



УДК 669.013:620.9

А.Л. КАНЕВСКИЙ, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, **А.А. СЛИСАРЕНКО**, заведующий лабораторией Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр металлургической промышленности «Энергосталь» (ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЧУГУНА

Проанализированы особенности потребления энергоресурсов (топлива и производных энергоносителей) и выбросы парниковых газов при производстве чугуна в Украине. Рассмотрена методика расчета выбросов парниковых газов, используемая для составления Национального кадастра антропогенных выбросов. Предложена методика расчета, учитывающая национальные особенности производства металлургической продукции на предприятиях Украины.

Ключевые слова: производство чугуна, парниковые газы, топливо, энергоносители, углекислый газ, углерод, Национальный кадастр, методика расчета.

Горно-металлургический комплекс (ГМК) Украины потребляет около 20 % всех углеродсодержащих энергоресурсов и занимает второе место (после энергетики) по выбросам парниковых газов (ПГ). Внутренний вклад металлургических предприятий в суммарные выбросы ПГ в ГМК Украины (более 85 %) в первую очередь обусловлен значительным потреблением топливно-энергетических ресурсов в этой отрасли [1].

Производство чугуна является одним из наиболее сложных и энергоемких металлургических переделов. В статье представлены результаты исследований по изменению энергопотребления и выбросам ПГ при производстве чугуна на металлургических предприятиях Украины. При определении удельного расхода котельно-печного топлива (КПТ) авторы, согласно «Методике расчета затрат топливно-энергетических ресурсов на предприятиях горно-металлургического комплекса с использованием заводской (сквозной) энергоемкости» [2, 3], учитывали вклад первичного топлива и производных энергоносителей. На рис. 1 представлены результаты исследований потребления КПТ в 2010 г.

В качестве первичного топлива при производстве чугуна на металлургических предприятиях Украины используется кокс, уголь и природный газ. Приведенные данные (рис. 1) показывают, что в среднем суммарный расход первичного топлива составляет более 615 кг у.т./т. Расход кокса как основного энергоносителя превышает 524 кг/т, обеспечивая почти 83 % поступления тепла в доменную печь; потребление природного газа – 76 м³/т, угля – немногим более 20 кг/т.

Потребление первичного топлива при производстве чугуна в Украине существенно отличается от показателей

европейских производителей (кокс – в среднем 295 кг/т, уголь – 205 кг/т [4]) – суммарный расход топлива на выплавку чугуна в странах ЕС составляет 455–490 кг у.т./т, что на ~25 % меньше, чем в Украине.

Углерод первичного топлива служит источником энергии для расплавления шихты, а также является восстановителем оксидов железа руды.

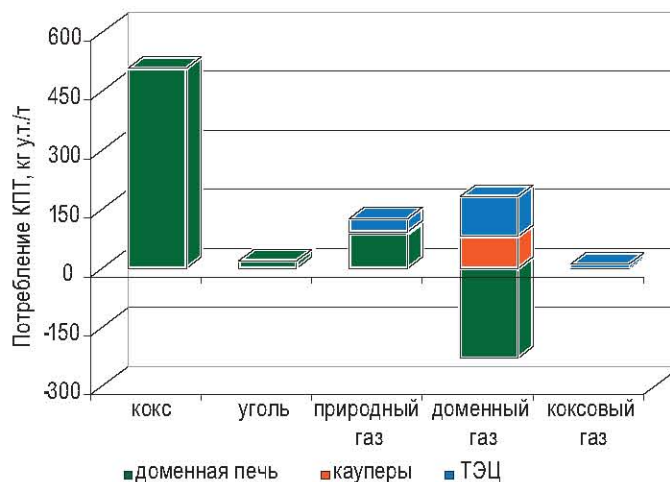


Рисунок 1 – Потребление КПТ при производстве чугуна

Необходимо отметить, что в последние годы в потреблении (в частности, на технологические нужды) КПТ при производстве чугуна (рис. 2) произошли изменения, связанные с подорожанием природного газа (2010 г.): по сравнению с 2007 г. потребление природного газа уменьшилось на 7,5 м³/т с одновременным увеличением потребления кокса – на 10,0 кг/т и пылеугольного топлива (ПУТ) – на 2,8 кг/т.

Углерод первичных видов топлива частично остается в чугуна, частично обуславливает технологические выбросы при производстве чугуна и частично с доменным газом (в виде CO и CO₂) транспортируется из доменной печи и как вторичное топливо используется на самих металлургических предприятиях, а также может отпущаться сторонним потребителям.

Основными производными энергоносителями, используемыми при производстве чугуна, являются дутье и пар, которые производятся на ТЭЦ. Дутье перед подачей в доменную печь нагревается в кауперах до температуры 1000–1200 °С. На ТЭЦ и в кауперах в качестве топлива используются доменный, природный и коксовый газы. Вклад доменного газа в потребление КПТ на ТЭЦ и в кауперах является определяющим и составляет от 70 до 95 %. Таким образом, большая часть (~80 %) углерода доменного газа возвращается в процесс производства чугуна. Остальной доменный газ на металлургических предприятиях в основном используется при производстве проката. Установлено, что в современных условиях в прокатном производстве потребление доменного газа составляет 7,5 % от его выхода, сторонним потребителям передается 2,0 %, неорганизованные потери и потери на свече составляют 6,8 %. Вклад всех этих видов топлива был учтен при составлении баланса КПТ при производстве чугуна. Использование кокса, природного и доменного газов обеспечивает более 95 % суммарного энергопотребления при производстве чугуна.

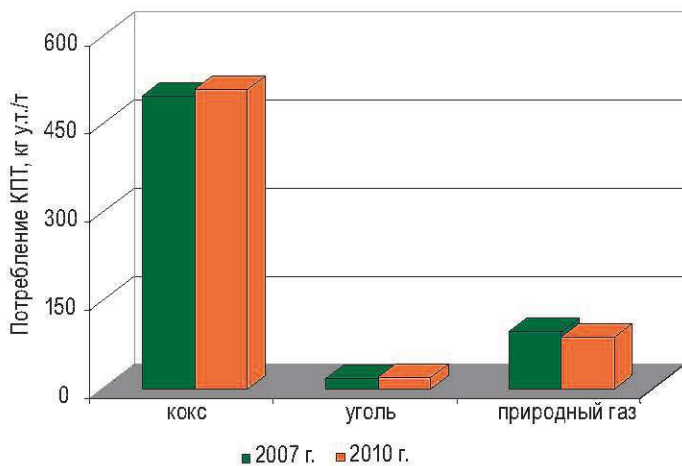


Рисунок 2 – Изменения в потреблении КПТ на доменной печи

Выбросы парниковых газов при производстве чугуна, как это показано выше, связаны со сложной трансформацией углерода первичного топлива как в самой доменной печи, так и при производстве (выработке) производных энергоносителей.

В настоящее время в Украине для расчета выбросов парниковых газов используется методика, которая базируется на пересмотренных Руководящих принципах национальной инвентаризации парниковых газов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) 1996 г. и Руководящих указаниях по эффективной практике [5–7]. Методика определения выбросов при производстве чугуна, применяемая в Украине, учитывает только вклад кокса в качестве восстановителя и переход части углерода в чугун. В Национальном кадастре [8] для определения выбросов CO₂ при производстве чугуна представлена формула

$$V_c = k_c \cdot A_c - (m_1 \cdot A_1 / 100) \cdot 44/12, \tag{1}$$

где V_c – выбросы CO₂ при производстве чугуна, т CO₂;
 k_c – коэффициент выбросов CO₂ при сжигании и/или использовании восстановителя, т CO₂/т;
 A_c – масса восстановителя, т;
 m₁ – содержание углерода в передельном чугуна, %;
 A₁ – количество выплавленного чугуна, т.

Методика, используемая при составлении Национального кадастра антропогенных выбросов, не в полной мере соответствует национальным особенностям производства чугуна в Украине, что отмечалось в ряде публикаций [9–11], а также пересмотренным Руководящим принципам (МГЭИК) 1996 г. [5]. Несоответствие методики МГЭИК 1996 г. национальным особенностям отмечали и российские исследователи [12–14]. Так, МГЭИК рекомендует учитывать в категории «Промышленные процессы» в качестве восстановителя кокс и уголь (эти топлива используются при производстве чугуна в Европе) – в Украине выбросы от использования угля в этой категории не учитываются, поскольку в качестве топлива и восстановителя при производстве чугуна используется также природный газ. Кроме того, в расчете объемов выбросов необходимо, по нашему мнению, учитывать выбросы CO₂, которые имеют место в результате выработки дутья и тепловой энергии на ТЭЦ, а также выбросы, образующиеся на кауперах при нагреве дутья и непосредственно на доменной печи в виде неорганизованных выбросов и на свече. Более того, необходимо учитывать выбросы при диссоциации известняка, который подается в доменную печь вместе с шихтой. Исходя из вышеизложенного, выбросы CO₂ при производстве чугуна (EF_{PI}^S, т CO₂) рекомендуется рассчитывать следующим образом

$$EF_{PI}^S = [CO_{PI} \cdot C_{CO} + CL_{PI} \cdot C_{CL} + NG_{PI} \cdot C_{NG} + L_{PI} \cdot C_L + D_{PI} \cdot C_D + NG_{BPI} \cdot C_{NG} + CG_{BPI} \cdot C_{CG} + DG_{BPI} \cdot C_{DG} + NG_{TPI} \cdot C_{NG} + CG_{TPI} \cdot C_{CG} + DG_{TPI} \cdot C_{DG} + DG_{PPI} \cdot C_{DG} - PI \cdot C_{PI} - DG_{PI} \cdot C_{DG}] \cdot 44/12, \tag{2}$$



где CO_{PI} – расход кокса, т;
 CL_{PI} – расход угля, т;
 NG_{PI} – расход природного газа на технологические нужды (непосредственно в доменной печи), м³;
 L_{PI}, D_{PI} – расход известняка и доломита, т;
 G_{BPI} – расход газов (природного, доменного, коксового), которые используются для подогрева дутья в кауперах, м³;
 G_{TPI} – расход газов (природного, доменного, коксового), которые используются на ТЭЦ для производства дутья, тепловой энергии, м³;
 DG_{PPI} – неорганизованные потери доменного газа и потери на свече, м³;
 DG – количество доменного газа, который отводится от доменной печи, м³;
 C – содержание углерода в шихте и других материалах – коксе (CO), угле (CL), природном газе (NG), известняке (L), доломите (D), коксовом газе (CG), доменном газе (DG), чугуна (PI), т С/т.

Предлагаемая методология соответствует «Руководящим принципам национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006 г.» [15] с учетом специфики производства металлургической продукции на предприятиях Украины.

Расчеты удельных выбросов углекислого газа при производстве чугуна были выполнены с использованием методики МГЭИК 1996 г., представленной в данной статье (рис. 3). Сжигание углерода кокса может обусловить выбросы углекислого газа в количестве 1,583 т CO₂/т, однако за вычетом углерода, остающегося в чугуне, выбросы углекислого газа при производстве чугуна составляют, по методике [8], 1,419 т CO₂/т.

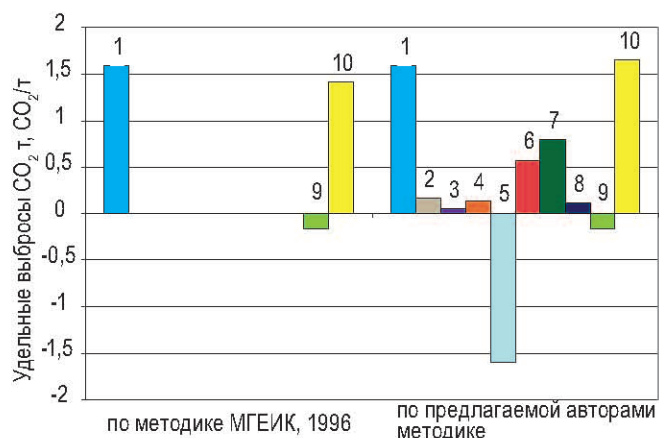


Рисунок 3 – Удельные выбросы парниковых газов при производстве чугуна:

- 1 – кокс; 2 – природный газ; 3 – уголь; 4 – известняк;
- 5 – доменный газ; 6 – кауперы; 7 – ТЭЦ; 8 – потери;
- 9 – чугун; 10 – сумма

Выбросы углекислого газа при использовании угля составляют 0,055 т CO₂/т, природного газа – 0,166 т CO₂/т. Таким образом, учет всех видов топлива, которое подается в доменную печь, приводит к увеличению выбросов углекислого газа при производстве чугуна до 1,640 т CO₂/т, что на 15,6 % больше, чем при учете только кокса. Применение известняка приводит к выбросам 0,136 т CO₂/т, образовавшийся при производстве чугуна доменный газ отводит из доменной печи парниковые газы в объеме 1,605 т CO₂/т. Часть доменного газа в виде неорганизованных потерь и потерь на свече создает выбросы в количестве 0,110 т CO₂/т, сжигание топлива на ТЭЦ для получения дутья и пара – 0,796 т CO₂/т, сжигание топлива на кауперах для подогрева дутья – 0,577 т CO₂/т. В результате 86,8 % выбросов углекислого газа, отведенные от доменной печи с доменным газом, в процессе производства чугуна с производными энергоносителями повторно превращаются в выбросы.

Таким образом, учет выбросов парниковых газов от сжигания всех видов топлива, диссоциации известняка, согласно приведенной выше методике, приводит к увеличению выбросов углекислого газа до 1,654 т CO₂/т. Полный учет трансформации углерода топлив, шихты, доменного газа при производстве чугуна позволяет детально проследить вклад различных составляющих в выбросы парниковых газов, что в результате дает возможность определить истинное количество удельных выбросов – по сравнению с данными, учитывающими выбросы только от кокса, показатель увеличился на 16,6 %.

На основании сравнения полученных результатов с показателями стран ЕС (1,35 т CO₂/т), которые приведены в [7], определено, что показатели удельных выбросов парниковых газов при производстве чугуна в Украине выше показателей ЕС на 13,5 % – на отечественных предприятиях больший расход топлива, и эта разница могла быть еще большей, однако, в отличие от зарубежных производителей, где весь доменный газ используется при производстве чугуна, в Украине часть доменного газа используется в других переделах, в частности при производстве проката, и передается сторонним потребителям. Поскольку выбросы ПГ, связанные с использованием доменного газа в других производствах, при производстве чугуна не учитываются – показатели недостоверны. В России, например, выбросы ПГ при производстве чугуна, учитывающие только вклад топлив и шихты [8–10], составляют 1,897 т CO₂/т, следовательно, выбросы парниковых газов на украинских предприятиях при производстве чугуна на 10,7 % меньше, чем у российских производителей.

ВЫВОДЫ

1. Потребление первичного топлива при производстве чугуна в Украине существенно отличается от потребления на предприятиях Европы, поскольку, помимо кокса и угля, в доменном производстве используется природный газ. Суммарный расход топлива при производстве чугуна в странах ЕС на ~25 % меньше, чем в Украине.

2. Разработана методика расчета выбросов углекислого газа при производстве чугуна, соответствующая «Руководящим принципам национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006 г.» и учитывающая специфику производства металлургической продукции на предприятиях Украины. Полный учет трансформации углерода топлив, шихты, доменного газа при производстве чугуна позволяет детально проследить вклад различных составляющих в выбросы парниковых газов при производстве чугуна.

3. Выполнены расчеты выбросов углекислого газа при производстве чугуна. Учет выбросов парниковых газов от сжигания всех видов топлива, диссоциации известняка, приводит, согласно данной методике, к увеличению выбросов углекислого газа при производстве чугуна до 1,654 т CO₂/т. В результате, по сравнению с учетом только кокса, показатели удельных выбросов увеличились на 16,6 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сталинский, Д.В. Энергоемкость производства продукции на металлургических предприятиях Украины / Д.В. Сталинский, А.Л. Каневский, В.Г. Литвиненко, В.В. Лесовой // Металлургическая и горнорудная промышленность – 2010. – № 4. – С. 126–130.
2. Литвиненко, В.Г. Метод расчета сквозной энергоемкости металлопродукции / В.Г. Литвиненко, Г.Н. Грецакая, Т.А. Андреева // Сталь. – 1997. – № 9. – С. 76–79.
3. Литвиненко, В.Г. Оценка энергоэффективности производства на основе анализа сквозной энергоемкости продукции / В.Г. Литвиненко, В.Д. Мантула, А.Л. Каневский, Т.А. Андреева, В.Ю. Юхнов // Экология и промышленность. – 2009. – № 2. – С. 47–52.
4. Минаев, А.А. Перспективы применения пылеугольного топлива в доменных цехах Украины и России / А.А. Минаев, А.Н. Рыженков, С.Л. Ярошевский и др. // Металлургический компас. Украина – Мир. – 2007. – № 8. – С. 24–30.
5. Пересмотренные руководящие принципы национальной инвентаризации парниковых газов. – М. : МГЭИК, 1996. – Т. 2. – 328 с.
6. Руководящие указания по эффективной практике и учету факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов. – М. : МГЭИК, 2000. – Т. 3. – 139 с.
7. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volumes 1, 2 and 3.
8. Национальный кадастр антропогенных выбросов из источников и адсорбции поглотителями парниковых газов в Украине за 1990–2009 гг. / Министерство охраны окружающей природной среды Украины. – К., 2011. – 557 с.
9. Каневский, А.Л. Реализация механизмов Киотского протокола – один из инструментов в решении проблем защиты окружающей среды / А.Л. Каневский, А.Л. Скоромный // III Міжнар. наук.-практ. конф. «Екологічна безпека : проблеми і шляхи вирішення» (10–14 вересня 2007 р., м. Алушта) : зб. наук. ст. у 2-х т. Т. 2. / УкрНДІЕП. – Х. : Райдер, 2007. – С. 229–232.
10. Каневский, А.Л. Оценка эффективности энергосберегающих мероприятий и проектов совместного осуществления на предприятиях ГМК Украины / А.Л. Каневский, А.Г. Нотыч // Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов : сб. науч. ст. XVI Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 т. Т. 1 / УкрГНТЦ «Энергосталь». – Х. : Сага, 2008. – С. 134–139.
11. Каневский, А.Л. Проблемы энергосбережения и выбросов парниковых газов на ЗАО «Донецксталь-МЗ» / А.Л. Каневский, В.А. Ботштейн, А.Л. Скоромный и др. // Экология и промышленность. – 2008. – № 4. – С. 4–7.
12. Шевелев, Л.Н. Методические основы инвентаризации парниковых газов в черной металлургии России / Л.Н. Шевелев // Металлург. – 2007. – № 3. – С. 29–37.
13. Каленский, И.В. Рекомендации по учету выбросов CO₂ на предприятиях черной металлургии / И.В. Каленский // Сталь. – 2007. – № 5. – С. 121–129.
14. Шевелев, Л.Н. Экономическая оценка выбросов парниковых газов в черной металлургии России / Л.Н. Шевелев // Сталь. – 2009. – № 4. – С. 68–71.
15. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006 г. Подготовлено Программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов / под ред. Х.С. Игглестон, Л. Буэндиа, К. Мива, К. Танабе // ИГЕС, Япония. Том 1–5.

Поступила в редакцию 09.07.2012

Проаналізовано особливості споживання енергоресурсів (палива і похідних енергоносіїв) та викиди парникових газів при виробництві чавуну в Україні.

Peculiarities of energy consumption (fuel and energy) and greenhouse gas emission at iron producing in Ukraine are analyzed. The technique for calculating greenhouse gas



Розглянута методику розрахунку викидів парникових газів, яка використовується для складання Національного кадастру антропогенних викидів. Запропоновано методику розрахунку, що враховує національні особливості виробництва металургійної продукції на підприємствах України.

emission being used for National inventories of anthropogenic emissions is considered. The technique, which is proposed for calculation, takes into account national characteristics of steel production in Ukraine.