

В. А. Кутовой, д-р техн. наук
А. С. Луценко

Национальный научный центр
«Харьковский физико-технический
институт»

г. Харьков,

e-mail: kutovoy@kipt.kharkov.ua

УДК 66.047.7; 662.742.2

ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ПОДГОТОВКИ БУРОГО УГЛЯ К СЖИГАНИЮ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

Наведений новий термовакuumний енергозберігаючий метод сушіння і одночасного подрібнення бурого вугілля, що дозволяє з високою ефективністю в безперервному режимі отримувати нанодисперсне альтернативне паливо з вологістю менше 1%, знижує в бурому вугіллі вміст сірки та азоту. Показано, що це зумовлює зменшення шкідливих викидів в атмосферу при його спалюванні на ТЕС.

Введение

В условиях экономического кризиса с целью сохранения рентабельности производства разрабатываются энергосберегающие технологии обработки бурого угля. Основным направлением применения бурого угля является его топливное использование на тепловых электрических станциях (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. Поэтому существует необходимость модернизации процессов подготовки топлива к сжиганию с целью повышения эффективности работы теплоэлектростанций, снижению энергозатрат, уменьшению серы и азота в буром угле.

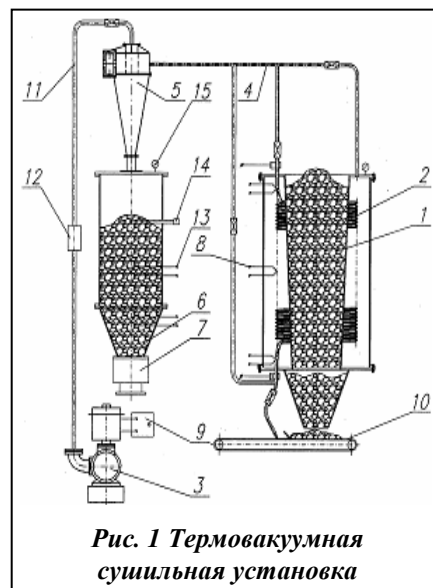
Термовакuumная сушильная установка

Обработка бурого угля осуществлялась в термовакuumной установке, рис. 1 [1].

Установка состоит из бункера-питателя 1, резистивного полого нагревательного элемента 2, шлюзового затвора 7, пульта управления 9, конвейера, 10, датчика верхнего уровня высушенного материала 14, вакуумметра 15. Разрежение в середине нагревательного элемента создавалось вакуумным водокольцевым насосом 3. Нагреватель соединен через вакуумный трубопровод 4 с циклоном 5, приемником высушенного сырья 6. Контроль температуры нагревательного элемента выполняется термомпарами 8, а высушенного материала – термомпарой 13. Бурый уголь поступает вместе с воздухом в трубчатый нагревательный элемент 2, где за короткий промежуток времени нагревается до заданной температуры. Из полого нагревательного элемента бурый уголь поступает в циклон 5, где происходит разделение пары и высушенных твердых частиц бурого угля. Из циклона пар через трубопровод 11 и фильтр 12 поступает в вакуумный насос 3, а бурый уголь – в приемник 6. Такая конструкция термовакuumной установки обеспечивает высокопродуктивную непрерывную вакуумную сушку влажных дисперсных материалов.

Методика термовакuumной обработки бурого угля

Для получения эффективного и экономичного метода сушки и одновременного измельчения бурого угля необходимо обеспечить его подачу вместе с воздухом в нижнюю полость нагревательного элемента 5, рис.1. Возникает двухфазная система газ – твердые частицы. Движение происходит в восходящем потоке в изолированном пространстве нагревательного элемента при понижении давления.



**Рис. 1 Термовакuumная
сушильная установка**

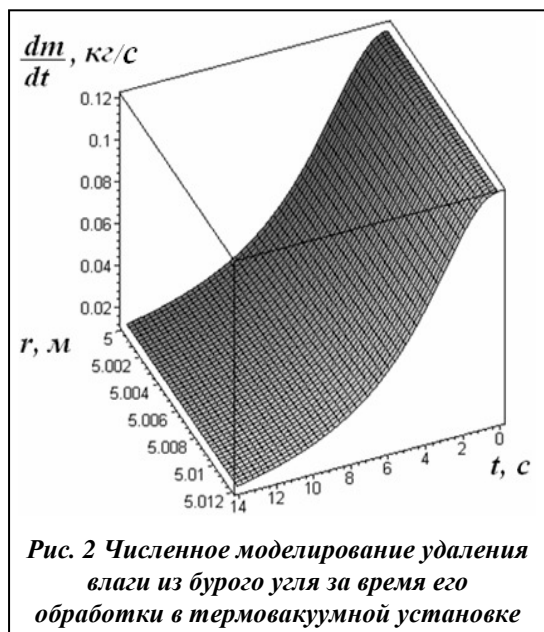


Рис. 2 Численное моделирование удаления влаги из бурого угля за время его обработки в термовакуумной установке

Научно-экспериментальные исследования сушки бурого угля в термовакуумной установке показали, что скорость двухфазного потока прямо пропорционально зависит от квадрата радиуса нагревательного элемента и диаметра высушиваемой частички бурого угля, среднего давления в полости нагревательного элемента, плотности среды, скорости витания и обратно пропорционально – от коэффициента трения, длины нагревательного элемента и коэффициента динамической вязкости. Таким образом, скорость двухфазного потока, которая обеспечивает работоспособность термовакуумной установки, определяется из выражения

$$\omega = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot d^2 \cdot P_c \cdot \rho \cdot v_g}{2 \cdot \beta \cdot l \cdot \eta},$$

где ω – скорость движения двухфазного потока, м/с; r – внутренний радиус нагревательного элемента; d – диаметр частички, м; P_c – среднее давление Па; ρ – плотность среды в нагревательном элементе, кг/м³; v_g – скорость витания

м/с; β – коэффициент трения кг/с; l – длина нагревательного элемента, м; η – коэффициент динамической вязкости, Па·с.

Во время сушки в термовакуумной установке удаление влаги из бурого угля происходит за счет контакта частички бурого угля со стенкой нагревательного элемента, который имеет форму спирали. Под действием центробежной силы $F_{ц}$ частичка контактирует со стенкой нагревательного элемента

$$F_{ц} = \frac{m \cdot v^2}{R},$$

где $F_{ц}$ – центробежная сила, кг·м/с²; m – масса частички, кг; v – скорость движения частички, м/с; R – радиус спирали нагревателя, м.

Из результатов исследований определено, что количество влаги, которая испаряется с бурого угля в термовакуумной установке во время сушки описывается выражениями

$$m_g = \frac{2(m_{общ} - m_c) \cdot P_n \cdot T \cdot \alpha \cdot S}{P_c \cdot \nu \cdot W \cdot V},$$

где m_g – количество испаренной влаги, $m_{общ}$ – общая масса высушиваемой частички, кг; m_c – изменение массы высушиваемого материала, кг; P_n – мощность нагревательного элемента, Вт; T – температура нагревательного элемента, К; α – коэффициент теплообмена, Вт/(м²·К); S – площадь испарения высушиваемой частички, м²; ν – кинематическая вязкость, м²/с; W – ударная вязкость, Дж/м²; V – объем высушиваемой частички, м³.

Во время контакта материала со стенкой частичка получает мощный приток тепловой энергии при пониженном давлении, в результате чего в месте соприкосновения частички со стенкой нагревательного элемента происходит паровой взрыв. Частичка измельчается по мере продвижения по спиральному изолированному каналу на «n» фрагментов [2]

На основании полученных экспериментальных данных проводилось численное моделирование процесса удаления влаги из бурого угля во время его сушки в

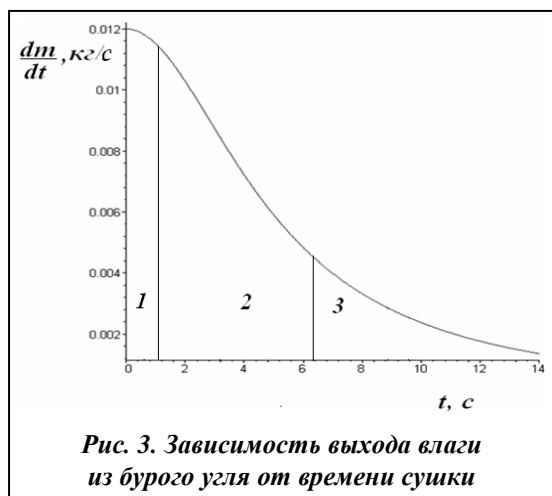


Рис. 3. Зависимость выхода влаги из бурого угля от времени сушки

термовакuumной установке. Численное моделирование проводили на основе выражения [5]

$$\frac{dm}{dt} = f(V, P, d, T, t).$$

Из результатов проведенных исследований установлено, что удаление влаги из бурого угля экспоненциально изменяется от времени (см. рис. 2)

На рис. 3 представлена зависимость выхода влаги из бурого угля во время его обработки.

Сушку бурого угля в термовакuumной установке можно разделить на 3 этапа.

Первый этап представляет собой начальный процесс сушки, где влага удаляется из бурого угля за счет конвекции, так как за этот короткий период бурый уголь не успевает нагреться.

Второй этап – это ромежуток, во время которого наблюдаем интенсивный уход влаги из высушиваемого материала. При резком понижении давления окружающей среды и интенсивном нагревании влага внутри тела вскипает, возникает мгновенный градиент давления, и гранула бурого угля распадается на мелкие частицы, что способствует увеличению отвода жидкости из высушиваемого объекта. Скорость разрушения, в свою очередь, зависит от температуры нагревания тела в момент прикосновения к нагретой поверхности и внутреннего состояния исследуемого материала.

Третий этап можно характеризовать как конечный, при котором наблюдаем уменьшение скорости удаления влаги, при этом материал измельчается за счет трения о стенки нагревательного элемента и соударения друг о друга.

Сушка бурого угля производилась в термовакuumной установке при температуре нагревательного элемента 250 °С. В нагревательный элемент бурый уголь поступал с влажностью 40% и размером частиц 6 мм, рис. 4. После обработки получено 0,8% влажности с минимальным размером частиц порядка 40 нм. Сушка бурого угля происходит равномерно, меняется его цвет с бурого на черный, рис. 5. Температура высушенного бурого угля на выходе из нагревательного элемента не превышала 76 °С.

Применение термовакuumных технологий позволяет создать энергосберегающую, высокоэффективную методику непрерывной сушки бурого угля с одновременным его измельчением и уменьшением в нем количества серы в 4 раза, а азота – в 8 раз, что приводит к уменьшению вредных выбросов в атмосферу при его сжигании [3, 4]. При этом количество электроэнергии, затраченной на получение мелкодисперсного бурого угля влажностью менее 1% из сырья с исходной влажностью 40% при температуре нагревательного элемента $T = 250$ °С и минимальном давлении окружающей среды 150 мм рт. ст., составляет 250 кВт·ч/т [5].

Выводы

Проведена научно-техническая разработка энергоэффективного метода непрерывной сушки и измельчения бурого угля.

Сушка бурого угля в термовакuumной установке происходит равномерно, получаем мелкодисперсный порошок бурого угля, время сушки 14 секунд. Данная методика позволяет с высокой эффективностью в непрерывном режиме сушить и одновременно измельчать бурый уголь, понижать содержание вредных веществ в нем.

Полученные результаты являются следствием новых конструктивных разработок с использованием комплекса теоретических, физических, механических

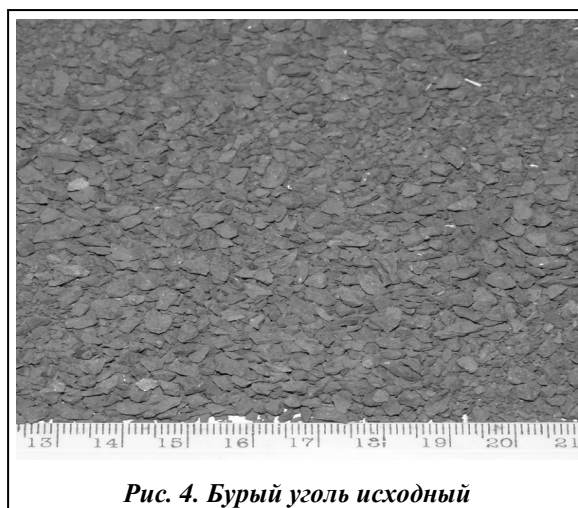


Рис. 4. Бурый уголь исходный

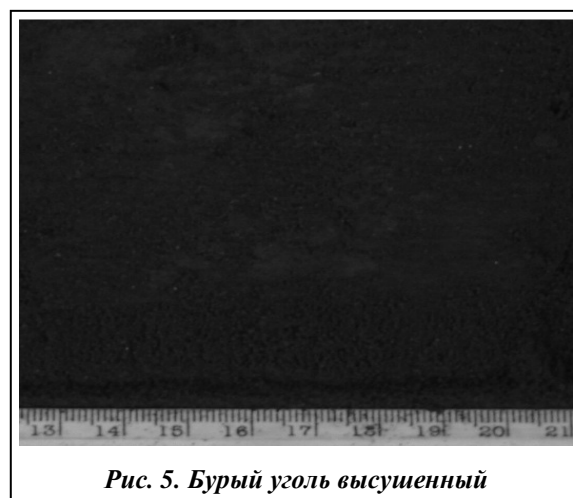


Рис. 5. Бурый уголь высушенный

методов исследования.

Разработанный технологический процесс термовакuumной сушки и измельчения бурого угля позволяет оптимизировать энергетические затраты на единицу высушенной продукции, ускорить процесс сушки и получить альтернативное топливо в виде стандартных твердотопливных брикетов.

Технические возможности созданного термовакuumного метода могут найти широкое применение для получения нанодисперсных материалов в разных отраслях промышленного производства. Кроме того, термовакuumный метод позволяет минимизировать затраты на подготовку бурого угля к сжиганию на ТЭС, что приводит к уменьшению вредных выбросов в атмосферу при его сжигании.

Литература

1. *International Patent*, a20507488 27.07.2005 UA, МПК F26B5/04; F26B23/06; F26B23/00. Apparatus for Drying of Wet Dispersed Raw Materials. / V. O. Kutovyi. – # PCT/UA2005/000051; Filing. 15.01.2005; Puplic. 01.02.2007; Publication number W0/2007/013866. – 6 p.
2. *Энергосберегающая термовакuumная сушка и измельчения бурого угля* / В. М. Кошельник, В. А. Кутовой, Ю. Г. Казаринов, А. С. Луценко // Наука техника, технологія, освіта, здоров'я: XXI міжнар. наук.-практ. конф. – Харків, Україна, 2013. – С. 297.
3. *Кошельник, В. М.* Научно-технические основы теплоэнергетических процессов термовакuumной сушки углеродных материалов / В. М. Кошельник, В. А. Кутовой, А. С. Луценко // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ». Сер. Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – 2014. – №12(1055). – С. 142–149.
4. *Кутовой В. А.* Разработка энергоэффективной методики сушки и измельчения углеродных материалов / В. А. Кутовой, И. С. Мысак // Восточ.-Европ. журн. передовых технологий. – 2014. – № 6/8 (72). – С. 35–40.
5. *Кутовой В. А.* Научно-практические основы энергосберегающего термовакuumного процесса сушки дисперсных материалов / В. А. Кутовой, А. С. Луценко, В. М. Кошельник // Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ». – 2013. – № 70 (1043). – С. 175–180.

Поступила в редакцию 15.09.15

А. Л. Шубенко,
чл.-кор. НАН Украины
В. П. Сарапин

Институт проблем
машиностроения
им. А. Н. Подгорного
НАН Украины,
г. Харьков,
e-mail: shuben@kharkov.ua,
sarapin_v@mail.ru

УДК 621.692.3

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМЫ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СЕПАРАЦИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА ДЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С РАЗНОНАПОРНЫМИ СКВАЖИНАМИ

Удосконалена принципова схема низькотемпературної сепарації природного газу, що призначена для відділення низькокиплячих вуглеводнів на родовищах із свердловинами, які мають різний пластовий тиск газу. Для підвищення тиску газу низьконапірних свердловин перед обладнанням низькотемпературної сепарації запропоновано використовувати компресор, що приводиться до дії турбодетандером. У останньому природний газ розширюється за рахунок надлишкового тиску газу високонапірних свердловин до тиску потоку газу, стиснутого у компресорі, що забезпечує температуру точки роси в обладнанні сепарації.

Ключові слова: природний газ, точка роси, низькотемпературна сепарація, технологічна схема, турбодетандер, компресор.

Введение

Природный газ в Украине является одним из основных энергоносителей. По данным НАК «НАФТОГАЗ» Украины потребление газа в 2014 г. составило 42,6 млрд. м³, при этом собственная добыча ~20,5 млрд. м³ (48% от потребления) [1, 2]. Зависимость от импорта природного газа является одной из причин политических и экономических проблем современной Украины. Поэтому увеличение добычи природного газа, повышение качества его переработки и транспортировки относятся к важнейшим направлениям развития экономики страны [3]. В этой связи рассматриваемый в настоящей публикации способ усовершенствования технологии переработки природного газа является весьма актуальным.

© А. Л. Шубенко, В. П. Сарапин, 2015