

ИССЛЕДОВАНИЕ СЖИГАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

Е.В. Красуцкий, И.Д. Фурсов, Е.Б. Жуков, И.С. Якимова, Е.М. Пузырев

В статье рассмотрены предпосылки использования сельскохозяйственных отходов в качестве топлива, сложности утилизации таких отходов. Приведены результаты экспериментов по сжиганию нетрадиционного топлива, разработки котельных агрегатов с вихревыми топками и результаты их численного моделирования. Выведены коэффициенты для дальнейших расчетов.

Ключевые слова: нетрадиционное топливо, отходы, вихревые технологии сжигания, численное моделирование, горение топлива.

Сегодня на предприятиях деревообрабатывающей и сельскохозяйственной промышленности образуется большое количество отходов, которые уже непригодны для вторичной переработки и сваливаются в отвалы (рисунок 1).



Рисунок 1 – Отходы деревообрабатывающей промышленности

Использование этих отходов в качестве топлива имеет ряд преимуществ: данный ресурс является возобновляемым; минимальные затраты на его доставку от поставщика; также исчезает необходимость утилизации отходов в отвалах. Но в древесных отходах находится значительное количество различных примесей, таких, как глина и песок, а содержание влаги может достигать 50-60%, что характеризует данный вид топлива как низкокачественное, поэтому для его сжигания необходимы специальные топочные устройства.

Удержание частиц топлива в топке до их глубокого выгорания должно обеспечиваться

за счет аэродинамики топки. Соответственно целью расчетов является как выявление общей картины аэродинамической обстановки, так и её детализация и выявление определяющих факторов по организации вихревого течения. Эти вопросы наиболее эффективно решаются при численном моделировании.

Проведены эксперименты по сжиганию одиночных частиц топлива на установке для определения динамики термического разложения топлива, по которой определялись скорость выхода летучих из частицы, время сушки частицы, время выхода летучих и время горения углерода в растительном топливе (рисунок 2).

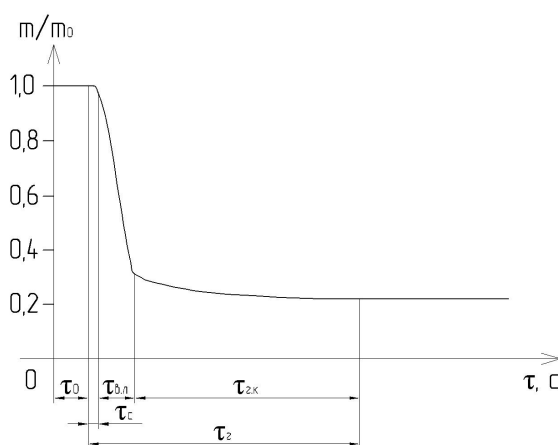


Рисунок 2 – Динамика термического разложения топлива: τ_0 – время до разогрева частицы; τ_c – время сушки частицы; $\tau_{в.л.}$ – время выхода летучих из частицы; $\tau_{2.к.}$ – время горения коксового остатка; τ_2 – время выгорания частицы ($\tau_2 = \tau_c + \tau_{в.л.} + \tau_{2.к.}$)

Эксперименты проводились для частиц массой 0,5-1,5 г при температурах 600-800°C. Для расчета времени выгорания гречневой лузги и отходов льняного производства предлагается следующая формула:

$$\frac{m}{m_0} = (aT - b) \cdot \ln(t) - g \cdot T + e,$$

где m_0 – начальная масса частицы (г); m – текущая масса частицы (г); T – температура (К); t – текущее время (с).

Коэффициенты α , β , γ , ϵ рассчитываются по формулам:

- для гречневой лузги:

$$a = (-0,0002) \cdot m_0 + 0,001,$$

$$b = (-0,1773) \cdot m_0 + 0,393,$$

$$g = (-0,0010) \cdot m_0 + 0,002,$$

$$e = (-0,9580) \cdot m_0 + 2,607,$$

- для отходов льняного производства:

$$b = (-0,1508) \cdot m_0 + 0,070,$$

$$g = (-0,0010) \cdot m_0 + 0,001,$$

$$e = (-0,9481) \cdot m_0 + 0,259,$$

где коэффициент α для отходов льняного производства определяется аналогично гречневой лузге.

Все представленные формулы получены в результате анализа экспериментальных данных. В настоящее время ведутся эксперименты для расчета коэффициентов для кородревесных отходов.

С помощью данных коэффициентов рассчитывается как полное время выгорания частицы, так и время отдельных стадий горения. Затем полученные расчетные и экспериментальные данные используются при численном моделировании аэродинамики топочных устройств при расчете времени нахождения горячей частицы в объеме топки до полного выгорания.

Совместно с СКБ «ПроЭнергоМаш» разработан ряд проектов реконструкции котлов ДКВр-6,5-13ГМ (Чунский лесопромышленный комбинат) [1], ДЕ-10-14 ГМ (центральная котельная г.Браслав) [2], КВ-ГМ 10-150 (г.Миоры, котельная «Северная») [3].

При выполнении проектов использовалось математическое моделирование аэродинамики в топках котлов для определения направления острого дутья и эффективности сепарации частиц топлива в вихре (рисунки 3-6). Реконструированные котлы предназначены для работы на кородревесных отходах и

торфе, при этом возможно применение угля как резервного топлива.

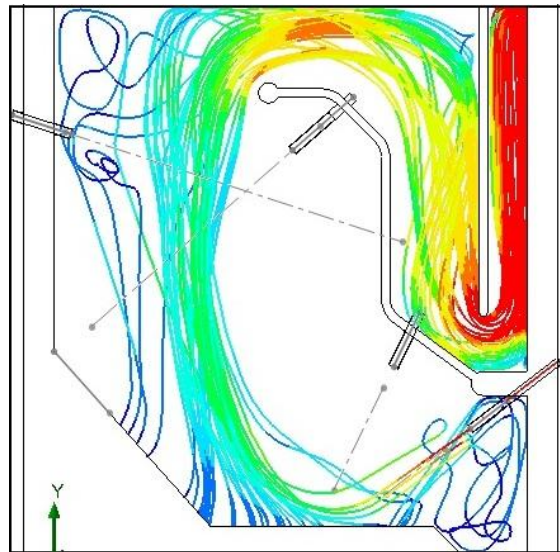


Рисунок 3 – Линии тока при математическом моделировании аэродинамики в топке котла КВм-3,0ДВО (вариант 1)

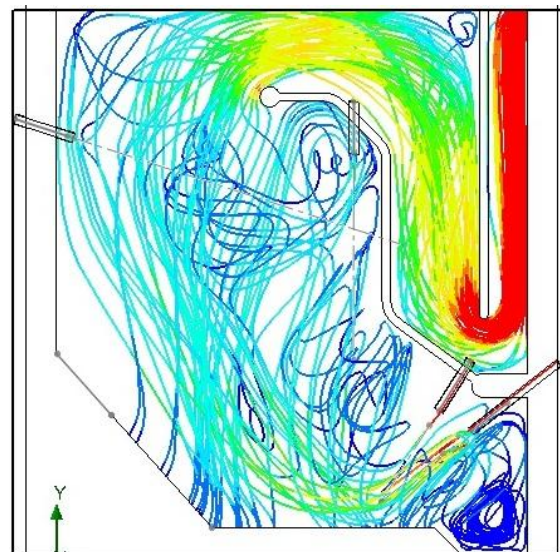


Рисунок 4 – Линии тока при математическом моделировании аэродинамики в топке котла КВм-3,0ДВО (вариант 2)

Схема сжигания - в вихревой топке с удержанием мелких частиц до практически полного выгорания над механизированной топкой с шурующей планкой. Используется факельно-слоевое сжигание с дожиганием уноса в потоке острого дутья. За счет глубокого выжигания горючих предлагаемый топочный процесс обеспечивает повышенную экономичность и высокие экологические показатели котла. Объединение слоевого и фа-

кельного сжигания обеспечивает взаимное поддержание горения и однородное заполнение всей топки факелом.

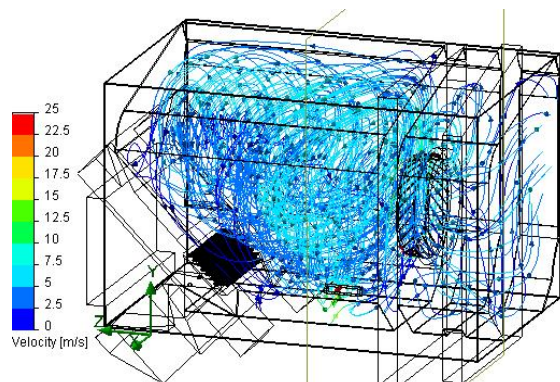


Рисунок 5 – Линии тока в топке котла ДЕ-10-14 ГМ

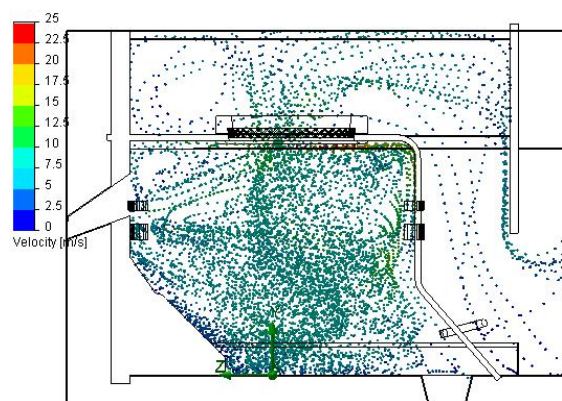


Рисунок 6 – Оценка времени пребывания частиц топлива в топке котла KB-ГМ 10-150

По результатам пусконаладочных работ котла ДЕ 10-14 ГМ дан ряд рекомендаций: установка ворошителя в бункер топлива, футеровка экранов топki для образования зажигательного пояса и сжигание торфа в смеси с древесной щепой. Эти рекомендации были приняты к сведению и исполнены. Котел вышел на режим, удалось добиться устойчивого горения и работы котла на расчетных параметрах. Теплопроизводительность котла при влажности топлива (торф) 48% составила 5 МВт (котел переведен в водогрейный режим), температура на выходе из топki 940°C, температура уходящих газов 185°C, температура воздуха после воздухоподогревателя 219°C.

При пусконаладочных работах на котле KB-ГМ 10-150 при работе на древесной щепе и смеси щепы и торфа температура в топке достигла проектных значений, котел вышел

на режим, удалось добиться устойчивого горения и работы котла в автоматическом режиме. Слой топлива на колосниках четко можно разделить на участки сушки топлива, выхода летучих и горения коксового остатка (рисунок 7).

Как показали испытания, котел на всех нагрузках работает достаточно эффективно. Коэффициент полезного действия составил 76% при расчетном значении 80%. Коэффициент избытка воздуха за котлом составляет 2,23...1,69, с ростом нагрузки уменьшается за счет улучшения смесеобразования и дожига-ния продуктов неполного сгорания с ростом теплонапряжения топki и камеры догорания.

Теплопроизводительность котла составила 8 Гкал/ч. Достигнутая максимальная теплопроизводительность котла определялась, в основном, влажностью щепы. Коэффициент полезного действия котла 76%, температура уходящих газов 166°C, выбросы оксидов азота 49...191 мг/м³, что не превышает норму (230 мг/м³). Удельный расход условного топлива 170 кг у.т./МВт.

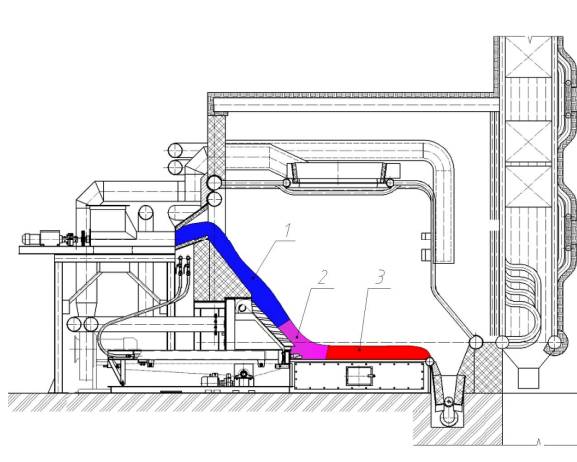


Рисунок 7 – Горение в котле KB-ГМ 10-150:
1– участок сушки топлива; 2– участок выхода и горения летучих; 3 – участок горения коксового остатка

На основе данных, полученных при пусконаладочных работах на котлах ДКВр 6,5-13ГМ, ДЕ 10-14ГМ и KB-ГМ 10-150 выполнен проект водогрейного котла KBм-3,0ДВО мощностью 3 МВт для сжигания кородревесных отходов. Используются такие расчетные решения, как коэффициент тепловой эффективности экранов $\psi=0,833$, коэффициент, учитывающий положение максимума температуры пламени $M_0=0,47$.

При этом активно использовалось математическое моделирование для определения такого положения сопел и распределения дутья, чтобы над слоем топлива сформировался широкий горячий фронт для эффективной сушки и воспламенения топлива (рисунки 8 и 9).

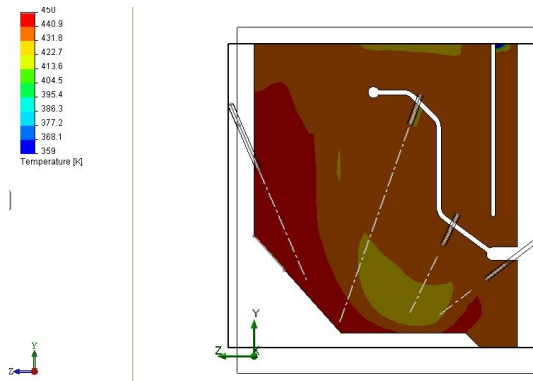


Рисунок 8 – Распределение температур в топке котла мощностью 3,0 МВт (продувка горячим воздухом).

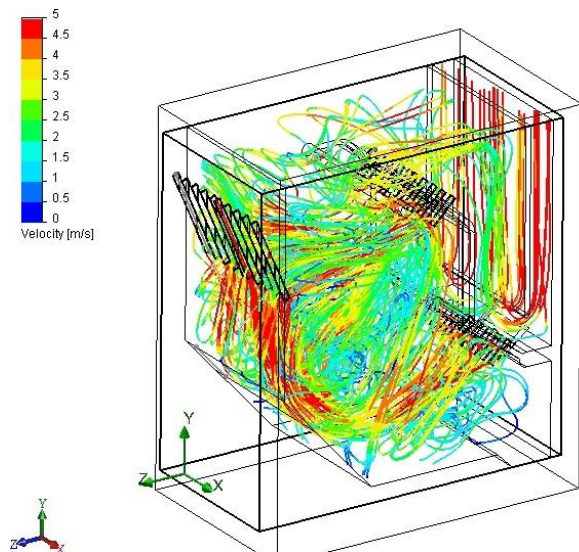


Рисунок 9 – Линии тока в топке котла КВм-3,0 ДВО

Предлагаемые формулы и коэффициенты возможно использовать при расчетах подобных схем сжигания нетрадиционного топлива. Это такие коэффициенты, как:

- коэффициент тепловой эффективности экранов $\psi = 0,742$ (топливо - торф);

- коэффициент тепловой эффективности экранов $\psi = 0,833$ (топливо – древесная щепа);

- коэффициент, учитывающий положение максимума температуры пламени $M_0 = 0,47$.

- потери тепла от химической неполноты сгорания $q_3 = 0,5\%$;

- потери тепла от механической неполноты сгорания $q_4 = 3\%$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПЭМ 031.00.000 – Реконструкция котла ДКВр 6,5-13 ПМ. – Барнаул: СКБ ПроЭнергоМаш, 2010.
2. ПЭМ 032.00.000 – Реконструкция ДЕ 10-14 ГМ О с переводом на сжигание торфа в вихревой топке "Торнадо" – Барнаул: СКБ ПроЭнергоМаш, 2010.
3. ПЭМ 033.00.000 Реконструкция КВ-ГМ 10-150 с переводом на сжигание древесной щепы в вихревой топке "Торнадо" – Барнаул: СКБ ПроЭнергоМаш, 2010.
4. Жуков, Е.Б. Исследование свойств и процессов горения нетрадиционных топлив. Материалы III семинара вузов Сибири и Дальнего Востока по теплофизике и теплоэнергетике / Е.Б. Жуков, В.И. Симанов, И.Д. Фурсов, В.А. Голубев. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2003.
5. Померанцев, В.В. Основы практической теории горения: учеб. пособие / В.В. Померанцев, К.М. Арефьев, Ю.А. Рундыгин, С.М. Шестаков. – Л.: Энергия, 1976.
6. Хзмалян Д.М. Теория топочных процессов: Учеб. пособие для вузов.-М.: Энергоатомиздат, 1990.-352 с.

¹ Красуцкий Е.В., аспирант,
e-mail: evgeniy987@yandex.ru

¹ Фурсов И.Д., к.т.н., проф., заведующий кафедрой КИРС

¹ Жуков Е.Б., к.т.н., доцент,
e-mail: jukov23j@yandex.ru

¹ Якимова И.С., магистрант,
e-mail: irinka2810@mail.ru

^{1,2} Пузырев Е.М., д.т.н., доц., профессор кафедры ДВС

¹ Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул

² ООО «ПроЭнергоМаш-Проект»,
Барнаул 656037, просп. Калинина, 57,

тел. (3852)398707, 227130,
E-mail: pem-energo@list.ru