

В.И. Багрянцев, С.А. Бровченко, А.А. Рыбушкин, С.А. Казимиров, К.С. Коноз

Сибирский государственный индустриальный университет

КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ УГОЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ С ПОЛУЧЕНИЕМ МИКРОСФЕР И СТРОИТЕЛЬНОГО ПЕСКА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИХРЕВЫХ ПРОЦЕССОВ*

Золошлаковые отходы (ЗШО) угольных котельных образуют техногенные накопления, которые являются серьезной экологической проблемой. Учитывая, что механический недожог в топках с плотным слоем [1, 2] может достигать до 20 – 40 %, золошлаковые отходы становятся в определенной степени привлекательным углеродсодержащим сырьем – топливным ресурсом. Прямое сжигание золошлаковых отходов в традиционных топках (котлах) практически исключается по причине недостаточной концентрации углеродистого материала, в то же время высокое содержание остаточного углерода в ЗШО ограничивает их применение в строительной промышленности.

В Сибирском государственном индустриальном университете создана теплогенерирующая установка, основу которой составляет вихревая топка, предназначенная для переработки пылевидных и мелкодисперсных углеродсодержащих отходов [3 – 6]. Благодаря конструктивным особенностям в топке происходит более полное сжигание топлива, в том числе некондиционного. При этом содержание углерода в зольном остатке незначительно. В комплекс вихревой топки встроена вихревая мельница [7], которая служит для тонкого помола мелкодисперсных материалов. Тонкость помола в мельнице достигает до 50 мкм, что способствует более полному сжиганию топлива.

Для очистки запыленных газов, улавливания и классификации сухой мелкодисперсной пыли за топкой устанавливается вихревой пылеуловитель, способный уловить частицы диаметром до 5 мкм.

Созданное оборудование и разработанная технология могут стать базовым инструментарием для исследования и реализации комплексной технологии переработки золошлаковых отходов угольных котельных с производством микросфер и песка, способом расплавления зо-

лы и вспучиванием алюмосиликатных частиц в микросферы, получением зольного остатка – песка с содержанием углерода менее 3 %.

Концептуально технология комплексной переработки золошлаковых накоплений, образующихся от работы угольных котельных, сводится к многостадийному процессу, включающему в себя подготовку сырья и его сжигание в вихревых топках с помощью мазутных вихревых форсунок, обеспечивающих оплавление ЗШО и условия образования микросфер.

Подготовку сырья можно осуществлять на типовых механизированных комплексах, где проводятся классификация, помол и, как правило, сушка сырья. Помол сырья производится в вихревых мельницах, действующих на принципе помола частиц, жестко взаимодействующих между собой в вихревом потоке.

Обезвоживание ЗШО осуществляется в специальной вихревой сушильной топке. Агрегат оборудуется двумя вихревыми форсунками. Топливо распыляется энергией сжатого воздуха. Воздух проходит через специальное устройство, в котором закручивается до скорости, достигающей сверхзвукового значения, и при истечении создает закрученный вихрь, в центр которого впрыскивается топливо. Поскольку в центральной области создается пониженное давление, это способствует облегченному поступлению топлива в зону распыления. При таких условиях топливо распыляется в мельчайшие капли, которые полностью сгорают в потоке воздуха. Для работы форсунок используется компрессор невысокого давления, что значительно снижает затраты на сжатый воздух.

В отдельную зону сушильного агрегата при помощи дутьевого вентилятора подается закручиваемым потоком влажный сырьевой продукт. Сушильная камера топки рассчитана из условия достаточного пребывания продукта, обеспечивающего полное испарение влаги. Высушенные частицы поступают в многоступенчатую систему улавливания – классификатор, который позволяет осадить до 95 % обезвоженного материала. Технически система ра-

*Работа выполнена согласно заданию № 2555 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России.

ботает на принципе резкого поворота потока и сепарации частиц в закрученном потоке с использованием центробежной силы.

Получение микросфер реализуется в вихревой топке, тепло в которой образуется при сжигании мазута. Последний распыляется при помощи вихревых форсунок сжатым воздухом. В топке закрученный поток подаваемых материалов выносятся от периферии топки к центру, в зону максимальных температур. За счет оптимального перераспределения теплового сектора топки по принципу «горячий центр – холодная периферия» осуществляется полное выжигание углеродистой составляющей. Происходит оплавление и вспучивание стеклокристаллической массы в микросферы, имеющих шарообразную форму и образующихся при остывании капель расплава во взвешенном состоянии в дымовых газах.

Микросферы представляют собой материал, обладающий высокими служебными свойствами, что обеспечивает их стабильно высокий спрос на рынке строительных материалов. Микросферы характеризуются низкой плотностью, высокой механической прочностью, химической инертностью, обладают высокой термостойкостью и низкой теплопроводностью [8].

Микросферы применяют в качестве теплоизоляционных материалов, при производстве керамик, наполнителей композиционных материалов и специальных видов цемента. Они могут служить сырьем для получения катализаторов, адсорбентов и материалов для эксплуатации в условиях воздействия агрессивных сред и высокой температуры [9].

Принципиальная схема комплексной установки для получения микросфер представлена на рисунке.

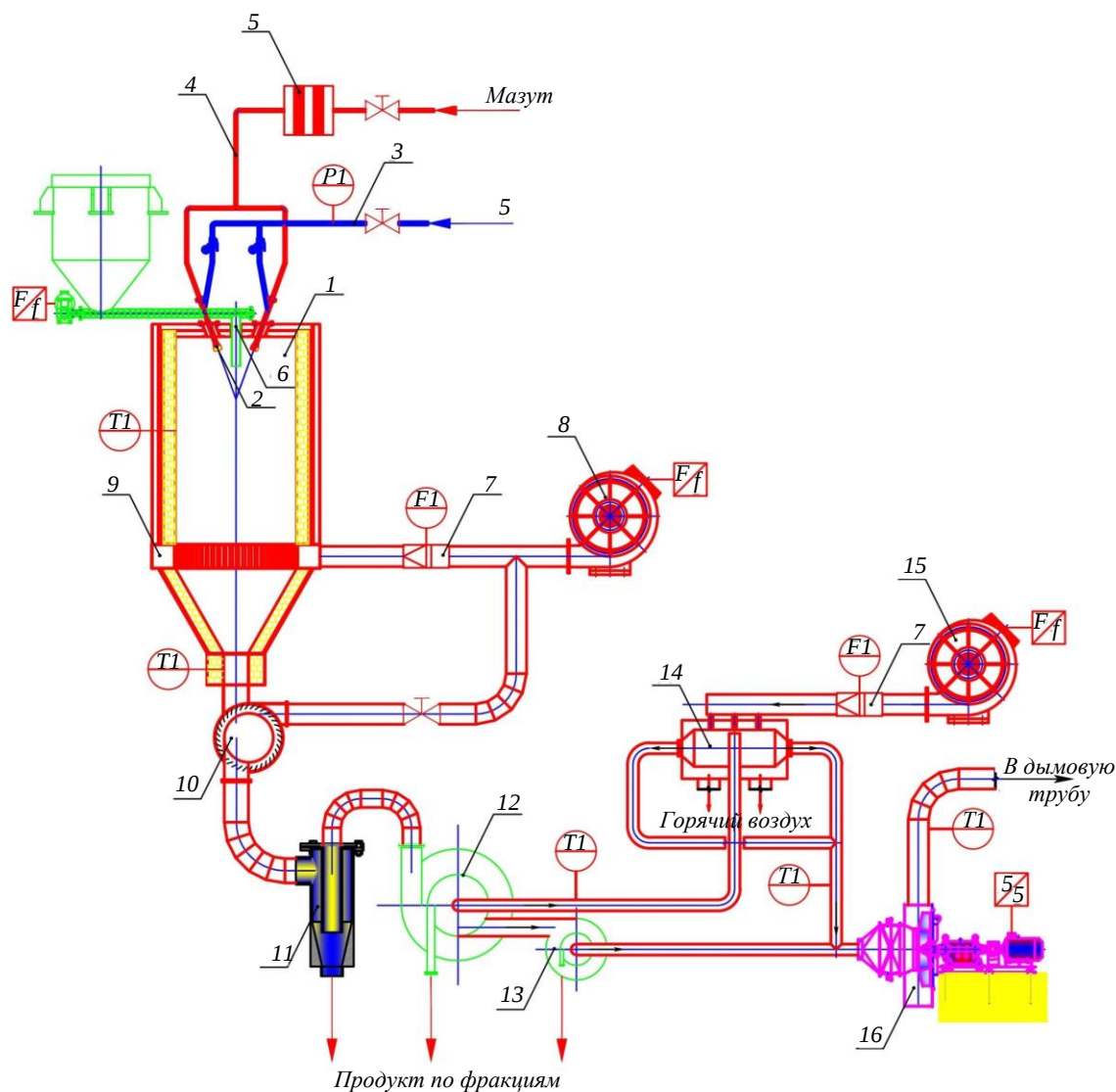


Схема установки для получения микросфер

Исходный материал (золашлаковые отходы) плавится в топке 1 от сжигания мазута. Мазут распыляется при помощи вихревых форсунок 2 сжатым воздухом, подаваемым по магистрали 3. Топливная магистраль 4 содержит топливный фильтр 5 и краны для регулирования. Исходный продукт подается шнеком или при помощи пневмотранспортной магистрали в воронку 6. Расход дутьевого воздуха контролируется расходомером 7. Горячий воздух подается напорным вентилятором 8 на закручивающее устройство 9. Эжектор 10 разбавляет горячий дымовой газ воздухом. Основная масса полученных сфер осаждается в устройстве 11. Более мелкие сферы поступают сначала на первую ступень пылеуловителя 12, а затем – на вторую 13. Оставшееся тепло утилизируется в теплообменнике 14, работа которого осуществляется от напорного вентилятора 15 и дымососа 16. Температура контролируется датчиками. Выделение и классификация микросфер из общей массы конечного продукта осуществляется методом флотации и/или вихревой сегрегации.

Благодаря термической обработке ЗШО в зоне высоких температур образующийся зольный остаток освобождается от углерода (его содержание составляет менее 3 %) и преобразуется в песок. Песок на обычных классификаторах сортируется по фракционному составу и может быть использован в зависимости от исходного угольного продукта в качестве заполнителя бетонов и строительных растворов. При достаточно высоком содержании в песке кальцийсодержащих материалов его можно использовать как добавку при изготовлении цемента. Зольный песок можно использовать как минеральную добавку к глине при производстве кирпича, керамической плитки, черепицы [10].

Согласно экономической оценке, реализация проекта комплексной переработки золашлаковых отходов с получением микросфер и песка имеет хорошие показатели. По результатам укрупненного расчета технико-экономические параметры комплекса по переработке 1 т отходов в час имеют следующие значения:

Параметр	Единица измерения	Значение параметра
<i>Сушка ЗШО</i>		
Исходный продукт – влажная зола котельных	т/год	10 074
Мощность сушильной топки	МВт	0,3
Вид топлива	угольные шламы	
Расход топлива – шлама	т/год	525,6
Расход электроэнергии	кВт/час в год	131 400
<i>Сжигание ЗШО и получение микросфер</i>		
Мощность топки	МВт	0,5
Исходный продукт – сухая зола котельных	т/год	8760,0
Содержание углерода в ЗШО	%	30,0
Зола без органической части	т/год	6132,0
	%	10,0
Содержание микросферы в золе топки	т/год	613,2
Вид топлива	мазут/отработанные масла	
Расход топлива – мазута	т/год	438,0
	кВт/час	30
Расход электроэнергии	кВ/час в год	262 800
<i>Генерация тепла/горячая вода</i>		
КПД утилизации тепла	%	25
Сгенерированное тепло (горячая вода)	Гкал/год	2058,6
<i>Стоимость ресурсов, материалов и продукции</i>		
Исходный продукт (ЗШО). Доставка	руб/т	100
Мазут	руб/т	7000
Угольные шламы. Доставка	руб/т	500

Песок	руб/т	1200
Микросфера классифицированная	руб/т	50 000

Эксплуатационные затраты

Обслуживающий персонал	чел.	17
Заработная плата с начислениями	руб/мес./чел.	39 060

Затраты на комплекс переработки ЗШО

НИОКР	руб	1 500 000
Оборудование для подготовки ЗШО	руб	2 000 000
Оборудование сушильного комплекса	руб	2 000 000
Оборудование комплекса получения микросферы	руб	3 000 000
ПИР, инженерные системы, СМР	руб	4 000 000
Итого затрат	руб	12 500 000

Получение продукции

Песок	руб/год	8 409 600
Тепло	руб/год	2 058 600
Микросфера	руб/год	35 040 000
Итого продукции	руб/год	37 098 600

Расчет себестоимости

Исходный продукт (ЗШО)	руб/год	1 007 400
Топливо (мазут)	руб/год	3 066 000
Топливо (угольные шламы)	руб/год	262 800
Электроэнергия	руб/год	985 500
Затраты на капитальный ремонт	руб/год	55 756
Затраты на текущий ремонт	руб/год	50 000
Амортизационные отчисления	7 %	513 333
Ремонтный фонд	2 %	233 333
Заработная плата с начислениями	руб/год	7 968 240
Итого себестоимость	руб/год	14 142 362
Доход	руб/год	22 956 238
Налог НДС	18 %	4 132 123
Общая прибыль	руб/год	18 824 115
Налог на прибыль	20 %	3 764 823
Чистая прибыль	руб	15 059 292
Окупаемость затрат	лет	0,83

Выводы. Рассмотрена возможность утилизации золошлаковых отходов угольных котельных с получением микросфер и строительного песка. Приведены оборудование и принципы его работы, обеспечивающие образование микросфер. Представлены технологическая схема и экономические показатели получения микросфер при использовании вихревых технологий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башкова М.Н., Казимиров С.А., Темлянцев М.В., Багрянцев В.И., Рыбушкин А.А., Слаженева К.С. Практика и перспективы применения различных способов сжигания твердого топлива в теплоэнергетических установках // Вестник СибГИУ. 2014. № 2 (8). С. 24 – 32.
2. Казимиров С.А., Башкова М.Н., Слаженева К.С. Анализ возможностей оборудования вихревыми топками действующих котельных агрегатов малой и средней мощности // Вестник СибГИУ. 2015. № 1 (11). С. 44 – 49.
3. Багрянцев В.И., Казимиров С.А., Куценко А.И., Подольс-

- кий А.П., Рыбушкин А.А., Темлянцева М.В. Практика и перспективы использования твердых углеродсодержащих отходов в качестве топлива для теплоэнергетических агрегатов // Вестник СибГИУ. 2013. № 3 (5). С. 33 – 37.
4. Багрянцев В.И., Бровченко С.А., Темлянцева М.В., Рыбушкин А.А., Казимиров С.А. Сжигание угольных шламов с применением вихревых технологий // Вестник КузГТУ. 2015. № 1 (107). С. 153 – 158.
5. Багрянцев В.И., Бровченко С.А., Рыбушкин А.А., Темлянцева М.В., Казимиров С.А. Разработка эффективной технологии сжигания отходов углеобогащения для получения тепловой энергии // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2014. № 1. С. 311 – 314.
6. Казимиров С.А., Багрянцев В.И., Бровченко С.А., Темлянцева М.В. Разработка теплоэнергетической установки для сжигания угольных шламов // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2015. № 2. С. 342 – 345.
7. Пат. № 152561 РФ. МПК В02С 19/06. Вихревая мельница / В.И. Багрянцев, С.А. Бровченко, М.В. Темлянцев, И.Н. Филинберг. Опубл. 12.01.2015.
8. Теряева Т.Н., Костенко О.В., Исмагилов З.Р., Шикина Н.В., Рудина Н.А., Антипова В.А. Физико-химические свойства алюмосиликатных полых микросфер // Вестник КузГТУ. 2013. № 5 (99). С. 86 – 90.
9. Данилин Л.Д., Дрожжин В.С., Куваев М.Д., Куликов С.А., Максимова Н.В., Малинов В.И., Пикунин И.В., Редюшев С.А., Ховрин А.Н. Полые микросферы из зол-уноса – многофункциональный наполнитель композиционных материалов // Цемент и его применение. 2012. № 4. С. 100 – 105.
10. Целыковский Ю.К., Ерихемзон Л.Ю. Организация при угольных ТЭС производства безобжигового зольного песка – эффективное направление расширения использования золошлаковых отходов ТЭС России // Энергетик. 2013. № 8. С. 26 – 28.

© 2015 г. В.И. Багрянцев, С.А. Бровченко,
А.А. Рыбушкин, С.А. Казимиров,
К.С. Коноз
Поступила 14 декабря 2015 г.