

Во время работы печи происходит неорганизованный подсос воздуха из холодильника, отрицательно сказывающийся на возможности регулирования процесса горения. При постоянной производительности это не являлось бы существенным недостатком. Но в реалиях современного процесса производства глинозема требуется частое изменение производительности печи. Более гибко регулировать процесс горения топлива, и быстро изменять длину факела, что приведет к возможности перемещения температурных зон по длине печи. Будет возможность более качественно регулировать перемещение температурных зон по длине печи, что при данной конструкции горелки выполнить проблематично. В целях решения этих проблем в настоящее время ведется разработка более современного ТСУ, способного обеспечить технологию производства глинозема при постоянно изменяющейся производительности.

### СКВОЗНАЯ ЭМИССИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ПРОЦЕССЕ NYL-3

© Ю.Н. Чесноков, В.Г. Лисиенко, А.В. Лаптева, 2012

*ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург*

Диоксид углерода  $\text{CO}_2$  – парниковый газ. По этой причине оценка его эмиссии в различных технологических процессах представляет практический интерес.

Сквозная эмиссия  $\text{CO}_2$   $M_S$  или углеродный след («Carbon Footprint») – это суммарная эмиссия во внешнюю среду  $\text{CO}_2$ , которая произошла при выпуске той или иной продукции по всей технологической цепи. Почти каждый металлургический процесс приводит к эмиссии диоксида углерода, которая является эмиссией собственно технологического процесса  $M_P$ . Транзитная эмиссия  $M_T$  – это эмиссия  $\text{CO}_2$ , пересчитанная с предыдущих процессов, показывает значение эмиссии произошедшей в предыдущих переделах. Для  $i$ -го передела имеет место:

$$M_{Si} = M_{Pi} + M_{Ti}. \quad (1)$$

Для определения эмиссии диоксида углерода собственно процесса ХИЛ-3 проанализируем сам процесс.

Процесс ХИЛ-3 (NYL-3) относится к бескоксовым технологиям прямого восстановления железа в шахтном реакторе – восстановительной печи [1]. В этом процессе в первых установках применялась только паровая конверсия природного газа в аппаратах с кирпичной насадкой и с катализатором  $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 3\text{H}_2$ . Конвертированный газ содержал 14 % –  $\text{CO}$ ; 58 % –  $\text{H}_2$ ; 21 % –  $\text{H}_2\text{O}$ ; 4–5 % –  $\text{CO}_2$ . В котле-утилизаторе он освобождался от паров воды, затем подогревался до 980–1240 °С в трубчатых рекуператорах, отапливаемых газом, выходящим из агрегатов восстановления. В конечном итоге весь газ сгорал до диоксида углерода. Расход природного газа в таких агрегатах составлял 2,4 Гкал/т металлургических окатышей (МО). Что при нижней теплоте сгорания природного газа в 8500 ккал/м<sup>3</sup> соответствует 282 м<sup>3</sup>/т МО.

Значительное повышение экономической эффективности производства металлургических окатышей в шахтных реакторах ХИЛ было достигнуто за счет новой технологии получения восстановительного газа, а именно процесса самореформинга природного газа, разработанного фирмой NYL с участием фирмы Sidor/Danieli (прежний процесс Agex) [1]. Природный газ поступал в восстановительную печь, в конверсионную установку как топливо и на конверсию для получения восстановительного газа. Общий расход природного газа в таких установках составил 2,198 Гкал/т МО [1], что соответствует расходу природного газа 258,6 м<sup>3</sup>/т МО. Однако в этих установках часть колошниковых газов очищается от  $\text{CO}_2$  процессом короткоциклового адсорбции, после чего он подается на

смешивание с природным газом и затем в восстановительную печь. Данное обстоятельство усложняет расчеты эмиссии диоксида углерода, так как нет данных об объемах адсорбированного диоксида углерода. По этой причине за исходные данные примем расход природного газа  $282 \text{ м}^3/\text{т МО}$ .

Типичной шихтой для процесса ХИЛ-III является смесь окатышей (70 %) и кусковой железной руды (30 %). Расход железорудных материалов на 1 т металлizedованных окатышей со степенью металлизации 94 % и содержание C (2,2 %) составляет 1,45 т.

Выходным продуктом процесса является губчатое железо, содержащее от 1,1 до 5 % углерода. Кроме того, из реактора выходит колошниковый газ, содержащий  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ .

Процесс ХИЛ отнесем к процессам с сжиганием топлива и частичным переходом углерода из топлива в конечный продукт – металлizedованные окатыши.

Предположили, что в шахтный реактор загружаются окисленные окатыши  $1,01 \text{ т/т МО}$  (70 %) и железорудная мелочь  $0,44 \text{ т/т МО}$  (30 %). Для определения эмиссии диоксида углерода процессом ХИЛ-III примем, что на 1 т МО затрачивают  $282 \text{ м}^3$  ( $282 \cdot 0,73 = 206 \text{ кг}$ ) природного газа. В массе топлива содержится 73,4 % углерода, т.е.  $206 \cdot 0,734 = 151 \text{ кг}$ . Из них 20 кг уйдет в металлizedованные окатыши. При сжигании  $151 - 20 = 131 \text{ кг}$  углерода на тонну МО образуется  $131 \cdot 3,667 = 481 \text{ кг}$  диоксида углерода или  $243,3 \text{ м}^3$ . Это значение определяет эмиссию  $\text{CO}_2$  собственно процесса ХИЛ-III.

Непосредственное сравнение различных типов бескоксовых процессов невозможно, так как выходной продукт у них может быть различным (чугун, губчатое железо, металлizedованные окатыши). В то же время выходные продукты этих процессов служат для получения стали. В этой связи необходимо оценить эмиссию диоксида углерода электродуговой печи (ЭДП), которая загружается металлizedованными окатышами.

Пусть шихта ЭДП состоит из  $0,825 \text{ т}$  лома на  $\text{т стали}$  (75 %) и металлizedованных окатышей  $0,275 \text{ т}$  на  $\text{т стали}$  (255), имеющих состав  $\text{C}_{\text{МО}} = 2 \%$ ,  $\text{Si}_{\text{МО}} = 1,0 \%$ ,  $\text{Mn}_{\text{МО}} = 0,4 \%$ ,  $\text{P}_{\text{ч}} = 0,015 \%$ ,  $\text{S}_{\text{ч}} = 0,018 \%$  (суммарное количество примесей 3,433 %, остальное – железо). Состав лома:  $\text{C}_{\text{л}} = 0,12 \%$ ,  $\text{Si}_{\text{л}} = 0,2 \%$ ,  $\text{Mn}_{\text{л}} = 0,5 \%$ ,  $\text{P}_{\text{л}} = 0,04 \%$ ,  $\text{S}_{\text{л}} = 0,05 \%$  (суммарное количество примесей 0,91 %). Состав выпускаемой стали:  $\text{C}_{\text{СТ}} = 0,3 \%$ ,  $\text{Si}_{\text{СТ}} = 0,2 \%$ ,  $\text{Mn}_{\text{СТ}} = 0,3 \%$ ,  $\text{P}_{\text{СТ}} = 0,04 \%$ ,  $\text{S}_{\text{СТ}} = 0,05 \%$  (суммарное количество примесей 0,89 %). Кроме того, в ЭДП выгорает 5 кг электродов на тонну стали с  $\text{C}_{\text{эл}} = 100 \%$ , а для разогрева лома расходуется  $18 \text{ м}^3$  природного газа на  $\text{т стали}$ .

От выгорания углерода шихты ЭДП (см. формулу 2) эмиссия  $\text{CO}_2$  составит  $18,34 \text{ кг CO}_2$  на  $\text{т стали}$ . От выгорания электродов эмиссия равна  $5 \cdot 3,667 = 18,335 \text{ кг CO}_2$  на тонну стали. Природный газ с плотностью  $0,73 \text{ кг/м}^3$  и содержанием углерода по массе 73,4 % при сгорании приведет к эмиссии  $18 \cdot 0,73 \cdot 0,734 \cdot 3,667 = 35,37 \text{ кг CO}_2$  на тонну стали. Суммарная эмиссия собственно электродуговой печи составит  $13,2 + 18,34 + 35,37 = 66,91 \text{ кг CO}_2$  на тонну стали.

На рис. 1 представлен граф эмиссий диоксида углерода [3] для совокупности процессов ХИЛ-III и ЭДП. Его вершины соответствуют процессу или ресурсу. Этот граф относится к классу взвешенных сигнальных графов [4]. Вершинам таких графов (рис. 1) поставлены в соответствие сигналы, в нашем случае – значения сквозных эмиссий  $M_{\text{Si}}$ . Дуги графа помечены  $\Psi_{ji}$ . Веса или передачи дуг  $\Psi_{ik}$  соответствуют удельным расходам ресурсов в тоннах или кубических метрах, что зависит от того, какая размерность эмиссии в вершине, из которой исходит дуга ( $\text{кг/т продукта}$  или  $\text{м}^3/\text{т продукта}$ ). Для сигнальных графов значение сигнала в вершине равно сумме сигналов, поступающих от других вершин с учетом коэффициента передачи дуги.

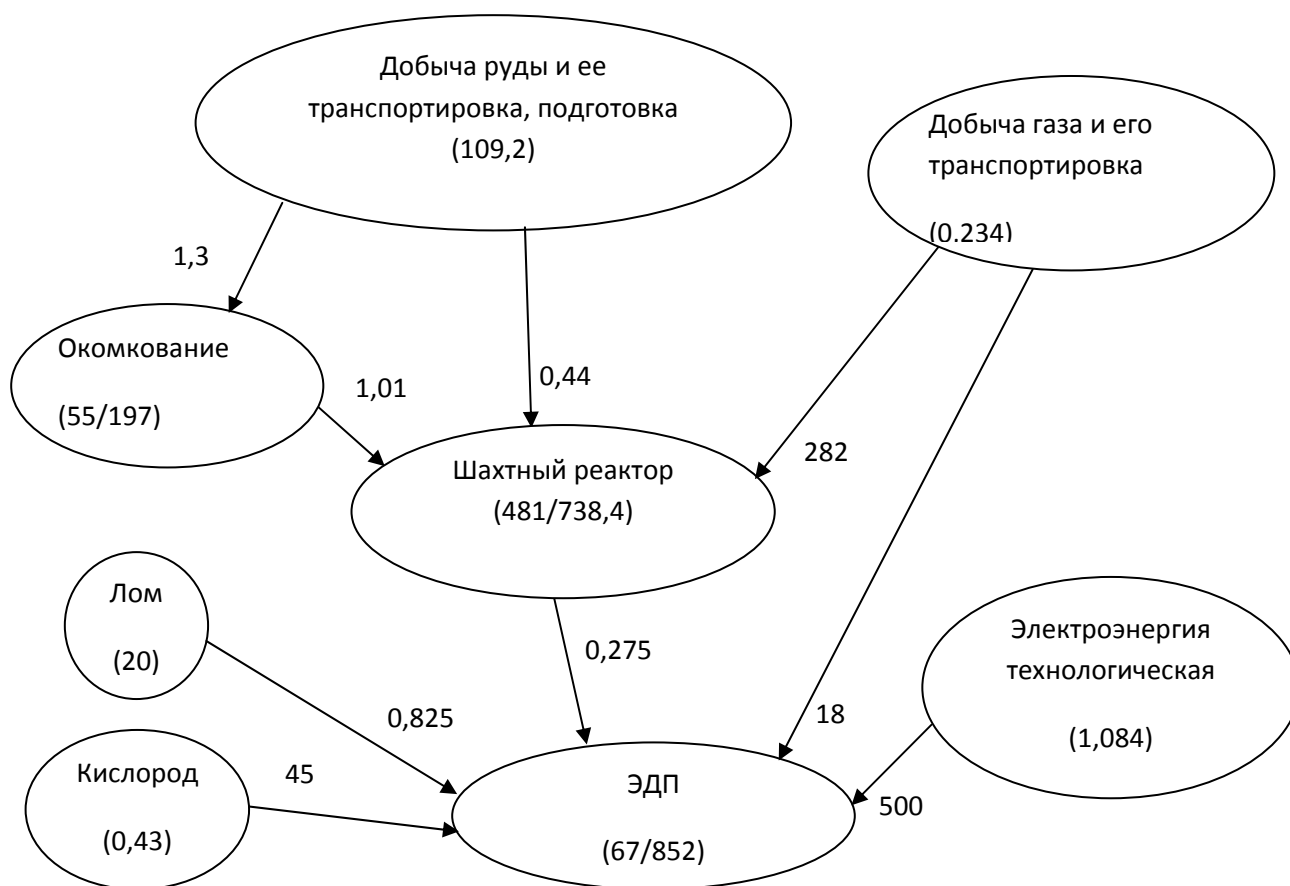


Рис. 1. Граф эмиссий диоксида углерода процессов и продуктов для процесса ХИЛ-3

Тогда для любой вершины такого графа справедливо:

$$M_{sj} = M_{pj} + \sum_n M_{si} \Psi_{ji}, \quad (2)$$

В вершинах «Шахтный реактор» и «ЭДП» проставлены по два значения эмиссий: собственно процесса и через черту – сквозной. В остальных вершинах проставлены значения сквозных эмиссий. Транзитные эмиссии вычисляются для каждой вершины как сумма произведений сквозных эмиссий смежных вершин на коэффициенты расхода, которые указаны на дугах. Например, для вершины «Шахтный реактор» можно записать

$$M_{\text{ТШР}} = (109,2 \cdot 1,3) \cdot 1,01 + 109,2 \cdot 0,44 + 0,234 \cdot 282 = 257,42 \text{ кг CO}_2 \text{ на тонну стали.}$$

Сквозная эмиссия в этой вершине из (1) равна  $481 + 257,4 = 738,4$  кг CO<sub>2</sub> на тонну стали.

Для вершины «ЭДП» имеет место:

$$M_{\text{ТЭДП}} = 0,43 \cdot 45 + 20 \cdot 0,825 + 738,4 \cdot 0,275 + 0,234 \cdot 18 + 1,084 \cdot 500 = 785,12 \text{ кг CO}_2 \text{ на тонну стали.}$$

Сквозная эмиссия в этой вершине из (1) равна  $66,91 + 785,12 = 852,03$  кг CO<sub>2</sub> на тонну стали. Таким образом, можно сказать, что углеродный след стали, произведенной в тандеме ХИЛ-III – ЭДП, составляет 852 кг CO<sub>2</sub> на тонну стали.

Значения сквозных эмиссий других вершин взяты из [5].

#### Вывод:

Применение моделей в виде графа эмиссии диоксида углерода в металлургических процессах позволяет наглядно и просто вычислить значение сквозной эмиссии диоксида углерода или углеродный след.

## Список использованных источников

1. Лисиенко В.Г., Соловьева Н.В., Трофимова О.Г. Альтернативная металлургия: проблема легирования, модельные оценки эффективности / под ред. В.Г. Лисиенко. М.: Теплотехник, 2007. 440 с.
2. Чесноков Ю.Н., Лисиенко В.Г., Лаптева А.В. Математические модели косвенных оценок эмиссии CO<sub>2</sub> в некоторых металлургических процессах // Сталь. 2011. С. 74–77.
3. Чесноков Ю.Н., Лисиенко В.Г., Лаптева А.В. Граф эмиссии диоксида углерода металлургическими предприятиями : труды Российского науч.-техн. общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова / Серия : Инженерная экология. Выпуск: VI. М., 2011. С. 40–44.
4. Вавилов А.А., Имаев Д.Х. Машинные методы расчета систем управления. Л.: Изд-во ЛГУ, 1981.
5. Чесноков Ю.Н., Лисиенко В.Г., Лаптева А.В. Оценка эмиссии диоксида углерода по топливному числу : труды Российского науч.-техн. общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Серия: Инженерная экология. Выпуск: VI. М., 2011. С. 37–40.

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ С РОЛИКОВЫМ ПОДОМ ДЛЯ ОТЖИГА МОТКОВ В ЗАЩИТНОЙ АТМОСФЕРЕ НА МАГНИТОГОРСКОМ КАЛИБРОВОЧНОМ ЗАВОДЕ

© О.С. Чурина, 2012

ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт  
металлургической теплотехники» (ОАО «ВНИИМТ»), г. Екатеринбург

Роликовая печь – проходная печь непрерывного действия, подина которой состоит из большого числа вращаемых специальным приводом роликов, выполненных из жаропрочной стали или водоохлаждаемых. Роликовые печи отапливаются главным образом газообразным топливом с использованием большого числа горелок или радиационных труб, расположенных на продольных стенах печи выше и ниже роликов; существуют также электрические печи. Роликовые печи применяют для термической обработки металлических изделий и реже – для нагрева металла перед горячей обработкой давлением.

Преимущество роликовой печи перед другими печами проходного типа одно: роликовая подина наилучшим образом соответствует условиям поточного производства, т.к. она легко встраивается в цеховые рольганги. Самым ответственным элементом роликовой печи являются ролики.

Их стойкость зависит от температуры в печи и ширины печи. Печи с температурой газа 800–1000 °С оснащают неохлаждаемыми роликами, а с температурой 1000–1200 °С – роликами с водоохлаждаемым несущим валом, пространство между которым и бочкой заполнено теплоизолятором. В любом случае в роликах охлаждают цапфы (для справки: цапфа – часть оси или вала, опирающаяся на подшипник). В подавляющем большинстве случаев ролики делают водоохлаждаемыми, с гладкой бочкой из жаропрочной хромоникелевой стали. Во избежание деформации бочки ролика, он должен вращаться постоянно – остановки допустимы не дольше, чем на 3–4 минуты. Кладка рабочего пространства печи выполняется из шамотного кирпича (внутренний слой) и любого теплоизоляционного материала (наружный слой). Пример роликовой печи приведен на рис. 1.