



**УДК 669.16:66.074.3**

**Д.В. СТАЛІНСЬКИЙ**, докт. техн. наук, професор, генеральний директор

Державне підприємство «Український науково-технічний центр металургійної промисловості «Енергосталь» (ДП «УкрНТЦ «Енергосталь»), м. Харків

**І.І. ВАРГА**, перший заступник Голови

Державне агентство екологічних інвестицій України, м. Київ

**В.Д. МАНТУЛА**, заступник генерального директора

ДП «УкрНТЦ «Енергосталь», м. Харків

**В.М. ШЛІХТА**, канд. техн. наук, радник Голови

Державне агентство екологічних інвестицій України, м. Київ

**Г.Г. ПАНЧЕНКО**, канд. техн. наук, експерт з енергозбереження та зміни клімату

Фонд цільових екологічних (зелених) інвестицій, м. Київ

**А.Л. СКОРОМНИЙ**, заступник директора структурного підрозділу,

**О.Л. КАНЕВСЬКИЙ**, канд. техн. наук, провідний науковий співробітник

ДП «УкрНТЦ «Енергосталь», м. Харків

**ІНВЕНТАРИЗАЦІЯ ВИКИДІВ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЧАВУНУ І СТАЛІ В УКРАЇНІ**

Викладено результати досліджень з визначення національних коефіцієнтів викидів вуглекислого газу при виробництві чавуну і сталі, що розроблені ДП «УкрНТЦ «Енергосталь» за договором з Державним агентством екологічних інвестицій України та за технічного сприяння Фонду цільових екологічних (зелених) інвестицій.

**Ключові слова:** вуглекислий газ, чавун, сталь, методика, інвентаризація.

За даними Національного кадастру парникових газів України, викиди вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) при виробництві чавуну і сталі (категорія викидів 2.C.1) в Україні є ключовою категорією викидів. У відповідності до рекомендацій Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) оцінку викидів парникових газів (ПГ) у ключових категоріях необхідно виконувати з використанням національних коефіцієнтів викидів.

При виконанні досліджень коефіцієнти викидів вуглекислого газу розраховувались відповідно до секторного підходу МГЕЗК [1, 2]. Відмінністю секторного підходу до визначення викидів вуглекислого газу при виробництві чавуну і сталі від галузевого [3] є те, що викиди ПГ від використання коксу як відновника належать до категорії викидів 2.C.1 («Виробництво чавуну і сталі», сектор «Промислові процеси»), а викиди від використання доменного газу, який утворений з коксу при виробництві чавуну разом з викидами ПГ при спалюванні палива, належать до сектору «Енергетика». Крім того, викиди вуглекислого газу, які пов'язані з дисоціацією вапна, вапняку і доломіту, за методологією МГЕЗК належать до категорій виробництва вапна (категорія 2.A.2) та використання вапняку і доломіту (категорія 2.A.3).

Відповідно до Переглянутих керівних принципів МГЕЗК [1] викиди CO<sub>2</sub> при виробництві чавуну розраховуються за формулою

$$V_c = k_c \times A_c - (m_c/100) \times A_1 \times 44/12, \tag{1}$$

де  $k_c$  – коефіцієнт викидів CO<sub>2</sub> при використанні відновників, т CO<sub>2</sub>/т;

$A_c$  – маса відновників, т;

$m_c$  – вміст вуглецю у переробному чавуні, %;

$A_1$  – кількість виробленого чавуну, т.

Коефіцієнт викидів CO<sub>2</sub> при використанні відновників розраховується за формулою

$$k_c = (d_c/100) \times 44/12, \tag{2}$$

де  $d_c$  – вміст вуглецю у відновниках, %.

Відновниками при виробництві чавуну, згідно з [1], можуть бути кокс, вугілля, деревне вугілля і нафтовий кокс.

Викиди CO<sub>2</sub> при виробництві сталі, згідно з [2], розраховуються за формулою

$$V_s = ((m_c - m_s)/100) \times A_s \times 44/12 + k_{es} \times A_{es}, \tag{3}$$

де  $m_s$  – вміст вуглецю у сталі, %;

$k_{es}$  – коефіцієнт викидів  $CO_2$  від електродугових печей, т  $CO_2$ /т;

$A_s$  – кількість сталі, що вироблена у кисневих конвертерах або відкритих подових печах (мартенах), т;

$A_{es}$  – кількість сталі, що вироблена в електродугових печах, т.

Згідно з [1], вміст вуглецю у чавуні приймається на рівні 3–5 %, у сталі – 0,5–2 %. Коефіцієнт викидів  $CO_2$  при згоранні електродів в електродугових печах за замовчуванням приймається рівним 5 кг  $CO_2$  на тонну електросталі.

Наведена вище методологія не враховує особливостей металургійних процесів на підприємствах ГМК України, зокрема використання вугілля і природного газу як відновника у виробництві чавуну. Крім того, методика МГЕЗК не враховує викидів  $CO_2$  при виробництві сталі внаслідок окислення вуглецю, що міститься в металевому брухті та скрапі. При виконанні досліджень були враховані зазначені особливості металургійних процесів, а також визначені кількісні показники та джерела даних щодо складових, які визначають викиди  $CO_2$ , – викиди вуглекислого газу при виробництві чавуну розраховувалися за формулою

$$V_c = k_{co} \cdot A_{co} + k_{cl} \cdot A_{cl} + k_{ng} \cdot A_{ng} - (m_c/100) \cdot A_c \cdot 44/12, \quad (4)$$

де  $k_{co}$  – коефіцієнт викидів  $CO_2$  при використанні коксу, т  $CO_2$ /т;

$A_{co}$  – використання коксу як відновника, т;

$A_{cl}$  – використання вугілля, яке безпосередньо подається у доменну піч, т;

$k_{cl}$  – коефіцієнт викидів  $CO_2$  при використанні вугілля, т  $CO_2$ /т;

$A_{ng}$  – використання природного газу, який безпосередньо подається у доменну піч, м<sup>3</sup>;

$k_{ng}$  – коефіцієнт викидів  $CO_2$  при використанні природного газу, т  $CO_2$ /м<sup>3</sup>.

У розрахунках обсяги використання коксу як відновника визначалися за даними форми статистичної звітності 4-МТП як витрати коксу на перетворення у доменних печах (розділ 3, графа 5 форми 4-МТП, сектор 27.1 для України в цілому).

Коефіцієнт викидів  $CO_2$  при використанні вугілля визначався аналогічно коефіцієнту викидів при використанні коксу. Коефіцієнт викидів  $CO_2$  при використанні природного газу приймався за даними досліджень під час інвентаризації викидів  $CO_2$  в енергетичному секторі кадастру. Вміст вуглецю у переробному чавуні визначався за даними галузевої статистики.

Обсяги використання вугілля і природного газу на виробництво чавуну визначалися за даними форми статистичної звітності 4-МТП (розділ 4, графа 1), а обсяги виробництва чавуну – за даними форми статистичної звітності 1–П.

Викиди вуглекислого газу при виробництві сталі розраховувалися за формулою

$$V_s = \sum((m_{cl} + m_{skj} - m_{sj})/100) \cdot A_{sj} \cdot 44/12 + k_{es} \cdot A_{esj=3}, \quad (5)$$

де j – індекс виду сталі: мартенівської (j=1), киснево-конвертерної (j=2), електросталі (j=3);

$m_{sk}$  – вміст вуглецю у залізному брухті та скрапі, %.

Обсяги виробництва сталі з розподілом за видами, вміст вуглецю у залізному брухті та скрапі, а також коефіцієнт викидів  $CO_2$  від електродугових печей приймалися за даними Мінпромполітики України та Об'єднання «Металургпром».

У табл. 1 і 2 наведено результати розрахунків викидів вуглекислого газу при виробництві чавуну і сталі в Україні протягом 1990–2010 рр.

**Таблиця 1 – Викиди вуглекислого газу при виробництві чавуну в Україні**

Рік	Виробництво чавуну, тис. т	Використання коксу, тис. т	Використання вугілля, тис. т	Використання природного газу, млн м <sup>3</sup>	Викиди $CO_2$ , тис. т	Коефіцієнт викидів $CO_2$ , т/т
1990	44927,4	13124,11	–	5,555	33 853	0,75
1991	36632,1	10634,14	–	5,323	27 292	0,75
1992	35350,0	11008,61	–	5,102	28 620	0,81
1993	27108,0	8254,83	–	4,889	21 397	0,79
1994	20180,3	5943,25	–	4,686	15 288	0,76
1995	17998,4	5222,51	47,5	4,491	13 440	0,75
1996	17831,5	5132,24	34,6	4,303	13 173	0,74
1997	20616,0	6096,61	19,5	4,124	15 790	0,77
1998	20936,7	6303,49	49,7	3,952	16 472	0,79
1999	23009,8	6539,73	52	3,788	16 841	0,73
2000	25698,7	7050,1	46,3	3,630	17 997	0,70
2001	26378,5	7346,24	47,7	3,479	18 809	0,71



Рік	Виробництво чавуну, тис. т	Використання коксу, тис. т	Використання вугілля, тис. т	Використання природного газу, млн м <sup>3</sup>	Викиди CO <sub>2</sub> , тис. т	Коефіцієнт викидів CO <sub>2</sub> , т/т
2002	27633,3	7430,33	31,1	3,334	18 794	0,68
2003	29529,0	8033,7	66,1	3,406	20 430	0,69
2004	30977,6	8283,94	115,4	3,472	21 031	0,68
2005	30746,1	8033,78	161,9	3,474	20 419	0,66
2006	32929,3	9149,28	140,4	2,891	23 501	0,71
2007	35649,7	10396,96	170,7	2,638	26 967	0,76
2008	30991,3	9031,4	102,0	1,899	23 318	0,75
2009	25683,1	7665,1	126,7	1,667	19 988	0,78
2010	27365,8	8034,58	151,2	1,571	20 930	0,76

Таблиця 2 – Викиди вуглекислого газу при виробництві сталі в Україні

Рік	Виробництво мартенівської сталі, тис. т	Використання чавуну, %	Викиди CO <sub>2</sub> , тис. т	Виробництво конвертерної сталі, тис. т	Використання чавуну, %	Викиди CO <sub>2</sub> , тис. т	Виробництво електросталі, тис. т	Використання чавуну, %	Викиди CO <sub>2</sub> , тис. т	Викиди CO <sub>2</sub> , всього, тис. т	Коефіцієнт викидів CO <sub>2</sub> , т/т
1990	27691	61,4	2610	21278	84,9	2773	3666	2,4	35	5418	0,103
1991	23651	62,0	2319	18013	86,4	2427	3331	2,4	32	4777	0,106
1992	21963	62,6	2217	16597	88,0	2288	3200	2,4	31	4536	0,109
1993	16943	63,0	1732	13176	88,9	1815	2490	2,4	24	3569	0,109
1994	11962	62,9	1243	10693	88,9	1497	1427	2,4	14	2753	0,114
1995	11516	62,8	1205	9524	88,9	1342	1269	2,4	12	2559	0,115
1996	11047	62,8	1142	10071	88,9	1403	1215	2,4	12	2557	0,114
1997	12301	62,8	1224	12156	88,9	1630	1172	2,4	11	2864	0,112
1998	11761	62,8	1162	11524	88,8	1533	1162	2,4	11	2706	0,111
1999	13236	62,8	1320	13024	88,8	1750	1133	2,4	11	3080	0,112
2000	15774	62,8	1569	14717	88,8	1972	1291	2,4	12	3554	0,112
2001	16372	62,9	1650	15919	88,3	2135	1232	1,7	10,	3795	0,113
2002	16463	62,3	1647	16655	86,6	2221	1428	1,4	11	3879	0,112
2003	17581	62,5	1773	18348	89,2	2529	1595	1,0	12	4314	0,115
2004	17530	62,9	1809	19864	88,7	2729	1325	1,2	10	4547	0,117
2005	17464	63,6	1905	19768	89,1	2794	1383	1,8	12	4711	0,122
2006	18234	63,8	2014	21157	89,4	3001	1501	1,9	13	5028	0,123
2007	19189	64,7	2113	22006	89,3	3116	1634	2,4	15	5244	0,122
2008	15294	64,4	1731	20218	90,4	2901	1570	2,3	15	4646	0,125
2009	7837	66,3	903	20673	88,5	2901	1338	2,4	13	3816	0,128
2010	9387	65,4	1082	21549	88,5	3020	1746	2,4	17	4119	0,126

Аналіз результатів розрахунків дозволяє зробити такі висновки:

1. Внаслідок змін у виробництві, технології і споживанні палива загальні викиди CO<sub>2</sub> при виробництві чавуну відносно базового року зменшилися майже на 40 %, а коефіцієнт викидів збільшився на 1,5 %.

2. При мартенівському виробництві сталі викиди CO<sub>2</sub> зменшилися майже на 60 %, а коефіцієнт викидів збільшився на 22,3 %.

3. При конвертерному виробництві сталі викиди CO<sub>2</sub> збільшилися на 8,9 %, а коефіцієнт викидів збільшився на 7,5 %.

4. В електросталеплавильному виробництві викиди CO<sub>2</sub> зменшилися майже на 25 %, а коефіцієнт викидів збільшився на 2 %.

5. Загальні викиди CO<sub>2</sub> при виробництві сталі зменшилися на 24 %, а коефіцієнт викидів збільшився на 22 %.

6. Валові викиди при виробництві чавуну і сталі, які враховуються у секторі «Промислові процеси» категорії 2.С.1. «Чавун і сталь», у 2010 р. становлять 25,05 млн т CO<sub>2</sub> і зменшилися відносно базового року на 36 %.

Динаміка обсягів виробництва чавуну і сталі, а також викидів вуглекислого газу від їх виробництва в Україні протягом останніх 20 років була обумовлена перш за



все тим, що металургія України зазнала двох суттєвих криз. Після кризи 90-х років (коли виробництво скоротилося більш ніж наполовину) у 2007 р. виробництво чавуну і сталі, а також викиди CO<sub>2</sub> збільшилися приблизно до 80 % від рівня 1990 р. У 2010 р. (після кризи двох попередніх років) почалося поступове збільшення виробництва чавуну і сталі – до 60 % від рівня 1990 р. У той же час зменшення виробництва супроводжувалося змінами у технології: при виробництві чавуну відбулося впровадження використання пиловугільного палива на кількох доменних печах, що призвело до відповідного збільшення використання вугілля і коксу, зменшення використання природного газу; зменшилося виробництво мартенівської сталі (до 34 % від рівня 1990 р.) при одночасному збільшенні питомого використання чавуну; виробництво конвертерної сталі практично не змінилося, однак питоме використання чавуну також збільшилося; виробництво електросталі зменшилося більш ніж удвічі при сталому використанні чавуну.

Для контролю якості виконаних розрахунків було складено вуглецевий баланс при виробництві чавуну – встановлено, що вміст вуглецю на вході в доменний процес повністю відповідає вмісту вуглецю на виході з нього. Невизначеність результатів розрахунків коефіцієнта викидів вуглекислого газу при виробництві чавуну і сталі оцінюється на рівні 2,22 % (окремо для чавуну – 2,54 %, для сталі – 1,67 %).

Результати здійснених досліджень використано під час підготовки Національного кадастру антропогенних викидів з джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990–2010 рр.

## ВИСНОВКИ

1. Наукове дослідження, результати якого наведено у статті, було спрямоване на підвищення якості національної інвентаризації парникових газів у категорії «Виробництво чавуну і сталі» сектора «Промислові процеси».

Изложены результаты исследований по определению национальных коэффициентов выбросов углекислого газа при производстве чугуна и стали, разработанных ГП «УкрНТЦ «Энергосталь» по договору с Государственным агентством экологических инвестиций Украины и при техническом содействии Фонда целевых экологических (зеленых) инвестиций.

2. Розроблено національні методики визначення обсягів викидів парникових газів при виробництві чавуну і сталі, які враховують особливості вітчизняної чорної металургії та уточнюють методики МГЕЗК.

3. Виконано розрахунки обсягів викидів CO<sub>2</sub> за період 1990–2010 рр. Загальний обсяг викидів парникових газів у категорії «Виробництво чавуну і сталі» у 2010 р. склав 25050 тис. т і зменшився відносно базового року на 36 % внаслідок змін у виробництві, технології і споживанні палива. Загальні викиди CO<sub>2</sub> при виробництві чавуну зменшилися у порівнянні з базовим роком майже на 40 %, а коефіцієнт викидів збільшився на 1,5 %. Загальні викиди CO<sub>2</sub> при виробництві сталі зменшилися на 24 % відносно 1990 р., а коефіцієнт викидів збільшився на 22 %.

4. Невизначеність результатів розрахунків коефіцієнта викидів вуглекислого газу при виробництві чавуну і сталі оцінюється на рівні 2,22 %, окремо для чавуну – 2,54 %, для сталі – 1,67 %.

5. Результати проведених досліджень використано під час підготовки Національного кадастру антропогенних викидів з джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990–2010 рр.

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Пересмотренные руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов [Электронный ресурс]. – М. : МГЭИК, 1996. – 628 с. – Режим доступа : <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/russian.html>.
2. Руководящие указания по эффективной практике и учету факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://esco.co.ua/journal/2005\\_8/art100.pdf](http://esco.co.ua/journal/2005_8/art100.pdf).
3. Керівництво по проведенню розрахунків обсягів викидів парникових газів на підприємствах гірничо-металургійного комплексу України. – Х. : УкрДНТЦ «Енергосталь», 2006. – 28 с.

*Поступила в редакцію 15.04.2012*

Results of studies on determining the national coefficients of carbon dioxide emissions at producing iron and steel, developed by "UkrRTC "Energestal" under the contract with State Environmental Investment Agency of Ukraine and with the technical assistance of Environmental (Green) Investments Fund are stated.