

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ СХЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ КОНВЕРТЕРНОГО ГАЗА

Максимов А.А., Агапитов Е.Б.

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет  
имени Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия

*В данной работе рассматривалась проблема утилизации конвертерных газов. Предлагается новая схема отвода и очистки вторичного энергетического ресурса в целях его использования для теплотехнических нужд производства.*

*Ключевые слова: конвертер, вторичный энергетический ресурс, сухая газоочистка, конвертерный газ, газоотводящий тракт.*

*In this work the problem of utilization of converter gases was considered. The new scheme of branch and cleaning of a secondary energy resource for the purpose of its use for heat technical needs of production was offered.*

*Keywords: converter, secondary energy resource, dry gas purification, converter gas, gas outlet path.*

Одним из существенных резервов экономии топлива в промышленности является использование вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), которые неизбежно возникают во многих энергоемких технологических процессах. Значительным резервом для энергосбережения в черной металлургии РФ является использование газов сталеплавильных конвертеров, потенциал оценивается в размере 1,25 млн т у.т. в год.

В настоящее время в российском металлургическом производстве наибольшее распространение получила схема отвода конвертерного газа с частичным дожиганием в газоотводящем тракте и окончательным на свече. Актуальной остается разработка прорывных технологий по утилизации конвертерного газа, в том числе созданию новой энерготехнологической схемы его использования.

Конвертерный газ содержит до 85–90 % CO и имеет низшую теплоту сгорания 11 000 КДж/м<sup>3</sup> (2628 ккал/м<sup>3</sup>). Выход газа за одну плавку конвертера объемом 400 т составляет 160 000 м<sup>3</sup>. Конвертерный газ имеет температуру 1600 °С, его теплоемкость составляет 1,4 КДж/м<sup>3</sup>. Таким образом, с одной плавки конвертера образуется ресурс с энергией 1760 ГДж (60,08 т у.т.) [1].

Существующие сегодня в РФ схемы утилизации конвертерного газа малоэффективны с теплотехнической точки зрения и отличаются сложностью в эксплуатации.

В связи с внедрением в промышленность большегрузных конвертеров емкостью до 400 т стали и связанным с этим увеличением объема вдуваемого кислорода количество выделяющихся газов значительно возрастает. Их дожигание приводит к росту объема продуктов сгорания и существенно увеличит габаритные размеры и стоимость всей установки. В этих условиях рациональной является газоотводящая система без дожигания [2].

Сложности в работе газоотводящего тракта конвертера без дожигания оксида углерода характеризуются высокими требованиями по обеспечению безопасности ведения процесса, так как в газоотводящем тракте возможно образование взрывоопасной смеси газа с воздухом. С помощью уплотняющего устройства – подвижного колокола («юбки») – удастся уменьшить подсос, сократив зазор между горловиной конвертера и кессоном до 70 мм. Специальное регулирующее устройство, включенное перед дымососом, автоматически поддерживает постоянное давление на стыке горловина – «юбка». Этим удастся свести к минимуму подсос и отводить конвертерный газ по мере его образования [1].

Зазор между горловиной конвертера и котлом-утилизатором герметизируют. Объем очищаемых газов при этом в 3–4 раза меньше, чем при работе с дожиганием, что упрощает и удешевляет организацию газоочистки. После очистки газы (содержат 70–85 % CO, теплота сгорания 8–10 кДж/м<sup>3</sup>) возможно использовать как топливо. Отечественная промышленность пока не располагает значительным опытом такой работы. Основная масса конвертерных газов используется для получения пара и подвергается при этом охлаждению до 200–500 °С в котлах-утилизаторах, после чего направляется на газоочистку.

Основным условием работы конвертера по схеме без дожигания является устранение подсоса воздуха между «юбкой» и горловиной конвертера и поддержание коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  на выходе из охладителя в пределах  $\alpha \leq 0,1$ .

Устранение подсоса между «юбкой» и конвертером предлагается осуществить механическим уплотнением (модернизация уплотняющей «юбки» на плотно кроющую), в лабиринты и зазоры которого подается инертный газ (азот).

Количество конвертерных газов, проходящих через тракт, зависит от графика производительности дымососа и режима работы системы регулирования. В результате перехода на регулируемый отвод газов без дожигания количество газов, проходящих через тракт, уменьшится приблизительно на 30 %.

В процессе работы без дожигания обнаружено, что размер частиц в газах, выходящих из конвертера, увеличивается, что позволяет более полно очищать отходящие газы от пыли [3].

Учитывая, что оксид углерода в смеси с воздухом является взрывоопасным в интервале концентраций 12,5–74,5 % CO, система отвода газа должна быть взрывобезопасной. Для обеспечения взрывобезопасности в основе систем отвода конвертерных газов могут быть положены два принципа:

- снижение концентрации оксида углерода за счет многократного его разбавления;
- отвод газов с высокой концентрацией оксида углерода ( $\geq 74,5$  %).

Это достигается различными способами, которые отличаются в основном коэффициентом избытка воздуха  $\alpha$  на выходе из охладителя [4].

На рис. 1 представлена разработанная энерготехнологическая схема утилизации конвертерных газов.

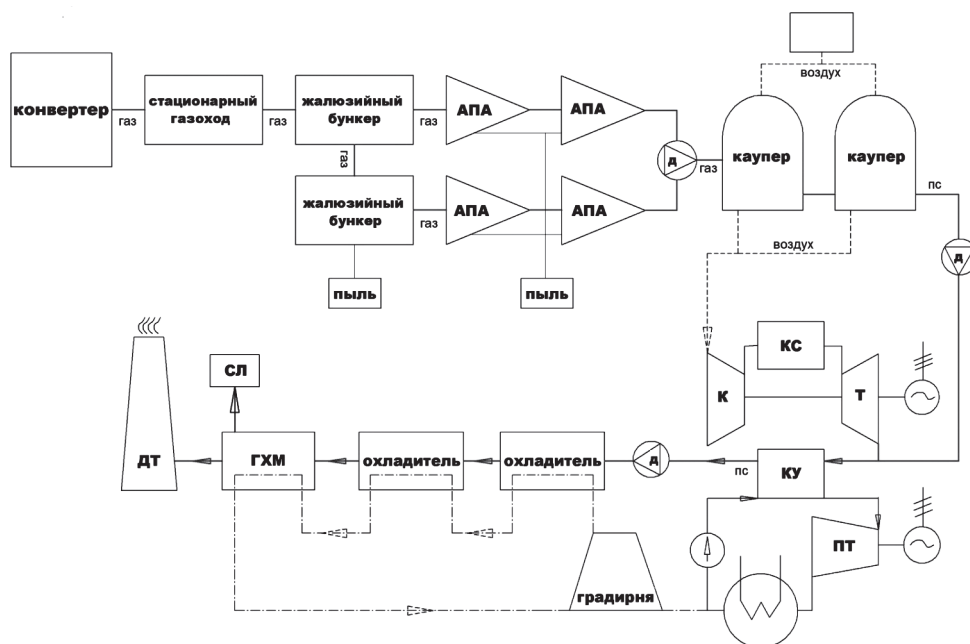


Рис. 1. Энерготехнологическая схема утилизации конвертерных газов:  
 АПА – аэродинамический аппарат очистки газа от пыли, ВРУ – воздухоразделительная установка,  
 Д – дымосос, К – компрессор, КС – камера сгорания, Т – турбина, КУ – котел-утилизатор, ПТ – паровая  
 турбина, ГХМ – газохолодильная машина, ДТ – дымовая труба, СЛ – сухой лед

Данная схема предполагает уход от существующей схемы утилизации конвертерного газа, а именно отказ от мокрой очистки газа.

Мокрые газоочистки обладают рядом недостатков, к которым относятся большой расход воды 3,5–7,2 м<sup>3</sup> на 1000 м<sup>3</sup> газа, организация сложной и громоздкой системы оборотного цикла водоснабжения, утилизация шлама, высокий расход электроэнергии для обеспечения работы системы газоочистки.

Также при охлаждении конвертерного газа имеется возможность насыщения газа водяными парами, что не очень желательно с точки зрения использования этого газа, как технологический продукт, так как имеется возможность насыщения водородом. В тоже время сбивается температура газа, а значит, теряется энергетический потенциал ВЭР. Возможно, перспективной схемой утилизации конвертерного газа может стать схема, не включающая в себя мокрую очистку газа.

В свою очередь новая схема должна иметь ряд новых решений по снижению запыленности газа, для дальнейшего использования в энергетических установках, предусматривающие сжигание «неостывшего», достаточно очищенного конвертерного газа в топках регенераторов (типа доменных воздухонагревателей). При этом часть продуктов сгорания, возможно, следует направить в котлы-утилизаторы, а часть – на нагрев насадки регенератора. В межпродувочный период в этой насадке предлагается греть воздух, который должен использоваться для выработки пара, при этом в данной схеме предусмотреть использование тепла на выработку электроэнергии с помощью газовых турбин.

Данная схема не исключает стационарного газохода, где происходит контакт газа с поверхностью охлаждения типа кессона или котла-охладителя. При этом способе достигается частичная утилизация тепла.

Очистка газа от крупных металлических включений и разделения потока осуществляет жалюзийный уловитель. Дальнейшая очистка проходит в инновационных аппаратах пылегазоочистки аэродинамических, именуемые в дальнейшем АПА, предназначенных для сухой очистки от пыли промышленных газовых выбросов различных производств. Обеспечение производительности очистки требуемых объемов осуществляется за счет параллельного включения АПА. Например, параллельное соединение десяти аппаратов номинальной производительностью 16 000 м<sup>3</sup>/ч обеспечит очистку газовых выбросов объемом в 160 тыс. м<sup>3</sup>/ч.

Оставшиеся продукты сгорания от воздухоподогревателей проходят через котел-утилизатор, где тепло уходящих газов используют для нагрева рабочего тела котла, выходят на установку получения сухого льда, оборудование которой размещается вне котельной.

Метод получения сухого льда – вымораживание CO<sub>2</sub> из дымовых газов.

Энергозатраты – 3 кВт на 1 кг получаемого сухого льда. Для котельной установки мощностью 2–3 Гкал возможно получение до 100 кг/ч сухого льда или жидкой углекислоты.

Смесь газов промывают раствором карбоната калия, который поглощает углекислый газ, переходя в гидрокарбонат. Раствор гидрокарбоната при нагревании разлагается, высвобождая углекислоту. При промышленном производстве газ закачивается в баллоны.

Предлагаемая технология позволяет извлекать чистый углекислый газ из различных источников газовых выбросов с CO<sub>2</sub> (дымовые газы) и далее использовать его в различных целях, например, для получения углекислоты; для генерации низкокалорийного горючего газа в целях получения тепловой энергии; в технологическом процессе генерации заменителя природного газа (ЗПГ).

Построение тепловой схемы объекта имеет большое значение для получения максимального энергоресурсосберегающего эффекта. Тепловые схемы, направленные на производство одного и того же целевого продукта (электроэнергии), могут иметь разную величину потребления первичного энергоресурса – угля, природного газа, нефти и т.п., из-за того что они реализованы отлично друг от друга. Поэтому для достижения максимального эффекта необходимо иметь четкую логическую последовательность для построения энергоэффективных тепловых схем энерго- и ресурсопотребляющих объектов промышленности. Подбор и использование теплотехнических принципов и технических решений, на данное время известных в науке и промышленности, также является неотъемлемой частью при реализации как объекта в целом, так и отдельных составляющих [5, 6].

Предпосылкой создания тепловой схемы реализации заданного процесса является его теплотехнологическая схема, представляющая собой последовательность теплотехнологических и других технологических процессов производства конечного продукта (рис. 2).

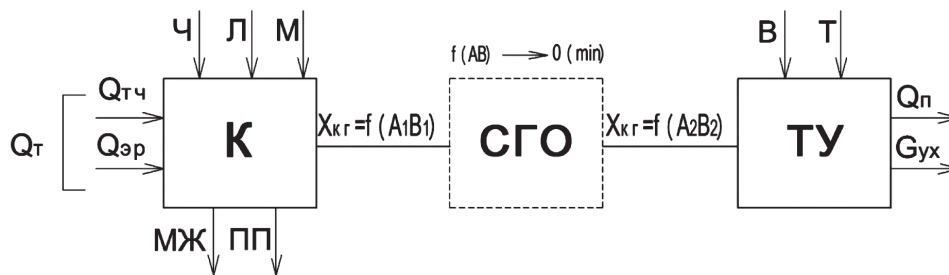


Рис. 2. Блок-схема утилизации конвертерного газа с материально-тепловыми потоками: К – конвертер, СГО – сухая газоочистка, ТУ – теплоутилизирующее устройство

Здесь подвод тепловой энергии в конвертер  $Q_t$  может рассматриваться, как непосредственно теплота от загружаемого чугуна  $Q_{тч}$ , так и теплота внешнего шлака  $Q_{ш}$ . Материальная статья баланса заключается в загрузке чугуна Ч, лома Л и подводе (загрузке) дополнительного материала М (шлак, известь, кислород, инертные газы и т.д.) в конвертер, что приводит к протеканию экзотермических реакций с выделением теплоты  $Q_{эр}$ .

Отходящие конвертерные газы  $X_{кр} = f(A_1B_1)$ , согласно установленному критерию эффективности  $f(AB) \rightarrow 0(\min)$ , должны пройти сухую газоочистку и в дальнейшем с параметрами  $A_2B_2$  (А – температура газа, В – степень его очистки) подаваться на дожигание в какое-то утилизирующее устройство ТУ, где посредством дополнительной подачи органического топлива или горючих ВЭР (Т) и воздуха (В) обеспечивается дожигание согласно требуемым условиям.

Поскольку дожигание производится при температуре не ниже  $1250\text{ }^\circ\text{C}$  с последующим охлаждением то в ТУ, естественно, протекает выработка полезной энергии  $Q_{п}$ , направленной на выработку пара для генерации электроэнергии, и образованием уходящих газов  $G_{ух}$ , сбрасываемых, предположительно, в дымовую трубу или на установку получения сухого льда (жидкой углекислоты).

#### Список использованных источников

1. Кривандин В.А., *Теплотехника металлургического производства [Текст]* / В.А. Кривандин, В.В. Белоусов, Г.С. Сборщиков и др. – М.: МИСиС, 2001.
2. Воскобойников В.Г. *Общая металлургия: Учебник для вузов [Текст]* / В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев М. и др. – М.: Металлургия, 1985.
3. Haworth D., Hemming G. // *Iron and Steel Engineer.* – 1995. – V. 5. – P. 25–30.
4. Григорьев В.П., *Конструкции и проектирование агрегатов сталеплавильного производства: Учебник для вузов* / В.П. Григорьев, Ю.М. Нечкин, А.В. Егоров и др. – М.: МИСиС. 1995.
5. Ключников А.Д., *Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки: под ред. Ключникова А.Д.* – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 336 с.
6. Ключников А.Д. *Критерии энергетической эффективности и резерва энергоснабжения, технологий, технологических установок, систем и комплексов: учеб. пособие.* – М.: Изд-во МЭИ, 1996. – 38 с.