

Методика розрахунку викидів CO₂ підприємством

У науковій та нормативній літературі існує велика кількість методів розрахунку викидів CO₂ технологічними агрегатами та підприємствами чорної металургії. Серед інших слід зазначити методику Українського державного науково-технічного центру «Енергосталь», розроблену на основі світового досвіду¹.

Детальний облік викидів CO₂ потребує чіткого визначення меж технологічних агрегатів та підприємств і складання матеріальних та теплових балансів кожного з технологічних процесів. Оскільки чинне видання спрямоване на міждисциплінарну аудиторію, ми наводимо найбільш спрощену методику World Steel Association, що базується на обліку матеріальних потоків підприємства. Цією міжнародною організацією запроваджується проект з добровільного звітування про викиди парникових газів її членами (понад 130 підприємств у 55 країнах), які використовують спільну методику обліку викидів CO₂, що має статус міжнародного стандарту ISO 14404:2013 – Метод розрахунку викидів диоксиду вуглецю при виробництві чавуну та сталі². Стандарт¹ складається з двох частин, перша з яких стосується підприємств з доменною піччю та кисневим конвертором, а друга – підприємств з електродуговими печами. Метод застосовує підхід, заснований на даних про питомі викиди CO₂ (CO₂ emissions intensity), якими супроводжується виробництво або використання певних матеріалів.

Цей метод дуже узагальнений і застосовується лише для підприємства в цілому. Він не є достатньо глибоким для використання в дослідницьких цілях, а також для визначення викидів окремими агрегатами. Втім, його суттєвою перевагою є простота, а отже, саме з нього можна розпочати ознайомлення з основами обліку викидів CO₂. Цей метод розглядає металургійне підприємство як певну одиницю, що має ті чи інші питомі викиди CO₂.

Як відомо, стандарти не підлягають перевиданню чи копіюванню. Зважаючи на це, автор радить для детального ознайомлення звертатися безпосередньо до стандарту. Втім, ми вважаємо за необхідне роз'яснити застосовані методичні підходи – задля допомоги тим, хто робить перший крок та зацікавлений у більш детальному вивченні та майбутньому застосуванні цього стандарту чи інших методичних підходів. У нижченаведеному матеріалі, для полегшення сприйняття матеріалу, обидві частини стандарту поєднано та викладено у власній редакції автора. Оскільки термінологія обліку викидів CO₂ не є усталеною у сучасній україномовній літературі, автором застосовано власні переклади термінів стандарту і англомовні терміни наведено у дужках.

Стандарт визначає наступні три складові викидів CO₂.

Попередні викиди CO₂ (upstream CO₂ emission) – викиди, спричинені внаслідок діяльності, що відбулася поза межами підприємства, зокрема, при виробництві сировинних матеріалів та енергоносіїв. В англомовній літературі цю діяльність також називають аутсорсінгом. Прикладами такої діяльності можуть бути виробництво коксу, випал вапна та доломіту, виробництво огрудкованих залізородних матеріалів, кисню, азоту, а також викиди при генеруванні електроенергії та водяної пари поза межами металургійного підприємства. Для підприємств з неповним циклом це може бути виробництво чавуну або металізованого заліза. Перелік таких викидів залежить від складу підприємства: наприклад, деякі підприємства з повним циклом мають у своєму складі агломераційну фабрику, а отже, викиди CO₂ при виробництві агломерату у цьому випадку належать до складу прямих викидів (див. нижче), у той час як для підприємств, що не мають

¹ У чинному виданні використано британську версію стандарту.

аглофабрик, викиди CO₂ при виробництві агломерату відносять до складу попередніх викидів.

Прямі викиди CO₂ (direct CO₂ emission) – викиди, спричинені усіма видами діяльності, що відбуваються безпосередньо в межах металургійного підприємства.

Кредитовані викиди CO₂ (credit CO₂ emission) – це викиди CO₂, що відбуваються при використанні вироблених або побічних продуктів, а також генерованої електрики чи пари поза межами металургійного підприємства.

Перелік умовних позначень, застосовані одиниці вимірювання та назви англійською та українською мовами, що використовуються в ISO 14404-2013, наведено в табл 7.1.

Встановлюючи межі виробничих потужностей підприємства стосовно обліку викидів CO₂, стандарт визначає наступні чотири категорії (див рис. 7.1):

Категорія 1. Основні технологічні апарати цієї категорії пов'язані з виплавою або переробкою рідкого металу і включають:

- доменні печі;
- кисневі конвертори; – розливу сталі.

Категорія 2. Апарати цієї категорії можуть бути або частиною підприємства, або функціонувати поза його межами (аутсорсінг). В останньому випадку шихтові матеріали та/або енергоносії постачаються сторонніми підприємствами, але викиди CO₂, що відбулися на попередніх стадіях (upstream CO₂ emissions), мають бути враховані. До складу цієї категорії входять:

- аглофабрика;
- піч для випалу вапна;
- фабрика випалу окатишів;
- коксохімічне виробництво;
- виробництво кисню;
- парові котли; – електростанція.

В окремих випадках (на рис. 7.1 це не показано) до цієї категорії можуть входити апарати з виробництва чавуну, що постачається ззовні у вигляді розплаву або чушок, а також апарати з виробництва металізованого продукту (DRI), який може бути вироблений з використанням природного газу або вугілля. Категорія 3. До складу цієї категорії входять технологічні агрегати, що пов'язані з подальшою переробкою відливок:

- цехи гарячої прокатки;
- цехи холодної прокатки;
- цехи нанесення покриттів;
- інші технологічні агрегати, наприклад, трубопрокатні стани.

Категорія 4. До цієї категорії входять технологічні апарати, що можуть бути віднесені до допоміжних служб, пов'язаних з переробкою, утилізацією або виготовленням таких матеріалів як пластик, скрап, десульфуратори, графітові електроди, сплави, флюси для ковшової металургії, пил, шлами тощо.

Таблиця 7.1

Умовні позначення, їх одиниці вимірювання та назви

Символи	Одиниці виміру	Опис	
		Англійською	Українською

E_{d,CO_2}	т CO ₂	Direct CO ₂ emissions	Прямі викиди CO ₂
E_{u,CO_2}	т CO ₂	Upstream CO ₂ emissions	Попередні викиди CO ₂
E_{c,CO_2}	т CO ₂	Credit CO ₂ emissions	Кредитовані викиди CO ₂ .
$E_{CO_2,annual}$	т CO ₂	Annual CO ₂ emissions	Річні викиди CO ₂
I_{CO_2}	т CO ₂ на 1 т	CO ₂ intensity factor	Питомі викиди підприємства CO ₂
K_{t,d,CO_2}	т CO ₂ на одиницю продукції	Emission factor for calculation of direct CO ₂ emissions	Коефіцієнт викидів для розрахунку прямих викидів CO ₂
K_{t,u,CO_2}	т CO ₂ на одиницю продукції	Emission factor for calculation of upstream CO ₂ emissions	Коефіцієнт викидів для розрахунку попередніх викидів CO ₂
K_{t,c,CO_2}	т CO ₂ на одиницю продукції	Emission factor for calculation of credit CO ₂ emissions	Коефіцієнт викидів для розрахунку кредитованих викидів CO ₂
P	т	Annual crude steel production	Річне виробництво чорної сталі
Q_{t,d,CO_2}	—	Quantities of direct CO ₂ emission sources	Кількісні параметри джерел прямих викидів CO ₂
Q_{t,u,CO_2}	—	Quantities of upstream CO ₂ emission sources	Кількісні параметри джерел попередніх викидів CO ₂
Q_{t,c,CO_2}	—	Quantities of credit CO ₂ emission sources	Кількісні параметри джерел кредитованих викидів CO ₂

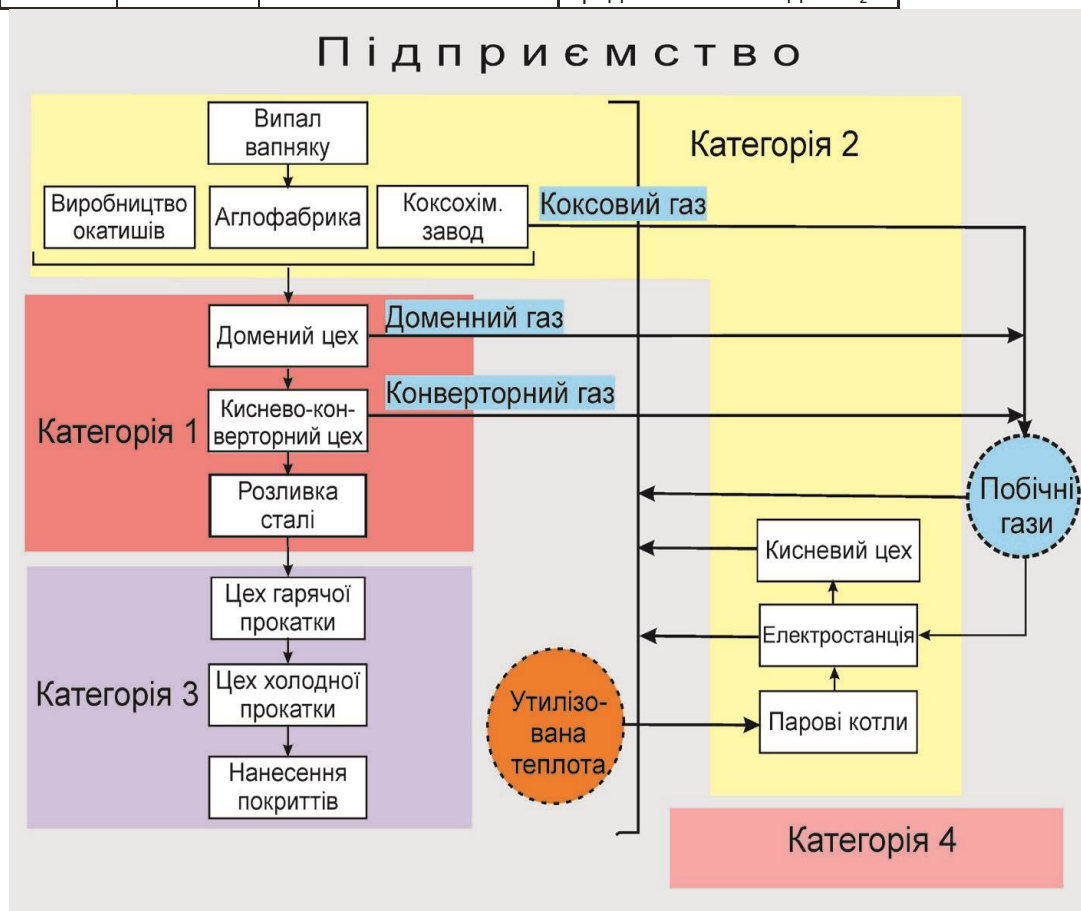


Рис. 7.1 Основні технологічні апарати типового металургійного підприємства з повним циклом виробництва.

Облік викидів включає наступні кроки.

Крок 1. Ідентифікація категорій.

Крок 2. Визначення річного виробництва сталі на підприємстві.

Крок 3. Визначення джерел утворення викидів CO₂ протягом року – безпосередніх та на попередніх стадіях, спираючись на дані про шихтові матеріали, проміжні продукти та енергоносії, що постачаються на підприємство.

Крок 4. Визначення джерел викидів CO₂ на наступних стадіях виробництва, спираючись на дані про шихтові матеріали, проміжні продукти та енергоносії, що їх підприємство постачає назовні.

Крок 5. Розрахунок річних викидів CO₂ з використанням даних про коефіцієнти викидів.

Інформацію про можливі джерела викидів, одиниці їхнього вимірювання та застосовані умовні позначення наведено в табл. 7.2. Слід зазначити, що до джерел кредитованих викидів мав би належати також шлак, що постачається, зокрема, підприємствам будівельної промисловості, оскільки завдяки використанню шлаку зменшується потреба у випалюванні каменю для виробництва цементу. Worldsteel наразі узгоджує з представниками цементної промисловості взаємоприйнятні підходи до питання обліку викидів CO₂, пов'язаних з постачанням шлаку (точніше сказати – запобігання цих викидів).

Таблиця 7.2

Джерела викидів, одиниці їхнього вимірювання та умовні позначення

№	Джерело викидів	Одиниця вимірювання	Позначення джерел викидів		
			Прямі викиди Q_{t,d,CO_2}	Попередні викиди Q_{t,u,CO_2}	Кредитовані викиди Q_{t,c,CO_2}
Газоподібне паливо					
1	Природний газ	103 м ³	Q_{1,d,CO_2}	-	Q_{1,c,CO_2}
2	Коксовий газ	103м ³	Q_{2,d,CO_2}	-	Q_{2,c,CO_2}
3	Доменний газ	103м ³	Q_{3,d,CO_2}	-	Q_{3,c,CO_2}
4	Конверторний газ	103м ³	Q_{4,d,CO_2}	-	Q_{4,c,CO_2}
Рідке паливо					
5	Мазут	м ³	Q_{5,d,CO_2}	-	Q_{5,c,CO_2}
6	Нафта	м ³	Q_{6,d,CO_2}	-	Q_{6,c,CO_2}
7	Керосин	м ³	Q_{7,d,CO_2}	-	Q_{7,c,CO_2}
8	Зріджений газ	т	Q_{8,d,CO_2}	-	Q_{8,c,CO_2}
Тверде паливо					
9	Коксівне вугілля	т	Q_{9,d,CO_2}	-	Q_{9,c,CO_2}
10	Пиловугільне паливо	т	Q_{10,d,CO_2}	-	Q_{10,c,CO_2}
11	Вугілля, використане у виробництві агломерату або сталі	т	Q_{11,d,CO_2}	-	Q_{11,c,CO_2}
12	Вугілля для генерації пари	т	Q_{12,d,CO_2}	-	Q_{12,c,CO_2}
13	Кокс	т	Q_{13,d,CO_2}	Q_{13,u,CO_2}	Q_{13,c,CO_2}
14	Деревне вугілля	т	Q_{14,d,CO_2}	-	Q_{14,c,CO_2}

Допоміжні матеріали					
15	Вапняк	т	Q15,d,CO2	-	Q15,c,CO2
16	Вапно	т	-	Q16,u,CO2	Q16,c,CO2
17	Сирий доломіт	т	Q17,d,CO2	-	Q17,c,CO2
18	Випалений доломіт	т	-	Q18,u,CO2	Q18,c,CO2
19	Азот	103м3	-	Q19,u,CO2	Q19,c,CO2
№	Джерело викидів	Одиниця вимірювання	Позначення джерел викидів		
			Прямі викиди Qt,d,CO2	Попередні викиди Qt,u,CO2	Кредитовані викиди Qt,c,CO2
20	Аргон	103м3	-	Q20,u,CO2	Q20,c,CO2
21	Кисень	103м3	-	Q21,u,CO2	Q21,c,CO2
Енергоносії					
22	Електрична енергія	МВт	-	Q22,u,CO2	Q22,c,CO2
23	Пара	т	-	Q23,u,CO2	Q23,c,CO2
Залізовмісні матеріали					
24	Окатиші	т	-	Q24,u,CO2	Q24,c,CO2
25	Агломерат	т	-	Q25,u,CO2	Q25,c,CO2
26	Рідкий чавун	т	Q26,d,CO2	Q26,u,CO2	Q26,c,CO2
27	Чушковий чавун	т	Q27,d,CO2	Q27,u,CO2	Q27,c,CO2
28	DRI, отримане з використанням газу	т	Q28,d,CO2	Q28,u,CO2	Q28,c,CO2
29	DRI, отримане з використанням вугілля	т	Q29,d,CO2	Q29,u,CO2	Q29,c,CO2
Феросплави					
30	Феронікель	т	Q30,d,CO2	-	Q30,c,CO2
31	Ферохром	т	Q31,d,CO2	-	Q31,c,CO2
32	Феромолібден	т	Q32,d,CO2	-	Q32,c,CO2
Інші побічні продукти					
33	CO2 для зовнішнього використання	т	Q33,d,CO2	-	Q33,c,CO2
34	Кам'яновугільна смола	т	Q34,d,CO2	-	Q34,c,CO2
35	Бензол	т	Q35,d,CO2	-	Q35,c,CO2
Інше					
N	Інші продукти, виробництво або споживання яких супроводжується викидами	—	QN,d,CO2	QN,u,CO2	QN,c,CO2

Річні викиди CO₂ ($E_{CO_2,annual}$) та питомі викиди CO₂ підприємством (I_{CO_2}) на одиницю продукції розраховуються згідно до рівнянь (1) та (2) з використанням коефіцієнтів викидів CO₂, що відповідають джерелам прямих, попередніх та кредитованих викидів:

$$E_{CO_2,annual} = \sum_{f=1}^n K_{fd,CO_2} \times Q_{fd,CO_2} + \sum_{f=1}^n K_{fu,CO_2} \times Q_{fu,CO_2} - \sum_{f=1}^n K_{fc,CO_2} \times Q_{fc,CO_2} \quad , \text{ т CO}_2 \quad (1)$$

$$I_{CO_2} = E_{CO_2, \text{annual}} / P, \text{ т CO}_2/\text{т сталі}$$

(2) Підприємство може

використовувати власні дані щодо коефіцієнтів викидів CO₂, втім, якщо достовірні дані відсутні, можливе використання індикативних величин, що наведені в табл. 7.3. Методика Worldsteel, згідно зі стандартом ISO 14404:2013, спосіб визначення величин коефіцієнтів викидів не приводиться, втім, оскільки цей термін наразі не є загальноновживаним в українській літературі, автор вважає за доцільне ознайомити читача з загальним підходом до розрахунку коефіцієнту викидів на наступному прикладі.

Припустимо, використання однієї тонни коксу забезпечує виробництво двох тонн чорної сталі, вміст вуглецю в сухому коксі складає 89,43%, а середній вміст вуглецю в сталі становить 0,3%. Припустимо також, що весь вуглець коксу при його використанні на металургійному підприємстві перетворюється на CO₂, за винятком частини вуглецю, що міститься в сталі. Тоді кількість CO₂, що утворюється при використанні однієї тонни коксу, можна розрахувати наступним чином:

$(1 \times 89,43 : 100 - 2 \times 0,3 : 100) \times 44 / 12 = 3,257$ тонн CO₂ на 1 тону коксу, де 44 та 12 – молекулярні маси CO₂, та вуглецю, відповідно, враховуючи рівняння окислення C+O₂=CO₂.

Задля наочності у цьому прикладі вміст вуглецю в коксі, питому витрату коксу на тону сталі та вміст вуглецю в сталі навмисно прийнято такими, що відповідають індикативній величині коефіцієнту викидів. Втім, для більш точного визначення цього коефіцієнту слід враховувати середні річні значення величин, що використовуються у розрахунку. Вказана величина відповідає прямим викидам. При визначенні непрямих викидів розраховується кількість викидів CO₂, що утворилися при спалюванні газової суміші в коксових батареях. Кредитовані викиди є сумою прямих та непрямих викидів.

Табл. 7.3 слід прокоментувати. Що для деревного вугілля приймаються нульові коефіцієнти викидів, оскільки вважається, що CO₂, який утворюється при використанні деревного вугілля, нещодавно було вилучено з атмосфери шляхом фотосинтезу. Такий самий підхід, як правило, застосовується для біопалива, якщо воно використовується на підприємстві.

Таблиця 7.3 Індикативні величини коефіцієнтів викидів CO₂

№	Джерело викидів CO ₂	Коефіцієнт викидів, т CO ₂ на одиницю матеріалу або продукту у розмірності, що відповідає табл. 7.2		
		Прямі викиди (Kt,d,CO ₂)	Попередні викиди (Kt,u,CO ₂)	Кредитовані викиди (Kt,c,CO ₂)
Газоподібне паливо				
1	Природний газ	2,014	-	2,014
2	Коксовий газ	0,836	-	0,977a
				0,952b
3	Доменний газ	0,891	-	0,170a
				0,185b
4	Конверторний газ	1,512	-	0,432a
				0,470b

Рідке паливо				
5	Мазут	2,907	-	2,907
6	Нафта	2,601	-	2,601
7	Керосин	2,481	-	2,481
8	Зріджений газ	2,985	-	2,985
Тверде паливо				
9	Коксівне вугілля	3,059	-	3,059
10	Пиловугільне паливо	2,955	-	2,955
11	Вугілля, використане при виробництві агломерату або сталі	2,784	-	2,784
12	Вугілля для генерації пари	2,461	-	2,461
13	Кокс	3,257	0,224	3,481
14	Деревне вугілля	0,000	-	0,000
Допоміжні матеріали				
15	Вапняк	0,440	-	0,440

№	Джерело викидів CO ₂	Коефіцієнт викидів, т CO ₂ на одиницю матеріалу або продукту у розмірності, що відповідає табл. 7.2		
		Прямі викиди (Kt,d,CO ₂)	Попередні викиди (Kt,u,CO ₂)	Кредитовані викиди (Kt,c,CO ₂)
16	Вапно	-	0,950	0,950
17	Сирий доломіт	0,471	-	0,471
18	Випалений доломіт	-	1,100	1,100
19	Азот	-	0,103	0,103
20	Аргон	-	0,103	0,103
21	Кисень	-	0,355	0,355
Енергоносії				
22	Електрична енергія	-	0,504	0,504
23	Пара	-	0,195	0,195
Залізовмісні матеріали				
24	Окатиші	-	0,137	0,137
25	Агломерат	-	0,262	0,262
26	Рідкий чавун	0,172	1,855	2,027
27	Чушковий чавун	0,172	1,855	2,027
28	DRI, отримане з використанням газу	0,073	0,780	0,853

29	DRI, отримане з використанням вугілля	0,073	1,210	1,283
Феросплави				
30	Феронікель	0,037	-	0,037
31	Ферохром	0,275	-	0,275
32	Феромолібден	0,018	-	0,018
Інші побічні продукти				
33	CO ₂ для зовнішнього використання	1,000	-	1,000
34	Кам'яновугільна смола	3,389	-	3,389
35	Бензол	3,382	-	3,382
Інше				

№	Джерело викидів CO ₂	Коефіцієнт викидів, т CO ₂ на одиницю матеріалу або продукту у розмірності, що відповідає табл. 7.2		
		Прямі викиди (Kt,d,CO ₂)	Попередні викиди (Kt,u,CO ₂)	Кредитовані викиди (Kt,c,CO ₂)
N	Інші продукти, виробництво або споживання яких супроводжується викидами	с	с	с

a – величини, розраховані на основі середньосвітового коефіцієнту викидів CO₂ при генеруванні електроенергії (методику розрахунку див. нижче);

b – величини, розраховані на основі еквіваленту природного газу (методику розрахунку див. нижче); c – величини мають бути обґрунтовані та задокументовані.

Приклад розрахунку викидів CO₂ для металургійного комбінату з повним циклом

Для річного виробництва сталі у 7 млн. т застосовані показники споживання та постачання на сторону матеріалів та енергоносіїв, що наведені в табл. 7.4. Результати розрахунку річних та питомих викидів при виробництві сталі на підприємстві наведено в табл. 7.5.

Таблиця 7.4

Показники споживання (імпорт) та постачання назовні (експорт) матеріалів і продукції

№=t	Джерела викидів	Одиниці вимірювання	Імпорт	Експорт
Газоподібне паливо				
1	Природний газ	103 м3	50 000	—
2	Коксовий газ	103м3	—	80 000
3	Доменний газ	103м3	—	100 000

4	Конверторний газ	103м3	—	10 000
Рідке паливо				
5	Мазут	м3	5000	—
6	Нафта	м3	2000	—
7	Керосин	м3	800	—
8	Зріджений газ	т	3000	—
Тверде паливо				
9	Коксівне вугілля	т	3500000	—
10	Пиловугільне паливо	т	1000000	—
11	Вугілля, використане у виробництві агломерату або сталі	т	100000	—
12	Вугілля для генерації пари	т	600000	—
13	Кокс	т	200000	—
14	Деревне вугілля	т	—	—
Допоміжні матеріали				
15	Вапняк	т	1500000	—
16	Вапно	т	500000	—
17	Сирий доломіт	т	10000	—
18	Випалений доломіт	т	20000	—
19	Азот	103м3	1000000	20 000
20	Аргон	103м3	—	—
21	Кисень	103м3	800000	—
Енергоносії				

22	Електрична енергія	МВт	100000	1500000
23	Пара	т	—	50 000
Залізовмісні матеріали				
24	Окатиші	т	1000000	—
25	Агломерат	т	—	—
26	Рідкий чавун	т	—	—
27	Чушковий чавун	т	—	—
28	DRI, отримане з використанням газу	т	—	—
29	DRI, отримане з використанням вугілля	т	—	—
Феросплави				
30	Феронікель	т	—	—

31	Ферохром	т	—	—
32	Феромолібден	т	—	—
Інші побічні продукти				
33	CO2 для зовнішнього використання	т	—	—
34	Кам'яновугільна смола	т	—	90 000
35	Бензол	т	—	30 000
Інше				
N	Інші продукти, виробництво або споживання яких супроводжується викидами	—	—	—

Таблиця 7.5 Результати розрахунку викидів CO₂ підприємством

№	Джерело викидів	Одиниця вимірювання	Джерела викидів, т CO ₂		
			Прямі викиди	Попередні викиди	Кредитовані викиди
Газоподібне паливо					
1	Природний газ	103 м3	100 700	—	—
2	Коксовий газ	103м3	—	—	78 128
3	Доменний газ	103м3	—	—	16 962
4	Конверторний газ	103м3	—	—	4 318
Рідке паливо					
5	Мазут	м3	14 533	—	—
6	Нафта	м3	5 202	—	—
7	Керосин	м3	1 985	—	—
8	Зріджений газ	т	8 954	—	—
Тверде паливо					
9	Коксівне вугілля	т	10 706 500	—	—
10	Пиловугільне паливо	т	2 954 500	—	—
11	Вугілля, використане у виробництві агломерату або сталі	т	278 350	—	—
12	Вугілля для генерації пари	т	1 476 300	—	—
13	Кокс	т	651 364	44 880	—
14	Деревне вугілля	т	—	—	—
Допоміжні матеріали					
15	Вапняк	т	660 000	—	—
16	Вапно	т	—	475 000	—
17	Сирий доломіт	т	4 710	—	—
18	Випалений доломіт	т	—	22 000	—

19	Азот	103м3	—	102 800	2 056
20	Аргон	103м3	—	—	—
21	Кисень	103м3	—	283 728	—
Енергоносії					
22	Електрична енергія	МВт	—	50 372	755 580

23	Пара	т	—	—	9 776
Залізовмісні матеріали					
24	Окатиші	т	—	137 000	—
25	Агломерат	т	—	—	—
26	Рідкий чавун	т	—	—	—
27	Чушковий чавун	т	—	—	—
28	DRI, отримане з використанням газу	т	—	—	—
29	DRI, отримане з використанням вугілля	т	—	—	—
Феросплави					
30	Феронікель	т	—	—	—
31	Ферохром	т	—	—	—
32	Феромолібден	т	—	—	—
Інші побічні продукти					
33	CO ₂ для зовнішнього використання	т	—	—	—
34	Кам'яновугільна смола	т	—	—	305 040
35	Бензол	т	—	—	101 460
Інше					
IV	Інші продукти, виробництво або споживання яких супроводжується викидами	—	—	—	—
Разом			16 863 098	1 115 780	1 273 310
Усього викидів CO ₂			16 705 568		
Питомі викиди			2 387 кг/т сталі		

Пояснення щодо застосування коефіцієнтів викидів для побічних газів

Коксовий, доменний та конверторний газів – це побічні продукти. Вони є горючими й використовуються у якості палива селективно, залежно від хімічного складу та кількості. Доменний газ має досить низьку теплотворну здатність і здебільшого використовується для генерування електроенергії. Коксовий газ більш калорійний і використовується як паливо, наприклад, у нагрівальних колодязях, методичних печах прокатного виробництва тощо. Кількість конверторного газу не дуже значна, з огляду на що він здебільшого використовується як компонент суміші з іншими газами.

На металургійному комбінаті побічні газів активно утилізуються, але їх залишки часто можуть постачатися за межі підприємства. Ці «експортовані» побічні газів відносять до кредитованих викидів. Оскільки їх енергетичний еквівалент досить значний, його врахування дуже суттєве для визначення питомих викидів CO₂.

Вище в табл. 7.3 наведено два показники коефіцієнтів кредитованих викидів для побічних газів: перший визначено на основі середнього світового еквіваленту електроенергії (він може визначатися також на підставі фактичних даних для конкретної електростанції або середніх даних для певної країни), а другий – на основі еквіваленту природного газу.

Наприклад, якщо підприємство не має власної електростанції, доменний газ використовується на тій, що розташована неподалік. В цьому випадку методика Worldsteel передбачає визначення питомих викидів при використанні побічних газів поза межами підприємства за формулою:

$$A = B \times \frac{C}{D}, \text{ т CO}_2/10^3 \text{ м}^3 \quad (3)$$

де В – середньосвітове значення питомих викидів CO₂ при виробництві електроенергії, т CO₂/МВт; С – теплотворна здатність газу, ГДж/10³ м³; D – середньосвітове значення енерговитрат при виробництві електроенергії, ГДж/МВт.

Таким чином, методика Worldsteel визначає не кількість фактичних викидів CO₂ при використанні «експортованих» побічних газів, а тих, що було б заподіяно у випадку, якщо б електроенергія вироблялась не з цих газів, а зі середньостатистичного палива. Worldsteel використовуються наступні значення величин, що входять до формули 3:

	A	B	C	D*
Коксовий газ	0,977	0,504	19,0	9,8
Доменний газ	0,170	0,504	3,31	9,8
Конверторний газ	0,432	0,504	8,40	9,8

* Відповідає ККД при виробництві електроенергії на рівні 36,7%.

Оскільки коксовий газ більш калорійний, ніж середньостатистичне паливо, то питомі викиди, розраховані за формулою (3), будуть більшими ніж ті, що мали б місце при його спалюванні на підприємстві в якості палива. Для менш калорійних доменного та конверторного газів ця залежність буде зворотною, що видно з наступних даних, які є витягом з табл. 7.3:

Джерела викидів CO ₂	Прямі викиди, Qt,d,CO2	Попередні викиди, Qt,u,CO2	Кредитовані викиди, Qt,c,CO2
Коксовий газ	0,836	-	0,977

Доменний газ	0,891	-	0,170
Конверторний газ	1,512	-	0,432

Оскільки зазначені побічні гази утворюються внаслідок використання вуглецевого палива та вуглеводнів, то при розрахунку загальних викидів, для запобігання їх подвійного обліку CO₂, кредитовані викиди приймаються від'ємними від суми всіх попередніх та прямих. Від'ємними є також викиди CO₂, що утворилися при генеруванні експортованої електроенергії, оскільки завдяки цьому зменшується загальна потреба у її генеруванні. Якщо експортовані побічні гази використовуються не для генерації електроенергії, а у якості палива, тоді для обліку кредитованих викидів використовується формула для перерахунку на еквівалент природного газу:

$$A_N = B_N \times \frac{C_N}{D_N}, \text{ т CO}_2/10^3 \text{ м}^3, \quad (4)$$

де B_N – питомі викиди CO₂ при спалюванні природного газу, т CO₂/10³ м³;

C_N – теплотворна здатність побічного газу, ГДж/10³ м³;

D_N – теплотворна здатність природного газу, ГДж/10³ м³.

В методиці Worldsteel у формулі 4 використовуються такі дані:

	A _N	B _N /D _N	C _N
Коксовий газ	0,952	0,056	19,0
Доменний газ	0,186	0,056	3,31
Конверторний газ	0,470	0,056	8,40

Вони дозволяють отримати наступні результати (витяг з табл. 7.3):

Джерела викидів CO ₂	Прямі викиди Q_{t,d,CO_2}	Попередні викиди Q_{t,u,CO_2}	Кредитовані викиди Q_{t,c,CO_2}
Коксовий газ	0,836	-	0,952
Доменний газ	0,891	-	0,185
Конверторний газ	1,512	-	0,470

У випадку, якщо металургійне підприємство імпортує побічні гази ззовні (з іншого металургійного або коксохімічного підприємства), то використовуються величини коефіцієнтів викидів, визначені для випадку споживання безпосередньо на підприємстві (direct emission factors).

Методика дозволяє також розраховувати загальні та питомі витрати енергії на підприємстві з застосуванням наступних формул:

$$E_{CO_2,annual} = \sum_{t=1}^N K_{t,d,E} \times Q_{t,d,CO_2} + \sum_{t=1}^N K_{t,u,E} \times Q_{t,u,CO_2} - \sum_{t=1}^N K_{t,c,E} \times Q_{t,c,CO_2}, \text{ ГДж}; \quad (5)$$

$I_{CO_2} = E_{CO_2, \text{annual}} / P$, ГДж/т, (6) де $K_{t,d,E}$ – нижча теплота згорання (default net calorific value) палива², ГДж на одиницю вимірювання кількості палива при його використанні безпосередньо на виробництві (direct energy consumption) згідно з даними, наведеними в табл. 7.6;

$K_{t,u,E}$ – енергетичний еквівалент (energy equivalent value) речовини, виробленої на попередніх стадіях (upstream energy consumption), ГДж на одиницю вимірювання;

$K_{t,c,E}$ енергетичний еквівалент (energy equivalent value) речовини, експортованої за межі підприємства (credit energy consumption), ГДж на одиницю вимірювання; I_E – питоме споживання енергії, Дж/т сталі.

Величини $K_{t,u,E}$ та $K_{t,c,E}$ враховують витрати енергії на виробництво речовини.

За даними довідника Worldsteel³, величини нижчої теплоти згорання, що можуть прийматися за умовчанням, наведено у табл. 7.6. Енергетичні еквіваленти речовини, виробленої на попередніх стадіях, наведено в табл. 7.7. Порядок урахування кредитованих витрат енергії методика Worldsteel не уточнює, втім, на думку автора, для цього також можуть бути використані дані про енергетичний еквівалент речовини згідно з табл. 7.7.

Величини в клітинках таблиць, позначених жовтим кольором, приймаються «за умовчанням», тобто у разі якщо фактичні дані для певного підприємства відсутні. Worldsteel рекомендує вимірювати фактичний вміст вуглецю та теплоту згорання речовин для більш точного визначення величин викидів CO₂ та витрат енергії.

Таблиця 7.6

Значення нижчої теплоти згорання за умовчанням

Паливо	Одиниця вимірювання	Нижча теплота згорання за умовчанням, ГДж на одиницю вимірювання
Коксівне вугілля	т, сух	32,200
Пиловугільне паливо	т, сух	31,100
Вугілля для агломерації та кисневого конвертора	т, сух	29,300
Вугілля для генерування пари	т, сух	25,900
Вугілля для електродугових печей	т, сух	30,100
Вугілля для DRI	т, сух	31,100
Кокс	т, сух	30,100
Деревне вугілля	т, сух	18,800
Мазут	мз	37,700
Легкі мастила	мз	35,100

² У стандарті ISO 14404:2013 величини $K_{t,d,E}$, $K_{t,u,E}$ та $K_{t,c,E}$ помилково названі коефіцієнтами конверсії енергії викидів CO₂ (Energy conversion factor for CO₂ emission). Втім, коефіцієнти конверсії енергії вимірюються у тоннах CO₂ на 1 ГДж, а отже їх використання у зазначеній формулі не може дати розмірність у Дж, оскільки величина Q має розмірність у т або м³.

Керосин	мз	34,700
Зріджений газ	т	47,300
Природний газ	тис м ³	35,900
Коксовий газ	тис м ³	19,000
Доменний газ	тис м ³	3,300
Конверторний газ	тис м ³	8,400
Кам'яновугільна смола	т	37,000
Бензол	т	40,570

Таблиця 7.7

Енергетичні еквіваленти матеріалів

Матеріал	Одиниця вимірювання	Енергетичний еквівалент, ГДж на одиницю вимірювання
Кокс	т сух	4,000
Мазут	мз	0,000
Легкі масла	мз	0,000
Керосин	мз	0,000
Вапно	т	4,500
Випалений доломіт	т	4,500
Окатиші	т	2,100
Електроди ЕДП	т	0,000
Чавун	т	20,900
DRI, отримане з використанням природного газу	т	14,100
DRI, отримане з використанням вугілля	т	17,900
Електроенергія	МВт·год	9,800
Пара	т	3,800
		6,900
Кисень	тис м ³	2,000
Азот	тис м ³	2,000
Аргон	тис м ³	19,000
		3,300
		8,400
Коксовий газ	тис м ³	
Доменний газ	тис м ³	
Конверторний газ	тис м ³	

1	Природний газ	10 ³ м ³	Q1,d,CO2	-	Q1,c,CO2
2	Міський газ	10 ³ м ³	Q2,d,CO2	-	Q2,c,CO2
Рідке паливо					
3	Мазут	м ³	Q3,d,CO2	-	Q3c CO2
4	Нафта	м ³	Q4,d,CO2	-	Q4,c,CO2
5	Керосин	м ³	Q5,d,CO2	-	Q5,c,CO2
6	Зріджений газ	т	Q6,d,CO2	-	Q6,c,CO2
Тверде паливо					
7	Вугілля для ЕДП	т	Q7,d,CO2	-	Q7,c,CO2
8	Вугілля для генерації пари	т	Q8,d,CO2	-	Q8,c,CO2
9	Кокс	т	Q9,d,CO2	-	Q9,c,CO2
10	Деревне вугілля	т	Q10,d,CO2	-	Q10,c,CO2
11	Вугілля для DRI	т	Q11,d,CO2	Q11,u,CO2	Q11,c,CO2
Допоміжні матеріали					
12	Вапняк	т	Q12,d,CO2	-	Q12c CO2
13	Вапно	т	-	Q13,u,CO2	Q13,c,CO2
14	Сирий доломіт	т	Q14,d,CO2	-	Q14,c,CO2

15	Випалений доломіт	т	-	Q15,u,CO2	Q15,c,CO2
16	Графітові електроди для ЕДП	т	Q16,d,CO2	Q16,u,CO2	Q16,c,CO2
17	Азот	10 ³ м ³	-	Q17,u,CO2	Q17,c,CO2
18	Аргон	10 ³ м ³	-	Q18,u,CO2	Q18,c,CO2
19	Кисень	10 ³ м ³	-	Q19,u,CO2	Q19,c,CO2
Енергоносії					
20	Електрична енергія	МВт·год	-	Q20,u,CO2	Q20,c,CO2
21	Пара	т	-	Q21,u,CO2	Q21,c,CO2
Залізовмісні матеріали					

22	Окатиші	т	-	Q22,у,CO2	Q22,с,CO2
23	Рідкий чавун	т	-	Q23,у,CO2	Q23,с,CO2
24	Чушковий чавун	т	Q24,d,CO2	Q24,у,CO2	Q24,с,CO2
25	DRI, отримане з використанням газу	т	Q25,d,CO2	Q25,у,CO2	Q25,с,CO2
26	DRI, отримане з використанням вугілля	т	Q26,d,CO2	Q26,у,CO2	Q26,с,CO2
Феросплави					
27	Феронікель	т	Q27,d,CO2	-	Q27,с,CO2
28	Ферохром	т	Q28,d,CO2	-	Q28,с,CO2
29	Феромолібден	т	Q29,d,CO2	-	Q29,с,CO2
Інші побічні продукти					
30	CO ₂ для зовнішнього використання	т	Q30,d,CO2	-	Q30,с,CO2
Інше					
N	Інші продукти, виробництво або споживання яких супроводжується викидами	—	QN,d,CO2	QN,у,CO2	QN,с,CO2

Таблиця 7.9 Індикативні величини коефіцієнтів викидів CO₂

№	Джерело викидів	Позначення джерел викидів		
		Прямі викиди, Q _{t,d,CO2}	Попередні викиди, Q _{t,у,CO2}	Кредитовані викиди, Q _{t,с,CO2}
Газоподібне паливо				
1	Природний газ	2,014	-	2,014
2	Міський газ	2,014	-	2,014
Рідке паливо				
3	Мазут	2,907	-	2,907
4	Нафта	2,601	-	2,601

5	Керосин	2,481	-	2,481
6	Зріджений газ	2,985	-	2,985
Тверде паливо				
7	Вугілля для ЕДП	3,257	-	3,257
8	Вугілля для генерації пари	2,461	-	2,461
9	Кокс	3,257	-	3,257
10	Деревне вугілля	0,000	-	0,000
11	Вугілля для DRI	2,955	-	2,955
Допоміжні матеріали				
12	Вапняк	0,440	-	0,440
13	Вапно	-	0,950	0,950
14	Сирий доломіт	0,471	-	0,471
15	Випалений доломіт	-	1,100	1,100
16	Графітові електроди для ЕДП	3,663	0,650	3,663
17	Азот	-	0,103	0,103
18	Аргон	-	0,103	0,103
19	Кисень	-	0,355	0,355
Енергоносії				
20	Електрична енергія	-	0,504	0,504
21	Пара	-	0,195	0,195
Залізовмісні матеріали				
22	Окатиші	0	-	0
23	Рідкий чавун	0,172	-	0,172
24	Чушковий чавун	0,172	-	0,172
25	DRI, отримане з використанням газу	0,073	-	0,073
26	DRI, отримане з використанням вугілля	0,073	-	0,073
Феросплави				
27	Феронікель	0,037	-	0,037
28	Ферохром	0,275	-	0,275
29	Феромолібден	0,018	-	0,018

Інші побічні продукти				
30	CO ₂ для зовнішнього використання	1,000	-	1,000
Інше				
N	Інші продукти, виробництво або споживання яких супроводжується викидами	a	a	a

a – Величини мають бути обґрунтовані та задокументовані Таблиця 7.10

Показники споживання (імпорт) та постачання назовні (експорт) матеріалів і продукції

№=t	Джерела викидів	Одиниці вимірювання	Імпорт	Експорт
Газоподібне паливо				
1	Природний газ	10 ³ м ³	7 000	—
2	Міський газ	10 ³ м ³	—	—
Рідке паливо				
3	Мазут	Мз	—	—
4	Нафта	Мз	—	—
5	Керосин	Мз	—	—
6	Зріджений газ	т	—	—
Тверде паливо				
7	Вугілля для ЕДП	т	6 500	—
8	Вугілля для генерації пари	т	12 000	—
9	Кокс	т	3 000	—
10	Деревне вугілля	т	—	—
11	Вугілля для DRI	т	—	—
Допоміжні матеріали				
12	Вапняк	т	—	—
13	Вапно	т	20 000	—
14	Сирий доломіт	т	—	—
15	Випалений доломіт	т	3 000	—
16	Графітові електроди для ЕДП	т	1 050	—
17	Азот	10 ³ м ³	1 200	—
18	Аргон	10 ³ м ³	650	—
19	Кисень	10 ³ м ³	21 200	—

Енергоносії				
20	Електрична енергія	МВт·год	335 000	—
21	Пара	т	—	—

Залізовмісні матеріали				
22	Окатиші	т	—	—
23	Рідкий чавун	т	—	—
24	Чушковий чавун	т	22 000	—
25	DRI, отримане з використанням газу	т	—	—
26	DRI, отримане з використанням вугілля	т	—	—
Феросплави				
27	Феронікель	т	—	—
28	Ферохром	т	—	—
29	Феромолібден	т	—	—
Інші побічні продукти				
30	CO ₂ для зовнішнього використання	т	—	—
Інше				
N	Інші продукти, виробництво або споживання яких супроводжується викидами	—	—	—

Таблиця 7.11 Результати розрахунку викидів CO₂ підприємством

№	Джерело викидів	Одиниця вимірювання	Результат розрахунку, т CO ₂		
			Прямі викиди	Попередні викиди	Кредитовані викиди
Газоподібне паливо					
1	Природний газ	10 ³ м ³	14 098	—	—
2	Міський газ	10 ³ м ³	—	—	—
Рідке паливо					
3	Мазут	мз	—	—	—
4	Нафта	мз	—	—	—
5	Керосин	мз	—	—	—
6	Зріджений газ	т	—	—	—
Тверде паливо					

7	Вугілля для ЕДП	т	21 171	—	—
8	Вугілля для генерування пари	т	29 532	—	—
9	Кокс	т	9 771	672	—
10	Деревне вугілля	т	—	—	—
11	Вугілля для DRI	т	—	—	—
Допоміжні матеріали					
12	Вапняк	т	—	—	—
13	Вапно	т	—	19 000	—
14	Сирий доломіт	т	—	—	—
15	Випалений доломіт	т	—	3 300	—
16	Графітові електроди для ЕДП	т	3 864	683	—
17	Азот	10 ³ м ³	—	124	—

18	Аргон	10 ³ м ³	—	67	—
19	Кисень	10 ³ м ³	—	7 526	—
Енергоносії					
20	Електрична енергія	МВт·год	—	168 840	—
21	Пара	т	—	—	—
Залізовмісні матеріали					
22	Окатиші	т	—	—	—
23	Рідкий чавун	т	—	—	—
24	Чушковий чавун	т	3 784	—	—
25	DRI, отримане з використанням газу	т	—	—	—
26	DRI, отримане з використанням вугілля	т	—	—	—
Феросплави					

27	Феронікель	т	—	—	—
28	Ферохром	т	—	—	—
29	Феромолібден	т	—	—	—
Продукти та побічні продукти					
30	CO2 для зовнішнього використання	т	—	—	—
Інше					
И	Інші продукти, виробництво або споживання яких супроводжується викидами	—	—	—	—
Разом			82 220	199 340	—
Усього викидів CO ₂			281 560		
Питомі викиди CO ₂			396 кг/т сталі		