, не должны сильно различаться (не более 5 %).

Рекомендуется выбросы от производства тепла и энергии для собственных нужд относить к той категории источников выбросов, к которой относится основной вид продукции, производимой на предприятии. Сложность технологических процессов ряда производств не всегда позволяет провести четкое разделение между сжиганием топлива в целях получения тепла и энергии для собственных нужд и потреблением топлива для основной производственной деятельности. Поэтому подчеркивается, что при инвентаризации упор делается на полноту учета сжигаемого топлива и, соответственно, полноту расчета выбросов, в то время как сами выбросы в кадастре парниковых газов могут быть отражены в наиболее подходящих для этого категориях источников.

Выбросы парниковых газов из всех источников горения могут быть рассчитаны на основе данных о количествах и видах сожженного топлива и соответствующих коэффициентов выбросов. Расчет выбросов парниковых газов выполняется по формуле

$$E_i = A_i E_{F_i}, \quad (1)$$

где: E_i – выброс в атмосферу i -го газа; A_i – данные о деятельности (количественная характеристика деятельности, приводящей к выбросу за определенный период, обычно за год); E_{F_i} – коэффициент выброса (удельный выброс i -го парникового газа на единицу деятельности).

МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ ВЫБРОСОВ CO₂ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

В национальном докладе о кадастре антропогенных выбросов [10], формируемом в соответствии с методи-

Производство ЖПВ, тыс. т и средний удельный расход природного газа, м³/т ЖПВ в РоссииTable 1. Direct reduced iron production (in thousand tons) and average specific consumption of natural gas (m³/t DRP) in Russia

Показатель	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
ЖПВ	1683	1678	1919	3203	3251	3240	4571	4603	4703	5293	5502	5687	5630	5777
ПГ	365,9	341,4	325,2	319,5	319,3	315,4	315,1	317,5	315,7	314,5	314,1	313,2	309,9	304,6

кой МГЭИК (IPCC, 2006), за 1990 – 2015 гг. выбросы парниковых газов в черной и цветной металлургии выделены в субсектор «Металлургия». По этим данным, в 1998 г. общий выброс парниковых газов от металлургии составлял 60,2 % от уровня 1990 г., а в 2015 г. суммарный выброс составил 88,8 млн т CO₂-экв., что соответствует 70,7 % от уровня выбросов в металлургии в 1990 г.

Для того, чтобы оценить долю черной металлургии в общих выбросах CO₂ в атмосферу на территории РФ, рассмотрим рекомендуемые методики их оценки и полученные результаты [9, 10].

Рекомендации для оценки выбросов парниковых газов в черной металлургии приведены в пункте II.4.1 «Выбросы черной металлургии» [10]. Учитываются следующие источники выбросов в черной металлургии:

- предприятия по производству агломерата и окатышей;
- интегрированные предприятия по производству чугуна и стали;
- вторичные предприятия по производству стали из стального лома;
- предприятия по производству железа прямого восстановления (ЖПВ), в некоторых случаях интегрированные с предприятиями по производству стали;
- предприятия по производству доменного кокса;
- предприятия по производству ферросплавов.

Для расчета в Кадастре использовался метод Уровня 2, предусматривающий раздельную оценку выбросов CO₂ для доменного производства чугуна и для выплавки стали. Отдельно оценивались выбросы CO₂ при производстве железа прямого восстановления (по методу Уровня 3) и при производстве окатышей (по методу Уровня 1), а также выбросы CH₄ от производства агломерата и железа прямого восстановления.

Производство чугуна. При расчете эмиссии CO₂ от производства чугуна принимали, что содержание углерода в коксе составляет 83 %, в руде 0 %, в чугуне 4,3 %, средний удельный расход кокса 0,538 т/т чугуна.

Производство железа прямого восстановления. Конверсия природного газа (14,836 т С/ТДж) в восстановительный газ в этом процессе осуществляется диоксидом углерода (CO₂), содержащимся в отходящем из печи колошниковом газе по реакции CH₄ + CO₂ = 2CO + 2H₂. Среднее содержание углерода в ЖПВ со-

ставляет от 1,1 до 1,7 %. Данные о производстве ЖВП и среднем удельном потреблении природного газа (ПГ) приводятся в табл. 1.

Производство стали. Оценка выбросов CO₂ при производстве стали основана на изменении содержания углерода в продукции при производстве стали из чугуна, металлизированных окатышей и стального лома¹. Принято, что 97 % выплавляемого чугуна используется для производства стали: содержание углерода в чугуне и стали составляет 4,3 и 0,25 % соответственно, удельный расход электродов – 2,3 кг/т электростали. Данные по производству продукции приводятся в табл. 2. Учитываются также выбросы CO₂ при использовании горячбрикетированного железа для производства стали (по методу Уровня 2). Отдельно оценивались выбросы CO₂ при производстве электростали на ОЭМК (по методу Уровня 3).

Производство окатышей. Выбросы CO₂ от производства окатышей оценивались по методике Уровня 1. Принят коэффициент выбросов, равный 0,03 т CO₂/т произведенных в стране окатышей. Данные об объемах производства окатышей приведены в табл. 2.

Выбросы CH₄ от производства агломерата и ЖПВ. В расчетах использовались коэффициенты выбросов, равные 0,07 кг CH₄/т агломерата и 1 кг CH₄/ТДж природного газа. Данные об объемах производства агломерата представлены в табл. 2.

Производство ферросплавов. Оценка выполнена для производств доменного ферромарганца, ферросилиция, феррохрома, силикомарганца и металлического кремния. Объемы производства представлены в табл. 3. Для расчета выбросов использовались коэффициенты выбросов, т CO₂/т продукции: ФМн – 1,5; ФС 45 % – 2,5; ФХ – 1,6; СМн – 1,4; металлический кремний – 5,0.

Оценка выбросов CH₄ от производства ФС и металлического кремния выполнялась по методике Уровня 1. Использовались коэффициенты выбросов: 1,2 кг CH₄/т металлического кремния и 1,0 кг CH₄/т ферросилиция.

Оценка выбросов CO₂ и CH₄ выполнялась по формуле (1). Коэффициенты выбросов и перечень данных о деятельности, необходимых для оценки выбросов, представлены в табл. 4.

¹ По-видимому, вдувание углерода при выплавке электростали не учитывалось.

Таблица 2

Производство чугуна, в том числе передельного, стали, электростали, окатышей, агломерата и проката черных металлов в России, тыс. т

Table 2. Production of iron, including pig iron, steel, electrosteel, sinter, pellets and rolled ferrous metals in Russia, thous. ton

Показатель	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Производство чугуна, в т. ч. передельного	59 387	39 758	44 584	49 175	52 362	51 516	48 275	43 979	48 010	47 986	50 459	49 945	51 460	52 411
Экспорт передельного чугуна	2549	2889	3691	5132	6101	5805	5449	4630	4039	4409	4105	4100	4359	5340
Импорт передельного чугуна	–	174	2,2	2,5	1,3	6,7	7,7	0,0	0,1	0,8	0,5	0,5	0,3	0,2
Производство стали, в т. ч. электростали	89 622	51 589	59 150	66 262	70 816	72 370	68 711	59 803	66 844	68 114	70 392	68 862	70 547	69 422
Производство проката черных металлов	13 361	6619	8711	13604	16 269	19 543	20 020	16 158	19 122	20 488	19 964	19 510	21 167	19 920
Производство окатышей	63 737	39 035	46 712	54 661	58215	59 612	56 664	51 857	57 708	59 510	60 036	59 169	61 219	60 435
Производство агломерата	28 000	26 467	30 761	35 708	38 418	38 536	34 636	33 456	37 376	38 428	39 005	39 416	39 684	40 932
	42 264	42 264	49 593	56 717	61 142	59 395	56 937	52 923	57 108	57 855	58 759	58 750	59 275	60 519

Таблица 3

Производство ферросплавов в России, тыс. т

Table 3. Ferroalloys production in Russia, thous. ton

Показатель	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Si _{мет}	281	82,5	91,8	110,1	141,3	157,8	155,5	87,8	174,9	148,3	161,1	192,6	178,8	155,7
ФС45 ¹	633	372	672	742	892	896	846	765	899	1031	1048	1021	1061	1058
ФСХ40 ²	476	354	294	584	554	528	490	378	527	517	493	471	441	363
Фспл ³	–	–	–	–	40,8	72,2	83,4	114,7	156,1	149,5	164,2	167,5	176,4	188,9
ФХ60 ⁴	16,4	76,7	91,0	85,4	80,2	90,6	66,5	43,1	54,8	59,3	56,3	57,8	67,0	102,0
СМн92	48	41	63	58	56	57	57	24	50	58	58	55	55	60

¹ Ферросилиций в пересчете на 45 %-ное содержание кремния

² Ферросиликохром 40 % (товарный)

³ Ферросплавы доменные

⁴ С 2010 г. – феррохром

Коэффициенты выбросов и перечень данных о деятельности, необходимые для оценки выбросов

Table 4. Emission factors and activity data list required for emissions estimating

Категории источников	Коэффициент выбросов	
	CO ₂ , т/т продукции	CH ₄ , кг/т продукции
Производство кокса (выбросы учитываются в секторе «Энергетика»)	0,56	0,0001
2С1 Производство чугуна и стали		
производство агломерата	0,20	0,07
производство окатышей	0,03	–
производство чугуна	1,50	–
Производство железа прямого восстановления	0,53	0,011
Производство кислородно-конвертерной и мартеновской стали	0,13	–
Производство электростали	0,05	–
2С2 Производство ферросплавов		
ферросилиций 45 % Si	2,5	–
ферросилиций 65 % Si	3,6	1,0
ферросилиций 75 % Si	4,0	1,0
ферросилиций 90 % Si	4,8	1,1
ферромарганец (7 % C)	1,3	–
ферромарганец (1 % C)	1,5	–
феррохром 1,3	(1,6 с заводом агломерата)	–
Силикомарганец	1,4	–
Металлический кремний	5,0	1,2

ПРИМЕЧАНИЕ

1. При проведении инвентаризации выбросы CO₂ от производства доменного кокса рекомендуется относить к разделу «Энергетика». Все остальные выбросы должны учитываться в секторе «Промышленные процессы и использование продукции» (ППИП).

2. Выбросы CO₂ при производстве чугуна и агломерата связаны с использованием кокса, который имеет две функции в металлургическом процессе:

– восстановитель в реакции восстановления оксидов железа до железа;

– источник энергии, поскольку реакция углерода кокса и кислорода сопровождается выделением тепла.

3. В российской статистике использование кокса, природного газа и других видов топлива в качестве восстановителя в металлургии учитывается как топливное (не сырьевое) использование¹. Поэтому при оценке

¹ Термины «энергетика», «промышленные процессы» и другие, используемые в докладе, соответствуют определениям МГЭИК и не совпадают с традиционно употребляемыми в РФ определениями секторов (отраслей) экономики. В частности, к энергетическому сектору по классификации МГЭИК относятся, независимо от того, в каких отраслях экономики они происходят, сжигание всех видов топлива для получения энергии, а также потери газообразных топливных продуктов в атмосферу в виде технологические выбросов, утечек и сжигания в факелах.

выбросов от этой категории источников уже на стадии методических указаний отмечается, что существует опасность двойного учета или пропуска выбросов либо в секторе «ППИП», либо в секторе «Энергетика».

4. Хотя выбросы парниковых газов от производства доменного кокса относятся к сектору «Энергетика», сами выбросы от использования кокса в черной металлургии учитываются в секторе «ППИП» (черная металлургия).

5. В российской статистике потребление кокса в черной металлургии обычно относится к топливному использованию, поэтому для того, чтобы избежать двойного учета, рекомендуется исключить данные о неэнергетическом использовании кокса из сектора «Энергетика» и проводить перекрестную проверку данных с сектором «Промышленные процессы и использование продукции», избегая двойного учета.

6. Выбросы диоксида углерода (CO₂), относящиеся к использованию доменного газа, учитываются в секторе «ППИП» (черная металлургия), поэтому для того, чтобы избежать двойного учета, рекомендуется исключить доменный газ из расчетов в категории «Сжигание топлива».

7. Однако выбросы метана (CH₄) и закиси азота (N₂O) от сжигания доменного газа должны быть включены в сектор «Энергетика».

Ситуация, когда выбросы в пределах черной металлургии частично надо относить к сектору «Энергетика», а частично к сектору «Промышленные процессы и использование продукции» (черная металлургия), не позволяет видеть картину в отрасли целиком. Такой подход, т. е. двойственность оценки, затрудняет анализ тенденций по выбросам парниковых газов в отраслях промышленности, в том числе в черной металлургии.

Анализ официальных данных по выбросам CO₂ и оценка доли черной металлургии в общих выбросах

Согласно «Шестому национальному сообщению РФ», [11] в России антропогенные выбросы парниковых газов в 2011 г. составили более 2,3 млрд т CO₂-экв. Наибольший вклад в совокупный антропогенный выброс парниковых газов вносит энергетика: в 1990 г. вклад энергетика, выраженный в CO₂-экв., составлял 81,0 %, а в 2011 г. – 82,7 % [11]. Вклад промышленного сектора составлял 8,7 и 8,6 % соответственно. Наиболее значительным источником выбросов в промышленном секторе является металлургия – в 2011 г. они составили 52,9 % или 92 млн т¹. В этих выбросах не были учтены выбросы CO₂ в черной металлургии, поскольку они были отнесены к энергетическому сектору

Большая часть выбросов приходится на CO₂. Динамика изменения эмиссии CO₂ по годам приведена на рис. 1 [10 и 11].

Анализ показывает, что в сообщении [11] выбросы парниковых газов в черной металлургии отнесены к сектору «Энергетика», а в национальном докладе о кадастре антропогенных выбросов [10] они учтены совместно с выбросами цветной металлургии в субсекторе «Металлургия». Чтобы оценить долю ЧМ в общих выбросах CO₂ в атмосферу на территории РФ, рассмотрим обобщенные данные, приведенные в табл. 5².

Видно, что совокупные выбросы CO₂ в черной металлургии по сравнению с 1990 г. снизились, хотя в ферросплавном производстве наблюдается их увеличение.

Доля черной металлургии в выбросах CO₂ к 2011 г. возросла по сравнению с 1990 г. (4,1 %) и составила 5,2 %. Но это находится в пределах ошибки расчетов, поскольку методология из года в год совершенствуется.

Кроме того, не исключено, что в выбросах ЧМ мог наблюдаться двойной учет, поскольку порой не совсем понятно, какие выбросы надо относить к сектору «Энергетика», а какие – непосредственно к промышленным процессам.

На данном этапе, методические рекомендации [9], национальный доклад [10], Шестое национальное сообщение РФ [11] нацелены не столько на поиски резервов сокращения выбросов парниковых газов в конкретных отраслях промышленности или на предприятиях, сколько на полноту их инвентаризации, независимо от того, в каком секторе экономики они будут учтены. На это указывает также формат итоговой таблицы, в кото-

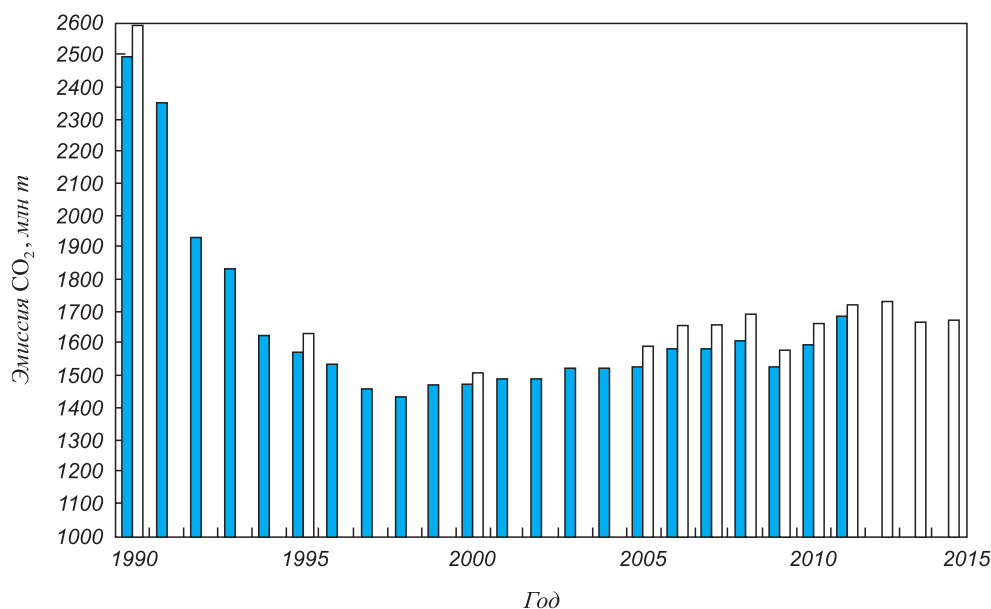


Рис. 1. Выбросы CO₂ в атмосферу на территории РФ за 1990 – 2015 гг., млн т, по данным:

■ – [11]; □ – [10]

Fig. 1. Emissions of CO₂ into the atmosphere on the territory of the Russian Federation for the period 1990 – 2015, mln. ton according to data:

■ – [11]; □ – [10]

¹ Без учета выбросов черной металлургии, поскольку они были отнесены к энергетическому сектору.

² Расчеты выбросов антропогенных газов и CO₂ проводились с использованием данных, приведенных в табл. 2 – 4 по описанной выше методологии.

Таблица 5

Выбросы CO₂ в атмосферу на территории РФ в черной металлургии, млн т
Table 5. Emissions of CO₂ into the atmosphere in ferrous metallurgy on the territory of Russian Federation, mln. ton

1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Выбросы парниковых газов от сектора «Промышленные процессы и использование продуктов», Гг CO ₂ -экв.*													
298 475	181 458	197 356	210 555	219 463	222 308	213 026	186 883	203 968	207 039	214 271	214 691	214 068	209 981
Выбросы CO ₂ в атмосферу на территории РФ, млн т*													
2589,9	1629,6	1504,3	1594,1	1653,5	1653,4	1685,3	1577,0	1663,3	1718,1	1728,5	1667,9	1671,1	1670,8
Выбросы CO ₂ от производства окатышей, чугуна, стали и железа прямого восстановления*													
102,6	67,3	75,3	81,8	88,1	87,6	82,8	76,0	82,9	83,1	80,0	74,2	76,1	75,5
Выбросы CO ₂ от производства ферросплавов*													
0,28	1,7	2,4	3,1	3,4	3,5	3,3	2,7	3,6	3,9	3,9	3,8	3,9	3,8
Выбросы CO ₂ в атмосферу на территории РФ в черной металлургии**													
102,88	69,0	77,7	84,9	91,5	91,1	86,1	78,7	86,5	87,0	83,9	78,0	80,0	79,3
Доля черной металлургии в антропогенных выбросах CO ₂ на территории РФ, %**													
4,0	4,1	5,2	5,3	5,5	5,5	5,1	5,0	5,1	5,2	4,9	4,7	4,8	4,8

* Данные из работы [10].

** Расчет.

рой необходимо указывать лишь региональные суммарные выбросы по секторам экономики [10].

Для выявления резервов сокращения парниковых газов необходимо детализировать выбросы в технологических процессах, в которых тепловые и окислительно-восстановительные процессы протекают одновременно. Если ставить задачу сокращения потребления углерода и выбросов CO₂, то все процессы необходимо рассматривать и отдельно, и в совокупности с другими процессами, в том числе в смежных производствах.

В рекомендуемом МГЭИК Секторном подходе предлагается проводить расчет выбросов по категориям источников на основе данных о потреблении топлива в различных отраслях и секторах экономики и он обязателен для России. Это означает, что черная металлургия, которая является одной из крупных отраслей, на которую приходится более 10 % топливно-энергетических ресурсов, потребляемых промышленностью, должна в обязательном порядке проводить инвентаризацию выбросов парниковых газов с целью выявления резервов их сокращения.

В случае с черной металлургией для расчетов подходит Детальный подход, «снизу-вверх», т. е. все выбросы доменного производства следовало бы отнести к выбросам доменного производства, а не к энергетике. То же самое и по другим переделам металлургического производства. Тогда доля энергетики будет составлять около 50 % выбросов парниковых газов, а не 80 %, как приводится в работе [11].

Долгосрочная цель инвентаризации – поиск путей сокращения антропогенных выбросов CO₂, должна реализовываться на Детальном подходе методов, предло-

женных МГЭИК, с учетом региональных и национальных особенностей производства стали и ферросплавов предприятиями черной металлургии.

Такой подход с некоторыми вариациями предлагали в своих работах Юсфин Ю.С. с соавторами [3, 12], Шевелев Л.Н. [5, 13], Лисиенко В.Г. с соавторами [6, 14], Симонян Л.М., Потапочкин А.Н. с соавторами [15 – 18] и др. Несмотря на некоторые различия в методах оценки, они позволяют предприятиям более четко учитывать потребление углерода и выбросы CO₂, находить резервы сокращения и прогнозировать на отдаленные перспективы.

По ориентировочным оценкам, антропогенные выбросы составляют 1/10 часть естественных выбросов [15, 18] (рис. 2).

Из представленных на рис. 2 данных видно, что на мировую энергетику приходится 50 % всех антропогенных выбросов, на черную металлургию – 7,3 %, в том числе на доменное производство 51,2 %, кислородно-конвертерное – 4,0 %, электросталеплавильное – 2,2 %.

Аналогичные оценки антропогенных выбросов CO₂ для РФ показали, что доля энергетики в 2001 г. составляла 45 %, доля металлургии – 11 %, в т. ч. черной металлургии – 5,8 %. [15 – 18]. Подобная ситуация с небольшими вариациями характерна и для других годов (см. долю черной металлургии в табл. 5). В целом отечественная черная металлургия выбрасывает в атмосферу примерно 80 млн т CO₂/год (для сравнения, в мире – 1,62 млрд т), что составляет 5 % от мировых выбросов предприятиями черной металлургии.

В разных странах, используя методологию МГЭИК, разрабатывают свои методы для оценки эмиссии пар-

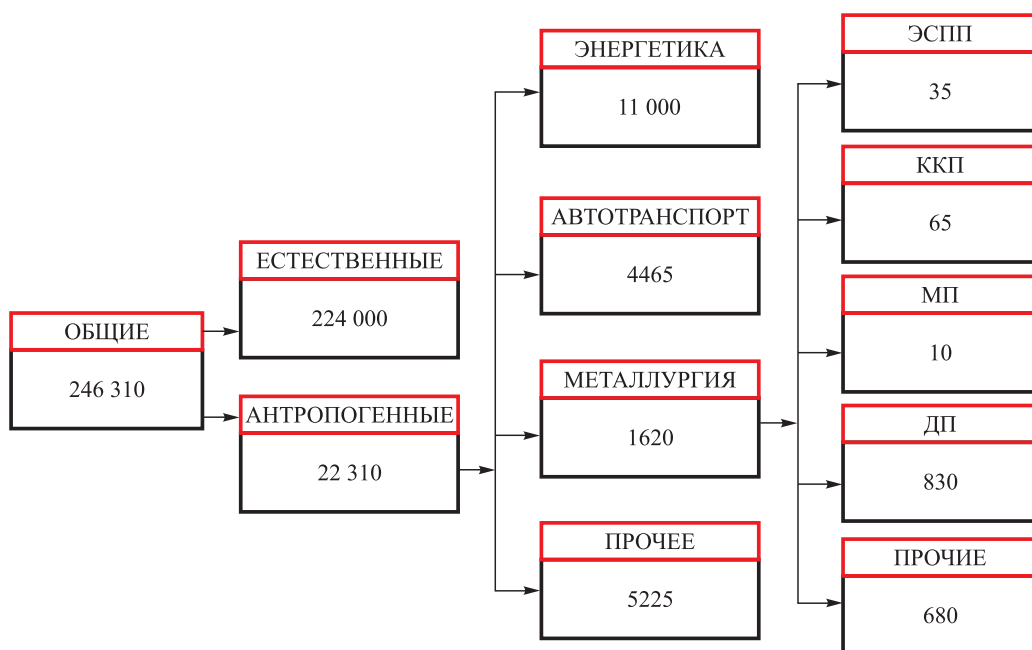


Рис. 2. Ориентировочная оценка выбросов CO₂ в атмосферу в мире (2001 г.)

Fig. 2. Approximate estimation of CO₂ emissions in the world (2001)

никовых газов [19, 20]. Основным критерием достоверности полученных результатов является согласие суммарных отраслевых и национальные выбросов, полученных разными способами оценки.

Выводы

Проведен анализ методологии расчета парниковых газов в черной металлургии (на примере CO_2). Показано, что доля отрасли в промышленных выбросах CO_2 на территории РФ составляет около 4,8 %. Использование различных подходов и уровней расчетов применительно к различным переделам черной металлургии не позволяет выявлять проблемы отрасли и резервы сокращения выбросов парникового газа. Сделан вывод, что независимо от того, в каких статьях кадастра парниковых газов будут учитываться выбросы предприятий и переделов черной металлургии, ее следовало выделить в отдельную группу и использовать унифицированный подход для инвентаризации парникового газа с детализацией процессов. Для этого необходимо использовать Детальный подход «снизу-вверх» и метод Уровня 3.

В целом отечественная черная металлургия выбрасывает в атмосферу примерно 80 млн т CO_2 /год (для сравнения, в мире – 1,62 млрд т), что составляет 5 % от мировых выбросов предприятиями ЧМ. Если государство заинтересовано в сокращении эмиссии парниковых газов, то предприятия, способствующие этому, должны получать поддержку в виде льгот.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кондратьев К. Я., Демирчан К.С. Глобальные изменения климата и круговорот углерода // Изв. РГО. 2000. Т. 132. Вып. 4. С. 1 – 20.
2. Бердин В.Х., Васильев С.В., Данилов-Данильян В.И. и др. Киотский протокол: вопросы и ответы. Режим доступа: https://wwf.ru/upload/iblock/3e3/kyoto_qa.pdf.
3. Юсфин Ю.С., Леонтьев Л.И., Черноусов П.И. Промышленность и окружающая среда. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 469 с.
4. Лякишев Н.П., Ревякин А.В. Проблема глобального потепления и черная металлургия // Сталь. 2000. № 10. С. 104 – 108.
5. Шевелев Л.Н. Методические основы инвентаризации парниковых газов в черной металлургии России // Металлург. № 3. 2007. С. 29 – 30.
6. Лисиенко В.Г., Лаптева А.В., Чесноков Ю.Н., Луговкин В.В. Сравнительная эмиссия парникового газа CO_2 в переделах черной металлургии // Изв. вуз. Черная металлургия. 2015. Т. 58. № 9. С. 625 – 629.
7. Сорохтин О.Г. Эволюция климатов Земли // Первое сентября. Физика. 2007. № 9. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://fiz.1september.ru/article.php?ID=200700907>.
8. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата. Принята 9 мая 1992 г. Режим доступа: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml.
9. Методические рекомендации по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации. – М., 2017. – 370 с. Режим доступа: <http://www.ncsf.ru/uploads/userfiles/files/metodRekomendatsii.pdf>.
10. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2015 гг. Часть 1. – М., 2017. – 471 с.
11. Шестое национальное сообщение Российской Федерации, представленное в соответствии со статьями 4 и 12 Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата и статьей 7 Киотского протокола. – М., 2013. – 281 с.
12. Yusfin Yu.S., Chernousov P.I., Nedelin S.V. Evaluation of different steelmaking methods on the basis of environmental and conservation concerns // Metallurgist. 2001. Vol. 45. No. 5 – 6. P. 189 – 194.
13. Шевелев Л.Н. Оценка эмиссии парниковых газов на предприятиях металлургической промышленности. Международная конференция // Металлург. 2007. № 7. С. 9 – 15.
14. Lisienco V., Anufriev V., Berg D. etc. The greenhouse index of sustainable development for metallurgical processes of production in aspect of green power // E3S Web of Conferences. 2016. Vol. 6. 03010.
15. Симонян Л.М., Потапочкин А.Н., Мустафин Р.М. Методы оценки и анализ источников выбросов CO_2 с использованием автоматизированной базы данных // Электрометаллургия. № 7. 2004. С. 37 – 40.
16. Потапочкин А.Н., Симонян Л.М., Черноусов П.И., Косырев К.Л. Потребление углерода и выбросы CO_2 в черной металлургии: варианты оценки // Сталь. 2004. № 9. С. 69 – 72.
17. Potapochkin A.N., Simonyan L.M., Mustafin R.M., Chernousov P.I. Analysis of the source of CO_2 emissions in ferrous metallurgy and corresponding estimation methods // Steel in Translation. Vol. 35. Issue 1. 2005. P. 78 – 82.
18. Симонян Л.М., Потапочкин А.Н. Автоматизированная база данных «Информационная система CO_2 -мониторинга металлургического производства» // Записки горного института. Экология и рациональное природопользование. Т. 166. – СПб., 2005. С. 126 – 128.
19. Zhang Q., Jia G.-Y., Cai J.-J., Shen F.-M. Carbon flow analysis and CO_2 -emission reduction strategies of iron-making system in steel enterprise. Source of the Document Dongbei Daxue Xuebao // Journal of Northeastern University. 2013. Vol. 34 (3). P. 392 – 394+403.
20. Imris M., Swartling M., Heegaard B.M., Santén S. IRON ARC: A coke-less ironmaking process // AISTech – Iron and Steel Technology Conference Proceedings. 2014. Vol. 1. P. 539 – 546.

Поступила 24 декабря 2017 г.

ANALYSIS OF THE METHODOLOGY FOR DETERMINING CO₂ EMISSIONS ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION IN RESPECT TO THE FERROUS METALLURGY

L.M. Simonyan

National University of Science and Technology “MISIS” (MISIS),
Moscow, Russia

Abstract. Nowadays there are different points of view about the cause of global climate change. The current warming, according to one version, is related to the greenhouse effect, i.e. with increasing concentrations of greenhouse gases (mainly carbon dioxide, CO₂) in the atmosphere. It is believed that the uncontrolled growth of greenhouse gases in the atmosphere may lead to negative consequences. The position of UNFCCC and IPCC proposing accounting of greenhouse gases is of recommendatory nature. In particular, an inventory of greenhouse gases can be produced, taking into account the particularities of national development. The main objective of the greenhouse gas inventory is defining reserves to reduce them. Main anthropogenic sources of CO₂ formation in the Russian Federation are reviewed. Comparative indicators of CO₂ emissions in different sectors of production are provided. The methodology for greenhouse gases in Russia is considered, in particular with respect to the steel industry. The analysis has shown that official methods to assess CO₂ emissions into the atmosphere are mainly Base and Sectoral approaches and Level 2 method. Detailed approach and Level 3 method are used for a limited number of metallurgical processing. Part of the CO₂ emissions from ferrous metallurgy, in particular the emissions from the production of blast furnace coke, is accounted in the energy sector. According to the inventory estimation, total anthropogenic CO₂ emissions on the territory of RF have decreased and amounted in 2015 75 % from the level of 1990: compared to 1990, the CO₂ emissions of the steel industry also decreased. Estimated share of the ferrous metallurgy in anthropogenic emissions of CO₂ compared to 1990 (4.0 %) has increased and amounted to 4.8 % in 2015.

Keywords: greenhouse gases, CO₂ emission, ferrous metallurgy, Kyoto Protocol, UNFCCC, IPCC, inventory of greenhouse gases.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-9-721-730

REFERENCES

- Kondrat'ev K.Ya., Demirchan K.S. Global climate change and the carbon cycle. *Izv. RGO*. 2000, vol. 132, Issue 4, pp. 1–20. (In Russ.).
- Berdin V.Kh., Vasil'ev S.V., Danilov-Danil'yan V.I. etc. *Kiotskii protokol: voprosy i otvety* [Kyoto Protocol: questions and answers]. Available at URL: https://wwf.ru/upload/iblock/3c3/kyoto_qa.pdf (In Russ.).
- Yusfin Yu.S., Leont'ev L.I., Chernousov P.I. *Promyshlennost' i okruzhayushchaya sreda* [Industry and environment]. Moscow: Akademkniga, 2002, 469 p. (In Russ.).
- Lyakishev N.P., Revyakin A.V. Global warming and ferrous metallurgy. *Stal'*. 2000, no. 10, pp. 104–108. (In Russ.).
- Shevelev L.N. Methodical bases of greenhouse gas inventory in Russian steel industry. *Metallurg*. 2007, no. 3, pp. 29–30. (In Russ.).
- Lisienko V.G., Lapteva A.V., Chesnokov Yu.N., Lugovkin V.V. Comparative emission of greenhouse gas CO₂ in the processing of ferrous metallurgy. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2015, vol. 58, no. 9, pp. 625–629. (In Russ.).
- Sorokhtin O.G. Evolution of the Earth climates. *Pervoe sentyabrya. Fizika*. 2007, no. 9. Electronic resource. Available at URL: <http://fiz.1september.ru/article.php?ID=200700907> (In Russ.).
- Ramochnaya konventsiya Organizatsii Ob"edinennykh Natsii ob izmenenii klimata. *Prinyata 9 maya 1992 g.* [The United Nations Framework Convention on climate change. Adopted May 9, 1992]. Available at URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml (In Russ.).
- Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu dobrovol'noi inventarizatsii ob"ema vybrosov parnikovykh gazov v sub"ektakh rossiiskoi federatsii [Methodical recommendations for voluntary greenhouse gas inventory in the constituent entities of the Russian Federation]. Moscow: 2017, 370 p. Available at URL: <http://www.ncsf.ru/uploads/userfiles/files/metodRekomendatsii.pdf> (In Russ.).
- Natsional'nyi doklad o kadastre antropogennykh vybrosov iz istochnikov i absorptsii poglotitelyami parnikovykh gazov ne reguliruemyykh Monreal'skim protokolom za 1990 – 2015gg. *Chast' 1* [National report on inventory of anthropogenic emissions from sources and removals by sinks of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol for the 1990–2015. Part 1]. Moscow: 2017, 471 p. (In Russ.).
- Shestoe natsional'noe soobshchenie rossiiskoi federatsii predstavlennoe v sootvetstvii so stat'yami 4 i 12 Ramochnoi Konventsii Organizatsii Ob"edinennykh Natsii ob izmenenii klimata i stat'ei 7 Kiotskogo protokola [The 6th national communication of the Russian Federation submitted in accordance with articles 4 and 12 of the United Nations Framework Convention on climate change and article 7 of the Kyoto Protocol]. Moscow: 2013, 281 p. (In Russ.).
- Yusfin Yu.S., Chernousov P.I., Nedelin S.V. Evaluation of different steelmaking methods on the basis of environmental and conservation concerns. *Metallurgist*. 2001, vol. 45, no. 5-6, pp. 189–194.
- Shevelev L.N. Assessment of greenhouse gas emissions in the metallurgical industry. International Conference. *Metallurg*. 2007, no. 7, pp. 9–15. (In Russ.).
- Lisienko V., Anufriev V., Berg D., Chesnokov Y., Lapteva A. The greenhouse index of sustainable development for metallurgical processes of production in aspect of green power. *E3S Web of Conferences*. 2016, vol. 6, 03010.
- Simonyan L.M., Potapochkin A.N., Mustafin R.M. Methods of estimation and analysis of the sources of CO₂ emissions using an automated data base. *Elektrometallurgiya*. 2007, no. 7, pp. 37–40. (In Russ.).
- Potapochkin A.N., Simonyan L.M., Chernousov P.I., Kosyrev K.L. Consumption of carbon and CO₂ emissions in ferrous metallurgy: evaluation options. *Stal'*. 2004, no. 9, pp. 69–72. (In Russ.).
- Potapochkin A.N., Simonyan L.M., Mustafin R.M., Chernousov P.I. Analysis of the source of CO₂ emissions in ferrous metallurgy and corresponding estimation methods. *Steel in Translation*. 2005, vol. 35, no. 1, pp. 78–82.
- Simonyan L.M., Potapochkin A.N. Automated database “Information System of the CO₂-monitoring of metallurgical production. In: *Zapiski gornogo instituta. Ekologiya i ratsional'noe prirodoopol'zovanie. T. 166* [Notes of the Mining Institute. Ecology and environmental management. Vol. 166]. St. Petersburg, 2005, pp. 126–128. (In Russ.).
- Zhang Q., Jia G.-Y., Cai J.-J., Shen F.-M. Carbon flow analysis and CO₂-emission reduction strategies of iron-making system in steel enterprise. Source of the Document Dongbei Daxue Xuebao. *Journal of Northeastern University*. 2013, vol. 34 (3), pp. 392–394+403.
- Imris M., Swartling M., Heegaard B.M., Santén S. IRON ARC: A coke-less ironmaking process. *AISTech – Iron and Steel Technology Conference Proceedings*. 2014, vol. 1, pp. 539–546.

Information about the author:

L.M. Simonyan, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair of Metallurgy of Steel, New Production Technologies and Metal Protection (lmsimonyan@yandex.ru)

Received December 24, 2017