

УДК 621.181.12.001

## ОЦЕНКА ДОЛИ ЗЕЛЕННОЙ ЭНЕРГИИ И СЖИГАНИИ БИОМАССЫ В ВИХРЕВЫХ ТОПКАХ

*Голубев В.А., Пузырев Е.М., Пузырев М.Е.*

*ПроЭнергоМаш-Проект, г. Барнаул*

Несмотря на низкую стоимость угля в сравнении с природным газом, при его сжигании образуются в больших количествах твердые и газообразные выбросы. В большинстве стран действуют жесткие требования к уровню выбросов, допустимых при сжигании угля. В странах ЕС применяются жесткие штрафные санкции к ТЭЦ, превышающим нормы (вплоть до 50 евро за каждый выработанный мегаватт электроэнергии в час). Выход из этой ситуации - использование различных фильтров (например, электрофильтров) и каталитических систем, которые весьма дороги. Зола, которая образуется при сжигании угля, в ряде случаев может быть использована в строительной индустрии. Здесь также есть проблема, удаление золы происходит в большинстве случаев методом гидрозолоудаления, что затрудняет ее погрузку для транспортировки и дальнейшего использования.

Одной из современных технологий, обеспечивающих значительное сокращение выбросов, является совместное сжигание углей и твердых видов топлива из растительной биомассы (древесины, отходов АПК, соломы, лузги подсолнечника и других культур). Вовлечение растительных отходов в топливный баланс имеет несколько аспектов [1]. При этом оценка доли «зеленой» энергии при совместном сжигании биомассы с энергетическим топливом относится к числу наиболее важных, так как связана с её оплатой. Так в странах ЕС стоимость «зеленой» энергии примерно в три раза выше цены энергии, полученной традиционно, с использованием не возобновляемого ископаемого топлива.

Использование биомассы и растительных отходов в топливном балансе предприятий и хозяйств стран ЕС дотируется, так как данная технология является CO<sub>2</sub> нейтральной и снижает выбросы золы и вредных оксидов, NO<sub>x</sub> и SO<sub>2</sub>. В итоге биомасса снижает парниковый эффект, а так же способствует улучшению экологической обстановки и экономии энергетического топлива.

Наиболее эффективно и с малыми затратами возможно использование биотоплив в существующих котлах, совместно с расчетным топливом: углем и возможно природным газом и жидким топливом. Типично можно подать и без заметных нарушений существующего топочного процесса использовать незначительную долю биомассы [1, 2], в несколько процентов.

В связи с низкой насыпной плотностью и калорийностью, объем, и массовый расход подаваемой биомассы при этом может превышать характеристики потока основного топлива, и её учет может представлять значительные трудности. Кроме того, влажность  $W_{г1}$ , являющаяся балластной составляющей, особенно высока её доля в составе растительных отходах, до 70-75%, может существенно обесценить качество биотоплива, рис.1, его теплоту сгорания  $Q_n^p$  в сравнении с теплотой сгорания сухой массы  $Q_n^c$ :

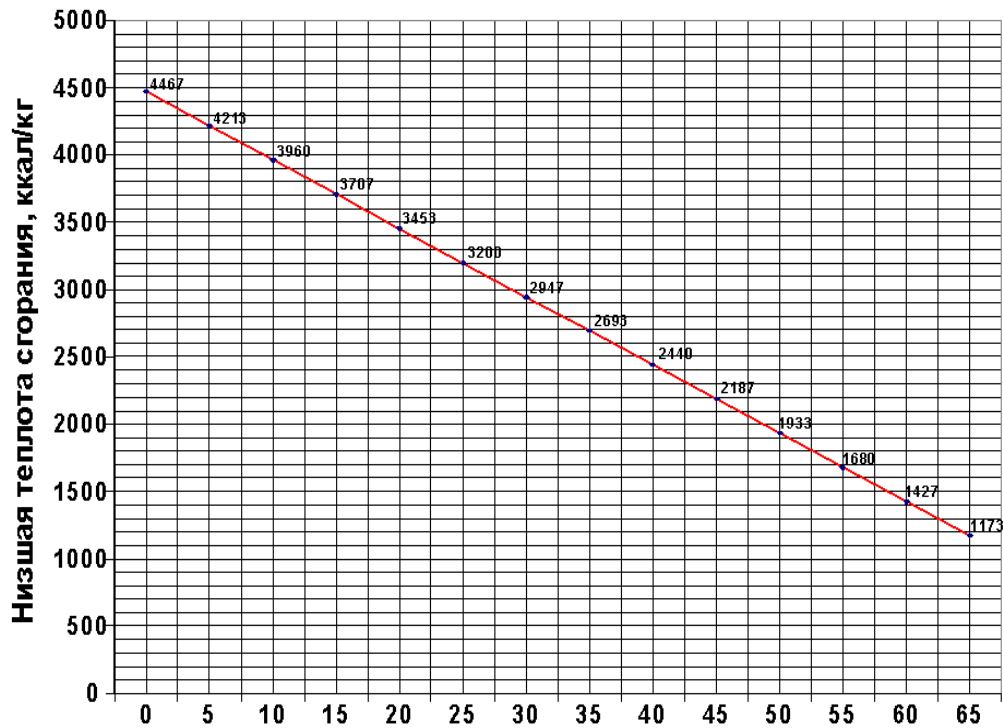


Рис.1. Влияние влажности древесных отходов на их низшую теплоту сгорания.

$$Q^p_H = Q^c_H(100 - W^p)/100 - 25,2W^p, \text{ кДж/кг}, \quad (1)$$

$$\text{или } Q^p_H = Q^c_H(100 - W^p)/100 - 6W^p, \text{ ккал/кг}. \quad (1)$$

Таким образом, замена даже небольшой доли энергетических ресурсов биомассой связана с необходимостью переработки и контроля по объёму (массе) влажности и теплоте сгорания больших потоков отходов. Например, для замены 1 т.у.т. (одна тонна условного топлива, эквивалентна 7 Гкал тепла) требуется 4,26 т опилок с влажностью  $W^p=50\%$  или примерно  $V=12,2 \text{ м}^3$  при их насыпной плотности  $\rho_{\text{нас}} \approx 350 \text{ кг/м}^3$ .

Для решения указанной проблемы, определения доли тепла вносимой в топочный процесс биомассой предлагается использовать типовой контроль продуктов сгорания. Предложение основывается на использовании параметра  $\beta$ , введенного ранее Хазмаляном Д.М. [2] для характеристики свойств топлив. Коэффициент  $\beta$  зависит только от элементного химического состава топлива и является важной его характеристикой.

$$\beta = 2,35 \cdot \frac{H^p - 0,126 \cdot O^p}{C^p + 0,375 \cdot S^p_{\text{ор+к}}} \quad (2)$$

Физический смысл коэффициента  $\beta$  в том, что он показывает отношение расхода кислорода воздуха на окисление свободного водорода топлива (то есть водорода топлива  $H^p$ , за исключением его части связанной с кислородом топлива  $O^p$ ) к расходу кислорода ушедшего на образование трехатомных газов,  $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_2$  при полном сгорании топлива.

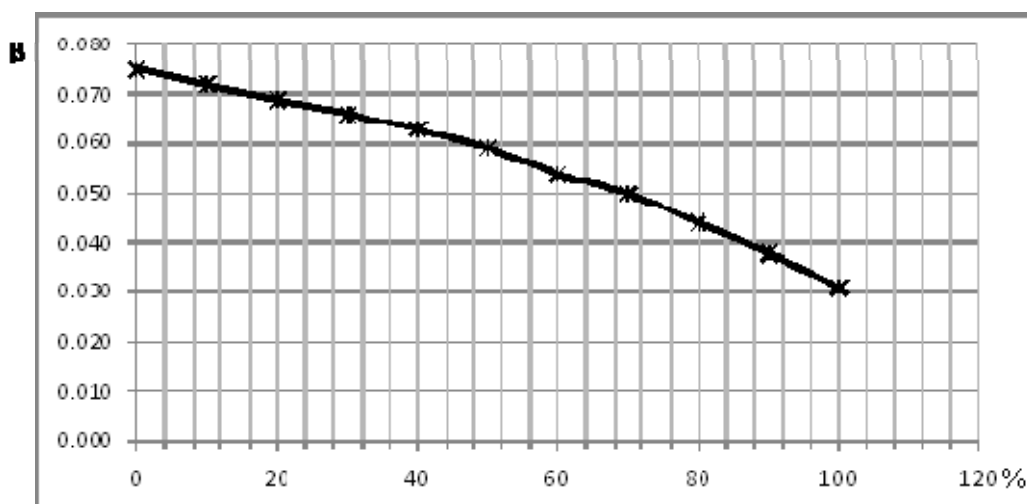


Рис. 2. Зависимость значения коэффициента  $\beta$  от доли  $D$  древесного топлива  $\beta_2=0,03$  при совместном сжигании с бурым углем  $\beta^1=0,073$ .

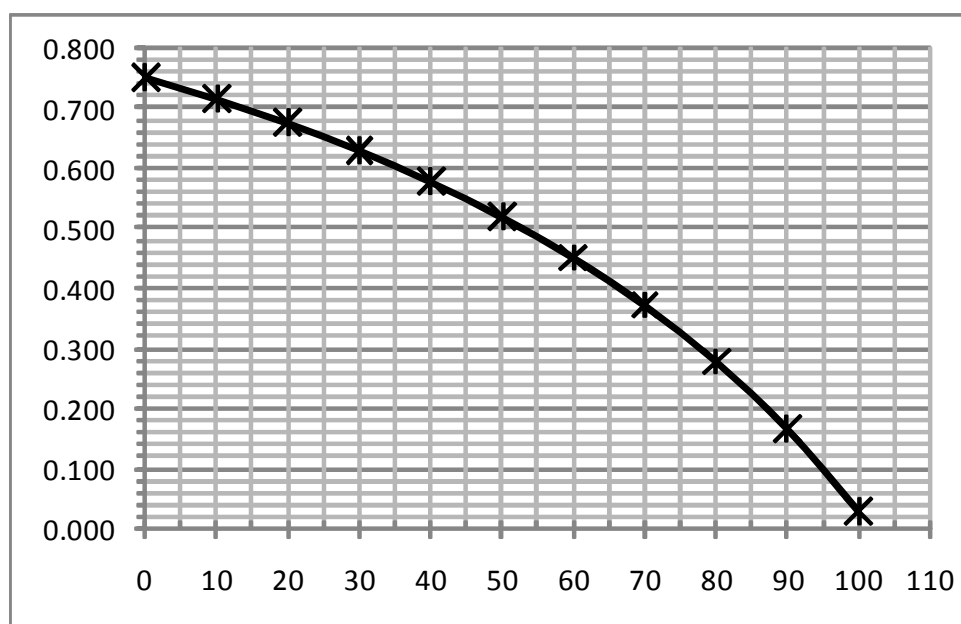


Рис. 3. Зависимость значения коэффициента  $\beta$  от доли древесного топлива  $D$  при совместном сжигании с газом.

Энергетическое топливо, например, уголь, природный газ, поставляемое на станцию или котельную всегда известно по месторождению и имеет определенный усредненный элементный состав. Типично, для угля коэффициент  $\beta$  может принимать значение от 0,073 до 0,143. Природные газы состоят преимущественно из метана. Метан имеет коэффициент  $\beta=0,788$ . Для мазута и дизельного топлива  $\beta=0,3$ . Древесина и растительные отходы в значительной мере перекислены и хотя имеют схожий элементарный состав коэффициент  $\beta$  для них мал и заметно отличается,  $\beta=0,03-0,031$ . Для каждого конкретного топлива коэффициент  $\beta$  может быть уточнен. Используя эти значения для основного  $\beta_1$  и биотоплива  $\beta_2$ , можно в зависимости от доли биотоплива  $D$  вычислить параметр и для смеси топлив, На рис. 2 и 3 для примера приведены графики в вариантах сжигания древесного топлива с углем и природным газом..

С другой стороны поэлементный состав топлива детерминирует состав образующихся при сгорании топлива дымовых газов и может быть определен и восстановлен на основе типового анализа состава дымовых газов:  $\text{CO}_2$  – углекислый газ,  $\text{RO}_2 = \text{CO}_2 + \text{SO}_2$  – двухатомные газы,  $\text{CO}$  – угарный газ,  $\text{O}_2$  – кислород. На сегодня для мониторинга выбросов в ТЭЦ и котельных в них устанавливаются на каждом из котлов системы газового и теплофизического анализа отходящих дымовых газов. При помощи данных, получаемых от этих систем не трудно определить температуру, температуру точки росы, давление, состав газов и рассчитать, обратная задача, коэффициент  $\beta$  для используемого топлива или смеси топлив в каждый момент реального времени по выражению:

$$\beta = \frac{21 - 0,65 \cdot \text{CO} - \text{RO}_2 - \text{O}_2}{\text{CO} + \text{RO}_2} \quad (3)$$

Сопоставляя значения  $\beta$ , полученные по элементному составу каждого вида топлива в смеси,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  и т.д. и вычисленные по газовому анализу  $\beta_{\text{см}}$  можно определить пропорциональное соотношение топлив в смеси. Наиболее просто вычисления для доли  $D$  биотоплива с характеристикой  $\beta_2$  в бинарной смеси с использованием графиков, типа приведенных на рис. 2 и 3.

Более полно и подробно эффект применения биомассы должен определяться не только на основе обработки текущего газового анализа. Предлагается путем использования соответствующего программного обеспечения с помощью компьютера щита управления ТЭЦ или котельной эффект применения биомассы оценивать комплексно, с учетом вредных выбросов, нагрузки котла, температуры и потерь тепла в уходящих дымовых газах и недожога топлива, химического  $q_3$  и механического  $q_4$ .

Примером типовой специализированной котельной техники, предназначенной для совместного сжигания биомассы и энергетического топлива являются многотопливные котлы КЕ-МТ с типоразмерным рядом по паропроизводительности от 2,5 до 25 т/час производства Бийского котельного завода. Эти котлы могут сжигать влажную щепу совместно с углем, мазутом и газом. К сожалению эти разработки 50-70 годов прошлого века в значительной мере устарели.

В заключении рассмотрим имеющийся у нас опыт использования вихревых топок «Торнадо» [3] для древесного топлива и отходов деревопереработки на примере России и Республики Беларусь. В РБ существует программа перехода на древесное топливо с целью замещения им дорогостоящего на сегодня природного газа. Древесное топливо заготавливается в значительных объемах и учитывается, сжигается преимущественно в реконструированных газовых и мазутных котлах типа ДЕ, КВГМ и ДКВР ГМ в виде щепы. В РФ преимущественно утилизируются лужга и древесные отходы, в том числе лигнин, которые быстро накапливаются, гниют, самовоспламеняются и представляют значительную пожарную и экологическую угрозу. Использование такого сырья в качестве топлива имеет минимальные затраты на доставку и обычно учитывается оценочно, по экономии энергоресурсов.

Из-за типично высокой влажности, 50-60%, минеральных примесей (песок, глина и т.д.) и коры в древесных отходах данный они имеют низкое качество.

В обоих случаях для сжигания и огневой утилизации необходимы специальные топочные устройства. Вихревая технология «Торнадо», развиваемая в «НПО ПроЭнергоМаш» может успешно использоваться путем встраивания вихревых топок в топочный объем существующих типовых котлов.

Например, «ПроЭнергоМаш» были разработаны и реализованы проекты реконструкции котлов ДКВр-4ГМ (2 шт., с. Межречье, РБ) ДЕ-6,5ГМ (2 шт., с. Полесье, РБ), ДКВр-6,5-13ПМ (Чунский ЛПК, РФ), ДЕ-10-14 ГМ (2 шт., г.Браслав и г.Ганцевичи, РБ), КВ-ГМ 10-150 (г.Миоры, РБ), КЕ-10 (2 шт., г.Вологда, РФ). Реконструированные котлы сжигают щепу и кородревесные отходы и могут использовать уголь в качестве резервного топлива.



Рис.4. Склад кородревесных отходов

Помимо модернизации котлов, котельные дополнены складами топлива (рис.4) системами топливоподачи, золоулавливания и золоудаления.

За счет глубокого выжигания предлагаемый топочный процесс обеспечивает повышенную экономичность и высокие экологические показатели котла. Объединение слоевого и фа-

кельного сжигания обеспечивает взаимное поддержание горения и однородное заполнение топки факелом. Для сравнения соседние котлы аналогичной мощности, с типовой топкой системы Померанцева, установленные ранее, и неоднократно модернизированные силами обслуживающего персонала, несли в лучшем случае половину нагрузки даже на специально отсортированном топливе.

Ранее для утилизации КДО в промышленных масштабах использовались котлы КМ-75-39-440, которые на сегодня устарели физически и морально и не производятся. энергетических котлах На сегодня специализированные для огневой утилизации КДО, а имеющиеся. С другой стороны ТЭЦ ЦБК, промышленные и городские ТЭЦ с пылеугольными котлами могут быть переведены на совместное сжигание КДО с частичной заменой отходами угля.

Например, сейчас выполнен и реализуется проект вовлечения в топливный баланс одной из ТЭЦ потока КДО с сопутствующим разрешением имеющихся экологических проблем региона и экономией затрат на закупку угля путем перевода типового котла БКЗ-75-39-440Ф на совместное низкотемпературное вихревое сжигание КДО, до 35% по теплу и размолотого угля.

Котел реконструирован с установкой дожигателей шлака и сопел нижнего дутья под холодной воронкой котла и в совокупности с подготовкой КДО к сжиганию, обеспечивает полное выжигание горючих как из мелких летучих частиц, так и из крупных частиц, выпадающих из вихря. Реконструкция решает имеющиеся проблемы недожога и холодной воронки котла БКЗ-75-39-440Ф, реконст-

руированного ранее на ТЭЦ Селенгинского целлюлозно картонного комбината. Для подготовки, сушки КДО, используются отработанные дымовые газы или горячий воздух поступающие из котла. Слад с суточным запасом подготовленного топлива объёмом 300куб.м. выполнен в виде двух силосов С1 (рис.5). Сырьё загружается из бункера БП30 конвейером КЛ23, сортируется дисковой сортировкой ДС25. Крупные фракции дробятся рубильной машиной РМ26. Далее поток КДО питателями ШП7, ШП8, ШП9 и ШП12 с частотными приводами загружается в систему, сушится и подается на накопление суточного запаса в силосы С1 или непосредственно по линии ПТ2 через горелки совместно с угольной пылью в вихревую топку реконструированного котла. Подача нижнего дутья приводит к формированию вихревой аэродинамики в топочном объеме и существенно повышает надежность воспламенения и устойчивость топочного процесса, что позволяет замещать значительную долю угля, до 35% по теплу, на КДО.

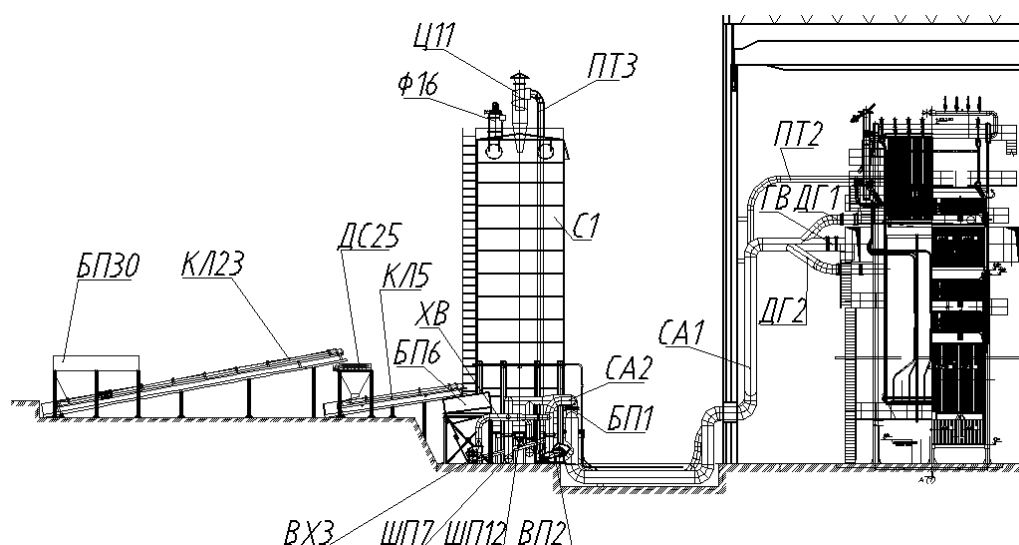


Рис. 5. Вид на расположение оборудования модернизации котла БКЗ-75

При работе котла регулируется подача угля, используется существующая штатная система управления с дополнениями. Она поддерживает постоянное давление пара в барабане котла, поддерживает требуемую паропроизводительность котла, оптимальное соотношение подачи дутья и топлива; обеспечивает блокировки и защиты.

### Литература

1. Пугач Л.И., Серант Ф.А., Серант Д.Ф. Нетрадиционная энергетика - возобновляемые источники, использование биомассы, термохимическая подготовка, экологические аспекты. //Изд-во НГТУ. Новосибирск, 2006. -347с.
2. Хазмалян Д.М. Об основном уравнении горения. Доклады МЭИ. М.:Изд.МЭИ, 1967.
3. Пузырев Е.М., Афанасьева К.С., Голубев В.А., Пузырев М.Е. Жуков Е.Б. Применение вихревых топков «Торнадо» для перевода котлов на использование растительных и кородревесных отходов. Сб. докл. V Научно-практическая конференция «Минеральная часть топлива, шлакование, очистка котлов, улавливание и использование золы», Т.1. Челябинск, 2011г.