



**АКТУАЛЬНЫЕ
ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ**

УДК 621.3:620.9:62-83:697

ББК 31

А43

Редакционная коллегия:

А. В. Косых, ректор ОмГТУ;

Б. Д. Женатов, проректор по НР ОмГТУ;

А. А. Татевосян, декан ЭНИ ОмГТУ;

А. В. Бубнов, зав. каф. «Электрическая техника» ОмГТУ;

В. Н. Горюнов, зав. каф. «Электроснабжение
промышленных предприятий» ОмГТУ;

А. Г. Михайлов, зав. каф. «Теплоэнергетика» ОмГТУ;

П. А. Батраков, доц. каф. «Теплоэнергетика» ОмГТУ (отв. редактор)

Актуальные вопросы энергетики : материалы Междунар. науч.-практ.
А43 конф. (Россия, Омск, 17 мая 2017 г.) / Минобрнауки России, ОмГТУ ; [редкол.:
П. А. Батраков (отв. ред.) и др.]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2017. – 408 с. : ил.

ISBN 978-5-8149-2453-7

Представлены результаты выполненных в вузах научно-исследовательских, опытно-конструкторских и внедренческих работ, отражающие проблемы энергоэффективности; генерации, трансформации и потребления электрической энергии; построения теплоэнергетических систем; электротехнических комплексов и систем.

Издание предназначено для научных и инженерно-технических работников, а также аспирантов и студентов технических вузов.

УДК 621.3:620.9:62-83:697

ББК 31

ISBN 978-5-8149-2453-7

© ОмГТУ, 2017



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



- Д. В. Шагаров, К. В. Хацевский
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Анализ способов улучшения технических характеристик стабилизаторов напряжения 52
- С. В. Козлей, К. В. Хацевский
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Проблемы эксплуатации кабельных линий 10/0,4 кВ 56
- Л. С. Нифонтова, В. Д. Галдин, П. В. Кальницкий
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Влияние начальных параметров продуктов сгорания топлива и геометрии проточной части турбодетандера на место расположения скачка кристаллизации диоксида углерода 61
- В. Ю. Мирошник, Д. В. Батулько
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Определения места повреждения линии при однофазном замыкании на землю в сетях 6 – 35 кВ по параметрам аварийного режима..... 65
- М. К. Ширбаева, А. К. Кинжибекова
ПГУ им.С.Торайгырова, г. Павлодар, Казахстан
Исследование теплофизических свойств брикетов из древесных опилок..... 69
- А. М. Фокин, А. И. Киселева
Филиал «НИУ «МЭИ» в г.Смоленске, Россия
Разработка методики определения комплексного показателя качества тепловых сетей..... 73
- С. С. Плотников, А. Г. Михайлов, Д. В. Скворцов
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Современные теплотехнические измерительные приборы..... 78
- А. К. Кинжибекова, А. Ж. Алеева
ПГУ им. С. Торайгырова, г. Павлодар, Казахстан
Исследование теплофизических характеристик брикетов из лузги подсолнуха 82
- Е. А. Шибанов, Д. В. Рысев
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Модернизация системы управления ветроэнергетической установкой 87
- Д. С. Осипов, Д. В. Коваленко, Б. Ю. Киселев
ОмГТУ, г. Омск, Россия
Применение дискретного и пакетного вейвлет-преобразования для частотной декомпозиции сигналов в нестационарных режимах..... 90
- А. С. Никифоров¹, Е. В. Приходько¹, А. Е. Карманов², А. Т. Кажобаева¹
¹ПГУ им.С.Торайгырова, г. Павлодар Казахстан
²АУЭС, г. Алмата, Казахстан
Методика определения надёжности работы высокотемпературного оборудования по величине остаточного ресурса 100



УДК 62-662.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БРИКЕТОВ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК

М. К. Ширбаева, А. К. Кинжибекова,

*Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова,
г. Павлодар, Казахстан*

Аннотация – В данной статье авторами была поднята проблема о сохранении природных запасов и их повторном использовании. Были изучены брикеты из древесных опилок как альтернативное топливо. Исследованы теплофизические свойства брикетов из древесных опилок. Определены влажность, зольность топливных брикетов. Влажность брикета равна 4,3 %, что в разы меньше влажности угля. Зольность брикетов составила 1,6 %. Это может говорить о том, что брикеты из древесных опилок является экологический чистым продуктом. Также авторами определен выход летучих веществ из топливного брикета, который составил 13,17 %. Брикеты из опилок имеют очень высокую продолжительность горения. При горении, брикеты выделяют минимальное количество дыма, при этом не искрят и не стреляют.

Ключевые слова – Брикет, влажность, зольность.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все большую актуальность приобретает вопрос о сохранении природных ресурсов и их повторном использовании.

Переработка отходов – это повторное использование или возвращение в оборот отходов производства или мусора. Существует множество возможностей повторного использования отходов мебельного производства, макулатуры, соломы и сухих листьев.

ЗаклЮчения учёных об объёмах природных ресурсов, а также об экологическом состоянии планеты носят весьма неутешительный характер. Актуальность данной проблемы подчеркнул экономический кризис, заставивший человечество пересмотреть свои взгляды в пользу переработки, а не утилизации, отходов, в том числе и опилок.

Постоянно растущие цены на энергоносителей заставляют искать альтернативное топливо как крупных производителей, так и обычных потребителей. Тем более, что природные запасы нефти, газа, угля на планете не бесконечны.

Брикет из отходов деревообрабатывающей промышленности изготавливался без дополнительного связующего вещества с получением экологически чистой золы (без минеральных составляющих), которую можно использовать в качестве удобрения. Состав брикета: деревянная стружка и опилки. Данный материал содержит лигнин, который выступает в качестве связующего вещества при получении брикетов из органических отходов.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследование теплофизических свойств брикета является важным этапом разработки, внедрения и реализации технологии брикетирования опилок.

Основным параметром прессования, обеспечивающим брикетам требуемые характеристики, является плотность. Проведем эксперименты для определения зольности, влажности и выхода летучих веществ.



III. ТЕОРИЯ

Сущность метода определения влажности брикетов заключается в высушивании навески брикетов в сушильном шкафу при температуре 103 ± 2 °С и вычислении потери массы взятой навески.

Лабораторную пробу измельченного брикета, массой 5 – 10 г, перемешивают ложкой и размещают в предварительно взвешенный тигель.

Тигель без крышки с навеской брикета помещают в предварительно нагретый до температуры 103 ± 2 °С сушильный шкаф и сушат при этой температуре в течение 4-х часов. Затем тигель вынимают из шкафа, закрывают крышкой, охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивают. [1]

Содержание влаги определяют по формуле:

$$W_{\text{ОТН}} = \frac{m_{\text{тигель+брикет}} - m_{\text{после сушки}}}{m_{\text{тигель+брикет}} - m_{\text{тигель}}} \cdot 100 \quad (1)$$

Метод определения зольности заключается в озолении навески брикетов в муфельной печи и прокаливании зольного остатка при температуре 800 ± 25 °С.

Лабораторную пробу измельченного брикета массой 6 – 8 г, помещают в предварительно взвешенную тиглю. Затем открытую тиглю ставят в муфельную печь, которую нагревают до температуры 800 ± 25 °С. При этой температуре образовавшийся зольный остаток прокаливают в течение двух часов в закрытой муфельной печи.

После этого тигли с зольным остатком вынимают, охлаждают, сначала на воздухе в течение 5 мин., а затем в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивают. После охлаждения и взвешивания, определяют изменение массы [2].

Зольность брикета определяют по формуле:

$$A = \frac{m_{\text{тигель+зола}} - m_{\text{тигель}}}{m_{\text{тигель+брикет}} - m_{\text{тигель}}} \cdot 100\% \quad (2)$$

Выход летучих веществ определяют как потерю массы навески твердого топлива за вычетом влаги при нагревании без доступа воздуха в стандартных условиях.

Для уменьшения окисления навески топлива при нагревании доступ кислорода к пробе должен быть ограничен. Это достигается применением тиглей с шлифованными или притертыми крышками, допускающими свободное удаление летучих веществ, но препятствующими проникновению кислорода.

Навеску пробы нагревают без доступа воздуха при температуре 900 °С в течение 7 мин. Выход летучих веществ в процентах рассчитывают по потере массы навески за вычетом потери массы, обусловленной влажностью пробы.

Температура, понизившаяся при установке тиглей в печь, снова должна достичь (900 ± 5) °С не более чем за 4 мин. В противном случае испытание повторяют.

Вынимают подставку с тиглями из печи и охлаждают на металлической или асбестовой пластине в течение 5 мин. После этого тигли, закрытые крышками, помещают в эксикатор и охлаждают до комнатной температуры вблизи весов.

После охлаждения тигли с нелетучим остатком взвешивают.

Выход летучих веществ из аналитической пробы испытуемого топлива вычисляют по формуле:



$$V^a = \frac{m_{\text{тигель+остаток}} - m_{\text{тигель}}}{m_{\text{тигель+брикет}} - m_{\text{тигель}}} \cdot 100\% - W_{\text{отн}} \quad (3)$$

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

По формуле (1) была определена влажность брикета, которая равна 4,3%. Влажность брикета из древесных опилок не превышает 8% и удовлетворяет требованиям по влажности.

После определения влажности брикета, проведен эксперимент по определению зольности. Произведены замеры массы тигеля с измельченным брикетом, тигеля с остатком после эксперимента и масса самого тигеля. Подставив значения в формулу (2) была определена зольность брикета, которая равна 1,6 %.



Рис. 1. Зола после сжигания брикета из опилок

Также определен выход летучих веществ. Проведя два эксперимента, получено среднее значение выхода летучих, равная 13,17 %.

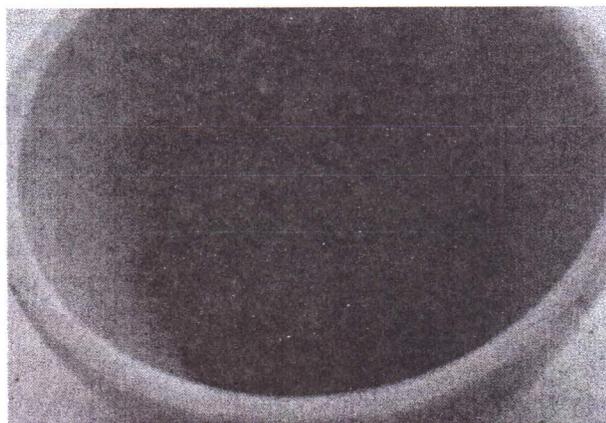


Рис. 2. Остаток после выхода летучих

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Зольность брикетов из опилок составила 1,6 %, что в 10 – 12 раз меньше зольности угля при его самых лучших характеристиках. Это является основным экологическим преимуществом данных брикетов. Зола после сжигания брикетов из опилок можно использовать как минеральное удобрение.



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



Следующим не менее важным свойством брикетов является влажность. Известно, что влага в твердом топливе является не только балластом, она уменьшает его теплоту сгорания, так как требует дополнительных затрат тепла на её испарение.

Влажность брикетов оказалась равна 4,3 %, что удовлетворяет требованиям по влажности, которое должно не превышать 8 %. Для сравнения: влажность Карагандинского угля составляет не менее 10 %.

Кроме этого был определен выход летучих веществ брикетов из древесных опилок. Остаток после выхода летучих из брикета представлен на рис. 2. Значение выхода летучих брикетов составило значение 13,17 %.

VI. Вывод и заключение

Полученные результаты позволяют говорить о высоких качествах брикетов из древесных опилок. В целом задача производства эффективного и экологичного топлива из возобновляемых и неиспользуемых отходов является весьма благородной и благодарной, решая проблемы утилизации практически бесполезных, а зачастую и вредных отходов, дает потребителям дополнительный источник эффективного топлива, является предметом выгодного бизнеса производителей, давая им дополнительный хороший источник прибыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] ГОСТ Р 54186-2010. Биотопливо твёрдое. Определение содержания влаги высушиванием. М.: 2010. – 8 с.
- [2] ГОСТ 54186-2010. Биотопливо твёрдое. Определение зольности. М.: 2010. – 8 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А. К. Кинжибекова, и.о. асс. профессора кафедры «Теплоэнергетика», e-mail: akmaral70@mail.ru
М. К. Ширбаева, магистр кафедры «Теплоэнергетика», e-mail: msaidina_4892@bk.ru



УДК 62-662.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БРИКЕТОВ ИЗ ЛУЗГИ ПОДСОЛНУХА

А. К. Кинжибекова, А. Ж. Алеева

Павлодарского Государственного Университета им. С. Торайгырова,
г. Павлодар, Казахстан

Аннотация – Необходимость утилизации органической массы (отходы сельскохозяйственной продукции) и использование ее для получения тепловой энергии требует применения методов брикетирования. Целью работы является исследование теплотехнических характеристик брикетов из лузги подсолнуха. Задачи исследования: 1. Получение брикетов из лузги подсолнуха с нагревом органической массы; 2. Экспериментальное определение теплофизических характеристик, а именно: плотности, зольности, влажности, выхода летучих и длительности горения. Методы исследования: экспериментальное исследование. Объектом исследования служили брикеты из лузги подсолнуха, изготовленные горячим брикетированием. Определены теплофизические характеристики брикетов из лузги подсолнуха: средняя плотность брикетов – $1038,05 \text{ кг/м}^3$, средняя влажность $W_{cp} = 3,86 \%$, имеют низкую зольность $A_{cp} = 3,86 \%$ и выход летучих составляет $15,84 \%$.

Ключевые слова – Лузга из подсолнуха, брикетирование, утилизация, топливные брикеты.

I. ВВЕДЕНИЕ

Ограниченность углеродного сырья и его невозобновляемые запасы ведут к необходимости вовлечения в переработку новых технологий для создания брикетированных топлив, получаемых из отходов производства и потребления. В связи с этим использование отходов сельскохозяйственной продукции при производстве брикетов получает все большее распространение. Опилки, солома, лузга из подсолнуха, гречиха и прочие отходы сельского хозяйства являются отличным сырьем для изготовления данного вида топлива.

Потребление топливных брикетов во всем мире растет очень быстрыми темпами (около 30 – 50 % в год) это связано с долгосрочной тенденцией роста цен на углеводородное топливо, истощением его мировых запасов. В 2005 году потребление брикетов в Европе составило 2,5 млн. тонн, в 2007 году – 5 млн. тонн, к 2010 году прогнозируется рост потребления до 12 млн. тонн. Европейский рынок топливных брикетов ежегодно растет более чем на 20 %, а в отдельных странах на 35 % [1].

Топливные брикеты из лузги подсолнуха имеют ряд преимуществ: имеют высокую энергетическую ценность, которая генерирует большое количество тепла в течение длительного времени, невысокая себестоимость готовой продукции, упаковывают в удобную упаковку во время транспортировки, а также их удобно хранить, малая зольность [2].

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В данной статье в качестве исходного материала для брикетирования выбраны сельскохозяйственные отходы в виде лузги подсолнуха. Ставится задача исследовать теплофизические свойства брикетов с предварительным нагревом органической массы при температуре $150 \text{ }^\circ\text{C}$, а именно: 1) определение плотности; 2) определение



влажности; 3) определение зольности; 4) определение выхода летучих; 5) определение длительности горения [3].

III. ТЕОРИЯ

В технологии производства топливных брикетов лежит процесс прессования лугги подсолнуха на гидравлическом прессе под высоким давлением и температуре.

Технологический процесс изготовления топливных брикетов состоит из следующих стадий:

- измельчение лугги подсолнуха до размера не более трёх миллиметров;
- нагрев сырья в муфельной печи до 150 °С, выдержка в печи не менее 5 минут;
- загрузка в пресс и прессование топливных брикетов из органических отходов при давлении не менее 25 МПа;
- сушка полученных топливных брикетов из органических отходов в помещении до воздушно-сухого состояния.

Для определения средней плотности, брикеты взвешиваются на весах с погрешностью взвешивания не более 5 г по ГОСТ 29329-92, измеряется диаметр и высота штангенциркулем ШП-1 по ГОСТ 166-73 и линейкой длиной 1 м по ГОСТ 427-75. Определяем объем (V) каждого брикета по следующей формуле:

$$V = \pi r^2 h.$$

Определяем среднюю плотность ($\rho_{\text{ср}}$) каждого брикета по следующей формуле:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m}{V}.$$

Определение влажности проводится с помощью сушильного шкафа с электрическим обогревом и терморегулятором, с отверстиями для естественной вентиляции, с устойчивой температурой нагрева 103 ± 2 °С, термопара хром-никель типа ТХА по ГОСТ 6616-94 с вторичным измерительным прибором ТРМ-1А по ТУ 4211-002-46526536-00, тигли фарфоровые низкой формы по ГОСТ 9147-80, № 5 или № 6, лабораторные весы и эксикатор по ГОСТ 6371-73 с гранулированным хлористым кальцием по ГОСТ 450-77.

Измельченный брикет массой 6 г помещается в тигель, затем перемещается в сушильный шкаф нагретый до 103 ± 2 °С и выдерживается в течении 4-х часов. Тигель вынимается и охлаждается в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивается [4].

Содержание влаги определяется по формуле:

$$W_{\text{отн}} = \frac{m_{\text{тигель+брикет}} - m_{\text{после сушки}}}{m_{\text{тигель+брикет}} - m_{\text{тигель}}} \cdot 100\%.$$

Средняя влажность брикета определяется по результатам трех опытов.

Для определения зольности используются печь муфельная с электрическим обогревом и терморегулятором, термопара хром-никель типа ТХА по ГОСТ 6616-94 с вторичным измерительным прибором ТРМ-1А по ТУ 4211-002-46526536-00, тигли фарфоровые низкой формы по ГОСТ 9147-80, весы лабораторные, эксикатор по ГОСТ 6371-73 с гранулированным хлористым кальцием по ГОСТ 450-77 и щипцы.



Измельченный брикет массой 6 – 8 г помещают предварительно взвешенный тигель и перемещают в муфельный шкаф, нагретый до 800 ± 25 °С. Образовавшийся зольный остаток вынимают, охлаждают 5 минут на воздухе, затем в эксикаторе в течение 30 минут и взвешивают [5]. Зольность брикета высчитывается по формуле:

$$A_{\text{отн}} = \frac{m_{\text{тигель+золы}} - m_{\text{тигель}}}{m_{\text{тигель+брикет}} - m_{\text{тигель}}} \cdot 100.$$

Средняя зольность брикета определяется по результатам трех опытов.

Для определения выхода летучих веществ используются муфельная печь с терморегулятором, термopара, тигель с крышкой, эксикатор по ГОСТ 6371-73 с гранулированным хлористым кальцием по ГОСТ 450-77, весы лабораторные с погрешностью взвешивания не более 0,1 мг и секундомер.

Для определения выхода летучих веществ тигель с измельченной пробой помещают в муфельную печь предварительно нагретую до 900 °С и выдерживают в течение 7 минут. После тигель вынимают, охлаждают на воздухе 5 минут и перемещают в эксикатор на 30 минут. После охлаждения до комнатной температуры тигель с нелетучим остатком взвешивают на лабораторных весах [6].

Выход летучих веществ вычисляют по формуле:

$$V^a = \frac{m_{\text{тигель+остаток}} - m_{\text{тигель}}}{m_{\text{тигель+брикет}} - m_{\text{тигель}}} \cdot 100\% - W_{\text{отн}}$$

Для проведения опыта на длительность горения брикет помещается в муфельную печь, предварительно разогретую до 900 °С. Секундомером засекается время начала и время конца горения брикетов, пока в золе не останется тлеющие элементы.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В данной статье были получены брикеты из лузги подсолнуха без дополнительного связующего вещества. Для улучшения выхода лигнина и увеличения прочности брикета процесс брикетирования вели при температуре не менее 150 °С (Рис.1).

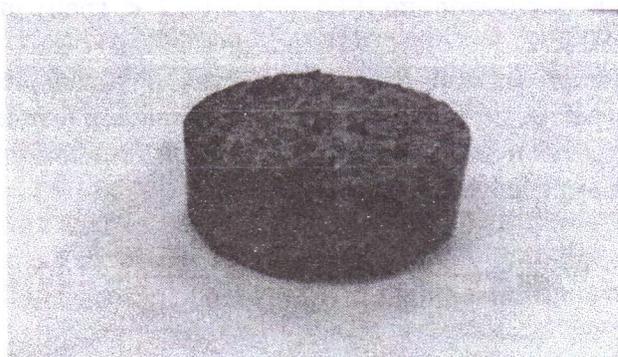


Рис.1. Брикет из лузги подсолнуха при $p=250$ кг·с/см²

Для определения плотности были исследованы десять брикетов разной массы. По результатам экспериментов средняя плотность топливных брикетов из лузги составила величину 1038,05 кг/м³ при давлении 25 МПа.

Средняя влажность измельченных брикетов оказалась равна $W_{\text{CP}} = 3,86$ %. Средняя зольность брикетов из лузги подсолнуха составила $A_{\text{CP}} = 2,05$ % (Рис.2).

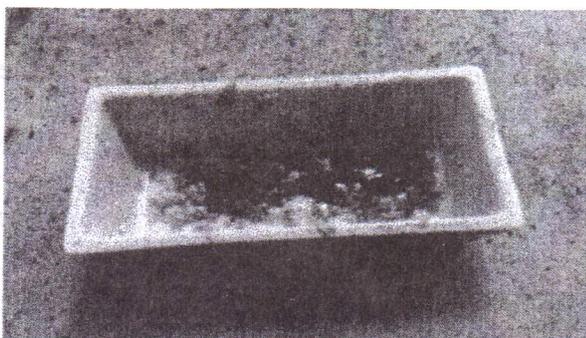


Рис. 2. Образовавшаяся зола после сжигания брикета из лузги подсолнуха

Выход летучих веществ топливных брикетов из лузги подсолнуха – 15,84 % (Рис.3).

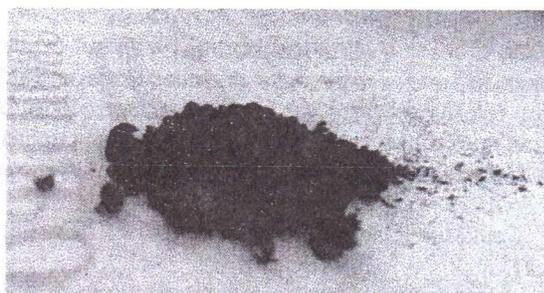


Рис.3. Остаток после выхода летучих брикета из лузги подсолнуха

По результатам исследования средняя длительность горения брикета массой 10 г оказалась равной 31 минуте (Рис.4).

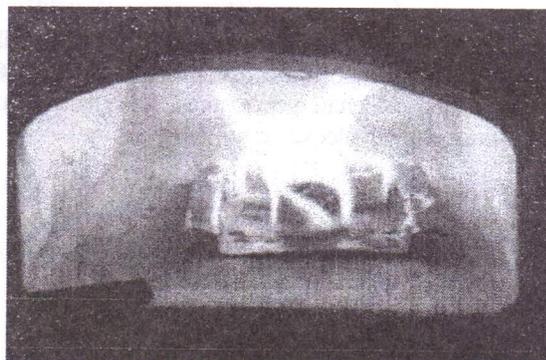


Рис. 4. Процесс горения топливных брикетов из лузги подсолнуха

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Плотность у полученных брикетов оказалась выше в 2 раза, чем у древесины, что безусловно положительно скажется на качестве и длительность горения. Влажность брикета равная 3,86 % удовлетворяет требованиям по влажности, которое не должно превышать 8 %. Средняя зольность брикетов из лузги подсолнуха составляет 2,05 %. Это является основным экологическим преимуществом.

Выход летучих является одной из важнейших характеристик твердого топлива: от него зависят условия воспламенения и характер горения топлива. Выход летучих веществ у брикетов из лузги подсолнуха равен 15,84 %. При массе 6 – 10 г средняя длительность горения брикетов равна 31 минутам. При горении топливные брикеты не искрятся и не выделяют угарный газ.



VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Брикетирование с нагревом лузги увеличивает прочность брикетов.
2. Брикеты из лузги подсолнуха отличаются высокой плотностью, что способствует длительному горению топливных брикетов.
3. Благодаря низкой влажности, брикеты из лузги подсолнуха имеют высокую теплоту сгорания.
4. Брикеты из лузги подсолнуха имеют низкую зольность, что повышает теплоту сгорания и является основным экологическим преимуществом.
5. Выход летучих брикетов говорит о хорошей реакционной способности.
6. Брикеты способны давать устойчивое пламя от закладки до полного сгорания в течение 2,5 – 3 часов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Альтернативное топливо. переработка отходов сельского хозяйства:[Электронный ресурс].2005. URL: <http://www.ipa-don.ru/offers/projects/altt> (дата обращения:19.04.2017)
- [2] Справочник. Наилучшие доступные технологии и решения для производства топливных гранул и брикетов из древесной биомассы и отходов деревообработки . Федеральное агентство лесного хозяйства. М., 2013. – 36 с.
- [3] Методы испытаний брикетов:[Электронный ресурс]. URL: <http://bricet.com.ua/733nm/>.(дата обращения: 19.04.2017)
- [4] ГОСТ Р 54186-2010. Биотопливо твёрдое. Определение содержания влаги высушиванием. М.: 2010. – 8 с.
- [5] ГОСТ 54186-2010. Биотопливо твёрдое. Определение зольности. М.: 2010. – 8 с.
- [6] ГОСТ Р 55660-2013.Топливо твердое минеральное. Определение выхода летучих веществ. М.:2014. – 14 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- А. К. Кинжибекова, к.т.е., и.о. доцента кафедры «Теплоэнергетика» Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова, г.Павлодар, Казахстан, e-mail: akmaral70@mail.ru.
А. Ж.Алеева, магистрант кафедры «Теплоэнергетика» государственного университета им. С. Торайгырова, г.Павлодар, Казахстан, e-mail: aaleeva_aigul_94@mail.ru.



УДК 62-533.6

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЁЖНОСТИ РАБОТЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО ВЕЛИЧИНЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

А. С. Никифоров¹, Е. В. Приходько¹, А. Е. Карманов², А. Т. Кажобаева¹

¹Павлодарский государственный университет им.С.Торайгырова,
г. Павлодар, Казахстан

²Алматинский университет энергетики и связи, г. Алмата, Казахстан

Аннотация – В статье приводится описание существующих методик по оценке технического риска для высокотемпературных агрегатов; приведены их основные недостатки. На основе разработанного способа контроля теплового состояния обмуровок разработана методика определения надёжности работы высокотемпературного оборудования по величине остаточного ресурса. Разработанная методика определения надёжности работы высокотемпературного оборудования по величине остаточного ресурса позволяет вести непрерывный мониторинг, как теплового состояния обмуровки (футеровки), так и её остаточного ресурса.

Ключевые слова – надёжность, технический риск, обмуровка, остаточный ресурс.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вопросам оценки технического риска при работе высокотемпературных агрегатов уделяется значительное внимание. Анализ и расчёт технических рисков является обязательной составляющей при составлении декларации промышленной безопасности, разработке специальных технических условий, а также при обосновании опасности опасного производственного объекта. На предприятиях вводятся анализ рисков на рабочих местах; оценка рисков в системе менеджмента охраны труда и др.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Таким образом, вопросам анализа рисков в последнее время уделяется большое внимание и выбор соответствующей методики и проведения корректного анализа (расчёта) технического риска – важная, и как мы дальше покажем, непростая задача.

III. ТЕОРИЯ

В настоящее время применяются следующие методы оценки риска. Качественный метод основан на оценке, которую выполняет группа специалистов. Методов качественного анализа достаточно много: чек-лист; что будет, если; HAZOP и т.д. Если провести анализ всех методик качественного анализа, то можно резюмировать – группа специалистов, ознакомившись с техническими условиями эксплуатации (или предполагаемой эксплуатации – для проектируемых объектов) должна дать оценку вероятности риска возникновения аварий, определить мероприятия по их недопущению, а также приоритет предлагаемых мероприятий. Для градации риска обычно используют от трёх до пяти оценок; при использовании трёхоценочной шкалы – риск неприемлемый, серьезный или незначительный. В качестве критики данного метода можно выделить несколько важных моментов. Во-первых, субъективность в принятии решений. При подобных анализах рисков в качестве специалистов для работы в группе часто привлекают специалистов того же предприятия, которые



АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ЭНЕРГЕТИКИ ACTUAL ISSUES OF ENERGY



полностью знакомы с производством. Но при этом эти люди зависимы от руководства предприятия и высказывают своё мнение с учётом сокращения финансирования на техническое перевооружение, планов ремонтов и др. Это является недопустимым при оценке рисков, так как подобные «субъективные» результаты не отражают производственные реалии.

Полуколичественный метод предполагает определение отдельных числовых значений вероятности последствий аварии. Одним из наиболее часто используемых способов определения величины рисков высокотемпературных установок является матричный способ. При его использовании риск может определяться как произведением вероятности события и размера ущерба. Вероятность события, как правило, принимается на основании статистических данных этого же предприятия. Недостатками методики является – отсутствие учёта износа оборудования, специфики его работы, а также возможности применения некорректных цифр для вновь установленного нестандартного оборудования, вследствие отсутствия статистики.

Количественный метод расчёта рисков предполагает проведение расчётов для различных сценариев возникновения аварии и сравнение полученных цифровых данных с допустимыми. Количественные методы анализа рисков также имеют значительную долю субъективизма их исполнителей. В литературе приводится множество примеров по расчётам рисков одной аварии с различными результатами. При этом результаты могут отличаться на 3 – 4 порядка. Приведём пример – ошибка оператора (работника). В соответствии с ГОСТ 12.1.004-91 эту величину можно принять равной $1,52 \cdot 10^{-3}$. При этом, если углубиться в данный вопрос, то можно найти целую градацию на ошибки оператора, зависящие от: возраста, выполняемой работы, величины стресса и др. Литература [1] предполагает что данную величину, в зависимости от упомянутых факторов можно взять в пределах от $1 \cdot 10^{-4}$ до 1. А это лишь является малой составной частью значительного расчёта риска, в котором подобных значений может быть несколько десятков.

Расчёт рисков тесно связан с понятием работоспособности оборудования. При определении работоспособности оборудования для прогноза уровня безопасности часто используется метод имитационного моделирования. Такие работы включают, например, прогнозирование остаточной долговечности деталей судовых энергетических установок по критерию износа [2]. Использование имитационного моделирования позволяет перейти от детерминированного прогноза остаточного ресурса к вероятностной его оценке, что является исходной информацией для принятия мотивированных решений для повышения надёжности и безопасности судовых дизелей за счет обоснованного назначения сроков и режимов эксплуатации.

Таким образом, при применении этой методики устраняется недостаток, присущий количественным методам оценки – использование в расчётах рисков не цифр из справочников (статистики), а значений остаточной долговечности деталей, рассчитанных по критериям износа, усталостной прочности и др.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Возможность прогнозирования величины остаточного ресурса обеспечивается при одновременном наличии следующих условий [3]:

- известны параметры технического состояния, определяющие техническое состояние элементов несущих и ограждающих конструкций;
- известны критерии предельного состояния элементов конструкций;



– имеется возможность периодического (или непрерывного) контроля значений параметров технического состояния.

В рассматриваемом нами случае – разрушении обмуровки (футеровки) высокотемпературного агрегата выполняются все три условия. В качестве параметра технического состояния, определяющего разрушение обмуровки, выделим скорость изменения температуры (температурные напряжения). Другие важные факторы, влияющие на разрушение: качество применяемых материалов; конструктивные характеристики; влияние агрессивных сред и др. Влияние вышеперечисленных факторов значительно ниже температурных перепадов и их можно снизить посредством контроля (качество выполнения работ) или считать постоянными (влияние агрессивных сред).

При эксплуатации обмуровок (футеровок) высокотемпературных установок (металлургических печей, кошей, обмуровок котлов) фактически действующие нагрузки и напряжения отличаются от расчетных. Для оценки величины остаточного ресурса воспользуемся методом оценки остаточного ресурса приборными методами, который предполагает применение встроенных приборов, предназначенных для оценки остаточного ресурса. То есть, приборы производят замеры температур, на основании которых производятся расчёты фактически возникающих температурных напряжений.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом, на основании статистических данных производится построение зависимости остаточного ресурса обмуровки (футеровки) от величины температурных напряжений и их количества, превышающего допустимые.

Далее, по разработанной методике, производят расчёт возникающих температурных напряжений в процессе работы высокотемпературного агрегата [4].

В процессе кладки футеровки тепловых агрегатов в футеровку устанавливаются датчики температуры на заданные расстояния от её внутренней поверхности. С момента начала разогрева теплового агрегата (τ_0) ведут отсчёт времени разогрева. Для расчётов определяют шаг по координате Δu , то есть расстояние между двумя ближайшими точками футеровки теплового агрегата, в которых будут определять температуры.

Для чего геометрически делят футеровку стены по толщине на такое количество равных участков, чтобы точки замера температур датчиками 3 и 4 попадали на границы участков между двумя ближайшими точками шага по координате (рис. 1).

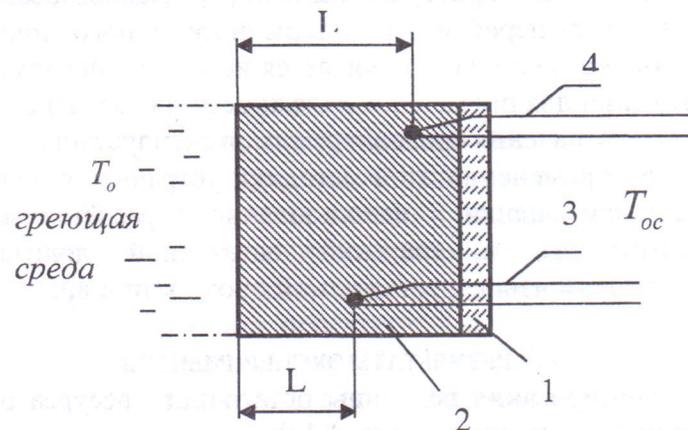


Рис. 1. Схема замера температур в обмуровке (футеровке)

Затем определяют шаг по времени $\Delta \tau$, то есть промежуток времени, через который будут определять температуры по сечению футеровки в выбранных точках.



Для определения температурных полей футеровки промышленного агрегата в момент времени t_1 в процессе нестационарной теплопроводности снимают показания температуры датчиками температуры 3 и 4 (T_3 и T_4 соответственно).

Для дальнейших расчётов принимают, что температура по сечению футеровки перед процессом нагрева одинакова во всех точках и равна температуре окружающей среды.

Далее задаются первоначально температурой греющей среды T_0 . Первоначальное значение этой температуры принимают минимальным из возможных (при данных условиях нагрева). Затем производят расчёт значений температур по сечению футеровки теплового агрегата для момента времени t_1 по любой разностной схеме.

Если в рассматриваемый момент времени рассчитываемая температура в точке на расстоянии L_1 от внутренней поверхности футеровки окажется равной T_3 и температура в точке на расстоянии L_2 от внутренней поверхности футеровки окажется равной T_4 то расчёт прекращают. При этом полученное распределение температур по сечению футеровки будет искомым.

Если же это условие не будет выполнено, задаются другой температурой T_0 и вновь повторяют расчёт.

На основании полученных данных (распределении температур) производится расчёт температурных напряжений. Затем используя зависимость остаточного ресурса обмуровки (футеровки) от величины температурных напряжений и их количества в режиме реального времени производится определение остаточного ресурса обмуровки.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная методика определения надёжности работы высокотемпературного оборудования по величине остаточного ресурса позволяет вести непрерывный мониторинг как теплового состояния обмуровки (футеровки) так и её остаточного ресурса. При этом определяющий фактор разрушения – температурные напряжения, превышающие предел прочности материала рассчитываются по разработанной схеме на основе численных методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Безопасность жизнедеятельности. / Под ред. С. В. Белова. – М.: Высш. шк., 1999. – 448 с.
- [2] Медведев В. В. Применение методологии формализованной оценки безопасности при проектировании судовой энергетической установки и ее элементов. – СПб.: Реноме, 2008. – 436 с.
- [3] РД 26.260.004-91 «Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации» Изд-во НИИХИММАШ. М.: 1992. – 50 с.
- [4] Способ определения теплового состояния футеровки теплового агрегата: пат. 26932 Республика Казахстан: МКИ G 01 K 13/00/ А. С. Никифоров, Е. В. Приходько, А. К. Кинжибекова, Е. О. Кучер, Г. Н. Никонов; опубли. 15.05.2013, Бюл. № 5. – 3 с.: ил.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

А. С. Никифоров, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Теплоэнергетика», e-mail aleke4599@mail.ru
Е. В. Приходько, к.т.н., доцент, профессор, e-mail john1380@mail.ru
А. Е. Карманов, магистр, докторант, e-mail aman270685@mail.ru
А. Т. Кажигаева, магистрант, e-mail dilya_880420@mail.ru