

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ МЕТОДИКИ СУШКИ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В. А. Кутовой

Кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
Национальный научный центр
"Харьковский физико-
технический институт" НАН Украины
ул. Академическая, 1, г. Харьков, Украина, 61108
E-mail: kutovoy@kipt.kharkov.ua

И. С. Мысак

Доктор технических наук, профессор
Кафедра теплотехники и
тепловых электростанций
Национальный университет "Львовская
политехника"
ул. С. Бандеры, 12, г. Львов, Украина, 79013
E-mail: s.mysak@yandex.ru

Проведена науково-технічна розробка енергоефективної методики сушіння і подрібнення дисперсних матеріалів. Тривалість сушіння і подрібнення вимірюється секундами, завдяки максимальній поверхні випарювання, швидкому нагріванню висушеного матеріалу, зниженні тиску навколишнього середовища. Приведена схема конструкції термовакуумної установки, яка дає можливість прискорити технологічний процес термовакуумного сушіння дисперсних матеріалів і одночасно одержувати висушений дрібнодисперсний порошок

Ключові слова: термовакуумна установка, буря вугілля, екологія, енергозбереження, сушіння, подрібнення, тиск, сірка

Проведена научно-техническая разработка энергоэффективной методики сушки и измельчения дисперсных материалов. Продолжительность сушки и измельчения измеряется секундами, благодаря максимальной поверхности испарения, быстрому нагреванию высушиваемого материала, снижению давления окружающей среды. Приведена схема конструкции термовакуумной установки, позволяющая ускорить технологический процесс сушки дисперсных материалов и одновременно получать высушенный мелкодисперсный порошок

Ключевые слова: термовакуумная установка, бурый уголь, экология, энергосбережение, сушка, измельчение, давление, сера

1. 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. Развитие теплоэнергетики в современных условиях требует высококачественного топлива с низким содержанием серы и азота. В отличие от жидкого и газообразного топлива бурый уголь имеет высокую зольность и влажность. С целью повышения эффективности работы теплоэлектростанций необходимо провести модернизацию процесса подготовки бурого угля, чтобы понизить содержание серы и азота и сократить объем вредных выбросов в атмосферу при его сжигании. Поэтому разработка и внедрение новых энергосберегающих теплотехнологических установок для сушки и измельчения углеродных материалов является важной научно – технической проблемой, которая решается в рамках научного направления – промышленной теплоэнергетики.

В настоящее время во всем мире ведутся разработки по созданию эффективных, энергосберегающих термотехнологических установок, совершенствуются методы интенсификации технологических процессов с целью

повышения эффективности теплотехнического оборудования. Среди термотехнологических установок есть сушильные, которые используются в различных отраслях промышленного производства для получения новых материалов и удаления влаги из дисперсных материалов. Существующие сушильные установки в большинстве случаев дорогие, громоздкие, металлоемкие, потребляют много энергии. Процессы сушки дисперсных материалов происходят при высоких температурах и атмосферном давлении, что часто приводит к нежелательным структурным, химическим, биологическим изменениям высушиваемой среды. Большинство сушильных установок работает на жидком топливе и в качестве агента сушки применяется смесь топочных газов с воздухом. Эффективность работы сушильных агрегатов определяется степенью совершенства теплотехнических систем, новым подходом к разработке сушильного оборудования и выбором теплотехнологического процесса. Современные сушильные установки должны иметь простую конструкцию и, соответственно, быть как можно более надежными и удобными в изготовлении и обслуживании, иметь высокую производительность при малом удельном расходе энергии. Они должны быть пригодными для перевозки и быстрого развертывания в рабочее положение, обеспечивать как можно более стабильные параметры сушки и получать стандартную по качеству продукцию.

Таким образом, актуальной проблемой является создание новых термотехнологических установок с улучшенными эксплуатационными и технико-экономическими характеристиками для интенсификации теплообменных процессов, которые позволяют эффективно подводить тепло к высушиваемому материалу, ускоряют процесс тепло- и массообмена в нем, сократят время сушки. В настоящее время существует необходимость модернизации процессов подготовки твердого топлива к сжиганию, в особенности бурого угля, с целью повышения эффективности работы теплоэлектростанций. Для этого бурый уголь предлагается обрабатывать в термовакуумных сушильных установках, которые снижают количество вредных примесей в буром угле, уменьшают потребление тепловой энергии на единицу высушенной продукции.

2. Анализ публикаций и исследований

Потребность в сушке и измельчении углеродных материалов имеет в настоящее время массовый спрос. Известно, что около 80 % добываемого в Украине угля содержит серу. Для ее удаления необходимо измельчить матрицу на фракцию менее 100 мкм с последующим удалением частиц серы. Операция удаления серы из угля трудоемкая, с большими затратами энергии и средств. Согласно существующим технологиям на измельчение угля до тонких фракций расходуется до 150 кВт ч/т, при этом процессы измельчения не соответствуют экологическим нормам загрязнения окружающей среды. В данных установках необходимо выравнивать температурное поле в массе влажного материала, чтобы избежать его локального перегрева. Стоимость данного оборудования и его эксплуатационные расходы чрезмерно высоки. Данные установки используют много тепловой энергии на единицу веса материала [1, 2]. Замена механического измельчения угля на электроразрядное – обеспечивает тонкую дезинтеграцию угля на фракции ниже 50 мкм с затратами энергии (до 30 кВт ч/т). Данный метод снижает содержания серы в угле до норм экологических требований – меньше чем 1 % [3].

Для сушки разнообразных сыпучих материалов также используют трубы – сушилки [4, 5]. Установки этого типа представляют прямую вертикальную трубу, в нижнюю часть которой поступают газ – теплоноситель и влажный материал. Влажный материал подхватывается потоком газа и при движении вверх подвергается тепловой обработке. В качестве теплоносителя используются продукты горения или горячий воздух. В этих устройствах сочетается сушка материала и его транспортировка. Недостатком такой сушилки является низкий тепловой КПД, неодинаковая степень термической обработки высушиваемого материала, применение продуктов горения, что существенно увеличивает стоимость процесса сушки и повышает энергоемкость.

Измельчение дисперсных материалов является довольно распространенным технологическим процессом. Механизму измельчения посвящен целый ряд теоретических исследований [6, 7]. Однако мало научно-технических работ, которые показывают, как мож-

но ускорить процесс фрагментации дисперсных материалов и какие для этого необходимо оборудование.

В настоящее время ведутся разработки по созданию новых эффективных, энергосберегающих термотехнологических установок, совершенствуются методы интенсификации технологических процессов с целью повышения эффективности теплотехнического оборудования. Наиболее эффективным способом обезвоживания различных материалов является термовакуумный, что подчеркивает актуальность данной темы, перспективность использования термовакуумных установок для удаления влаги из дисперсных материалов [8, 9]. Повышение эффективности технологического процесса сушки и уменьшение энергопотребления сушильной установки является актуальной задачей. Решение этих задач должно базироваться на изыскании новых, более эффективных методов энергопотребления сушильной установкой и соответствующих оптимальных режимов технологического процесса. Необходимо также учитывать физико-химические свойства высушиваемого объекта. Это дает возможность на основе выбранного критерия оптимальности и варьируемых факторов определить параметры режима технологического процесса сушки и получить энергосберегающую, высокоэффективную сушильную установку. В качестве критерия оптимальности выбирается такой показатель, как минимальная продолжительность сушки, что в свою очередь приводит к сокращению времени термического воздействия на высушиваемый объект.

3. Цель и задачи исследования

Целью данной работы есть разработка научно-технических основ тепломассообменных процессов термовакуумной сушки и измельчения капиллярно-пористых дисперсных материалов. На примере сушки бурого угля во вновь разработанной высокоэффективной, энергосберегающей термовакуумной сушильной установке показать, что процесс выхода влаги из капиллярно-пористого тела значительно ускоряется, если во время сушки одновременно измельчать высушиваемый материал. Чем меньший размер капиллярно-пористого тела от начального размера, тем выше скорость сушки исследуемого объекта.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать концепцию нового подхода по совершенствованию конструктивных систем термовакуумных сушильных установок, которые обеспечат наилучшие условия для использования тепловой энергии и приведет к экономии энергоресурсов при сушке влажных материалов с различными структурными и технологическими параметрами;
- методом физического моделирования и экспериментального исследования обосновать и реализовать концепцию ускорения удаления влаги из дисперсных материалов в термовакуумной сушильной установке;
- на базе совершенствования теплофизических механизмов термовакуумных установок разработать энергосберегающую технологию получения мелкодисперсных материалов.

4. Установка сушки и измельчения углеродного материала

Рассмотрим сушку и измельчение дисперсных материалов во вновь разработанной термовакuumной установке на примере термотехнологической обработки бурого угля. Схема термовакuumной установки приведена на рис. 1.

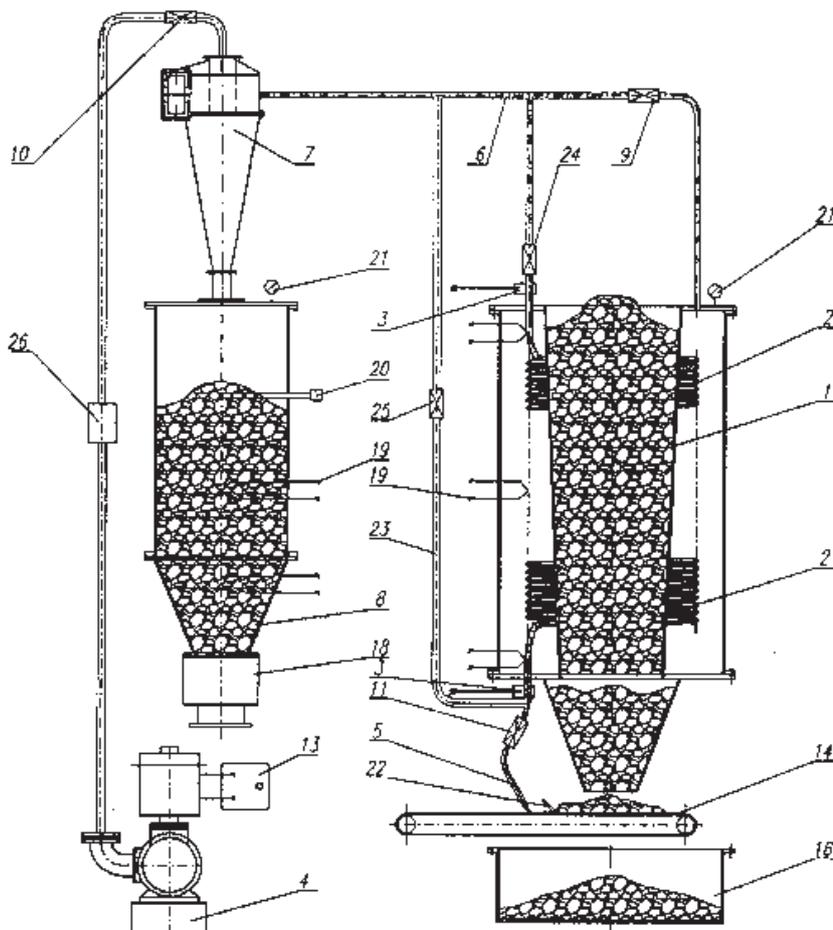


Рис. 1. Схема термовакuumной установки

Бурый уголь из бункера-питателя 1 высыпается на ленту транспортера 14. Ракли 15 формируют 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 бурый уголь включает шлюзовую затвор 18 для периодической или непрерывной выгрузки высушенного продукта.

Контроль температуры бурого угля поступающего в приемник 8 измеряется датчиком температуры 19, а уровень высушенного угля в приемнике контролируется датчиком уровня 20. По мере заполнения приемника 8 высушенным материалом датчик уровня дает сигнал на включение шлюзовой затвора 9.

Давление в вакуумной системе установки осуществляется вакуумметром 21. Для очищения воздуха, поступающего в водокольцевой насос, от мелкодисперсной пыли между циклоном и водокольцевым насосом устанавливается фильтр 26. Управление установкой осуществляется с пульта управления 13.

Такая конструкция обеспечивает высокопроизводительную непрерывную термовакuumную сушку бурого угля, движущегося внутри нагревательного элемента при пониженном давлении [10].

5. Результаты исследования сушки и измельчения углеродного материала

Для получения эффективного и экономичного метода сушки в термовакuumной установке необходимо обеспечить быструю подачу влажного материала внутрь нагревательного элемента 2.

Это можно осуществить, если высушиваемый материал 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 пониженном давлении.

Из результатов проведенных исследований во вновь созданной термовакuumной установке (рис. 1) установлено, что скорость двухфазного потока, которая обеспечивает работоспособность данной термовакuumной сушильной установки, определяется из выражения

$$\omega = \frac{\pi \cdot r^2 \cdot d^2 \cdot (P_1 - P_2) \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot v}{2 \cdot R \cdot l \cdot \mu}, \quad (1)$$

где ω – скорость движения двухфазного потока, м/с; r – внутренний радиус трубчатого нагревательного элемента, м; d – диаметр высушиваемой частицы, м; P_1 – начальное давление, Па; P_2 – конечное давление, Па; ρ_1 – плотность высушиваемого материала, кг/м³; ρ_2 – плотность среды, кг/м³; v – скорость витания, м/с; R – коэффициент сопротивления, кг/с;

l – длина нагревательного элемента, м; μ – коэффициент динамической вязкости воздуха, Па·с.

Максимальный размер исходного бурого угля влажностью 40 % составляет 6 мм.

Максимальная скорость движения транспортируемых частиц в полном нагревательном элементе равна 10,0 м/с.

Максимальная весовая концентрация бурого угля в потоке воздуха составляет 1,3 кг/м³.

Объемная концентрация бурого угля в потоке воздуха составляет $1,1 \cdot 10^{-3}$ м³/м³.

Максимальная продолжительность сушки бурого угля в термовакуумной установке составляет 14 с.

Среднее давление в нагревательном элементе ≈ 300 мм рт. ст.

Частичка влажного материала, двигаясь в полости нагревательного элемента, прикасается к стенке нагревателя, которая нагрета до температуры 250 °С. От стенки нагревателя частичка в месте прикосновения получает мощный приток тепла за короткий промежуток времени. Температура части тела T_t становится выше температуры испарения влаги T_n ($T_t > T_n$). Начинается процесс интенсивного паровыделения. Во внутренней части тела происходит паровой взрыв, за счет чего от основной поверхности откалываются малые частички. По мере прохождения влажного материала внутри нагревательного элемента частичка разрушается на мелкие фрагменты и одновременно теряет влагу.

Из результатов научно-экспериментальных исследований установлено, что 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, площади испарения влаги. Обрато пропорционально – от среднего значения давления в нагревательном элементе, кинетической вязкости пара, ударной вязкости материала, объема нагревательного материала.

$$m_{вл} = \frac{2(m_{общ} - m) \cdot P \cdot T \cdot k \cdot S}{P \cdot \nu \cdot W \cdot V}, \tag{2}$$

где $m_{вл}$ – масса влаги выделяемая из высушиваемого материала в термовакуумной установке за единицу времени, кг/с; $m_{общ}$ – начальная масса высушиваемого вещества, кг; m_c – масса высушенного вещества, кг; P – мощность нагревателя, Вт; T – температура нагревания высушиваемого материала, К; k – коэффициент теплопередачи от теплового агента до высушиваемого материала, Вт/(м²·К); S – площадь поверхности испарения влаги высушиваемого материала, м²; P_c – среднее значение давления в нагревательном элементе, Па; ν – кинематическая вязкость, м²/с; W – ударная вязкость высушиваемого материала, Дж/м²; V – объем высушиваемого материала, м³.

В выражении (2) рассмотрим, как изменяется соотношение S/V на примере высушиваемого объекта, который имеет форму куба. Назовем это соотношение геометрическим фактором высушиваемого образца и обозначим символом G .

Из результатов, приведенных в табл. 1, следует, с уменьшением стороны куба геометрический фактор

увеличивается, что приводит к повышению выхода влаги из высушиваемого объекта. Чем меньше размер высушиваемого объекта, тем выше скорость ухода влаги.

Таким образом, в установке, где происходит сушка и одновременное измельчение высушиваемого объекта, скорость сушки значительно увеличивается, в сравнении с высушиваемым объектом, у которого геометрический фактор не изменяется или увеличивается. Например, с уменьшением стороны высушиваемого объекта в тысячу раз геометрический фактор возрастает в тысячу раз и, тем самым, ускоряется процесс удаления влаги. Бурый уголь с начальной влажностью 40 % превращается в мелкодисперсный порошок, с влажностью менее 1,0 % за 14 секунд (рис. 2). Температура высушенного бурого угля на выходе из нагревательного элемента не превышала 76 °С.

Таблица 1

Изменение геометрического фактора высушиваемой частички

Сторона куба, м	Объем, м ³	Площадь, м ²	G
0,01	0,000001	0,0006	600
0,001	0,000000001	0,000006	6000
0,0001	0,000000000001	0,00000006	60000
10 ⁻⁵	10 ⁻¹⁵	6·10 ⁻¹⁰	6·10 ⁵
10 ⁻⁶	10 ⁻¹⁸	6·10 ⁻¹²	6·10 ⁶
10 ⁻⁷	10 ⁻²¹	6·10 ⁻¹⁴	6·10 ⁷
10 ⁻⁸	10 ⁻²⁴	6·10 ⁻¹⁶	6·10 ⁸
10 ⁻⁹	10 ⁻²⁷	6·10 ⁻¹⁸	6·10 ⁹
10 ⁻¹⁰	10 ⁻³⁰	6·10 ⁻²⁰	6·10 ¹⁰

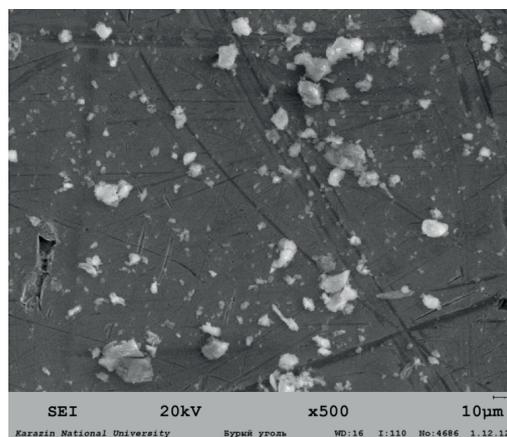


Рис. 2. Электронная микроскопия высушенного бурого угля

Сушка бурого угля происходит равномерно, меняется его цвет с бурого на черный (рис. 3, а, б).

Это говорит о том, что содержание серы в буром угле понижается при обработке его в термовакуумной установке. В нашем случае количество серы в высушенном буром угле снизилось более чем в два раза с 4,8 % до 2,2 %.

При повышении температуры нагревателя до 300 °С бурый уголь воспламеняется, несмотря на пониженное давление внутри нагревательного элемента (рис. 4, а, б). По-видимому, это связано с тем, что бурый уголь в процессе сушки становится мелкодисперсным с низкой влажностью.

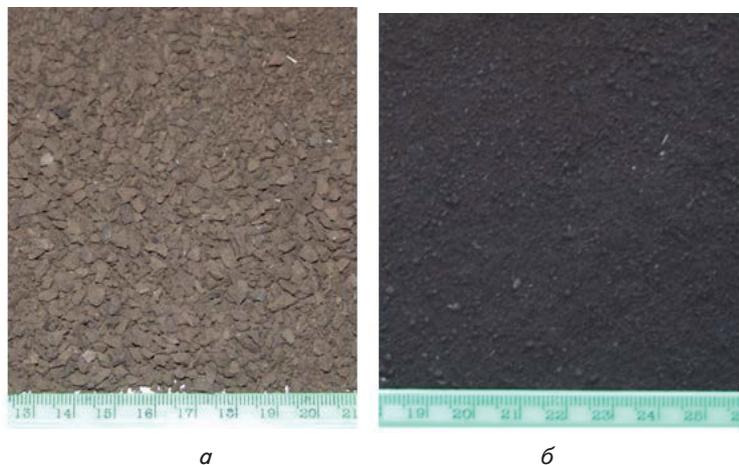


Рис. 3. Бурый уголь: *а* – исходный; *б* – высушенный

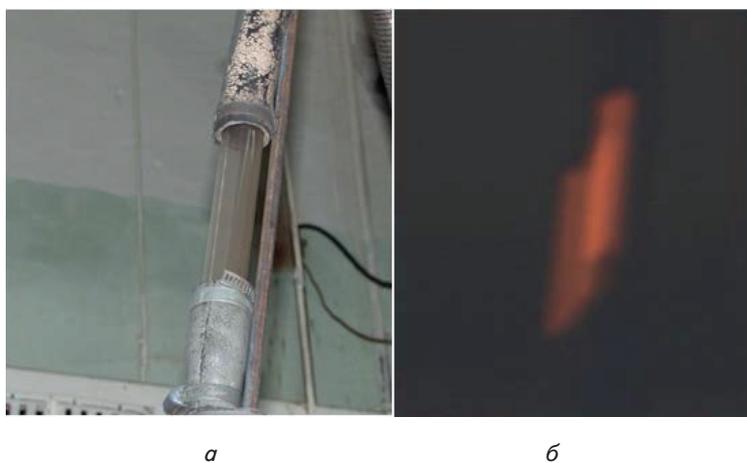


Рис. 4. Самовоспламенение бурого угля в термовакуумной установке: *а* – общий вид трубопровода; *б* – горение бурого угля в трубопроводе

В зависимости от режимных параметров термовакуумного процесса и характеристик высушиваемого материала происходит изменение его физических, химических и механических свойств. Это продолжается до тех пор, пока система не будет находиться в локально-равновесном состоянии. При этом, количество электроэнергии, затраченной на получение мелкодисперсного бурого угля влажностью менее 1 % из исходной влажностью 40 % при температуре нагревательного элемента $T = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ и среднем давлении окружающей среды 300 мм рт. ст., составляет 240 кВт ч/т.

Технология термовакуумной сушки охватывает комплекс вопросов, связанных с конкретными производственными условиями и объектом сушки, техническое решение которого возможно в определенных конструкциях сушильных установок, которые должны обеспечить не только сохранение основных свойств высушиваемого материала, но и улучшить его качественные показатели.

5. Выводы

В процессе выполнения научно-исследовательских работ по термовакуумной сушке и измельчения дисперсных материалов были использованы аналитические и экспериментальные методы определения ухода влаги из исследуемых объектов в зависимости от режимных параметров термовакуумной установки.

Показано, чем меньший размер капиллярно-пористого тела от начального, тем ниже влажность высушиваемого материала.

Разработанный технологический процесс термовакуумной сушки и измельчения бурого угля, позволяет оптимизировать энергетические затраты на единицу высушенной продукции, ускорить процесс сушки, получить мелкодисперсный порошок высушенного угля с низким содержанием серы, что приводит к уменьшению вредных выбросов в окружающее пространство при его сжигании.

На вновь созданной высокопродуктивной термовакуумной установке можно разрабатывать новые энергосберегающие технологии, которые позволят с высокой эффективностью в непрерывном режиме сушить

и одновременно измельчать дисперсные материалы с разными структурными и теплотехнологическими свойствами.

Решение актуальных задач в области сушки должно базироваться на научных основах, изучая свойства материалов как объекта сушки, обосновав режимы процесса сушки и только на этой основе создавать рациональные конструкции сушильных установок. Это даст возможность получать материалы требуемого качества с заранее заданными характеристиками.

Литература

1. Ризун, А. Р. Электроразрядная дезинтеграция и десульфурация угля при изготовлении водно-угольного топлива [Текст] / А. Р. Ризун, Т. Д. Денисюк, Ю. В. Голень, В. Ю. Кононов, А. Н. Рачков // Электронная обработка материалов – 2011. – № 47 (1). – С. 113–115.
2. Филипенко, Ю. Н. Подготовка угольного топлива для пылевидного сжигания на тепловых электростанциях [Текст] / Ю. Н. Филипенко, П. Т. Скляр, Е. В. Харлова, Е. В. Юдавина, Н. В. Чернявский // Збагачення корисних копалин. – 2013. – Вип. 53 (94). – С. 54–61.
3. Высоцкий, С. П. Десульфурация и обогащение углей перед их сжиганием на ТЭС [Текст] / С. П. Высоцкий, Ю. С. Мاستика и др. // Энергетика и электрофикация. – 1193. – № 3. – С. 53–56.
4. Бабуха, Г. Л. Механика и теплообмен потоков полидисперсной газозвеси [Текст] / Г. Л. Бабуха, М. И. Рабинович. – Киев: Наукова думка, 1969. – С. 185–186.
5. Атаманиук, В. М. Наукові основи фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів [Текст] / В. М. Атаманиук, Я. М. Гумницький. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 256 с.

6. Бродский, Р. Е. Медленная фрагментация при квадратичном законе дробления [Текст] / Р. Е. Бродский, Ю. П. Вирченко // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2013. – Вып. 2 (47). – С. 63–66.
7. Ziff, R. M. An explicit solutions to a discrete fragmentation model [Text] / R. M. Ziff // Journal of Physics A: Mathematical and General. – 1992. – Vol. 25, Issue 9. – P. 2569–2576. doi: 10.1088/0305-4470/25/9/027.
8. Кутовой, В. А. Термовакuumный метод получения нанодисперсных материалов [Текст] / В. А. Кутовой, Ю. Г. Казаринов, А. С. Луценко, А. А. Николаенко, В. И. Ткаченко // Вопросы атомной науки и техники. – 2014. – Вып. 103, № 2 (90). – С. 153–157.
9. Кошельник, В. М. Энергосберегающая термовакuumная сушка и измельчения бурого угля [Текст] : XXI міжн. наук.-прак. конф. / В. М. Кошельник, В. А. Кутовой, Ю. Г. Казаринов, А. С. Луценко // Наука техніка, технологія, освіта, здоров'я. – Харків, Україна, 2013. – С. 297.
10. Пат. 81138 Україна. МПК F26B9/06. Пристрій для термовакuumного сушіння [Текст] / Кутовий В. О. – №а200507488; заявл. 27.07.2005; опубл. 10.12.07. Бюл. №20. – 5 с.

Розроблена енергозберігаюча технологія двохстадійної газифікації дрібнодисперсної біомаси для когенераційних установок малої потужності на базі ДВЗ. Приведені результати експериментальних досліджень технології двохстадійної газифікації біомаси. Представлені результати оцінки ефективності роботи ДВЗ на різних видах палива. Розроблена технологічна схема когенераційної установки «газогенератор+ДВЗ» та проведена оцінка ефективності роботи на основі ексергетичного і економічного аналізу

Ключові слова: біомаса, двохстадійна газифікація, когенераційна установка, двигун внутрішнього згорання, ексергетичний аналіз

Разработана энергосберегающая технология двухстадийной газификации мелкодисперсной биомассы для когенерационных установок малой мощности на базе ДВС. Приведены результаты экспериментальных исследований технологии двухстадийной газификации биомассы. Представлены результаты оценки эффективности работы ДВС на различных видах топлива. Разработана технологическая схема когенерационной установки «газогенератор+ДВС» и проведена оценка эффективности работы на основе эксергетического и экономического анализа

Ключевые слова: биомасса, двухстадийная газификация, когенерационная установка, двигатель внутреннего сгорания, эксергетический анализ

УДК 621.314:662.76.034:536.72

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.30986

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГО- СБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ДВУХСТАДИЙНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ БИОМАССЫ ДЛЯ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Е. В. Кремнева

Ассистент

Кафедра промышленной теплоэнергетики

Национальная металлургическая

академия Украины

пр. Гагарина, 4, г. Днепропетровск,

Украина, 49005

E-mail: kati-denis@rambler.ru

1. Введение

Необходимость сокращения потребления природного газа в Украине на сегодняшний день является общегосударственной задачей, направленной на повышение энергетической безопасности страны. Решение этой задачи регламентируется на законодательном уровне путем стимулирования развития технологий, использующих возобновляемые источники энергии [1–3]. Среди таких источников доступным является биомасса. Наряду с этим имеется потребность в автономных источниках электрической и тепловой энергии для промышленных и сельскохозяйственных предприятий, которая может быть удовлетворена за счет применения когенерационных установок. Использование биомассы в когенерационных установках

позволяет получать электрическую и тепловую энергию с максимальным энергетическим и экологическим эффектом. Наиболее перспективным является использование когенерационных установок малой мощности (до 1 МВт) на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) с предварительной газификацией биомассы. Полученный путем газификации биомассы генераторный газ, содержит значительное количество смол и не может быть использован в качестве топлива для ДВС без дополнительной очистки. Включение в схему когенерационной установки системы очистки от смол значительно повышает капитальные и эксплуатационные затраты, а соответственно увеличивает себестоимость вырабатываемой энергии. Технологии газификации биомассы, ориентированные на получение газа с малым содержанием смол, изучены недостаточно. Практическая реа-