

УДК 662.6.004.18

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

А.Л. КАНЕВСКИЙ, к.т.н., заведующий лабораторией, Т.А. АНДРЕЕВА, к.э.н., старший научный сотрудник,

А.Л. СКОРОМНЫЙ, заместитель заведующего лабораторией, А.А. СЛИСАРЕНКО, научный сотрудник

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

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

Исходя из изменений расходов полуфабрикатов на производство конечной (товарной) продукции, предложена методика прогнозирования объемов выбросов парниковых газов в атмосферу на предприятиях горно-металлургического комплекса.

парниковые газы, эмиссия, выбросы парниковых газов, сквозные коэффициенты эмиссии, расходные коэффициенты, полуфабрикаты

Для осуществления механизмов Киотского протокола – таких, как реализация излишков квот эмиссии парниковых газов и внедрение проектов совместного осуществления – необходима информация не только о фактических выбросах парниковых газов, но и надежный прогноз их изменения. Это тем более важно, что на многих металлургических предприятиях в последние годы осуществляется или намечается реконструкция, существенно изменяются объемы производства и сортмент товарной продукции.

В настоящее время не существует методики прогнозирования эмиссии парниковых газов для предприятий горно-металлургического комплекса. Прогнозы выбросов парниковых газов в атмосферу основываются, главным образом, на прогнозах изменения производства чугуна, стали и проката (без учета изменения технологии их производства) [1].

Результаты расчета выбросов парниковых газов (ПГ) на металлургических предприятиях представляются в соответствии с [2] по модели

$$W = \sum Q_i \cdot e_i + W_p, \quad (1)$$

где W – эмиссия ПГ, т;

Q_i – объем производства i -ых видов продукции, т;

e_i – коэффициент эмиссии ПГ при производстве i -ого вида продукции, т/т;

W_p – величина эмиссии ПГ в результате прочих видов производственной деятельности (услуг), т. К прочим видам деятельности относятся изготовление и термообработка запасных частей, оказание ремонтных и транспортных услуг и т.п.

В соответствии с моделью (1) в табл. 1 представлены результаты инвентаризации ПГ, проведенной на ОАО «Алчевский металлургический комбинат» (далее – АМК). Используя модель (1), можно прогнозировать эмиссию ПГ только на основании изменения e_i , величина которой определяется, главным образом, удельным расходом и видом топлива на производство i -ой продукции (услуг). Алгоритм расчета величины e_i для каждого вида продукции подробно изложен в [2].

Таблица 1 – Эмиссия парниковых газов на ОАО «АМК» по результатам инвентаризации

Продукция	Коэффициент эмиссии e_i , т CO_2 /т	Объем производства Q_i , тыс. т	Эмиссия ПГ $Q_i \times e_i$, тыс. т CO_2	Продукция	Коэффициент эмиссии e_i , т CO_2 /т	Объем производства Q_i , тыс. т	Эмиссия ПГ $Q_i \times e_i$, тыс. т CO_2
Известь	0,8498	292,5	248,6	Листовой прокат	0,3928	1380,5	542,3
Агломерат	0,1903	5007,4	953,1	Сортовой прокат	0,1379	1380,0	188,0
Чугун	0,5952	2893,9	1722,6	Изложницы	0,5847	54,0	31,6
Сталь	0,2047	3764,9	770,7	Пар ТЭЦ*	1,3287	1271,6	1689,6
Заготовки	0,2266	3261,9	639,0	Прочее			55,3
				Итого			6840,8

*) здесь и далее для пара ТЭЦ e_i и $q_i \times e_i$ – в т CO_2 /Гкал, а для Q_i – в тыс.Гкал



Величина W_p составляет обычно менее 1 % общей массы выбросов ПГ и ее можно считать постоянной. Однако на основании модели (1) невозможно рассчитать, насколько будет изменяться величина эмиссии ПГ при изменении объемов производства товарной продукции или при существенном изменении технологических параметров производства или сортамента товарной продукции.

Авторами разработана иная модель расчета эмиссии ПГ, основанная на принципах планирования производства предприятиями. Вначале прогнозируются объемы производства товарной продукции и ее сортament, затем в соответствии с технологией производства рассматривается производство полуфабрикатов и сменного оборудования и определяется потребность в топливе и сырье. Такая модель представлена ниже

$$W = \sum Q_j \cdot (q_{jj} \cdot e_i + q_{jk} \cdot e_k + e_p), \quad (2)$$

где Q_j – объем производства j -ой товарной продукции, т;
 q_{jj} – сквозной расходный коэффициент i -ого полуфабриката (сменного оборудования) на изготовление j -ой товарной продукции, т/т;

q_{jk} – сквозной коэффициент расхода пара ТЭЦ на изготовление j -ой товарной продукции, Гкал/т;

e_i – коэффициент эмиссии ПГ при выработке пара ТЭЦ, т CO_2 /Гкал;

e_p – условно постоянная величина эмиссии ПГ в результате выполнения различных работ, отнесенная на единицу j -ой товарной продукции, т CO_2 /т.

Сквозной расходный коэффициент полуфабриката q_{jj} – это количество полуфабриката собственного производства, необходимого для изготовления единицы товарной продукции с учетом всех предыдущих переделов. Например, если расходный коэффициент катаных заготовок на производство сортового проката составляет 1,05 т/т, стали на производство заготовок – 1,2 т/т; чугуна на выплавку стали – 0,7 т/т, то сквозной расходный коэффициент чугуна на сортовой прокат составит $1,05 \times 1,2 \times 0,7 = 0,882$ т/т. Информация о расходных коэффициентах полуфабрикатов на каждом переделе содержится в технических отчетах предприятий. Коэффициент эмиссии ПГ – e_i может существенно меняться в зависимости от соотношения видов используемого газообразного топлива. Так, при сгорании тонны условного топлива ПГ выделяется 1,75 т CO_2 , коксового газа – 1,243 т CO_2 , доменного газа – 6,647 т CO_2 . Именно различием соотношения видов топлива обусловлена, в основном, разница в коэффициентах эмиссии ПГ при выработке пара ТЭЦ на АМК (1,3287 т CO_2 /Гкал), ОАО «Запорожсталь» (1,102 т CO_2 /Гкал) и ОАО «Азовсталь» (0,9011 т CO_2 /Гкал). Следует иметь в виду, что в связи с ростом цен на ПГ

имеет место тенденция к увеличению доли доменного газа в топливе для ТЭЦ, а следовательно, и увеличение коэффициента эмиссии ПГ при выработке пара. Если сквозные расходные коэффициенты полуфабрикатов рассчитываются достаточно просто, то расчет сквозного расходного коэффициента пара ТЭЦ (q_{jk}) представляет определенные трудности. Сложность состоит в том, что часть пара ТЭЦ расходуется на выработку дутья для доменных печей. Остальной пар (до 50 % от выработки) расходуется на химическую очистку воды, выработку электроэнергии, а также поступает в общую систему парораспределения по цехам, где смешивается с паром от котлов-утилизаторов или систем испарительного охлаждения. Электроэнергия от ТЭЦ вместе с покупной электроэнергией распределяется между цехами так же. Расходный коэффициент пара ТЭЦ (q_{jk}) следует рассчитывать на ПК по программе, разработанной УкрГНТЦ «Энергосталь» для расчета сквозной энергоемкости [3].

В табл. 2 приведен расчет эмиссии ПГ на АМК по модели (2) с использованием данных инвентаризации ПГ. На момент инвентаризации основной товарной продукцией АМК были толстолистовой и сортовой прокат, чугуна и катаные заготовки (в основном – слябы). Сталь выплавлялась в мартеновском цехе и разливалась в слитки. Сортовой прокат изготавливали, главным образом, из полуспокойной стали, листовая прокат – из спокойной и низколегированной, что нашло отражение в расходных коэффициентах стали на заготовки (1,0719 т/т – для сортового проката; 1,2186 кг/т – для листового). Расход чугуна на выплавку стали составлял 0,7346 т/т. Коэффициенты эмиссии ПГ приведены в табл. 2. Из данных табл. 2 следует, что производство тонны листового проката сопровождается выбросом в атмосферу 2,7766 т ПГ, сортового проката – 1,8791 т ПГ, слябов – 1,9960 т ПГ, чугуна – 1,5260 т ПГ. С учетом объемов производства этих видов товарной продукции выбросы ПГ в атмосферу составляют 6836,1 тыс. т CO_2 /год, остальные 40,2 тыс. т CO_2 (0,6 %) – это следствие производства других видов товарной продукции, в т.ч. пара, катаных шаров, товаров народного потребления и т.д. Величина сквозных выбросов ПГ при производстве листового проката по сравнению с производством сортового проката на 0,8975 т CO_2 /т выше, что в основном является следствием более высоких сквозных расходных коэффициентов полуфабрикатов из-за разницы в марочном составе выплавляемой стали. Разница между коэффициентами эмиссии ПГ в листопрокатном (0,3928 т CO_2 /т) и сортопрокатном (0,1379 т CO_2 /т) цехах влияет существенно меньше.

Для проката, заготовок и чугуна выбросы ПГ в основном определяются сквозным расходом чугуна (0,495–

0,6612 т/т) и пара ТЭЦ (483,6–644,9 Гкал/т) на тонну товарной продукции.

Используя модель (2), рассмотрим влияние на эмиссию ПГ изменения расхода чугуна на выплавку стали. Допустим, что расход чугуна на выплавку стали снизился на 0,1 т/т. Однако, при значительном сокращении расхода чугуна в мартеновских печах следует ожидать увеличения расхода ПГ и за счет этого – увеличения коэффициента эмиссии ПГ при выплавке стали (ориентировочно – с 0,2047 до 0,2250 т CO₂/т). В этом случае (табл. 3) существенно снизится не только сквозной расход чугуна (для листового проката – на 0,1097 т/т, для сортового – на

0,0824 т/т, для слябов – на 0,0904 т/т), но и агломерата и, незначительно, извести. За счет этого сквозной коэффициент эмиссии ПГ сократится для листового проката до 2,6361 т/т, для сортового – до 1,8450 т/т, для слябов – до 1,8439. В целом по комбинату следует ожидать снижение выбросов парниковых газов на 259,9 тыс. т CO₂/год.

Для анализа влияния марочного сортамента стали на изменение выбросов ПГ допустим, что листовой прокат и катаные слябы производятся, в основном, из полуспокойной стали, а сортовой прокат – из спокойной и легированной. В этом случае расходный коэффициент стали на заготовки для сортового проката (блумса) принят 1,2 т/т,

Таблица 2 – Влияние коэффициентов эмиссии (e_p, т CO₂/т), сквозных расходных коэффициентов (q_п, т/т) и объемов производства товарной продукции (Q_п, тыс. т) на величину эмиссии парниковых газов (W, тыс. т CO₂) в условиях ОАО «Алчевский металлургический комбинат»

Продукция	e _p , т CO ₂ /т	Листовой прокат		Сортовой прокат		Слябы		Чугун	
		Q _п =1380,5 тыс. т		Q _п =1380 тыс. т		Q _п =154,9 тыс. т		Q _п =69 тыс. т	
		q _п , т/т	q _п × e _p , т CO ₂ /т	q _п , т/т	q _п × e _p , т CO ₂ /т	q _п , т/т	q _п × e _p , т CO ₂ /т	q _п , т/т	q _п × e _p , т CO ₂ /т
Известь	0,8498	0,1131	0,0961	0,0848	0,0721	0,0931	0,0791	0,0597	0,0507
Агломерат	0,1903	1,9223	0,3658	1,4415	0,2743	1,5821	0,3011	1,7303	0,3293
Чугун *)	0,5952	1,1109	0,6612	0,8331	0,4959	0,9144	0,5443	1,0000	0,5952
Изложницы	0,5847	0,0198	0,0116	0,0149	0,0087	0,0163	0,0950		
Сталь в слитках	0,2047	1,4808	0,3031	1,1103	0,2273	1,2186	0,2495		
Заготовки	0,2266	1,2151	0,2753	1,0359	0,2347	1,0	0,2266		
Сортовой прокат	0,1379			1,0	0,1379				
Листовой прокат	0,3928	1,0000	0,3928						
Пар ТЭЦ	1,3287	0,4854	0,6449	0,3640	0,4836	0,3995	0,5308	0,4369	0,5805
Прочие			0,0258		0,0167		0,0187		0,021
Итого			2,7766		1,8791		1,9660		1,5260
W=e _p × q _п × Q _п , тыс. тCO ₂			3833,1		2593,2		304,5		105,3

*) здесь и в табл. 3, 4 – с учетом расхода чугуна на отливку изложниц и поддонов

Таблица 3 – Прогнозируемая эмиссия парниковых газов при снижении расходного коэффициента чугуна на выплавку мартеновской стали до 0,6618 т/т

Продукция	e _p , т CO ₂ /т	Листовой прокат		Сортовой прокат		Слябы	
		Q _п = 1380,5 тыс. т		Q _п = 1380,0 тыс. т		Q _п = 154,9 тыс. т	
		q _п , т/т	q _п × e _p , т CO ₂ /т	q _п , т/т	q _п × e _p , т CO ₂ /т	q _п , т/т	q _п × e _p , т CO ₂ /т
Известь	0,8498	0,1066	0,0906	0,0800	0,0680	0,0877	0,0745
Агломерат	0,1903	1,7324	0,3297	1,2989	0,2472	1,4258	0,2713
Чугун	0,5952	1,0012	0,5959	0,7507	0,4468	0,8240	0,4904
Изложницы	0,5847	0,0198	0,0116	0,0149	0,0087	0,0169	0,0099
Сталь в слитках	0,2250	1,4808	0,3332	1,1103	0,2498	1,2186	0,2742
Заготовки	0,2266	1,2151	0,2753	1,0359	0,2347	1,0000	0,2266
Сортовой прокат	0,1379			1,0000	0,1379		
Листовой прокат	0,3928	1,0000	0,3928				
Пар ТЭЦ	1,3287	0,4374	0,5812	0,3280	0,4358	0,3600	0,4783
Прочие			0,0258		0,0161		0,0187
Итого			2,6361		1,8450		1,8439
W=e _p × q _п × Q _п , тыс.тCO ₂			3639,1		2546,1		285,60



а на слябы для листового проката – 1,1 т/т. Расходные коэффициенты заготовок на прокат остаются на прежнем уровне (1,0359 т/т – для сортового проката, 1,2151 т/т – для листового проката). Величина сквозных расходных коэффициентов стали, чугуна, агломерата, пара ТЭЦ, извести, естественно, пересчитывается (табл. 4). При таком изменении сортамента стали сквозной коэффициент эмиссии ПГ при производстве листового проката по сравнению с фактическим снижается до 2,4599 т CO₂/т, при производстве слябов – до 1,7904 т CO₂/т, при производстве сортового проката – увеличивается до 2,1354 т CO₂/т. В данном варианте выбросы ПГ в целом по комбинату снизятся на 110,7 тыс.т CO₂ (табл. 2).

Наиболее серьезные изменения в структуре образования парниковых газов происходят при изменении способа выплавки стали с мартеновского на конвертерный с одновременной заменой разливки стали в слитки на непрерывную разливку. При этом существенно снижается коэффициент эмиссии ПГ в сталеплавильном произ-

водстве и уменьшаются выбросы ПГ за счет ликвидации обжимного цеха. За счет значительного сокращения обжижки стали с 0,080–0,230 т/т (при разливке в слитки) до 0,015–0,020 т/т (при непрерывной разливке) существенно сокращаются сквозные расходные коэффициенты чугуна, агломерата, извести. Кроме того, отпадает необходимость в производстве изложниц и расходе чугуна на их отливку. Однако, возрастает расход извести на выплавку стали и увеличивается расход топлива на обжиг известняка для улучшения качества извести. Следовательно, увеличивается коэффициент эмиссии ПГ при производстве стали.

Расход чугуна на выплавку стали может оставаться на уровне 0,740 т/т, что имело место в 80-х годах прошлого века. Однако, вероятнее всего, из-за недостатка металлолома расход чугуна может возрасти на 100 кг на тонну стали. Поэтому при анализе изменения эмиссии ПГ рассмотрены оба варианта (табл. 5).

Таблица 4 – Влияние марочного состава стали при разливке в слитки на эмиссию парниковых газов

Продукция	e _p , т CO ₂ /т	Листовой прокат		Сортовой прокат		Сляб	
		Q _p = 1380,5 тыс. т		Q _p = 1380,0 тыс. т		Q _p = 154,9 тыс. т	
		q _п , т/т	q _п × e _i , т CO ₂ /т	q _п , т/т	q _п × e _i , т CO ₂ /т	q _п , т/т	q _п × e _i , т CO ₂ /т
Известь	0,8498	0,1020	0,0867	0,0949	0,0806	0,0840	0,0713
Агломерат	0,1903	1,7327	0,2232	1,6113	0,3066	1,4258	0,2713
Чугун	0,5952	1,0014	0,5960	0,9312	0,5542	0,8240	0,4904
Изложницы	0,5847	0,0179	0,0105	0,0166	0,0097	0,0147	0,0086
Сталь в слитках	0,2047	1,3366	0,2736	1,2431	0,2545	1,1000	0,2252
Заготовки	0,2266	1,2151	0,2713	1,0359	0,2347	1,0000	0,2266
Сортовой прокат	0,1379			1,0000	0,1379		
Листовой прокат	0,3928	1,0000	0,3928				
Пар ТЭЦ	1,3287	0,4365	0,5800	0,4068	0,5405	0,3600	0,4783
Прочие			0,0258		0,0167		0,0187
Итого			2,4599		2,1354		1,7904
W=e _p × q _п × Q _p , тыс.т			3395,9		2946,9		277,30

Таблица 5 – Прогнозируемая эмиссия парниковых газов при различных значениях расходного коэффициента чугуна на выплавку конвертерной стали

Продукция	e _p , т CO ₂ /т	Расход чугуна на выплавку стали 0,7347 т/т				Расход чугуна на выплавку стали 0,8347 т/т			
		листовой прокат		слябы		листовой прокат		слябы	
		q _п , т/т	q _п × e _i , т CO ₂ /т	q _п , т/т	q _п × e _i , т CO ₂ /т	q _п , т/т	q _п × e _i , т CO ₂ /т	q _п , т/т	q _п × e _i , т CO ₂ /т
Известь	0,9940	0,1535	0,1526	0,1253	0,1245	0,161	0,160	0,1324	0,1316
Агломерат	0,1903	1,5756	0,2998	1,2968	0,2468	1,790	0,3406	1,4732	0,2803
Чугун	0,5952	0,9106	0,5420	0,7494	0,4460	1,0345	0,6157	0,8514	0,5068
Сталь (слябы) ^{*)}	0,168	1,2394	0,2082	1,02	0,1714	1,2394	0,2082	1,02	0,1714
Листовой прокат	0,3928	1	0,3928	–	–	1	0,3928	–	–
Пар ТЭЦ	1,3287	0,390	0,5182	0,3210	0,4265	0,4431	0,5887	0,3647	0,4846
Прочие			0,0258		0,0167		0,0258		0,0167
Итого			2,1394		1,4319		2,3318		1,5914

^{*)} для непрерывной разливки стали

В связи с тем, что на АМК прослеживается четкая тенденция к сокращению производства сортового проката, изменения в эмиссии ПГ при внедрении МНЛЗ рассматриваются только для производства листового проката и товарных литых слябов.

Из приведенных в табл. 5 данных следует, что в случае производства листового проката без изменения расхода чугуна на выплавку стали коэффициент сквозной эмиссии ПГ может сократиться с 2,7766 до 2,1394 т $\text{CO}_2/\text{т}$, а при производстве слябов – с 1,9660 до 1,4319 т $\text{CO}_2/\text{т}$. Это значит, что при неизменном объеме производства листового проката (1380,5 тыс. т) и товарных слябов (154,9 тыс. т) эмиссия ПГ снизится на 962,4 тыс. т $\text{CO}_2/\text{год}$.

При увеличении расхода чугуна на выплавку стали до 0,8347 т/т (вследствие роста расходных коэффициентов полуфабрикатов) сквозной коэффициент эмиссии ПГ при производстве листового проката увеличился на 0,1924 т $\text{CO}_2/\text{т}$ (с 2,1394 до 2,3318 т $\text{CO}_2/\text{т}$), а при производстве слябов – на 0,1595 т $\text{CO}_2/\text{т}$ (с 1,4319 до 1,5914 т $\text{CO}_2/\text{т}$). Следовательно, при неизменном объеме производства листового проката и товарных слябов эмиссия ПГ возрастет на 290,3 тыс. т CO_2 в сравнении с вариантом, когда расход чугуна – 0,7347 т/т.

Следует отметить, что марочный сортамент разливаемой стали практически не оказывает влияния на ее расходный коэффициент и поэтому выбросы ПГ в атмосферу от марочного состава стали не зависят.

В настоящей статье рассмотрено влияние на эмиссию ПГ нескольких наиболее значимых параметров производства. Предложенная методика прогнозирования позволяет рассматривать влияние и других параметров, в т.ч. их совместное влияние.

ВЫВОДЫ

Исходя из изменения расхода полуфабрикатов на производство конечной товарной продукции, разрабо-

тана методика прогнозирования выбросов парниковых газов в атмосферу. Проведено количественное сравнение эмиссии парниковых газов в зависимости от изменения способа выплавки и разливки стали, расхода чугуна на ее выплавку, марочного состава выплавляемой стали. Разработанная методика прогнозирования может быть использована на любых предприятиях со сложной схемой производства конечной продукции, включающей изготовление полуфабрикатов и сменного оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лавошник А.С. Оценка эмиссии парниковых газов металлургических предприятий на среднесрочную перспективу на основе данных оценочной инвентаризации / А.С. Лавошник, Д.В. Федорус, Д.В. Семенов, О.В. Москаева // Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов : XVI международн. науч.-практ. конф., 2–6 июня 2008 г., г. Щелкино / УкрГНТЦ «Энергосталь» : сб. научн. стат. В 2-х т. Т. 1. – Харьков : Изд-во «Сага», 2008. – С. 314–317.
2. Керівництво по проведенню розрахунків обсягів викидів парникових газів на підприємствах гірничо-металургійного комплексу України / Д. В. Сталінський [та ін.] : затв. Мінпромполітики України 17.02.2006 ; погоджено Мінприроди України 27.02.2006. – Харків : УкрГНТЦ «Енергосталь», 2006. – 31 с.
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.

Поступила в редакцию 06.04.2009

Виходячи зі змін витрат полуфабрикатів на виробництво кінцевої (товарної) продукції, запропоновано методику прогнозування обсягів викидів парникових газів в атмосферу на підприємствах гірничо-металургійного комплексу.

Technique of forecasting greenhouse gas emissions released into atmospheric air from mining-metallurgical enterprises based on change in consumption of semi-finished items on manufacture of final [commodity] products is offered.