



УДК 669.1:504.054.

**В.Г. ЛИТВИНЕНКО**, к.т.н., ведущий научный сотрудник,

**В.Я. ДАМРИН**, заместитель директора структурного подразделения, **Т.А. АНДРЕЕВА**, к.э.н., старший научный сотрудник,

**А.Л. КАНЕВСКИЙ**, к.т.н., ведущий научный сотрудник, **А.А. СЛИСАРЕНКО**, научный сотрудник

Украинский государственный научно-технический центр «Энергосталь» (УкрГНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

## ВЛИЯНИЕ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ВЫБРОСЫ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ

В статье показано, что доменное производство оказывает наибольший вклад в формирование величины эмиссии диоксида углерода на металлургических предприятиях с полным циклом производства. За счет производства чугуна и необходимых для его выплавки полуфабрикатов (агломерат, кокс, коксовая мелочь, пар ТЭЦ) эмиссия диоксида углерода предопределяется в пределах 65–79 %. Представлена методика расчета выбросов диоксида углерода с учетом необходимости изготовления полуфабрикатов на металлургических предприятиях в процессе производства товарной продукции.

**эмиссия, диоксид углерода, полуфабрикаты, металлургические предприятия, парниковые газы, товарная продукция**

В общественном производстве Украины черная металлургия занимает второе место после топливно-энергетического комплекса по расходу топлива, а следовательно, является одним из основных эмитентов парниковых газов (ПГ). Государственная политика в вопросах сокращения выбросов ПГ во многом определяется возможностями снижения затрат энергоресурсов именно на металлургических предприятиях с полным циклом производства (чугун-сталь-прокат).

Прогнозирование расходов энергоресурсов и выбросов ПГ является весьма сложным. Существенные колебания объемов производства и сортамента основной конечной продукции – проката, начавшаяся модернизация отрасли и неизбежно более высокие ее темпы в будущем требуют установления четких количественных зависимостей между этими факторами и объемом образующихся ПГ, в первую очередь – диоксида углерода как основного компонента ПГ в черной металлургии.

Влияние технического перевооружения на изменение энергоемкости товарной продукции в основном уже исследовано [1, 2], закономерности же изменения эмиссии диоксида углерода еще требуют подробного изучения. Анализ этих закономерностей необходим не только для научно обоснованного прогноза динамики выбросов ПГ, но и для коммерческих целей – торговли квотами на выбросы ПГ в соответствии с положениями Киотского протокола, а также разработки и реализации проектов совместного осуществления (ПСО).

Проведенная на металлургических предприятиях инвентаризация эмиссии ПГ показала, что основными их источниками в сумме около 60 % являются доменные цехи и ТЭЦ-ПВС, а точнее – доменное производство, поскольку ТЭЦ является технологически неотъемлемой его частью.

Основное количество пара ТЭЦ предназначается для выработки дутья – сжатого воздуха, вдуваемого в доменные печи (поэтому ТЭЦ и строятся в непосредственной близости к доменным цехам). Пар ТЭЦ расходуется также на химическую очистку воды (ХОВ), выработку электроэнергии и другие нужды предприятия. Существенное количество пара ТЭЦ в смеси с паром котлов-утилизаторов (КУ) и систем испарительного охлаждения (СИО) распределяется теплосиловыми цехами (ТСЦ) по цехам предприятий для технологических и коммунально-бытовых целей.

Например, на ОАО «Алчевский металлургический комбинат» (далее АМК) в 2006 г. на выработку дутья расходовалось 90,8 % всего пара ТЭЦ, на ОАО «МК «Азовсталь» (далее Азовсталь) – 50,6 %, на ОАО «Запорожсталь» (далее Запорожсталь) – 54,6 % (в 2004 г.), на ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» (далее АМКР) – 37,9 %, на ОАО «Енакиевский металлургический завод» (далее ЕМЗ) – 68,9 %.

К сожалению, руководящие принципы национальной инвентаризации парниковых газов, разработанные в 2006 г., не позволяют выделить влияние производ-

ственного процесса в ТЭЦ-ПВС на величину выбросов ПГ, образующихся на металлургических предприятиях.

Проведенный анализ [3] показал, что эмиссию парниковых газов (по аналогии с энергоемкостью) можно рассматривать как сквозной показатель, характеризующий выбросы ПГ в атмосферу в результате всех технологических процессов производства как самой товарной продукции, так и необходимых для этого полуфабрикатов (чугуна, стали, извести и т.д.). Своеобразным «полуфабрикатом» можно считать и пар ТЭЦ, который прямо или косвенно (в виде электроэнергии ТЭЦ, пара, ХОВ и др.) используется для производства не только чугуна, но и стали, проката, литья, агломерата, извести.

В этом случае эмиссию ПГ в целом по предприятию ( $W$ , тыс. т) можно рассчитывать по формуле

$$W = \sum Q_{ij} \sum q_{ci} (e_i + q_{ni} \times e_n), \quad (1)$$

где  $Q_{ij}$  – производство  $j$ -ой товарной продукции, тыс. т;  
 $q_{ci}$  – сквозной расходный коэффициент  $i$ -ого полуфабриката на производство  $j$ -ой товарной продукции, т/т;  
 $e_i$  – цеховой коэффициент эмиссии ПГ при производстве  $i$ -ого полуфабриката (товарной продукции), т  $CO_2$ /т;  
 $q_{ni}$  – расходный коэффициент пара ТЭЦ на производство  $i$ -ого полуфабриката (товарной продукции), Гкал/т;  
 $e_n$  – коэффициент эмиссии ПГ при выработке пара ТЭЦ, т  $CO_2$ /Гкал.

Сумма  $\sum q_{ci} (e_i + q_{ni} \times e_n)$  является сквозным коэффициентом эмиссии при производстве  $j$ -ой товарной продукции.

Величину  $e_i + q_{ni} \times e_n$  можно назвать приведенным коэффициентом эмиссии диоксида углерода при производстве  $i$ -ого полуфабриката и обозначить через  $h_i$ .

Методика расчета сквозных расходных коэффициентов полуфабрикатов проста и подробно изложена [4].

Пересчет же затрат электроэнергии, ХОВ, дутья, смешанного пара ТЭЦ в расход пара ТЭЦ очень трудоемок – его рекомендуется производить с помощью специальной программы, разработанной УкрГНТЦ «Энергосталь» [5].

Парниковые газы, выбрасываемые в атмосферу металлургическими предприятиями, в основном состоят из диоксида углерода (количество метана и оксидов азота незначительно), поэтому в дальнейшем будем рассматривать только эмиссию диоксида углерода.

Расчет сквозного коэффициента эмиссии диоксида углерода ( $K_{cj}$ , т  $CO_2$ /т) при производстве листового проката (без учета коксохимического производства) на Азовстали в 2005 г. приведен в табл. 1. Основной расход пара ТЭЦ приходится на выплавку чугуна (522,4 Мкал/т), производство листового проката, конвертерной стали и извести – соответственно 89,5; 86,9 и 76,9 Мкал/т. Всего – с учетом потребления пара ТЭЦ – эмиссия диоксида углерода составляет:

- в доменном цехе на тонну чугуна – 1,2809 т  $CO_2$ , из них 0,4707 т – за счет пара;
- в листопрокатном цехе на тонну листа – 0,3325 т  $CO_2$ , стали – 0,252 т  $CO_2$ , агломерата – 0,1237 т  $CO_2$ , извести – 1,0032 т  $CO_2$ .

Сквозная эмиссия диоксида углерода в атмосферу на тонну товарного листа с учетом расходных коэффициентов полуфабрикатов составляет 2,2411 т  $CO_2$ , в том числе за счет выплавки чугуна – 1,3868 т  $CO_2$ ; (51,7 %), стали – 0,3006 т  $CO_2$  (13,4 %), извести – 0,1028 т  $CO_2$  (4,6 %), агломерата – 0,0568 т  $CO_2$  (2,5 %).

Данные по расходу пара на производство различных видов продукции пяти металлургических предприятий приведены в табл. 2 .

На всех предприятиях расход пара на выплавку чугуна значительно превышает его расход на производство

**Таблица 1 – Расчет сквозного коэффициента эмиссии диоксида углерода при производстве листового проката на ОАО «МК «Азовсталь»**

Продукция	Расходный коэффициент полуфабриката, т/т		Цеховой коэффициент эмиссии $CO_2$ , $e_i$ (т/т)	Расход пара ТЭЦ на полуфабрикат, $q_{ni}$ (Гкал/т)	$q_{ni} \times e_n$ , т/т	$e_i + q_{ni} \times e_n$ , т/т	Сквозной коэффициент эмиссии $CO_2$ , т/т = $q_{ci} \times h_i$
	прямой	сквозной $q_{ci}$					
Лист	1	1	0,2519	0,0895	0,0806	0,3325	0,3325
Сталь конвертерная	1,1927	1,1927	0,1737	0,0869	0,0783	0,2520	0,3006
Чугун	0,9078	1,0827	0,8102	0,5224	0,4707	1,2809	1,3868
Агломерат	0,4243	0,4594	0,1164	0,0081	0,0073	0,1237	0,0568
Известь/а*	0,0670	0,0308					
Известь/с**	0,0601	0,0717					
Итого известь		0,1025	0,9339	0,0769	0,0693	1,0032	0,1028
Прочее							0,0616
Всего ( $K_{cj}$ )							2,2411

$e_n$  – коэффициент эмиссии диоксида углерода при выработке пара на ТЭЦ-ПВС= 0,9011 т/Гкал

\* - расход извести на производство агломерата; \*\* – расход извести на производство стали



**Таблица 2 – Расход пара ТЭЦ на производство различных видов продукции (Мкал/т)**

Наименования	АМК	Азов-сталь	АМКР	Запорож-сталь	ЕМЗ
Известь (в среднем)	–	76,9	64,6	2,0	49,8
Агломерат	0,6	8,1	14,0	4,7	8,7
Чугун	474,3	522,4	624,3	515,1	505,2
Сталь мартеновская	7,7	86,5	123,6	24,5	–
Сталь конвертерная	–	86,9	95,5	–	53,9
Катаные заготовки	0,2	9,5	47,6	3,6	27,2
Листовой прокат г/к	13,6	89,5	–	17,7	–
Сортовой прокат	14,8	43,7	92,8	77,4*	110
Рельсы	–	88,8	–	–	–
Изложницы	8,3	108,4	190,5	74,9	6,2

\* – листовой прокат холоднокатаный

других видов продукции, потому что основное количество пара ТЭЦ расходуется на выработку доменного дутья. Большие расхождения в расходе пара ТЭЦ (474,3–624,3 Мкал/т) объясняются тем, что на производство всех видов продукции (в т.ч. и чугуна) расходуются также электроэнергия ТЭЦ, тепловая энергия ТСЦ и ХОВ, а на их выработку – пар ТЭЦ на различных предприятиях в различных количествах. Наименьший расход пара ТЭЦ на выплавку чугуна (0,4743 Гкал/т) имел место на АМК, так как в 2006 г. на ТЭЦ практически не вырабатывалась электроэнергия – на формирование тепловой энергии ТСЦ расходовалось всего 6,5 % пара ТЭЦ. При этом доля пара ТЭЦ в общем количестве тепловой энергии ТСЦ составляет всего 9,6 %, а остальные 90,4 % – это пар КУ и СИО. На других предприятиях на формирование тепловой энергии ТСЦ расходуется значительно больше пара ТЭЦ – его доля в общем количестве тепловой энергии ТСЦ также существенно выше: на ЕМЗ – 14,5 и 35,4 %; на АМКР (2001 г.) – 33,0 и 82,9 %, на Запорожстали – 27,9

и 59,6 %, на Азовстали – 16,8 и 45,3 %. Приведенный в табл. 2 расход пара ТЭЦ учитывает и его расход на производство дутья, электроэнергии ТЭЦ, ХОВ и тепловой энергии ТСЦ, которую потребляют все цеха на производственные и санитарно-гигиенические нужды.

Другим параметром, определяющим выбросы  $\text{CO}_2$  за счет пара ТЭЦ, является коэффициент эмиссии ( $e_n$ , т  $\text{CO}_2$ /Гкал), зависящий от расхода топлива на его выработку (энергоемкость пара) и от состава расходующего топлива. Сгорание одной тонны условного топлива в виде природного газа дает 1,6–1,8 т  $\text{CO}_2$ , коксового газа – 1,2–1,4 т  $\text{CO}_2$ , доменного газа – 6,7–7,0 т  $\text{CO}_2$ . Следовательно, увеличение доли доменного газа, используемого для выработки пара ТЭЦ, ведет к росту коэффициента эмиссии  $\text{CO}_2$  и к увеличению энергоемкости пара.

Данные по составу потребляемого топлива и по энергоемкости пара на ТЭЦ пяти металлургических предприятий, приведенные в табл. 3, свидетельствуют, что за последние годы в связи с проведением политики энергосбережения и увеличением стоимости природного газа наблюдается четкая тенденция к увеличению доли доменного газа в составе топлива на ТЭЦ. Если в 1999 г. АМК расходовал 51,8 % природного газа и 48,2 % доменного, то в 2006 г. – уже только 4,3 % природного газа, а доменного – 95,7 %. Соответственно, коэффициент эмиссии  $\text{CO}_2$  вырос с 1,160 до 1,5075 т  $\text{CO}_2$ /Гкал. На ТЭЦ Запорожстали в 1990 г. расходовалось доменного газа 44,0 %, коксового – 31,6 %, природного – 19,4 %; величина  $e_n$  составляла 0,6343 т  $\text{CO}_2$ /Гкал. В 2004 г. доля доменного газа возросла до 81,8 %, а коксового и природного снизилась до 6,8 и 10,5 %. Коэффициент эмиссии  $\text{CO}_2$  при производстве пара ТЭЦ соответственно вырос до 0,9532 т  $\text{CO}_2$ /Гкал. Аналогичная тенденция имела место и на других предприятиях. В то же время на Азовстали в 2005 г., Запорожстали

**Таблица 3 – Влияние состава топлива ТЭЦ-ПВС и энергоемкости пара на коэффициент эмиссии диоксида углерода при выработке тепловой энергии**

Предприятие	Год	Энергоемкость пара, кг у.т./Гкал	Состав топлива, %				Коэффициент эмиссии $e_n$ , т $\text{CO}_2$ /Гкал
			доменный газ	коксовый газ	природный газ	мазут	
АМК	1999	231,7	48,2	–	51,8	–	1,1600
АМК	2004	193,5	95,9	0,2	3,9	–	1,3287
АМК	2006	222,3	98,7	–	4,3	–	1,5075
Запорожсталь	1990	168,5	44,0	31,6	19,4	5,0	0,6343
Запорожсталь	2004	167,1	81,8	6,8	10,5	0,9	0,9532
Азовсталь	1999	173,8	50,3	19,4	30,3	–	0,7360
Азовсталь	2005	183,5	66,4	20,0	13,6	–	0,9011
АМКР	1999	160,5	64,9	11,2	23,6	1,2	1,0602
АМКР	2001	160,8	65,5	11,3	23,2	–	1,0522
АМКР	2005	164,4	85,9	9,5	5,2	–	1,2200
ЕМЗ	2001	200,8	82,6	10,8	6,6	–	1,2208
ЕМЗ	2007	188,9	93,9	–	6,1	–	1,2312

в 2004 г. расходовалось большое количество коксового газа (соответственно 20,0 и 6,8 %) и природного (соответственно 13,6 и 10,5 %). Предполагается, что в ближайшее время на ТЭЦ всех предприятий следует ожидать увеличения расхода доменного газа до уровня не менее 95 % всего условного топлива, а следовательно, и увеличения эмиссии диоксида углерода.

В то же время имеются и пути существенного снижения эмиссии  $\text{CO}_2$ . Прежде всего – снижение энергоемкости пара. На АМК в 2006 г. и на ЕМЗ в 2007 г. доля доменного газа в составе топлива ТЭЦ была почти одинакова (соответственно 98,7 и 93,9 %). Однако коэффициент эмиссии диоксида углерода при выработке пара ( $e_p$ , т  $\text{CO}_2$ /Гкал) на АМК составлял 1,5075, на ЕМЗ – на 0,2763 т  $\text{CO}_2$ /Гкал меньше (вследствие того, что энергоемкость пара на ЕМЗ – 188,9 кг у.т./Гкал, что значительно, на 33,4 кг у.т./Гкал, меньше, чем на АМК). На АМКР и Запорожстали энергоемкость пара ТЭЦ еще меньше (164,4–168,5 кг у.т./Гкал). Второй резерв сокращения эмиссии диоксида углерода состоит в улучшении использования вторичных энергоресурсов (ВЭР), прежде всего – пара СИО и КУ, что одновременно приведет к снижению энергоемкости товарной продукции. В этом отношении резкий контраст представляют АМКР и АМК: АМК на пар ТЭЦ расходовал всего 6,5 % пара ТЭЦ, а АМКР – 33,0 %. На АМК в паре ТЭЦ содержалось пара ТЭЦ 9,6 %, а на АМКР – 82,9 %.

Не на много лучше положение и на Запорожстали, где тепловая энергия ТЭЦ на 58,8 % сформирована за счет пара ТЭЦ. При проведении мероприятий по улучшению использования ВЭР можно получить дополнительный выход 288 тыс. Гкал пара, за счет чего доля пара ТЭЦ в паре ТЭЦ снизится до 30 %, а его выработка – с 2400,6 до 2112 тыс. Гкал. В результате этого эмиссия  $\text{CO}_2$  сократится на  $288 \times 0,9532 = 274,5$  тыс. т в год. Учитывая вероятный рост величины  $e_p$  до 1,10 т  $\text{CO}_2$ /Гкал за счет увеличения доли доменного газа

в составе топлива ТЭЦ, снижение эмиссии  $\text{CO}_2$  может составить 317 тыс. т в год.

Наиболее существенное снижение энергоемкости товарной продукции в горно-металлургическом комплексе связано в той или иной мере с уменьшением сквозного расхода чугуна на производство проката: увеличение расхода металлолома на выплавку стали и замена разлива стали в слитки на непрерывную разливку, в результате чего сквозной расход чугуна на производство проката значительно снижается. Большое влияние на изменение энергоемкости проката оказывает изменение его сортамента, а также марочного сортамента стали при ее разливе в слитки. Внедрение указанных выше мероприятий ведет к изменению сквозного расходного коэффициента чугуна, которое обуславливает и адекватное изменение расхода агломерата, кокса и коксовой мелочи, а следовательно, и эмиссии диоксида углерода за счет изменения объемов их производства. При анализе причин изменения выбросов диоксида углерода за счет изменения расхода чугуна, агломерата и кокса сквозной коэффициент эмиссии диоксида углерода можно рассматривать как единый комплексный показатель.

Расчет сквозной эмиссии диоксида углерода при производстве чугуна приведен в табл. 4. Для корректности сравнения выбросов диоксида углерода различными предприятиями была учтена эмиссия от производства всего необходимого агломерата и кокса независимо от места их производства. Для расчета приняты фактические показатели производства каждого предприятия.

По приведенным данным (табл. 4), сквозной отраслевой коэффициент эмиссии  $\text{CO}_2$  при производстве чугуна на АМК (1,7254 т  $\text{CO}_2$ /т) только незначительно выше, чем на АМКР (1,6940 т  $\text{CO}_2$ /т), Запорожстали (1,6699 т  $\text{CO}_2$ /т) и Азовстали (1,6513 т  $\text{CO}_2$ /т). Незначительные различия в коэффициентах эмиссии  $\text{CO}_2$  дают возможность более четко выявлять влияние сквозного расходного коэффи-

**Таблица 4 – Расчет коэффициентов полной металлургической эмиссии диоксида углерода (КПМЭ) за счет производства чугуна**

Наименования	Единицы измерения	АМК	Азовсталь	АМКР	Запорожсталь
Коэффициент эмиссии $\text{CO}_2$ при выработке пара ТЭЦ	т $\text{CO}_2$ /Гкал	1,3287	0,9011	1,0220	0,9532
Расход пара ТЭЦ на выплавку чугуна	Гкал/т	0,4743	0,5224	0,5632	0,5151
<b>Сквозной коэффициент эмиссии <math>\text{CO}_2</math> на производство чугуна:</b>					
• расхода пара ТЭЦ на выплавку чугуна	т $\text{CO}_2$ /т	0,6302	0,4707	0,5756	0,4910
• выплавки чугуна	т $\text{CO}_2$ /т	0,5952	0,8102	0,5668	0,7036
• производства агломерата <sup>*)</sup>	т $\text{CO}_2$ /т	0,3436	0,2210	0,4323	0,3368
• производства извести <sup>*)</sup>	т $\text{CO}_2$ /т	0,0527	0,0443	0,0152	0,0381
• производства кокса и коксовой мелочи <sup>**)</sup>	т $\text{CO}_2$ /т	0,1037	0,1051	0,1041	0,1004
Итого КПМЭ	т $\text{CO}_2$ /т	1,7254	1,6513	1,6940	1,6699
*) - с учетом расхода пара ТЭЦ на производство агломерата и извести					
**) - с учетом покупных агломерата (окатышей) и кокса					



циента чугуна при изменении технологии производства или сортамента товарной продукции.

В табл. 5 приведен расчет коэффициентов полной металлургической (сквозной) эмиссии диоксида углерода при производстве различных видов проката на четырех металлургических предприятиях. Для расчета приняты следующие цеховые коэффициенты эмиссии  $\text{CO}_2$  при производстве стали и катаных заготовок (с учетом расхода пара ТЭЦ): для АМК (2004 г.) – 0,2149 и 0,1962 т  $\text{CO}_2$ /т; для Азовстали – 0,5378 (сталь мартеновская); 0,2520 (сталь конвертерная) и 0,1602 т  $\text{CO}_2$ /т; для АМКР – 0,1905 и 0,1281 т  $\text{CO}_2$ /т; для Запорожстали – 0,2991 и 0,1387 т  $\text{CO}_2$ /т. Для чугуна значения коэффициентов полной металлургической эмиссии диоксида углерода приведены в табл. 4.

Результаты расчета показывают, что основная масса эмиссии  $\text{CO}_2$  (65–79 % от ее общего количества) – это следствие выплавки чугуна и полуфабрикатов для его производства (кокс, агломерат).

Обращает внимание явно выраженная зависимость между сквозным расходным коэффициентом чугуна ( $q_{\text{cl}}$ ) на производство товарного проката и величиной сквозной эмиссии диоксида углерода. Наибольший расход чугуна имел место на АМК при производстве листового проката – 1,1091 т/т и, соответственно,  $\sum q_{\text{cl}} h_{\text{cl}} = 2,9611$  т  $\text{CO}_2$ /т; наименьшее значение  $q_{\text{cl}}$  и  $\sum q_{\text{cl}} h_{\text{cl}}$  – на Запорожстали при производстве горячекатаного листа (соответственно 0,85 т/т и 2,0544 т  $\text{CO}_2$ /т). Из этой зависимости выпадает производство сортового проката и товарной заготовки (непрерывно-литых слябов конвертерного цеха) на Азовстали – и высокий расход чугуна полностью нивелируется отсутствием обработки металла в обжим-

ном и прокатных цехах, а следовательно, и выбросов диоксида углерода в них. На АМК, АМКР, Запорожстали и Азовстали (для производства рельсов) сталь разливается в слитки, которые обжимаются на блюмингах, что увеличивает выбросы  $\text{CO}_2$  в атмосферу.

Очень высокий коэффициент сквозной эмиссии диоксида углерода при производстве рельсов (2,5799 т  $\text{CO}_2$ /т) при сравнительно небольшом расходном коэффициенте чугуна (0,7685 т/т) – это результат того, что цеховые коэффициенты эмиссии  $\text{CO}_2$  в рельсобалочном (0,4027 т  $\text{CO}_2$ /т) и мартеновском (0,5378 т  $\text{CO}_2$ /т) цехах Азовстали значительно выше, чем в сталеплавильных и сортопрокатных цехах других комбинатов.

Производство толстолистного проката, особенно при разливке стали в слитки, обуславливает более высокий сквозной коэффициент эмиссии диоксида углерода (на АМК – 2,9611; на Азовстали – 2,5724 т  $\text{CO}_2$ /т), чем при производстве сортового проката (на АМК – 2,0964; на Азовстали – 2,5799 т  $\text{CO}_2$ /т; на АМКР – 2,5042 т  $\text{CO}_2$ /т) или тонкого листа (на Запорожстали – 2,0544 т  $\text{CO}_2$ /т) в основном из-за различия в величине обрезки металла в листопрокатных цехах. Для толстого листа обрезь составляет 192,7–215,1 кг/т, для сортового проката – 34,7–56,1 кг/т, для тонкого листа – 25,3 кг/т. Разница в расходных коэффициентах стали на прокат предопределяет разницу в сквозных расходных коэффициентах чугуна в пересчете на тонну готового проката.

Непрерывная разливка стали в сравнении с разливкой ее в слитки обеспечивает существенное снижение эмиссии диоксида углерода. Так, на Азовстали при производстве листового проката сквозной коэффициент эмиссии на 0,3887 т  $\text{CO}_2$ /т ниже, чем на АМК, где в 2004 г.

**Таблица 5 – Сравнительный анализ коэффициентов полной металлургической эмиссии диоксида углерода (КПМЭ, т  $\text{CO}_2$ /т) при производстве различных видов продукции**

	АМК				Азовсталь						АМКР				Запорожсталь	
	лист		сорт		лист		сляб		рельс		сорт		заготовка		лист	
	$q_c$ , т/т	$q_c h_c$ , т $\text{CO}_2$ /т	$q_c$ , т/т	$q_c h_c$ , т $\text{CO}_2$ /т	$q_c$ , т/т	$q_c h_c$ , т $\text{CO}_2$ /т	$q_c$ , т/т	$q_c h_c$ , т $\text{CO}_2$ /т	$q_c$ , т/т	$q_c h_c$ , т $\text{CO}_2$ /т	$q_c$ , т/т	$q_c h_c$ , т $\text{CO}_2$ /т	$q_c$ , т/т	$q_c h_c$ , т $\text{CO}_2$ /т	$q_c$ , т/т	$q_c h_c$ , т $\text{CO}_2$ /т
Сортовой прокат			1	0,1559					1,0	0,4027	1	0,1864				
Листовой прокат	1	0,4109			1	0,3325									1,0000	0,0721
Катаная заготовка	1,2151	0,2384	1,0359	0,2032					1,0561	0,1692	1,0347	0,1325	1,000	0,1281	1,0253	0,1422
Сталь	1,4827	0,3182	1,1104	0,2386	1,1927	0,3006	1	0,2520	1,2160	0,6540	1,1411	0,2174	1,1028	0,2101	1,1567	0,3460
Производство чугуна	1,1091	1,9114	0,8317	1,4333	1,0827	1,7879	0,9078	1,4991	0,7685	1,2690	1,0120	1,7441	0,9781	1,6567	0,8500	1,4194
Известь	0,0468	0,0398	0,0351	0,0298	0,0841	0,0868	0,0706	0,0729	0,0132	0,0132	0,0806	0,1004	0,0779	0,0971	0,0401	0,0324
Прочее		0,0424		0,0356		0,0646		0,0640		0,0718		0,1234		0,1334		0,0423
Итого КПМЭ		2,9611		2,0964		2,5724		1,888		2,5799		2,5042		2,2254		2,0544

сталь разливали в слитки. При этом отсутствие обжимного передела позволило снизить сквозную эмиссию только на 0,2384 т  $\text{CO}_2/\text{т}$ . Остальная разница (примерно 0,15 т  $\text{CO}_2/\text{т}$ ) – это результат снижения сквозных расходных коэффициентов полуфабрикатов, несмотря на более высокий расход чугуна на выплавку стали в конвертерах Азовстали (0,9077 т/т) по сравнению с мартеновским цехом АМК (0,7480 т/т).

Основное количество выбрасываемого в атмосферу металлургическими предприятиями диоксида углерода связано с производством товарной металлургической и коксохимической продукции. Но эмиссия диоксида углерода часто обуславливается и выработкой товарных производных энергоносителей. Например, на Запорожстали в 2004 г. выбросы в атмосферу  $\text{CO}_2$  вызваны производством следующей товарной продукции: проката – 7334,1 тыс. т (92,3 % общего количества  $\text{CO}_2$ ), изделий четвертого передела (жесть, гнутые профили проката) – 269,0 тыс. т (3,4 %), чугуна и чугунных изложниц – 101,5 тыс. т (1,3 %), производных энергоносителей – 242,9 тыс. т (3,0 %). В данном случае к товарным энергоносителям (пар, горячая и техническая вода, кислород, сжатый воздух и т.д.) отнесены и энергоносители, которые передаются в коммунальное хозяйство и не задействованы в производственном процессе. На их выработку косвенно расходуется не только пар ТЭЦ, но и часть электроэнергии, выработанной в ТЭЦ. Это обстоятельство следует обязательно учитывать в прогнозных расчетах эмиссии ПГ.

## ВЫВОДЫ

Разработана методика расчета выбросов диоксида углерода металлургическими предприятиями с учетом изготовления полуфабрикатов в процессе производства товарной продукции. Показано, что при производстве проката наибольшее влияние на эмиссию диоксида углерода оказывает его сортament, способ выплавки и разливки стали, расход чугуна на ее выплавку. На производство чугуна и необходимых для его выплавки полуфабрикатов (агломерат, кокс, коксовая мелочь, пар ТЭЦ) приходится

65-79 % эмиссии диоксида углерода. Радикальное снижение величины эмиссии может быть достигнуто за счет уменьшения расхода чугуна на выплавку стали, внедрения ее непрерывной разливки, снижения расхода топлива на выработку пара ТЭЦ и более полного использования пара котлов-утилизаторов и систем испарительного охлаждения для технологических и санитарно-бытовых целей в цехах предприятия.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Грищенко, С.Г.** Применение метода сквозной энергоемкости для анализа затрат энергоресурсов в горно-металлургическом комплексе / С.Г. Грищенко, Д.В. Сталинский, В.Г. Литвиненко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2009. – № 1. – С. 109–114.
2. **Сталинский, Д.В.** Зависимость энергоемкости товарного проката от технологии производства / Д.В. Сталинский, В.Г. Литвиненко, Г.Н. Грецкая, Т.А. Андреева // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2006. – № 5. – С. 103–108.
3. **Литвиненко, В.Г.** Расход энергоресурсов на производство металлургической продукции / В.Г. Литвиненко, Д.В. Сталинский, Г.Н. Грецкая, Т.А. Андреева // *Сталь*. – 2005. – № 7. – С. 124–128.
4. **Литвиненко, В.Г.** Методика оценки изменения энергоемкости продукции в черной металлургии / В.Г. Литвиненко, Г.Н. Грецкая, Т.А. Андреева // *Сталь*. – 2003. – № 1. – С. 103–104.
5. **Андреева, Т.А.** Программное обеспечение учета и нормирования сквозного расхода энергоносителей в промышленном производстве / Т.А. Андреева, В.Г. Литвиненко, Г.Н. Грецкая // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»* : збірник наукових праць. Тематичний випуск : Технічний прогрес і ефективність виробництва. – Х. : НТУ «ХПІ», 2005. – № 33. – С. 3–6.

*Поступила в редакцию 17.03.2010*

У статті показано, що доменне виробництво надає найбільший вклад у формування величини емісії диоксида вуглецю на металургійних підприємствах з повним циклом виробництва. За рахунок виробництва чавуну та необхідних для його виплавки напівфабрикатів (агломерат, кокс, коксовий дріб'язок, пара ТЭЦ) емісія диоксида вуглецю визначається у межах 65–79 %. Надано методику розрахунку викидів диоксида вуглецю з урахуванням необхідності виготовлення напівфабрикатів на металургійних підприємствах у процесі виробництва товарної продукції.

The article shows that blast furnace production has the most considerable impact on carbon dioxide emissions formation at integrated iron & steel works. During cast-iron production and necessary for its smelting semi-products (sinter, coke, coke fines, steam of heat stations) carbon dioxide emission is predetermined within the limits of 65–79 %. The technique for calculating carbon dioxide emissions taking into account the necessity of manufacturing semi-products during production process at the integrated iron and steel works is presented.