

## ТЕХНОЛОГИЯ СЖИГАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОКРАТНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ТОПЛИВА

И.С. Якимова, Е.В. Красуцкий, Е.Б. Жуков, А.А. Алимов, Д.П. Денисик

*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 применением многократной циркуляции топлива и результаты их численного моделирования. Получены коэффициенты для дальнейших расчетов.*

*Ключевые слова: нетрадиционное топливо, отходы, многократная циркуляция топлива, численное моделирование, горение топлива.*

В энергетике стран ближнего зарубежья и ряда регионов Российской Федерации в течение последних нескольких лет отмечается рост количества переводов коммунальной энергетики с традиционных видов топлива на альтернативное.

Сегодня на предприятиях деревообрабатывающей и лесозаготовительной промышленности, а также предприятиях, занимающихся переработкой сельскохозяйственной продукции, образуется большое количество отходов, которые уже непригодны для вторичной переработки и сваливаются в отвалы.

Использование таких отходов в качестве энергетического топлива имеет ряд преимуществ: данный ресурс является возобновляемым; минимальные затраты на его доставку от поставщика; исчезает необходимость утилизации отходов в отвалах (Рисунок 1). Однако в сельскохозяйственных отходах содержится значительное количество различных минеральных примесей, содержание влаги может достигать 50-60%, что характеризует данный вид топлива как низкосортное, поэтому сжигание его в обычных топочных устройствах неэффективно и необходимо применение специальных топочных устройств.

Применение в энергетике альтернативных видов топлив затруднено недостаточной изученностью свойств этих топлив и процессов их сжигания. Существующие технологии сжигания низкосортных видов топлива имеют ряд недостатков, которые не позволяют в полной мере использовать энергию, заложенную в топливе.

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.



Рисунок 1 – Бункер овсяной лузги

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).

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

$$\frac{m}{m_0} = (\alpha T - \beta) \ln(\tau) - \gamma \cdot T + \varepsilon,$$

где  $m_0$ ,  $m$  – начальная и текущая масса частицы;  $T$  – температура, К;  $\tau$  – время, с.

## ТЕХНОЛОГИЯ СЖИГАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОКРАТНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ТОПЛИВА

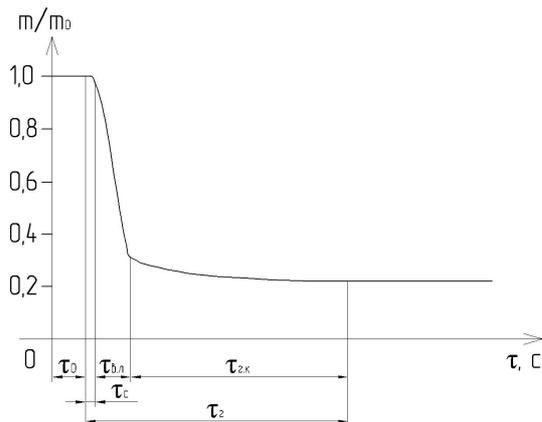


Рисунок 2 – Динамика термического разложения топлива

$\tau_0$  – время до разогрева частицы,  $\tau_c$  – время сушки частицы,  $\tau_{в.л.}$  – время выхода летучих из частицы,  $\tau_{г.к.}$  – время горения коксового остатка,  $\tau_r$  – время выгорания частицы,  $\tau_r = \tau_c + \tau_{в.л.} + \tau_{г.к.}$

Коэффициенты  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\varepsilon$  рассчитываются по формулам, предложенным ниже:

- для гречневой лузги:

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

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

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

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

- для отходов льняного производства:

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

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

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

коэффициент  $\alpha$  для отходов льняного производства определяется аналогично гречневой лузге.

Все формулы получены в результате анализа экспериментальных данных.

В настоящее время ведутся эксперименты для расчета коэффициентов для кородре-весных 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 необходимого времени нахождения горячей частицы в объеме топки до полного выгорания.

На основании полученных расчетных и экспериментальных данных разработан ряд проектов котельных агрегатов с многократной

циркуляцией низкосортного топлива в топочной камере: котел КВм-3,0ДВО для сжигания древесных отходов, котел КВм-3,0ДВО для сжигания овсяной лузги, котел КВм-5,0КБ для сжигания влажного бурого угля.

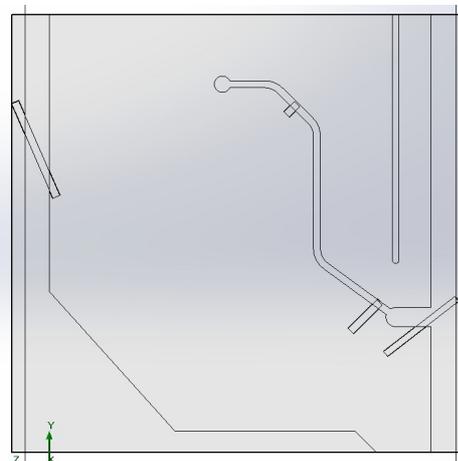


Рисунок 3 – Профиль топочной камеры котла КВм-3,0ДВО для сжигания овсяной лузги

При выполнении проектов использовалось математическое моделирование аэродинамики в топках котлов для определения направления острого дутья (Рисунки 3, 4) и эффективности сепарации частиц топлива в вихре при различной организации дутья и профиля топочной камеры.

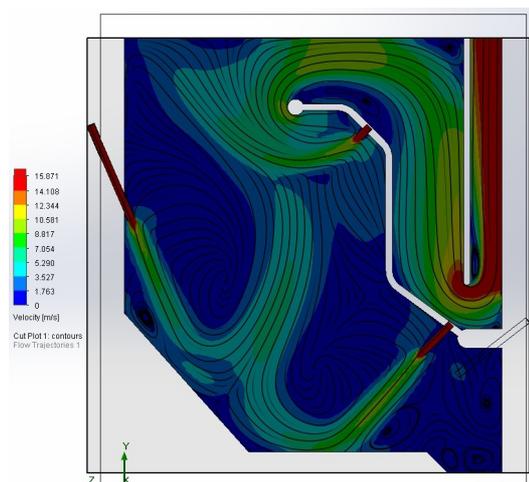


Рисунок 4 – Скорость движения частиц овсяной лузги в середине топки котла КВм-3,0ДВО

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 глубо-

кого выжигания горючих предлагаемый точный процесс обеспечивает повышенную экономичность и высокие экологические показатели котла. Объединение слоевого и факельного сжигания обеспечивает взаимное поддержание горения и однородное заполнение всей топки факелом (Рисунки 5, 6).

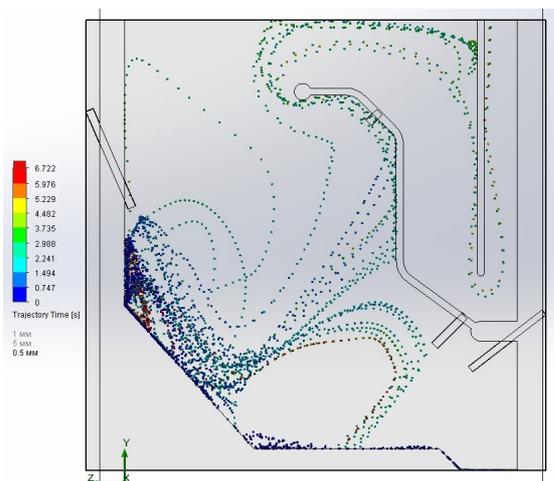


Рисунок 5 – Движение частиц овсяной лузги диаметром 0,5 мм в топке котла КВм-3,0ДВО

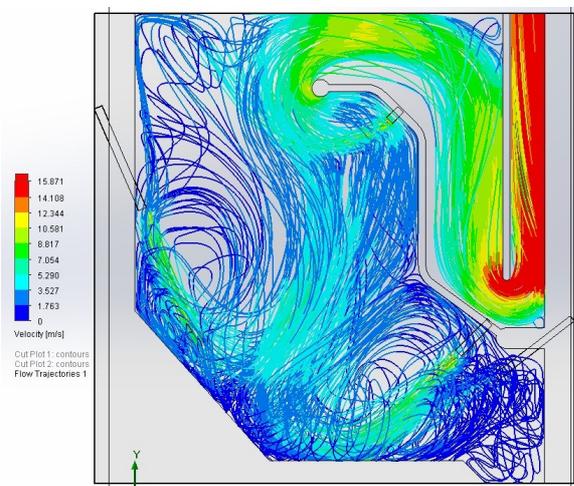


Рисунок 6 – Скорость движения частиц овсяной лузги в центре топочной камеры котла КВм-3,0ДВО

Котлы КВм-3,0ДВО для сжигания овсяной лузги изготовлены и установлены у заказчика. Проведены пусконаладочные испытания котлов.

При пусконаладочных работах на котле КВм-3,0ДВО производительностью 3,0 Гкал/ч (3,49 МВт) при работе на овсяной лузге температура в топке достигла проектных значений, котел вышел на режим, удалось добиться

устойчивого горения и работы котла в автоматическом режиме.

Как показали испытания, котел на всех нагрузках работает достаточно эффективно. Коэффициент избытка воздуха за котлом с ростом нагрузки уменьшается за счет улучшения смесеобразования и дожигания продуктов неполного сгорания с ростом теплонпряжения топки и камеры догорания. С помощью математического моделирования при проектировании определялось такое положение сопел и распределение дутья, чтобы над слоем топлива сформировался широкий горячий фронт для эффективной сушки и воспламенения топлива (Рисунки 7, 8).

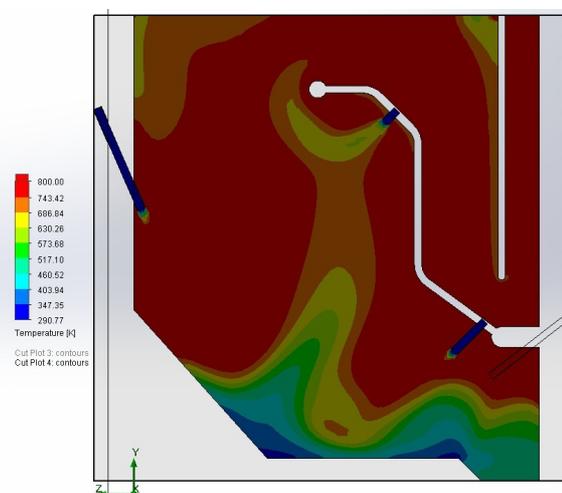


Рисунок 7 – Распределение температур в середине топки котла КВм-3,0ДВО (продувка горячим воздухом)

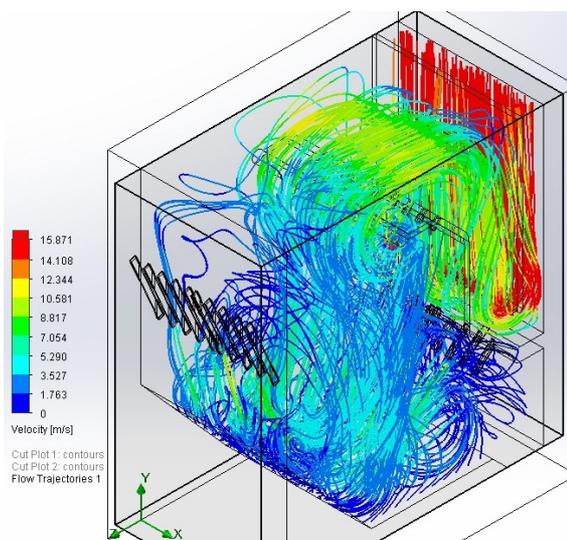


Рисунок 8 – Линии тока в топке котла КВм-3,0ДВО для сжигания овсяной лузги

## ТЕХНОЛОГИЯ СЖИГАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МНОГОКРАТНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ТОПЛИВА

### Выводы

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

- 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. 03.0031.000 – Быстросборная котельная с тремя котлами КВм-3,0ДВО – Барнаул: ООО «НПО СибТеплоМаш», 2012.

2. 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.

3. Красуцкий Е.В. Исследование сжигания сельскохозяйственных отходов / Е.В. Красуцкий, И.Д. Фурсов, Е.Б. Жуков, И.С. Якимова, Е.М. Пузы-

рев // Ползуновский вестник.- 2012.- № 3/1.- С. 47-50.

4. Померанцев, В.В. Основы практической теории горения: учеб. пособие / В.В. Померанцев, К.М. Арефьев, Ю.А. Рундыгин, С.М. Шестаков. – Л.: Энергия, 1976.

5. Хзмалян Д.М. Теория топочных процессов: Учеб. пособие для вузов.-М.: Энергоатомиздат, 1990.-352 с.

**Якимова И.С.**, аспирант,  
е-mail: [irinka2810@mail.ru](mailto:irinka2810@mail.ru)

**Красуцкий Е.В.**, аспирант,  
**Жуков Е.Б.**, к.т.н., доцент,  
е-mail: [jukov23j@yandex.ru](mailto:jukov23j@yandex.ru)

**Алимов А.А.**, студент гр. ЭМ-01

**Денисик Д.П.**, студент гр. ЭМ-01  
Алтайский государственный технический  
университет имени И.И. Ползунова»,  
кафедра «Котло- и реакторостроения»