

УДК 669.2

*Потапов Б.Б. – канд. техн. наук, проф., НМетАУ*

*Пинчук В.А. – канд. техн. наук, доц., НМетАУ*

*Шелудько И.Б. – ст. преп., НМетАУ*

## **ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМБИНИРОВАНИЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Представлен энерготехнологический комплекс по переработке шламов металлургического производства. Основу установки составляет реактор, в котором производится офлюсованный железистый расплав. Утилизация химического и теплового потенциала газов из реактора осуществляется в паротурбинном и газотурбинном циклах.*

### **Состояние вопроса и постановка задачи**

Одним из направлений увеличения производства металла может быть использование техногенных отходов в виде шлаков, шламов и пыли газоочисток, образующихся в значительных количествах на металлургических предприятиях Украины [1, 2]. Здесь накапливается до 80 % железосодержащих отходов. При этом если сухую колошниковую пыль доменных печей и отсеvy агломерата используют практически полностью, то степень утилизации железосодержащих шламов – чуть более 50 %. Между тем, этот материал содержит 45 – 70 % оксидов железа, что свидетельствует о его высокой металлургической ценности.

При решении задачи утилизации шламов и пыли необходимо учитывать, экологические аспекты проблемы связанные с тем, что при их открытом складировании, накопители шламов занимают значительные площади. Кроме того, обладая высокой дисперсностью, пыль, содержащаяся в шламах, под воздействием климатических факторов распространяется на значительные расстояния и приводит к загрязнению прилегающих территорий. Сложность переработки железосодержащих шламов связана с тем, что они мелкодисперсные и содержат такие вредные примеси как фосфор, сера, щелочи.

### **Разработка принципиальных решений комплекса**

В Национальной металлургической академии Украины разработан энерготехнологический комплекс для переработки «влажных» ме-

таллургических шламов. Основными элементами комплекса являются плавильная циклонная камера и теплоиспользующие устройства энергетического и регенеративного назначения. Применение в процессе циклонов объясняется возможностью создания компактного реактора весьма высокой производительности. Высокая производительность и эффективность циклонной обработки мелкозернистых технологических материалов подтверждается опытом промышленного освоения и эксплуатации ряда крупных промышленных установок в цветной и химической промышленности.

Шихта, состоящая из железорудных концентратов и флюсов, попадает в плавильный циклон, в закрученном факеле которого происходит её нагрев и расплавление с последующей сепарацией на гарнисажной стенке аппарата. Наличие в шихте определенного количества углерода обеспечивает восстановительную атмосферу на стенке циклона и позволяет получить восстановленный до закиси офлюсованный железистый расплав. Этот расплав в дальнейшем поступает в конвертер для окончательного восстановления, которое осуществляется в ванне жидкого чугуна.

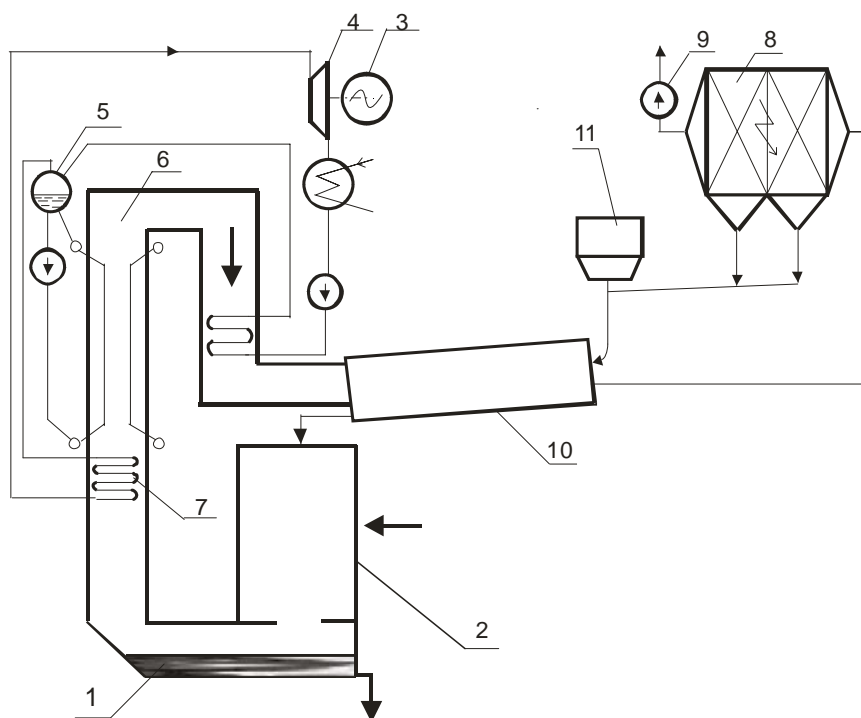
При реализации технологии переработки металлургических шламов в циклонном плавильном реакторе из аппарата выходят продукты сгорания топлива (ПС) с температурой около 1600 °С. Рациональное использование этого теплового потенциала позволит существенно уменьшить затраты на процесс и, как следствие, снизить себестоимость производимого продукта.

Особенностью предложенной технологии является использование в качестве исходного сырья железосодержащих «мокрых» шламов из отстойников оборотной воды. Поэтому обязательной операцией перед высокотемпературной переработкой в реакторе является их сушка горячими газами из циклонной печи. Для сушки сыпучих материалов высокой влажности целесообразно применение аппаратов барабанного типа.

Технологическими и конструктивными особенностями процесса сушки материала в барабанных сушилках рекомендуется температура газов на входе в камеру не превышающая 1000 °С. Температура сушильного агента на выходе из аппарата должна обеспечить его транспортировку по дымовому тракту без конденсации влаги.

Разность теплового потенциала продуктов сгорания из циклона и на входе в сушильный агрегат целесообразно использовать для выработки электрической энергии в турбогенераторе.

Структурно-функциональная схема энерготехнологического комплекса переработки «мокрых» шламов изображена на рис. 1



*Рис. 1. Структурно-функциональная схема комплекса по переработке мокрых металлургических шламов: 1 – копильник расплава продукта; 2 – циклонный плавильный агрегат; 3 – электрогенератор; 4 – паровая турбина; 5 – барабан-сепаратор; 6 – охладитель продуктов сгорания; 7 – пароперегреватель; 8 – электрофильтр; 9 – дымосос; 10 – барабанная сушилка; 11 – бункер мокрого шлама*

В качестве утилизатора теплоты дыма из реактора рекомендуется применить одноходовой котел радиационного типа. В таких котлах газы охлаждаются до температуры 1000 – 1200 °С. Опыт проектирования и изготовления таких котлов накоплен при разработке и внедрении систем утилизации теплоты отходящих газов из конверторов.

С целью определения технико-экономических показателей комплекса выполнены расчеты конструктивных и режимных характеристик его элементов для установки производительностью по шихте (влага -3 %) 5 т/час и применительно к смеси доменного и конвертерного шламов следующего химсостава, %.

$Fe_{общ}$	FeO	$Fe_2O_3$	CaO	$SiO_2$	P	C	S	п.п.п.	влага
45,2	4,8	59,2	10,5	7,6	0,29	10,4	0,23	14,8	23,0

В качестве исходных данных приняты параметры, приведенные в табл. 1

Таблица 1

Исходные данные для расчета энерготехнологического комплекса

Расход энергоносителей для циклонной печи	
– природный газ, м <sup>3</sup> /ч	1000
– дутьевой воздух, м <sup>3</sup> /ч	4660
– кислород, м <sup>3</sup> /ч	1100
Удельный расход энергоносителей на переработку в циклоне 1 тонны шламов 3 % влажности, м <sup>3</sup> /т·ч	
– природный газ	180
– дутьевой воздух	1240
– кислород	180

При определении конструктивных параметров барабанной сушилки и выборе рационального режима её работы использована методика расчета барабанных сушилок по ОСТ 26-01-450-85 [3]. Расчеты показали следующее:

- допустимая температура сушильного агента находится в пределах 900 – 700 °С. Температура сушильного агента менее 700 °С недопустима в связи с возможной конденсацией водяных паров;
- для обеспечения заданной производительности необходима барабанная сушилка внутренним диаметром 1,6 м и длиной 10 – 12 м, что находится в пределах стандартных типоразмеров ОСТ 26-01-437-85.
- наличие в исходном сырье значительного количества мелкодисперсной пыли требует применения высокоэффективного пылеулавливающего аппарата [4].

Применительно к рассмотренному энерготехнологическому агрегату рекомендуется к установке электрофильтр ЭГАВ1-10-4-6-3. Ниже приведены основные технические характеристики электрофильтра. Комплектную поставку оборудования и отдельных узлов осуществляет холдинговая группа «Кондор-Эко-СФ НИИОГАЗ». Расчеты показали, что при температуре сушильного агента на входе в сушильный барабан 700, 800, 900 °С скорость газа в активном сечении электрофильтра находится в допустимых пределах. Таким скоростям соответствует степень очистки газа (степень улавливания пыли) не менее 99,7 %. При этом выбранный электрофильтр обеспечивает концентрацию пыли в выбросах на уровне требований, предъявляемых к установкам для улавливания нетоксичной пыли (концентрация пыли в выбросах по условиям соблюдения прозрачности атмосферы не должна превышать 100 мг/м<sup>3</sup>).

Выполнены оценка количества энергии, вырабатываемой турбогенератором, и выбор генерирующей мощности. Для номинального режима работы комплекса производительностью 5 т/час энергия высокотемпературных газов из реактора составляет 4 МВт. Требуемая регламентом конечная влажность шлама перед подачей в реактор обеспечивается затратами теплоты в 1,6 МВт. В этом случае располагаемый потенциал для выработки электроэнергии составит 2,4 МВт.

При расчетах реализации избыточного теплового потенциала продуктов сгорания для выработки электрической энергии приняты следующие номинальные характеристики пара:

- абсолютное давление, МПа 1,37;
- температура, °С 194;
- абсолютное давление пара за турбиной, МПа 0,12.

В соответствии с выбранными характеристиками рабочего тела для варианта с перегревом пара, энтальпии до и после расширения в турбине равны  $i_{\text{шт}} = 2789 \text{ кДж/кг}$   $i_{\text{вп}} = 2370 \text{ кДж/кг}$ . Тогда избыточный перепад равен  $\Delta i_{\text{изб}} = 2789 - 2370 = 419 \text{ кДж/кг}$ .

Количество энергии, вырабатываемой турбогенератором

$$\mathcal{E} = \frac{419 \cdot 0,8 \cdot 0,98 \cdot 0,98}{3600} = 0,09 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{кг пара}}$$

Количество пара вырабатываемого утилизатором теплоты

$$G = \frac{2400 \cdot 0,9}{2789 - 461} = 0,93 \frac{\text{кг пара}}{\text{сек}} = 3340 \frac{\text{кг пара}}{\text{час}}$$

Электрическая мощность турбогенераторного блока составит

$$M = 3340 \cdot 0,09 = 300 \text{ кВт} = 0,3 \text{ МВт.}$$

В результате расчетов определено, что к установке в энерготехнологическом комплексе рекомендуется энергоблок ТП-320 выпускаемый и поставляемый заказчиком АО «Калужский турбинный завод». Энергоблок выполнен в модульном исполнении. Результаты расчетов могут служить основанием для разработки технико-экономического обоснования предложенного варианта утилизации железосодержащих отходов металлургического производства.

### **Выводы**

Переработка шламов металлургического производства является одним из направлений увеличения выпуска металла. Кроме того, решается проблема их складирования и загрязнения огромных территорий и атмосферы.

Разработан энерготехнологический комплекс, в котором технологический процесс протекает в высокотемпературной вихревой камере

с получением закиси офлюсованного железистого расплава, используемого в дальнейшем как сырьё в сталеплавильном агрегате.

В комплексе реализована глубокая утилизация теплового потенциала высокотемпературных газов из реактора для сушки «мокрого» шлама, выработки пара высоких параметров и производства электрической энергии. Показана энергетическая эффективность разработки.

### **Список литературы**

1. Потапов Б.Б., Федоренчик В.М., Линник Т.В., Костелов А.О. Исследование восстановительной плавки доменных шламов в циклонном плавильном агрегате // Тр. междунар. науч.-техн. конф. «Теория и технология аглодоменного производства». – Днепропетровск. – С. 98 – 99.

2. Потапов Б.Б., Костелов О.Л. Исследование процесса и разработка агрегата для утилизации шламов доменного производства // Металлургическая теплотехника. Сборник научных трудов Национальной металлургической академии Украины. – Днепропетровск: НМетАУ, 1999. – С. 43 – 48.

3. ОСТ 26-01-450-85 / Метод теплового расчета барабанных сушилок.

4. Теверовский Б.З., Шелудько И.Б., Бегерус О.В. К методике расчета и выбора сухих пластинчатых электрофильтров // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1997. – № 2. – С. 78 – 80.

*Рукопись поступила 30.05.2008 г.*