УДК 662.742.2 66.047.7.

Кутовой В.А. – к.ф.м.н, Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина
Казаринов Ю.Г. – Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина
Луценко А.С. – Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина
Николаенко А.А. – Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПЕРЕРАБОТКИ БУРОГО УГЛЯ

Создана энергосберегающая, экологически чистая термовакуумная технология непрерывной сушки бурого угля, понижено содержания серы и азота в высушенном буром угле, что приводит к уменьшению объема вредных выбросов в атмосферу при его сжигании.

Введение

Сокращение запасов нефти и газа приводит к необходимости перехода на твердые горючие ископаемые: сланцы, бурые каменные угли. Основным направлением применения бурого угля является его топливное использование на теплоэлектростанциях (ТЭС), малых котельных и промышленных предприятиях. Для их подготовки к сжиганию требуются дополнительные затраты, связанные с сушкой и дроблением. Оборудование для сушки и дробления угля занимает большие площади, имеет высокую металло-и энергоемкость. Развитие теплоэнергетики в современных условиях требует высококачественного топлива с низким содержанием серы и азота. В отличие от жидкого и газообразного топлива природные угли имеют высокую зольность и влажность. Поэтому существует необходимость модернизации процессов подготовки топлива к сжиганию с целью повышения эффективности работы теплоэлектростанций, снижению энергозатрат, понижению содержания серы и азота в буром угле, что приводит к уменьшению объема вредных выбросов в атмосферу при его сжигании. Для улучшения качества бурого угля предлагается термовакуумный метод его об рабатки.

Термовакумная сушильная установка

Установка состоит из бункера-питателя 1. Корпус бункера-питателя выполнен в виде сосуда со сквозным отверстием в его центральной части, проходное отверстие которого уменьшается в направлении

© Кутовой В.А., Казаринов Ю.Г., Луценко А.С., Николаенко А.А. 2013

сверху вниз и образует емкость - в форме перевернутого усеченного конуса. В межстенном термоизолированном пространстве бункера питателя 1 размещен вертикально полый нагреватель 2, который имеет форму змеевика и изготовлен из материала с высоким электрическим сопротивлением. Нагревательный элемент подсоединяется к электрическому источнику питания через клеммы 3. Контроль напряжения и тока в цепи нагревателя измеряется вольтметром и амперметром.

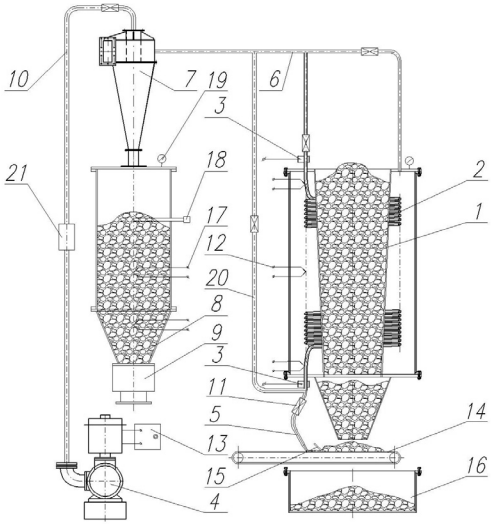

Рис. 1. Схема термовакуумной сушильной установки

Разрежение внутри нагревательного элемента создается с помощью вакуумного водокольцевого насоса 4. Входной конец нагревателя 2 подсоединен к питателю 5. Второй конец нагревателя соединен через вакуумный трубопровод 6 с циклоном 7. Циклон расположен сверху на приемнике высушенного сырья 8. Приемник продукта выполнен в виде отдельного вакуум-плотного корпуса, в нижней части которого находится шлюзовой затвор 9. Вакуумный водокольцевой насос, через трубопровод 10 соединен с циклоном 7. Нагреватель оснащен дополнительным устройством 11, позволяющим регулировать концентрацию бурого угля в нагревателе. Контроль температуры нагревательного элемента осуществляется термопарами 12, которые присоединены к прибору РТ-40, погрешность измерения: ± 1°С. Устройство РТ-40 размещено в пульте управления 13 и регулирует температуру нагревательного элемента. При достижении заданной температуры, прибор

РТ-40 дает команду на отключения источника питания от нагревательного элемента. При понижении температуры нагревательного элемента на 1 градус (от заданной температуры) прибор РТ-40 дает команду на включение источника питания нагревательного элемента.

Бурый уголь из бункера-питателя 1 высыпается на ленту транспортера 14. Ракля 15 формирует на движущейся ленте, ровный слой бурого угля, который через питатель 5 поступает вместе с воздухом в трубчатый нагревательный элемент 2 и, при необходимости, дополнительно, разрыхляется воздухом через устройство подачи воздуха 11. Избыток влажного сырья, которое не помещается на транспортере, падает в емкость 16. При движении внутри нагревательного элемента бурый уголь за короткий промежуток времени нагревается до заданной температуры и под воздействием температуры и низкого давления выделяет влагу в окружающее пространство. После прохождения через нагреватель бурый уголь по вакуумному трубопроводу 6 поступает в циклон 7. В циклоне происходит разделение пара и высушенных твердых частиц бурого угля. Пар вместе с примесями других летучих веществ через трубопровод 10 уходит в водокольцевой вакуумный насос 4, а высушенный бурый уголь проступает в приемник высушенного сырья 8. По мере заполнения приемника бурым углем включается шлюзовой затвор 9 для периодической или непрерывной выгрузки высушенного продукта.

Контроль температуры бурого угля поступающего в приемнике 8 измеряется датчиком температуры 17, а уровень высушенного угля, в приемнике, контролируется датчиком уровня 18. По мере заполнения приемника 8 высушенным материалом датчик уровня дает сигнал на включение шлюзового затвора 9. Давление в вакуумной системе установки измеряется вакуумметром 19. Для очищения воздуха, поступающего в водокольцевой насос, от мелкодисперсной пыли между циклоном и водокольцевым насосом устанавливается фильтр 23. Процесс термовакуумной сушки происходит в закрытом вакуумном пространстве при пониженном содержании кислорода, что обеспечивает взрывобезопасность данной системы. Извлеченные сера и азот в процессе термовакуумной сушки совместно с испаренной влагой и воздухом поступают в водокольцевой насос, а из насоса удаляются в специальный утилизатор. Такая конструкция обеспечивает высокопроизводительную непрерывную термовакуумную сушку бурого угля, движущегося внутри нагревательного элемента. Использование данной установки позволяет повысить производительность, сократить удельные затраты энергии на единицу высушенной продукции.

Методика термовакуумной сушки бурого угля

Для получения эффективного и экономичного метода сушки в термовакуумной установки, рис. 1, необходимо обеспечить быструю подачу влажного материала внутрь нагревательного элемента 2. Это можно

осуществить, если бурый уголь поступает вместе с воздухом в нижнюю полость нагревательного элемента 5. Возникает двухфазная система газ - твердые частицы. Движение происходит в восходящем потоке в нагретом изолированном пространстве нагревательного элемента при понижении давления.

Из результатов экспериментальных исследований установлено, что скорость двухфазного потока, которая обеспечивает работоспособность термовакуумной сушильной установки, определяется из выражения.

$$\omega = \frac{\pi r^2 d^2 (P_1 - P_2)(\rho_t - \rho_{\tilde{n}})\nu_1 K_v^2}{R\ell\mu} \qquad (1)$$

где ω- скорость движения двухфазного потока, м/с; d – диаметр частицы, м; r – внутренний радиус нагревательного элемента, м; P_1, P_2 – начальное и конечное давление, Па; ρ_t - плотность высушиваемого материала, кг/м^3; ρ_c - плотность среды, кг/м^3; K – фактор формы частиц; l - длина нагревательного элемента, м; μ – коэффициент динамической вязкости воздуха, Па·с; ν_1 — скорость витания при температуре, м/с;

R коэффициент сопротивления кг/с.

Скорость движения транспортируемых частиц в полом нагревательном элементе равна 9,0 м/с.

Весовая концентрация бурого угля в потоке воздуха составляет 1,3 кг/м^3

Объемная концентрация бурого угля в потоке воздуха составляет $1{,}1 \cdot 10^{-3}$ м^3/м^3.

Продолжительность сушки бурого угля составляет 12 с.

На материал, который двигается в полости нагревательного элемента по криволинейной траектории, оказывает влияние центробежная сила, F.

$$F = \frac{m\nu^2}{R} \qquad (2)$$

где, m – масса частицы, кг; ν – скорость движения частицы, м/с; R – радиус окружности, м.

Центробежная сила прижимает, частичку бурого угля к стенке нагревательного элемента. Частичка бурого угля получает мощный приток тепла от стенки нагревателя за короткий промежуток времени, ее температура становится выше температуры испарения влаги ($T_1 > T_и$). Начинается процесс интенсивного паровыделения внутри тела. В результате давление внутри высушиваемого тела становится значительно выше, чем на поверхности. Возникает градиент давления, и уголь распадается на мелкие частицы, что способствует увеличению отвода жидкости из высушиваемого объекта. Величина крити-

ческого давления $P_{кр}$ для сферической оболочки высушиваемого вещества зависит от модуля упругости - E; коэффициента Пуассона – μ; радиуса и толщины оболочки - R, δ .[2].

$$P_{кр} = \frac{2E}{\sqrt{3\left(1-\mu^2\right)}} \cdot \left(\frac{\delta}{R}\right)^2 \tag{3}$$

При дальнейшем продвижении частичек в полости нагревательного элемента они еще больше измельчаются в результате трения о стенки нагревательного элемента и от соприкосновения между собой, превращаясь в мелкодисперсный порошок, сферической формы размером от 10nm до 60nm с влажностью менее 0,5%, (рис. 2).

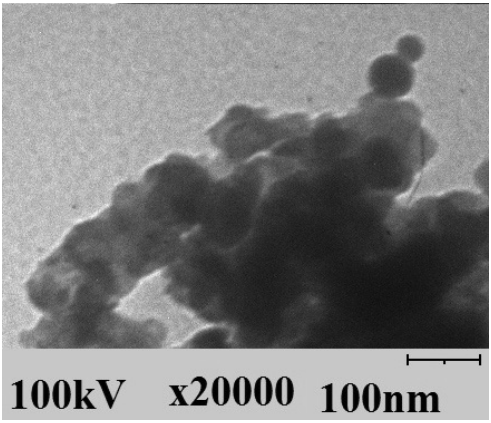

Рис. 2. Нанодисперсный порошок высушенного бурого угля

Количество влаги, удаляемой из высушиваемого материала в термовакуумной установке, прямо пропорционально зависит от мощности нагревателя, температуры нагревания высушиваемого материала, коэффициента теплопередачи от нагревательного элемента к высушиваемому материалу. Обратно пропорционально зависит от среднего значения давления в нагревательном элементе, кинетической вязкости пара, ударной вязкости материала, длины нагревателя.

$$m_{вл} = \frac{2 \cdot (m_{общ} - m_c) \cdot P \cdot T \cdot \kappa_T}{P_c \cdot \upsilon \cdot W \cdot L} \tag{4}$$

где $m_{вл}$ – масса влаги выделяемая из высушиваемого вещества, кг/с; $m_{общ}$ – начальная масса высушиваемого вещества, кг; m_{c} - масса

высушенного вещества, кг; Р – мощность нагревателя, Вт; Т- температура нагревания К; $к_т$ – коэффициент теплопередачи, Вт/м^{2}К; υ – кинетическая вязкость, м^2/с; W – ударная вязкость, Дж/м^2.

Результаты исследования сушки бурого угля

С помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии [3] исследованы спектры серы и азота в высушенном буром угле. Рис. 3.

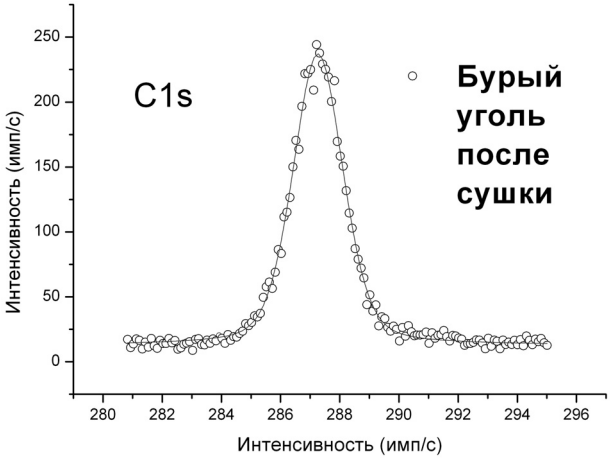

Рис. 3. Рентгеновский фотоэлектронный спектр линии C1s в образце бурого угля после термовакуумной сушки

Спектр 1s линии углерода состоит из одной линии с максимумом 287,3 эВ. Модифицированный Оже параметр равный 549,1 эВ соответствует аморфному углероду, а сдвиг спектра в результате подзарядки составил 3 В. Также, в спектре зарегистрирована слабая линия O1s связанная со следами адсорбированных на поверхности воды и углекислого газа.

Из результатов исследования установлено, количество серы в высушенном буром угле понизилось с 3,2% ниже порога чувствительности прибора. Количество содержания азота уменьшилось с 1,7% тоже ниже порога чувствительности. Рис. 4.

Линия индия обусловлена подложкой из индия, в которую впрессован порошок бурого угля. Линий серы и азота в спектре не обнаружено, что свидетельствует о том, что концентрация этих элементов ниже порога обнаружения, что составляет для серы и азота менее 1% ат. Пик кислорода связан с адсорбированной водой и углекислым газом.

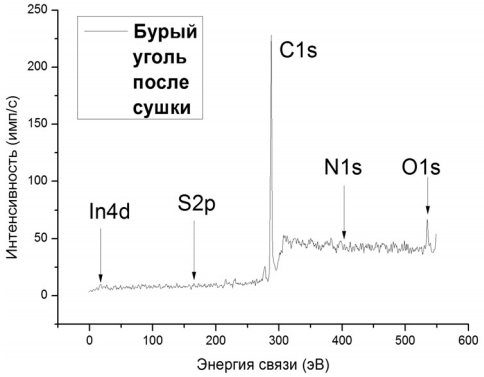

Рис. 4. Обзорный рентгеновский фотоэлектронный спектр образца бурого угля после термовакуумной сушки

Выводы

Проведена научно-техническая разработка экологически чистой, высокопроизводительной термовакуумной методики непрерывной сушки бурого угля. Сушка бурого угля в термовакуумной установке происходит равномерно, минимальный размер кристаллов бурого угля 10nm.

Термовакуумный метод сушки понижает содержание серы в буром угле в 4,6 раза, азота – 8,5 раза. Применение термовакуумных технологий позволяет создать энергосберегающую, высокоэффективную методику, непрерывной сушки угля и одновременного его измельчения, что приводит к уменьшению объема вредных выбросов в атмосферу при его сжигании.

Литература

1. Пат. 81138 Україна. МПК F26B9/06. Пристрій для термовакуумного сушіння. /. Кутовий В.О. - №a200507488; заявл. 27.07.2005; опубл. 10.12.07. Бюл. №20. 5с.
2. Муштаев В.И. Сушка дисперсных материалов / В.И.Муштаев, В.М. Ульянов.- Москва: «Химия», 1988. - С. 219.

   Mushtayev V.I. Drying of dispersed materials. / V.I.Mushtayev, V.M.Ulianov. - Moscow: «Khimiia»,1988. - 219pp
3. Костов И. Кристаллография / [перевод с болгарского Г.П. Литвинский, под ред.Н.В.Белова] – Москва: «Мир», 1965. - 528с.

   Kostov I. Crystallography / [translated from the Bulgarian G.P. Litvinskiy editor N.V.Belova] - Moscow: «MIR», 1965.- 528pp

Рукопись поступила 14.05.2013 г.